



UNIVERSIDADE DA CORUÑA



Escola Politécnica Superior

Trabajo Fin de Grado

CURSO 2020/21

***BUQUE PORTACONTENEDORES DE 20000 TEUS
CON RUTA ASIA - NORTE DE EUROPA***

Grado en Ingeniería Naval y Oceánica

ALUMNO

Miguel Ángel Rodríguez González

TUTOR

Luis Manuel Carral Couce

FECHA

Septiembre 2021



UNIVERSIDADE DA CORUÑA



Escola Politécnica Superior

TRABAJO FIN DE GRADO

CURSO 2020/21

*BUQUE PORTACONTENEDORES DE 20000 TEUS
CON RUTA ASIA - NORTE DE EUROPA*

Grado en Ingeniería Naval y Oceánica

Cuaderno 3

“COEFICIENTES Y PLANO DE FORMAS”

ÍNDICE

1 RPA.....	5
2 Resumen	6
2.1 Castellano.....	6
2.2 Gallego	6
2.3 Inglés	6
3 Introducción.....	7
4 Buques de Referencia. Formas	9
4.1 Perfil longitudinal.....	9
4.2 Formas de Proa	10
4.3 Cuerpo cilíndrico	11
4.4 Formas de Popa	11
5 Coeficientes objetivo	13
5.1 Cálculo de los coeficientes.....	13
6 Contorno de proa.....	14
6.1 Perfil de proa.....	15
6.1.1 Perfil obtenido	15
6.1.2 Hélices de proa	15
6.2 Altura mínima de proa	16
6.3 Zona de Amarre	17
6.4 Justificación del uso bulbo	18
6.5 Determinación de los parámetros principales del bulbo	20
6.5.1 Altura del punto de protuberancia máxima	20
6.5.2 Abscisa del punto de máxima protuberancia adimensionalizada	20
6.5.3 Área transversal del bulbo.....	20
6.6 Semiángulo de entrada	21
7 Cuerpo Cilíndrico	23
7.1 Curva de áreas seccionales	23
7.2 Extensión del Cuerpo Cilíndrico	23
7.3 Radio de Pantoque y Astilla Muerta	25
7.4 Doble Fondo y Cámara de Máquinas.....	25
8 Contorno de popa	26
8.1 Perfil de Popa	26
8.2 Huelgos entre hélices y casco	27
8.3 Espejo de popa.....	28
9 Generación del Plano de Formas.....	29

9.1 Formas del buque de partida.....	29
9.2 Obtención de las formas finales	30
10 Anexo I: Planos.....	33

1 RPA



GRADO EN INGENIERÍA NAVAL Y OCEÁNICA **TRABAJO FIN DE GRADO**

PROYECTO NÚMERO

TIPO DE BUQUE: Portacontenedores con ruta Asia-Norte de Europa.

CLASIFICACIÓN, COTA Y REGLAMENTOS DE APLICACIÓN: DNV, SOLAS, MARPOL

CARACTERÍSTICAS DE LA CARGA: 20000 TEUS

VELOCIDAD Y AUTONOMÍA: 20 nudos en condiciones de servicio y 20000 millas de autonomía.

SISTEMAS Y EQUIPOS DE CARGA / DESCARGA: Sin medios propios de carga/descarga.

PROPULSIÓN: Motor Diésel.

TRIPULACIÓN Y PASAJE: 40 tripulantes en camarotes dobles e individuales.

OTROS EQUIPOS E INSTALACIONES: Los habituales en este tipo de buques.

Ferrol, 4 Octubre 2020

ALUMNO/A: **D Miguel Ángel Rodríguez González**

2 RESUMEN

2.1 Castellano

La finalidad del presente Trabajo Fin de Grado es el dimensionamiento y definición de un buque portacontenedores, cumpliendo con la RPA establecida. Una de las principales características es que es un buque de carga normalizada que ha de transportar 20 000 TEUS, lo cual afecta a las dimensiones del mismo. Este portacontenedores será diseñado para dar servicio a la ruta Asia – Norte de Europa, por lo que ha de tener una autonomía que le permita realizar un trayecto de unas 20000 millas.

2.2 Gallego

A finalidade do presente Traballo de Fin de Grao é o dimensionamento e definición dun buque portacontenedores, cumprindo co establecido na RPA. Unha das principais características é que é un buque de carga normalizada que transporta 20000 TEUS, o cal afecta as dimensións do mesmo. Este portacontenedores deseñárase para dar servizo a ruta Asia – Norte de Europa, polo que terá unha autonomía que permita realizar o traxecto dunhas 20 000 millas.

2.3 Inglés

The purpose of this Final Degree Project is the dimensioning and definition of a container ship, complying with the established RPA. One of the main characteristics is that it is a standardized cargo ship and that it has to transport 20000 TEUS, which affects its dimensions. This container ship will be designed to serve the Asia - North Europe route, so it must have an autonomy that allows it to cover a journey of about 20000 miles.

3 INTRODUCCIÓN

A lo largo de este cuaderno se van a desarrollar los planos de formas del buque que se quiere proyectar. Estos planos de formas influyen principalmente en dos aspectos, los cuales son la resistencia al avance y la capacidad para llevar la carga.

Para el caso de este Trabajo Fin de Grado, se deben realizar dichas formas para poder transportar carga normalizada, concretamente 20 000 contenedores de 20 pies, de manera que se minimice en la medida de lo posible la resistencia al avance y con ello los costes de la propulsión.

A continuación, se muestran una serie de datos obtenidos de los cuadernos 1 y 2, que además se van a utilizar a lo largo de este:

TEUS TOTALES	20000 TEUS
TEUS BODEGA	8518 TEUS
TEUS CUBIERTA	11481 TEUS
ESLORA TOTAL (Loa)	398 m.
ESLORA PERPENDICULARES (Lpp)	374,5 m.
MANGA (B)	58 m.
PUNTAL (D)	32 m.
CALADO (T)	16,5 m.
DESPLAZAMIENTO (Δ)	294924 ton
VELOCIDAD (V)	20 kn

Nº DE FROUD	0,1698
COEFICIENTE DE BLOQUE	0,7996
COEFICIENTE DE LA MAESTRA	0,9964
COEFICIENTE PRISMÁTICO	0,8025

Para el desarrollo y obtención de las formas del buque proyecto, hay tres posibilidades distintas, tal como se puede comprobar en el libro "Proyectos de buques y artefactos. Proyectos de las Formas del Buque" de Fernando Junco Ocampo:

- **Generación de formas propias**

Es necesario tener un conocimiento en el tipo de buque del cual se tratan de realizar las formas, así como tener bastante práctica con los programas utilizados para el desarrollo de este tipo de trabajo y experiencia en el diseño, para poder obtener un buen resultado. Por todo lo demás sería una muy buena opción ya que permite formas muy versátiles. Por otro lado, se encuentra la desventaja del coste elevado que conlleva.

- **Empleo de series sistemáticas**

Las series sistemáticas se aplican dependiendo del tipo de buque base, y las características que este tiene como punto de partida, de manera que se adecúan a las especificaciones necesarias en el buque proyecto. En esta opción se emplean las formas estudiadas en el canal de experiencias, por lo que se garantiza el comportamiento del buque.

- **A partir de un buque con características similares**

Este método consiste en realizar una transformación de unas formas de un buque base, adecuándolas a las características necesarias del buque proyecto. Se realizarán una serie de modificaciones de sus formas hasta que se consiga llegar al objetivo.

4 BUQUES DE REFERENCIA. FORMAS

4.1 Perfil longitudinal

Los perfiles longitudinales de los buques de referencia son bastante similares en todos los buques que transportan este tipo de carga, ya que al ser ésta normalizada, requiere una serie de especificaciones con respecto a las formas.

Se muestra a continuación, el perfil longitudinal del buque que se ha tomado como referencia a lo largo de este Trabajo fin de Grado, es decir, del OOCL Hong Kong.



El OOCL Hong Kong tiene una dimensiones muy próximas a las del buque proyecto, por ello se tomó como referencia, y que se muestran a continuación:

- Eslora total: 400 m.
- Eslora entre perpendiculares: 383 m.
- Manga total: 58,8 m.
- Calado de diseño: 14,5 m.
- Calado de escantillonado: 16 m.
- Puntal: 32,5 m.

Tal como se puede observar, en este tipo de buques se tienen ciertas características particulares, que otro tipo de buques no las tienen. Una de ellas es que la habilitación es distinta ya que en este caso está diseñada para ocupar el mínimo de eslora posible perdiendo el menor espacio de estiba de contenedores.



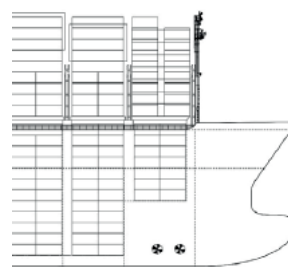
4.2 Formas de Proa

En las formas de proa de los buques de referencia se destacan varias cosas. En primer lugar, las hélices de proa, situadas transversalmente en la parte inferior del casco y que son habituales en este tipo de buques debido a su tamaño para facilitar las maniobras en el puerto. En segundo lugar, este tipo de buques suele constar de bulbo de manera que se mejore sus características en cuanto a resistencia al avance se refiere.



En la zona de proa las formas son muy cambiantes, ya que, en las zonas de cubierta y castillo de proa, el cual es la zona de amarre y la única en la cubierta donde no se estiban contenedores, son formas muy abiertas abarcando una gran manga, y a medida que se disminuye en el puntal del buque, las formas se van afinando hasta llegar al bulbo donde vuelven a llenarse para formar dicha protuberancia del casco.

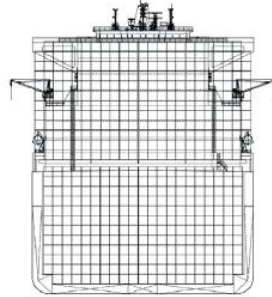
En las formas de proa hay que tener en cuenta que en el fondeo e izado de las anclas, éstas no interfieran con la carena, y a pesar de que, en este tipo de buques, al tener un castillo con manga considerable se puede evitar que el ancla toque con la carena, se comprobará a lo largo de este cuaderno. A continuación, se muestran unas imágenes que muestran las proas de buques tipo.



4.3 Cuerpo cilíndrico

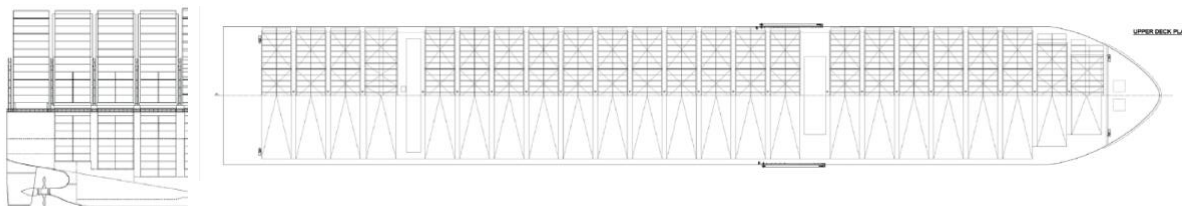
El cuerpo cilíndrico de los portacontenedores suele ocupar buena parte de la eslora total del buque, pudiendo así estibar una mayor cantidad de carga. Esto se debe a que este tipo de carga normalizada no se adapta a las formas, sino que las formas han de adaptarse a la carga. Su sección es bastante común en estos barcos, constan de los costados y fondo plano con un radio de pantoque reducido.

Si nos fijamos en el buque de referencia, se muestra la sección media que se corresponde con el cuerpo cilíndrico. A continuación, se muestra el esquema de dicha sección.



4.4 Formas de Popa

Las formas de popa contienen el codaste, la hélice y la pala del timón. En la popa de estos buques destaca su espejo de popa, haciendo que la parte alta de esta zona mantenga la manga del cuerpo cilíndrico permitiendo que no se pierda espacio de estiba y optimizando las formas. Se muestra a continuación, la planta del buque de referencia que muestra la manga en la zona de popa.



Las formas han de estar adaptadas para albergar los propulsores que porte el buque con los huelgos determinados y fijados por las sociedades de clasificación.

En el caso del buque de referencia se tiene un solo propulsor, de la misma forma, en el buque proyecto se establece un único propulsor.

Se presentan a continuación una serie de imágenes de buques tipo por la parte de popa.



5 COEFICIENTES OBJETIVO

5.1 Cálculo de los coeficientes

De acuerdo con lo establecido en los cuadernos 1 y 2, los coeficientes que interesan para el desarrollo de este cuaderno son:

- Coeficiente de bloque: se obtiene de la alternativa más favorable, a partir del estudio de alternativas realizado en el cuaderno 1.

$$C_B = 0,7996$$

- Coeficiente de la flotación: se saca el valor a partir de la fórmula siguiente.

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

$$C_F = 0,7669^{0,5} + 0,04$$

$$C_F = 0,9157$$

- Coeficiente de la maestra: resulta de la aplicación de la siguiente ecuación.

$$C_M = 1 - N_F^4$$

$$N_F = \frac{V}{\sqrt{g * L_{PP}}} = \frac{20 * 0,5144}{\sqrt{9,81 * 374,38}} = 0,1698$$

$$C_M = 1 - 2 * 0,1698^4$$

$$C_M = 0,9998$$

- Coeficiente prismático:

$$C_P = \frac{C_B}{C_M}$$

$$C_P = \frac{0,7996}{0,9998}$$

$$C_P = 0,7998$$

6 CONTORNO DE PROA

La zona de proa puede tener la roda lanzada o vertical, según las formas del buque, es decir dependiendo del coeficiente prismático de cada buque, pero existe otro tema un poco más complejo que es si es conveniente que lleve bulbo de proa o no.

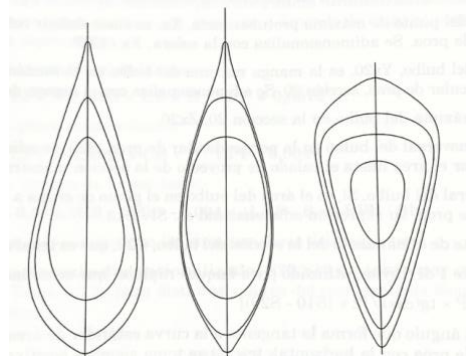
La decisión sobre la utilización o no del bulbo de proa y, en caso afirmativo, la selección del más apropiado, se hace por consideraciones de mejoras propulsivas en las distintas situaciones de carga, aunque a su vez produce una mejora del comportamiento en la mar, como puede ser una reducción de pantocazos o la reducción de los trenes de olas.

Un bulbo apropiado actúa de la siguiente manera:

- Reduce la resistencia por formación de olas, al disminuir los trenes de olas generados por el buque.
- Reduce la resistencia por olas rompientes, al conseguir menos olas y más amortiguadas.
- Reduce la resistencia residual de carácter viscoso al disminuir los torbellinos de proa.
- Aumenta la resistencia de fricción ya que aumenta la superficie mojada.

Por la forma de sus secciones transversales se pueden distinguir tres tipos:

- Bulbos tipo delta (Δ), también llamados “gota de agua”, tiene la mayor parte del volumen en su parte baja. Se consideran buenos para buques con grandes variaciones de calado y con secciones de proa tipo U. Puede presentar problemas de “slamming” o macheteo en la navegación con calados reducidos y mala mar.
- Bulbos tipo ovalado, (O), concentran su volumen en la parte central. Los bulbos con formas elípticas o circulares están incluidos en este tipo. Son apropiados para formas llenas o finas y con secciones en U o en V. Se exige en buques que operan con mala mar, por ser poco susceptibles de padecer macheteo.
- Bulbos tipo nabra (∇), o de peonza. Este tipo concentra su volumen en la parte superior. Es el tipo más empleado por ser el que mejor comportamiento presenta cuando hay mala mar. Se utiliza en buques que tienen dos condiciones de navegación claramente diferenciadas, plena carga y lastre.

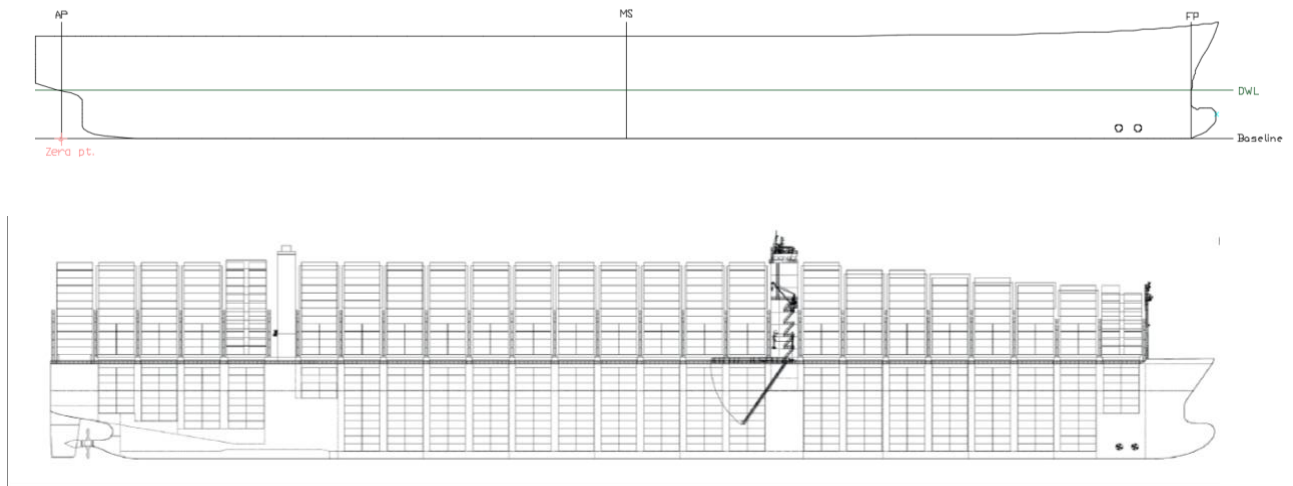


6.1 Perfil de proa

6.1.1 Perfil obtenido

El perfil obtenido a partir del software Maxsurf, resultan de escalar unas formas similares de la base de datos como se explica en apartados posteriores de este mismo cuaderno.

Las formas que resultan son muy similares a las que presenta el buque de referencia. A continuación, se comparan ambas:

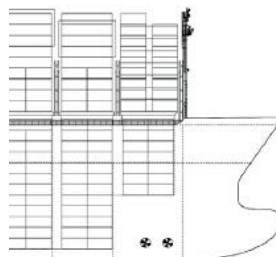


Como se puede comprobar, las formas son bastante parecidas tanto en el cuerpo cilíndrico como en la zona de popa, a pesar de que en el caso del codaste el buque proyecto no consta con bulbo de popa para la hélice.

En cuanto a la zona de proa, se tiene un castillo más definido en el caso del buque de referencia, mientras que en el buque proyecto se establece un aumento del puntal progresivo a medida que avanzamos hacia la zona de proa. En cuanto a las hélices de proa son muy semejantes. El bulbo se ha diseñado de manera distinta, aunque igualmente válida ya que cumple con los requisitos que establecen los cálculos realizados para este fin.

6.1.2 Hélices de proa

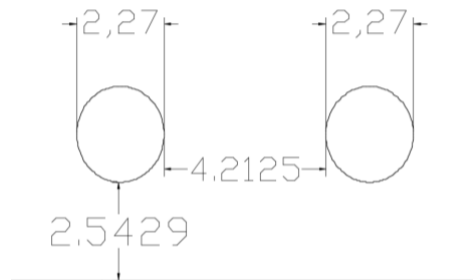
En cuanto a las hélices de proa, se ha de cumplir una serie de requisitos en cuanto a distancias. En este caso para situarlas y dimensionarlas, se ha seguido el buque de referencia, debido a la gran similitud del buque que se diseña en este Trabajo Fin de Grado con el buque OOCL Hong Kong. Al hacerlo de esta manera se asegura que la estimación sea bastante ajustada.



Se han de instalar las hélices de proa de manera que se deje un fondo construible de mínimo 500 milímetros, así como una distancia a los mamparos que se tengan en el entorno de mínimo la mitad de un diámetro del propulsor.

La manga mínima para tener un espacio suficiente para la instalación de las hélices de proa ha de ser de dos veces un diámetro de dichas hélices.

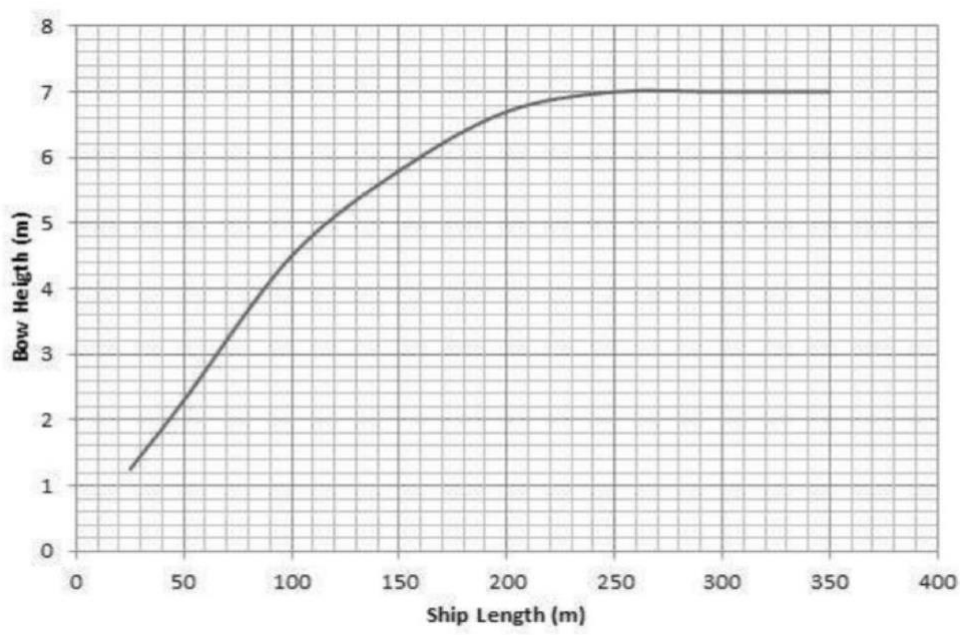
Es importante destacar que esta instalación no puede coincidir con el mamparo de colisión.



Se comprobará la extensión del cuerpo de proa en el apartado de áreas seccionales, el cual se desarrolla avanzado este cuaderno.

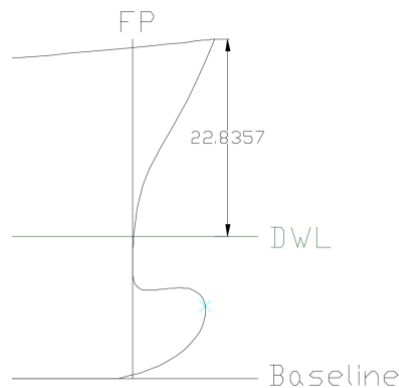
6.2 Altura mínima de proa

En cuanto a la altura mínima de proa se ha de comprobar que, por encima de la línea de calado del buque, se debe tener una altura mínima determinada, es decir, el francobordo del buque en la zona de proa. Una primera aproximación de esta dimensión se puede obtener mediante la grafica que se muestra a continuación y que está facilitada en los apuntes de la asignatura "Proyectos del buque y artefactos I" y que se puede consultar además en otra bibliografía,



En la gráfica se observa que, a partir de cierta dimensión de la eslora del buque, la medida que se busca se estabiliza en 7m, esto se produce a partir de los 250 metros aproximadamente. En el caso del buque proyecto, la dimensión de la eslora es de 398 metros, por lo que la altura mínima de proa por encima de la flotación ha de ser 7 metros.

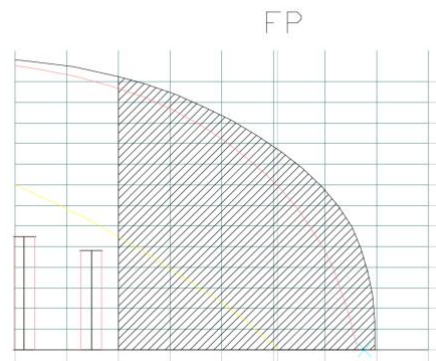
A continuación, se muestra un esquema de la proa de las formas obtenidas y la comprobación acotada de que se cumple dicha altura mínima.



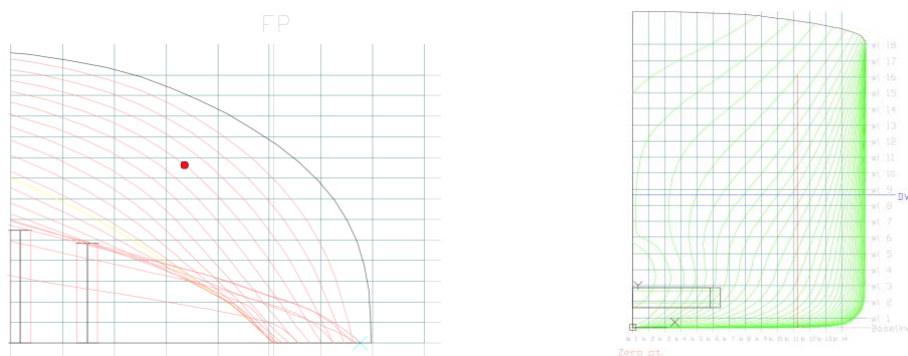
6.3 Zona de Amarre

La zona de amarre del buque ha de tener espacio suficiente para albergar todos los equipos de fondeo y amarre. Para ello, como aun no se tienen definidos estos equipos y no se sabe que espacio ocuparán, se estima dicho espacio según el buque de referencia.

La eslora de la zona de amarre en el buque de referencia en línea de crujía, es de 22,95 metros, por lo que en el buque proyecto será aproximadamente de las mismas dimensiones, quedando de igual manera que en el buque de referencia. Se muestra a continuación un esquema con la zona rayada donde se situarían todos los dispositivos de amarre y fondeo.



En cuanto al fondeo mediante anclas, se ha de tener libre la vertical de cada ancla para que ésta no interfiera con las formas del buque. En el caso del buque proyecto las formas permiten el fondeo y el izado del ancla de manera que ésta no interfiere con la carena en la zona de proa.



6.4 Justificación del uso bulbo

Para saber si el buque proyecto ha de llevar bulbo o no, se deben calcular una serie de relaciones sacadas de los apuntes de la asignatura "Proyectos del Buque y Artefactos I". Si los resultados de los cálculos de estas relaciones se encuentran dentro de los márgenes establecidos, es beneficioso que el buque lleve bulbo.

Las relaciones son la siguientes:

- Primera relación:

$$0,65 < C_B < 0,815$$

En este caso el coeficiente de bloque es:

$$C_B = 0,7996 \rightarrow \text{CUMPLE}$$

- Segunda relación:

$$5,5 < \frac{L_{PP}}{B} < 7$$

Sustituyendo los datos pertinentes, se obtiene:

$$\frac{L_{PP}}{B} = \frac{374,38}{57,97}$$

$$\frac{L_{PP}}{B} = 6,458 \rightarrow \text{CUMPLE}$$

- Tercera relación:

$$0,24 < Fn < 0,57$$

En este caso, recuperando el número de Froude calculado anteriormente en el cuaderno 1 con los datos de la alternativa mas favorable en la elección de la cifra de mérito, se tiene:

$$Fn = 0,1698 \rightarrow \text{NO CUMPLE}$$

- Cuarta relación:

$$C_B * \frac{L_{PP}}{B} < 0,135$$

Sustituyendo los datos correspondientes al buque proyecto, se obtiene:

$$C_B * \frac{B}{L} = 0,7996 * \frac{57,97}{374,38}$$

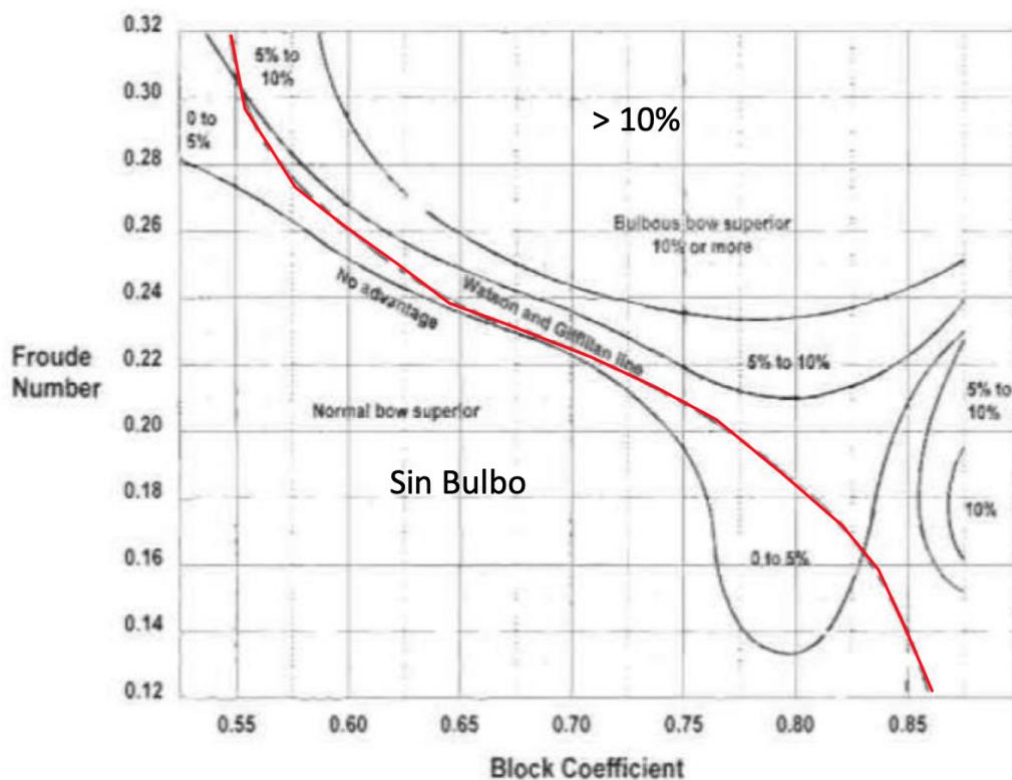
$$C_B * \frac{B}{L} = 0,124 \rightarrow \text{CUMPLE}$$

A continuación, se muestra un resumen de las relaciones y sus resultados para el caso de nuestro buque:

PARÁMETRO	VALOR	CRITERIO	APLICACIÓN
C_B	0,7996	$0,65 < C_B < 0,815$	SI
L_{PP}/B	6,458	$5,5 < L_{PP}/B < 7$	SI
F_N	0,1698	$0,24 < F_n < 0,57$	NO
$C_B * B/L$	0,124	$C_B * L_{PP}/B < 0,135$	SI

Como se puede observar en la tabla anterior, la aplicación del bulbo es recomendable. Además, viendo los buques de referencia, todos lo llevan, por lo que el buque a proyectar portará bulbo.

Además de esta serie de cálculos realizados, se puede ratificar que en el buque proyecto el uso de bulbo es recomendable, mediante la gráfica que se muestra a continuación y que se puede encontrar en los apuntes de la asignatura de "Proyectos del Buque y Artefactos I"



Se tiene en cuenta que en el caso del buque proyecto estamos ante un valor de Froude de 0,1698 y un valor del coeficiente de bloque de 0,7996. Si con estos valores se procede a entrar en el gráfico se tiene que es recomendable el uso de bulbo en el rango de 0 – 5%. A pesar de esto, tal como se explica en dichos apuntes, nos encontramos en por debajo de la línea roja, lo que indica que no sería necesaria la aplicación de bulbo. Si se revisan los buques de referencia se puede observar que todos ellos llevan bulbo, por lo que como decisión final y en coherencia con los cálculos tanto manuales como gráficos el buque proyecto portará bulbo.

6.5 Determinación de los parámetros principales del bulbo

Es necesario calcular una serie de parámetros principales del bulbo de proa que se muestran a continuación y que se desarrollan para buques que operan con Froude moderados, es decir, que se encuentran en el intervalo $0,14 < Fn < 0,30$.

6.5.1 Altura del punto de protuberancia máxima

Para que el bulbo cumpla su función correctamente, es necesario que éste se encuentre cerca de la superficie del agua o flotación, y aunque se podría considerar $h < 0,35 * T$, hay que tener en cuenta las diferentes flotaciones que puede llegar a tener el barco dependiendo de la situación en la que se encuentra, siendo el bulbo más efectivo cuanto más bajo es el calado.

Por todo esto, se considera el valor de H_b entre un 35% y un 55% el calado máximo en proa. Si seguimos el libro de “El proyecto básico del buque mercante” se aconseja un valor del 45%, por lo que quedaría:

$$Z_b = 0,45 * T$$

$$Z_b = 0,45 * 16,5$$

$$Z_b = 7,425 \text{ m}$$

6.5.2 Abscisa del punto de máxima protuberancia adimensionalizada

Se realizan los cálculos a partir de la fórmula empírica obtenida en el libro “El proyecto básico del buque mercante”, para bulbos en condición de lastre

$$L_{PR} = L_{PP} * 0,1811 * C_B * \frac{B}{L_{PP}} + 0,0074$$

$$L_{PR} = 374,38 * 0,1811 * 0,7996 * \frac{57,97}{374,38} + 0,0074$$

$$L_{PR} = 8,40 \text{ m}$$

6.5.3 Área transversal del bulbo

Gracias al método que nos proporciona el libro “Proyectos de buques y artefactos. Proyecto de las formas de un buque” de Fernando Junco Ocampo, y a la precisión del

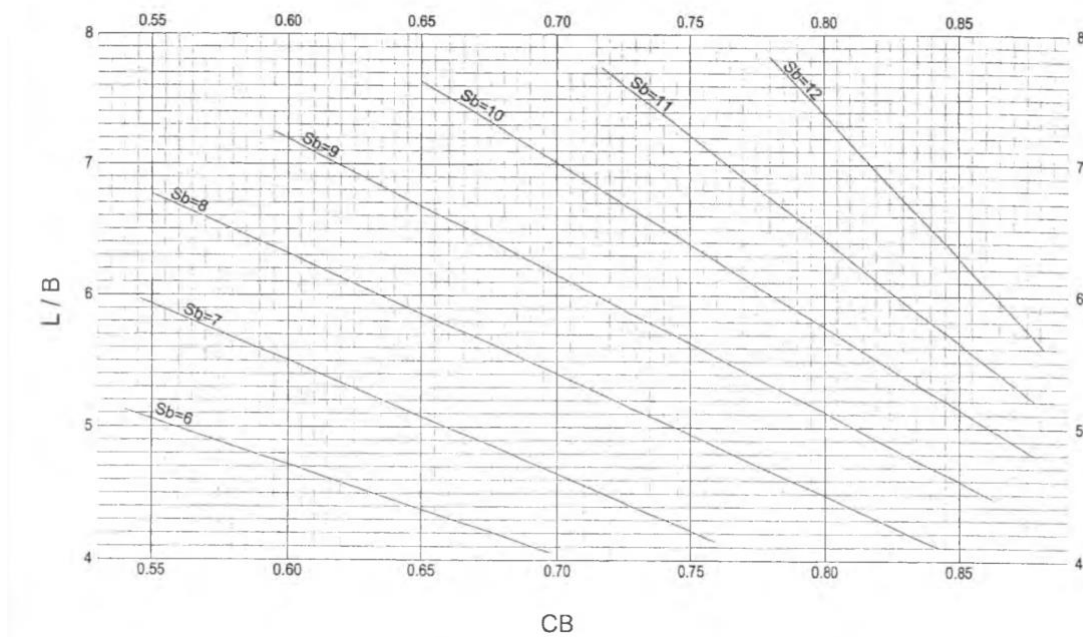


diagrama que se muestra, es más que suficiente para el fin indicado: una primera aproximación.

Se entra en el diagrama con el valor del coeficiente de bloque (0,7996) y con el valor de la relación L_{PP}/B (6,458) obtenidos anteriormente, llegando al siguiente resultado:

$$S_b = 11\% * S_M$$

Sabiendo que:

$$S_M = B * T * C_M = 57,97 * 16,5 * 0,9964$$

$$S_M = 953,06 \text{ m}^2$$

Una vez que se tienen los datos anteriores, sustituyendo se obtiene la superficie del bulbo:

$$S_b = \frac{11}{100} * 953,06$$

$$S_b = 104,84 \text{ m}^2$$

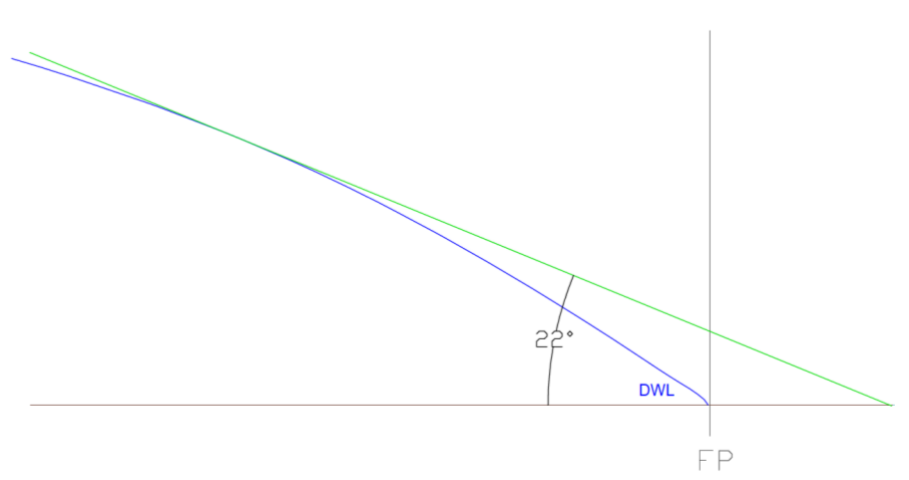
6.6 Semiángulo de entrada

El semiángulo de entrada de la proa del buque se puede definir gracias a la gráfica que se muestra a continuación y que se puede encontrar en los apuntes de la asignatura "Proyectos del buque y artefactos I". Tal como se ha comentado en cuadernos anteriores, se utilizó para la predicción de la potencia el método Holtrop ya que es el que mejor se ajustaba al buque proyecto, por lo tanto, al ser el semiángulo de entrada un parámetro importante para este modelo de predicción, se calcula a continuación:



Como se puede observar en los ejes del gráfico es necesario saber el coeficiente prismático del buque a diseñar, con el cual se entrará por el eje de ordenadas hasta el corte con la recta roja, la cual es la que representa a la mayoría de buques. En el caso de la recta azul se estaría hablando de buques que tienen buenas características de resistencia. En este caso el valor del coeficiente prismático es de 0,7998. Como se puede comprobar, este valor está muy extremo en la gráfica, debido a que estos ángulos de entrada solo se suelen calcular en buques con coeficientes de bloque de 0,45 a 0,75. En todo caso, se puede prolongar la recta y se obtiene un punto de corte alrededor de 18°.

A continuación, se muestra un esquema que representa el ángulo de entrada en el buque proyecto a la altura de la flotación.



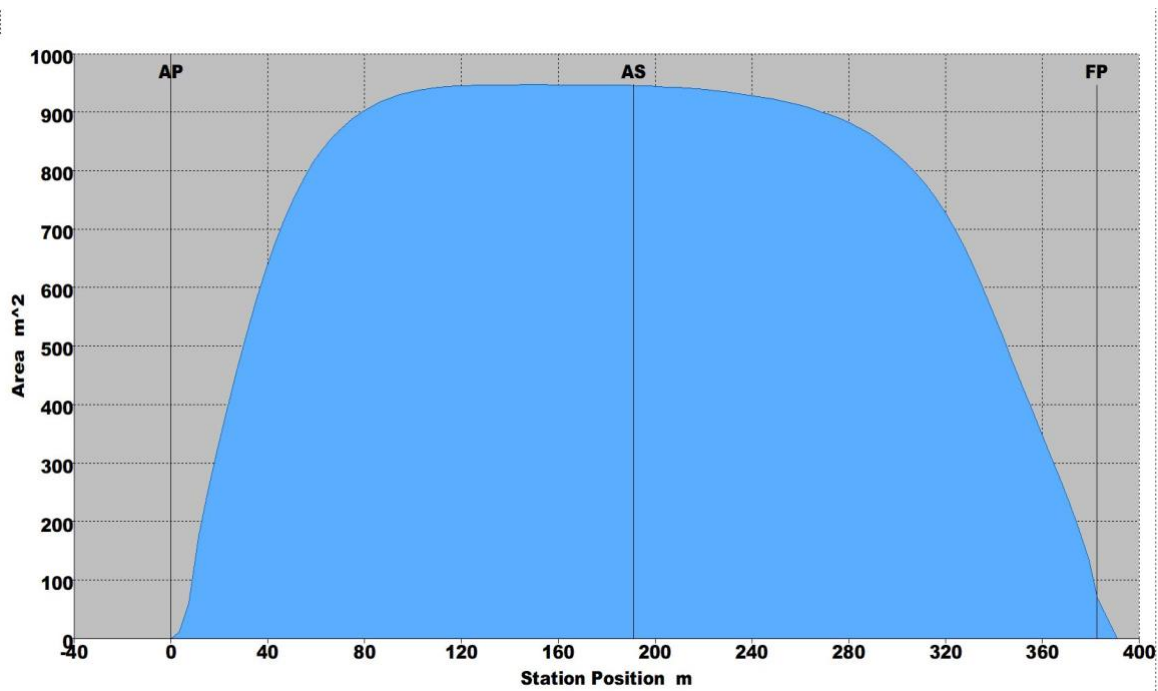
Gráficamente, el ángulo resulta 22°, lo cual es una variación asumible con respecto a los aproximadamente 18° que se obtienen del cálculo anterior hecho mediante el gráfico.

7 CUERPO CILÍNDRICO

7.1 Curva de áreas seccionales

En la curva de áreas seccionales se representa la distribución del volumen de carena por debajo de la flotación, o lo que es lo mismo el área que tiene cada sección a lo largo de la eslora por debajo de la flotación.

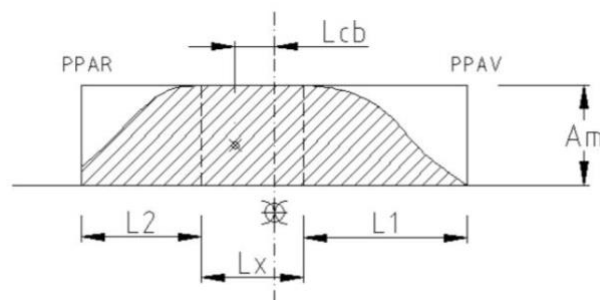
Se extrae la curva del programa Maxsurf:



Se puede determinar la extensión de cada parte principal, bien sea cuerpo de proa, de popa o cuerpo cilíndrico. Se realiza en el apartado siguiente.

7.2 Extensión del Cuerpo Cilíndrico

Se comprobarán las dimensiones de cada parte de acuerdo a lo establecido en los apuntes de la asignatura "Proyectos del buque y artefactos I", tal y como se muestra a continuación.



Si se establece el orden según el eje de posición de la curva de áreas seccionales, se comienza por la extensión de la zona de popa.

$$L_{Popa} = 4,08 * \sqrt{C_M * B * T}$$

$$L_{Popa} = 4,08 * \sqrt{0,991 * 58 * 16,5}$$

$$L_{Popa} = 125,65 \text{ m}$$

El cálculo numérico corresponde con lo establecido en las formas representadas por la curva de áreas seccionales.

Ahora se realiza el cálculo de la extensión del cuerpo cilíndrico, al igual que en el caso anterior, de la forma establecida en la asignatura de la asignatura "Proyectos del buque y artefactos I". Se muestran a continuación los rangos de cálculo según el coeficiente de bloque del buque proyecto.

$C_b \geq 0,8$	$0,30 * L_{pp} \leq L_{Cilindrico} \leq 0,35 * L_{pp}$
$0,7 \leq C_b < 0,8$	$0,15 * L_{pp} \leq L_{Cilindrico} \leq 0,20 * L_{pp}$
$C_b < 0,7$	0

De acuerdo con la tabla anterior, nuestro buque proyecto se corresponde con el segundo rango ya que el coeficiente de bloque que resulta de las formas tal como se mostrará en las tablas comparativas que se expondrán mas adelante tiene un valor de 0,785. Si se sustituye, el rango quedará:

$$0,15 * 382,4 \leq L_{Cilindrico} \leq 0,20 * 382,4$$

$$57,4 \text{ m} \leq L_{Cilindrico} \leq 76,5 \text{ m}$$

Debido a que el cuerpo cilíndrico es bastante acusado en estos buques y de acuerdo a los resultados obtenidos en el software, representados en la curva de áreas seccionales, se escogerá el valor superior del rango, es decir, 77 m.

Por último, el cuerpo de proa quedará definido como el resto de la eslora que no son ni el cuerpo de popa ni el cuerpo cilíndrico, tal y como se muestra a continuación:

$$L_{Proa} = L_{Total} - L_{Popa} - L_{Cilindrico}$$

$$L_{Proa} = 399,8 - 126 - 77$$

$$L_{Proa} = 197 \text{ m.}$$

Se pueden comprobar los resultados en el gráfico de áreas seccionales, los cuales aparentemente se corresponden.

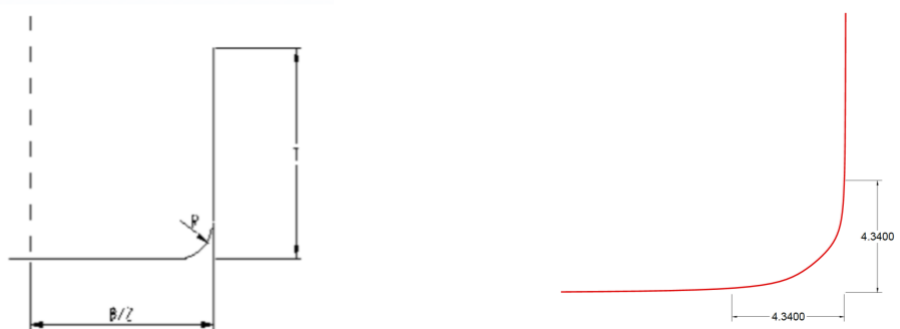
En comparación el buque de referencia, los resultados son bastante aproximados, lo cual es coherente, pues a partir de éste se han desarrollado las formas del buque proyecto.

7.3 Radio de Pantoque y Astilla Muerta

En este apartado se desarrolla la astilla muerta y el radio de pantoque el buque objeto de diseño en este Trabajo Fin de Grado.

En cuanto a la astilla muerta, al este tipo de buques considerados de fondo plano, será nula, o normalmente tan reducida que se puede considerar cero.

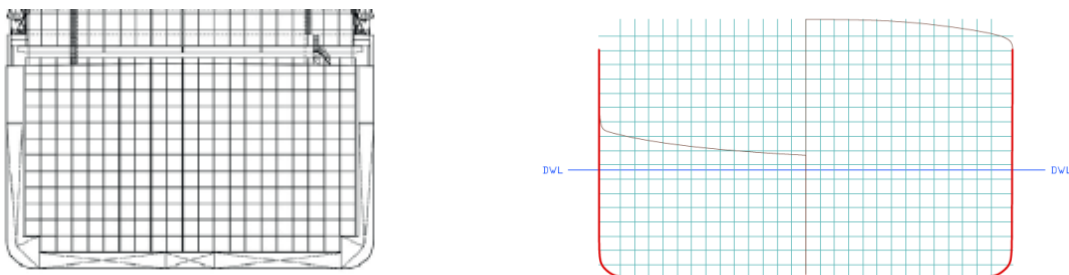
Por otra parte, el radio de pantoque será reducido, al tener este buque los costados planos al igual que el fondo. Se comprobará este valor por medio de lo explicado en la clase y los apuntes de la asignatura "Proyectos del buque y artefactos I".



$$R = \sqrt{2,33 * (1 - C_M) * B * T}$$
$$R = \sqrt{2,33 * (1 - 0,991) * 58 * 16,5}$$
$$R = 4,48 \text{ m}$$

El radio de pantoque será calculado en la sección maestra del buque proyecto, tal y como se representa en la figura anterior, la cual es la sección del buque proyecto.

Si se compara la sección del buque proyecto con el buque de referencia en cuanto a radio de pantoque y astilla muerta se refiere, tienen gran similitud, tal como se muestra a continuación



7.4 Doble Fondo y Cámara de Máquinas

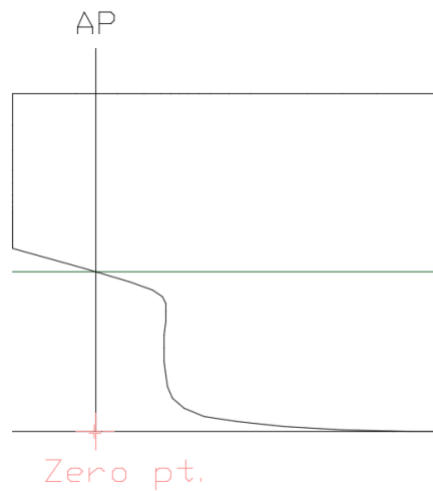
Al estar ante un buque portacontenedores, las formas serán bastante amplias en cuanto a manga, por lo que no habrá problemas para situar la cámara de máquinas, además de que ésta solo lleva un motor propulsor, el cual se sitúa a unos 60 metros de la perpendicular de popa donde las formas del buque ya comienzan a ser más llenas.

En cuanto al doble fondo, no se encontrará problema, como se podrá demostrar en el cuaderno 4, debido a que ya se tuvo en cuenta a la hora del diseño de las formas.

8 CONTORNO DE POPA

8.1 Perfil de Popa

Las formas de popa del buque proyecto serán muy semejantes a las del buque de referencia. Como se explico al inicio de este cuaderno, se tiene espejo de popa, así como unas formas afiladas en la zona de la obra viva. A continuación, se muestra un esquema de la popa del buque proyecto.



Para el cálculo del contorno de popa es necesario que en una primera instancia se haga una estimación del diámetro de la hélice propulsora, para poder comprobar después que los huelgos son los correctos de acuerdo con lo establecido en la sociedad de clasificación escogida en la RPA. Para ello se sigue el proceso que se muestra a continuación.

Esta estimación se utiliza la fórmula expuesta en el libro “El proyecto básico del buque mercante”:

$$DP = 15,75 * \frac{MCO^{0,2}}{N^{0,6}}$$

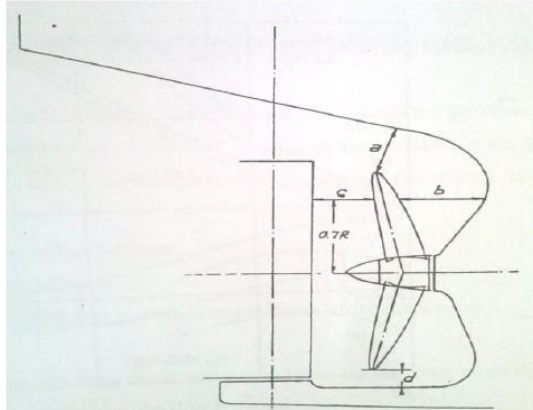
Sustituyendo los datos del buque proyecto se obtiene:

$$DP = 15,75 * \frac{70074^{0,2}}{80^{0,6}}$$

$$DP = 10,6 \text{ m}$$

8.2 Huelgos entre hélices y casco

A continuación, es necesario obtener los huelgos que son fundamentales para el correcto funcionamiento del propulsor. Para ello se han utilizado una serie de expresiones que se encuentran en el libro “El proyecto básico del buque mercante”. En este libro se expresan diferentes opciones según la sociedad de clasificación, en el caso del buque que se desarrolla en este Trabajo Fin de Grado, y tal como se muestra en la correspondiente RPA, se utiliza la sociedad de clasificación Det Norske Veritas (DNV), a la que corresponden las siguientes:



$$a = (0,24 - 0,01 * Z) * DP$$

$$b = (0,35 - 0,02 * Z) * DP$$

$$c = 0,1 * DP$$

$$d = 0,035 * DP$$

Sustituyendo en las ecuaciones anteriores con los parámetros correspondientes al buque proyecto y siendo:

- Z el número de palas del propulsor, se considera que se tiene 4 palas.
- DP la estimación del diámetro del propulsor

Se obtiene el valor de cada uno de los huelgos resumidos en la tabla siguiente:

PARÁMETRO	VALOR
a	2,12 m
b	2,862 m
c	1,06 m
d	0,371 m

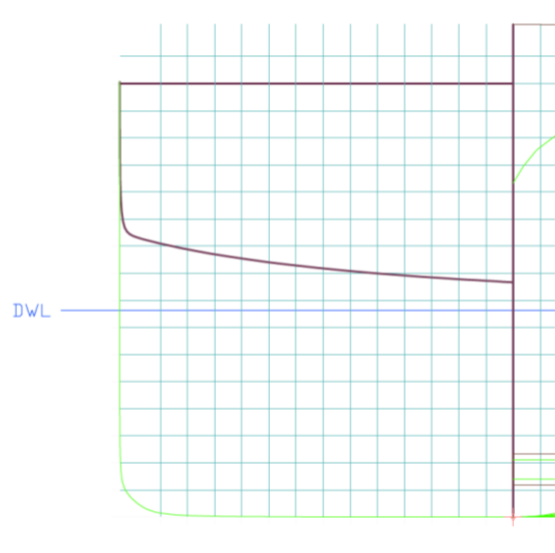
Por último, tal como muestra la imagen, se tiene una nueva dimensión, $0,7 * R$, que, en el caso de este buque, y según la estimación del diámetro del propulsor será:

$$0,7 * \frac{DP}{2} = 0,7 * \frac{10,6}{2} = 3,71 \text{ m}$$

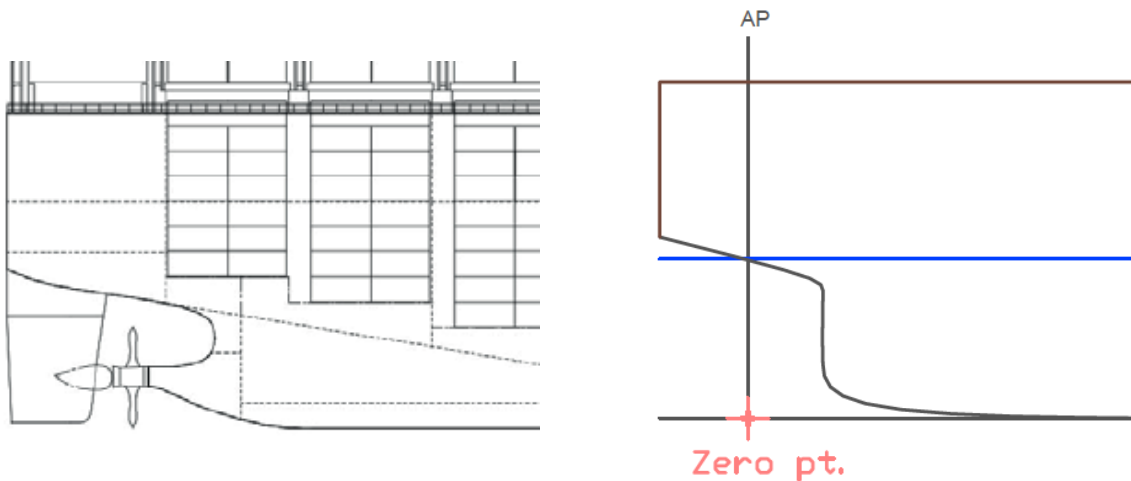
8.3 Espejo de popa

En cuanto al espejo de popa, como ya se ha comentado es muy común en este tipo de buques.

En este apartado lo único que se podrá hacer será comparar los resultados del buque proyecto con las formas del espejo en el buque de referencia. A continuación, se muestra un esquema del buque proyecto



Si bien es cierto que no se tiene un esquema que muestre el espejo de popa del buque de referencia se pueden comparar los perfiles, donde se ve la dimensión del puntal del espejo de popa.



Tal como se puede ver en los esquemas anteriores, los puntales de ambos espejos son similares.

9 GENERACIÓN DEL PLANO DE FORMAS

9.1 Formas del buque de partida

En el caso de este Trabajo Fin de Grado, se ha escogido un buque de la base de datos del Software "Maxsurf" como punto de partida para la obtención de las formas deseadas. Es aconsejable que el buque inicial tenga características similares a las que se han calculado anteriormente.

Se ha escogido un portacontenedores de menor eslora (ContainerShip_1Surface), y con un coeficiente de bloque bastante menor que el que se quiere obtener debido a que en la base de datos no se encuentran buques de mayor tamaño o que se ajusten mejor. A continuación, se muestra la información sacada de Maxsurf sobre dicho buque inicial.

MEASUREM	VALUE	UNITS
Displacement	8043	t
Volume (displaced)	7846,984	m ³
Draft Amidships	6,6	m
Immersed depth	6,6	m
WL Length	99,986	m
Beam max extents on WL	18	m
Wetted Area	2414,657	m ²
Max sect. area	117,673	m ²
Waterpl. Area	1396,763	m ²
Prismatic coeff. (Cp)	0,667	
Block coeff. (Cb)	0,661	
Max Sect. area coeff. (Cm)	0,991	
Waterpl. area coeff. (Cwp)	0,776	
LCB length	48,969	from zero pt. (+ve fwd) m
LCF length	45,473	from zero pt. (+ve fwd) m
LCB %	48,976	from zero pt. (+ve fwd) % Lwl
LCF %	45,48	from zero pt. (+ve fwd) % Lwl
KB	3,501	m
KG fluid	0	m
BMt	3,896	m
BML	101,973	m
GMt corrected	7,397	m
GML	105,474	m
KMt	7,397	m
KML	105,474	m
Immersion (TPc)	14,317	tonne/cm
MTc	84,835	tonne.m

RM at 1deg = GMt.Disp.sin(1)	1038,369	tonne.m
Length:Beam ratio	5,555	
Beam:Draft ratio	2,727	
Length:Vol ^{0.333} ratio	5,032	

Se adjunta el plano de formas del buque inicial como **Anexo 2_Formas Buque Inicial**.

Para tener una idea más general sobre la relación entre el buque inicial y el buque que se busca, se muestra una comparativa de los principales coeficientes de ambos:

	C. Bloque	C. Flotación	C. Maestra	C. Prismático
C. Calculados	0.7996	0,9157	0,9964	0,8025
Buque inicial	0,661	0,776	0,991	0,667

9.2 Obtención de las formas finales

Una vez seleccionado el buque inicial de la base de datos del programa, se procede a modificarlo. Se han planteado según las dimensiones que se quieren obtener, una serie de líneas de agua, secciones transversales y secciones longitudinales, de manera que la distancia entre ellas será menor en las zonas más críticas y mayor en el cuerpo cilíndrico del buque proyecto.

A continuación, se escala el modelo aplicando las dimensiones y coeficientes del buque final, sin olvidar que se deben situar tanto las perpendiculares de proa y popa como la sección maestra, además de la línea base, en el sitio donde corresponde.

Se tienen por tanto 79 secciones transversales a lo largo de la eslora total, 14 secciones longitudinales repartidas en la manga total, y 18 líneas de agua repartidas en la totalidad del puntal.

En este caso, y tal como se calculó anteriormente, se ha tenido que modificar el bulbo por medio del desplazamiento de puntos, hasta llegar a las dimensiones correspondientes.

En la siguiente tabla se muestran los resultados del buque final, para poder ser comparados con los que teníamos anteriormente.

MEASUREM	VALUE	UNITS
Displacement	299292	t
Volume (displaced)	291991,757	m ³
Draft Amidships	16,5	m
Immersed depth	16,5	m
WL Length	382,95	m
Beam max extents on WL	57,97	m
Wetted Area	29567,886	m ²
Max sect. area	947,264	m ²
Waterpl. Area	19685,121	m ²

Prismatic coeff. (Cp)	0,805	
Block coeff. (Cb)	0,797	
Max Sect. area coeff. (Cm)	0,994	
Waterpl. area coeff. (Cwp)	0,887	
LCB length	188,623	from zero pt. (+ve fwd) m
LCF length	182,613	from zero pt. (+ve fwd) m
LCB %	49,255	from zero pt. (+ve fwd) % Lwl
LCF %	47,686	from zero pt. (+ve fwd) % Lwl
KB	8,629	m
KG fluid	0	m
BMt	16,852	m
BML	681,58	m
GMt corrected	25,481	m
GML	690,209	m
KMt	25,481	m
KML	690,209	m
Immersion (TPc)	201,772	tonne/cm
MTc	5402,03	tonne.m
RM at 1deg = GMt.Disp.sin(1)	133095,207	tonne.m
Length:Beam ratio	6,606	
Beam:Draft ratio	3,513	
Length:Vol ^{0.333} ratio	5,772	

Es de interés la siguiente tabla comparativa entre las diferentes dimensiones que se han manejado para la transformación. En primer lugar, los datos obtenidos de la alternativa más favorable seleccionada en el cuaderno 1 de este mismo Trabajo Fin de Grado. En segundo lugar, todas las características principales del buque inicial que se escogió en la base de datos del programa "Maxsurf", y por último las del buque obtenido a partir de las formas finales tras las modificaciones ya comentadas.

	ALTERNATIVA	BUQUE INICIAL	BUQUE FINAL
Eslora total (LOA)	398 m	116,18 m	399,8 m
Eslora entre perpendiculares (L_{PP})	374,38 m	105 m	382 m
Manga (B)	57,97 m	19,5 m	58 m
Calado (T)	15,25 m	7,239 m	16,5 m
Puntal (D)	31,59 m	10,62	32 m
Desplazamiento (Δ)	294 924 ton	11 164 ton	299 292 ton

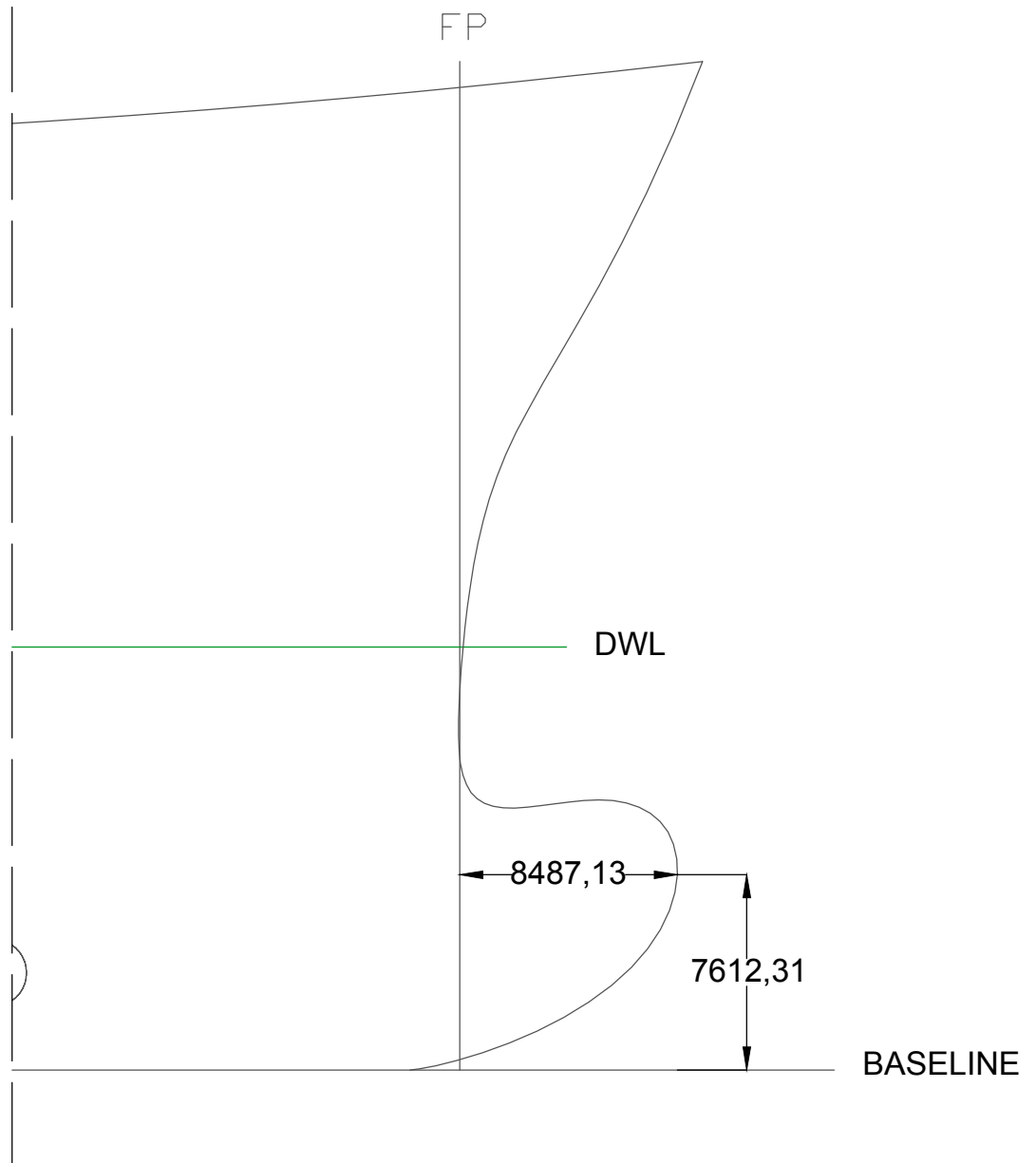
	ALTERNATIVA	BUQUE INICIAL	BUQUE FINAL
Coeficiente de Bloque (C_B)	0,799	0,661	0,797
Coeficiente Prismático (C_P)	0,803	0,667	0,805
Coeficiente de la Maestra (C_M)	0,996	0,991	0,994
Coeficiente de la flotación (C_f)	0,915	0,776	0,887

Como consecuencia, las dimensiones y coeficientes principales del buque a partir de ahora serán las que se extraen de Maxsurf como buque final y que se presentan a continuación:

ESLORA TOTAL (Loa)	399,8 m.
ESLORA PERPENDICULARES (Lpp)	382,4 m.
MANGA (B)	58 m.
PUNTAL (D)	32 m.
CALADO (T)	16,5 m.
DESPLAZAMIENTO (Δ)	299292 ton
VELOCIDAD (V)	20 kn

Nº DE FROUD	0,1698
COEFICIENTE DE BLOQUE	0,797
COEFICIENTE DE LA MAESTRA	0,994
COEFICIENTE PRISMÁTICO	0,887

10 ANEXO I: PLANOS

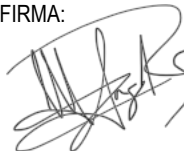


UNIVERSIDADE DA CORUÑA
ESCOLA POLITÉCNICA SUPERIOR



PROYECTO: BUQUE PROTACONTENEDORES DE 20000 TEUS ADAPTADO A RUTA ASIA - EUROPA

TÍTULO PLANO: FORMAS DE PROA

FIRMA:


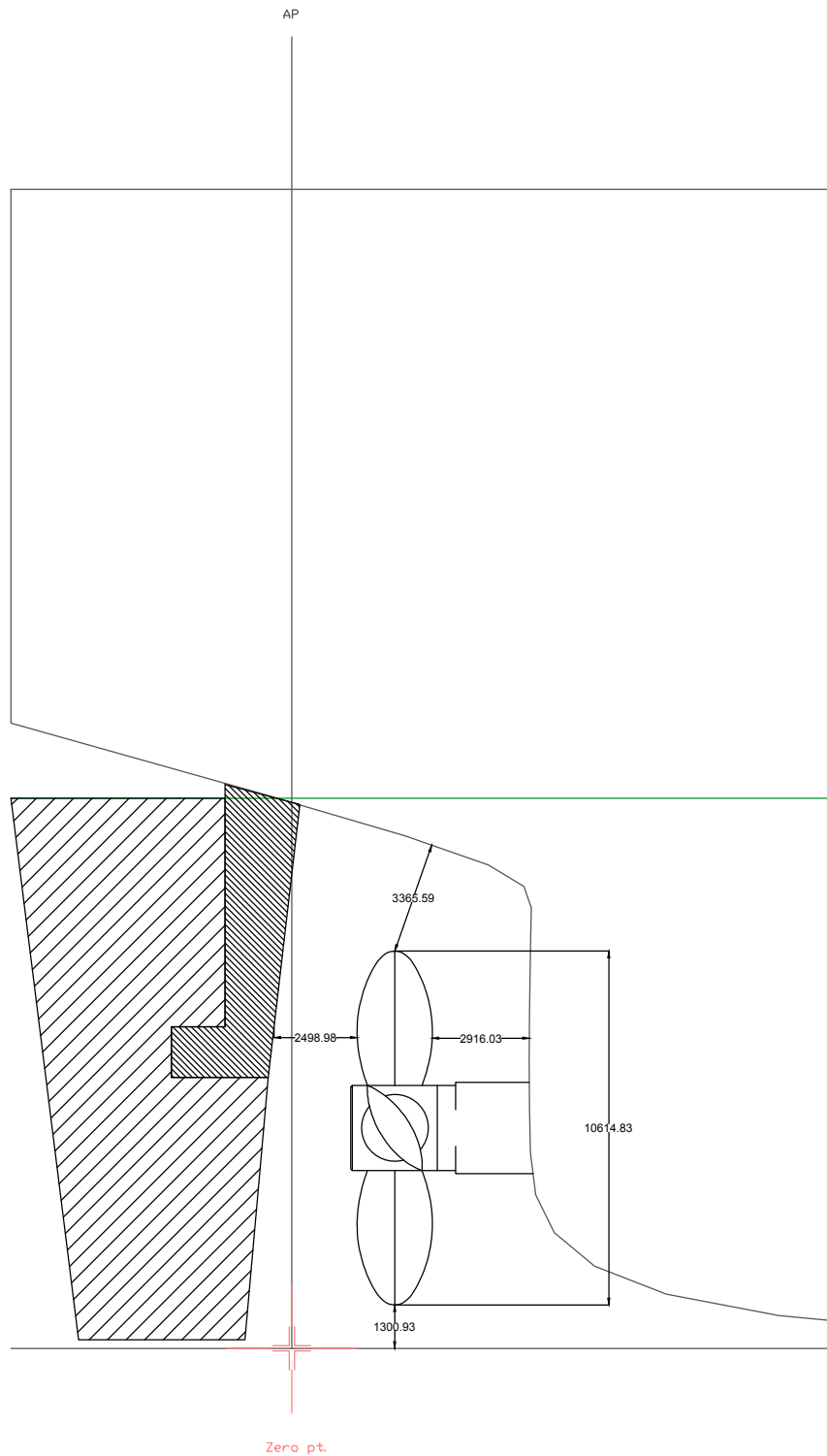
ESCALA: 1:280

FORMATO: A3

FECHA: SEPTIEMBRE 2021

AUTOR: MIGUEL ÁNGEL RODRÍGUEZ GONZÁLEZ

Nº DE PLANO: 01/05

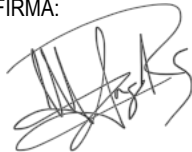


UNIVERSIDADE DA CORUÑA
ESCOLA POLITÉCNICA SUPERIOR



PROYECTO: BUQUE PROTACONTENEDORES DE 20000 TEUS ADAPTADO A RUTA ASIA - EUROPA

TÍTULO PLANO: FORMAS DE POPA

FIRMA: 

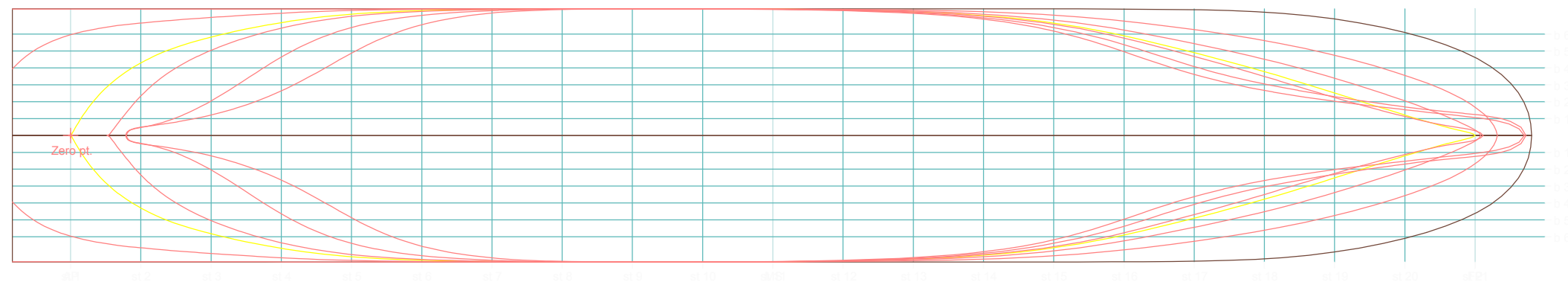
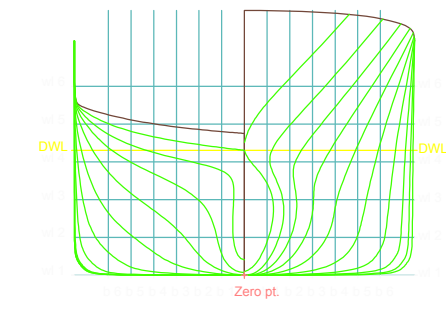
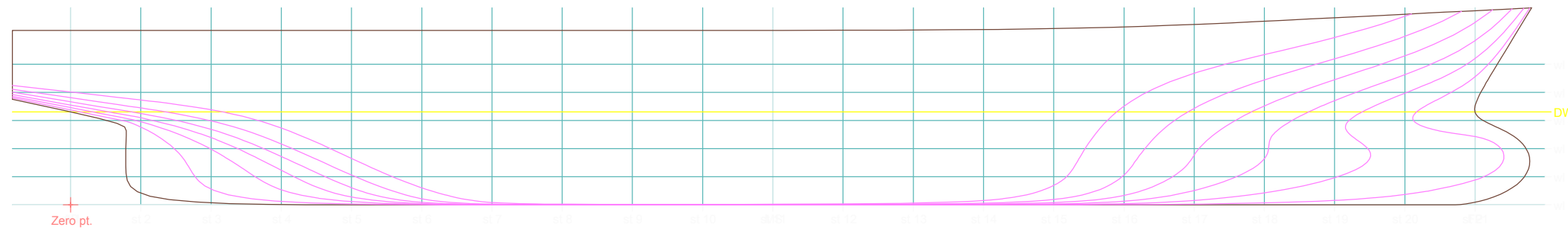
ESCALA: 1:220

FORMATO: A3

AUTOR: MIGUEL ÁNGEL RODRÍGUEZ GONZÁLEZ

FECHA: SEPTIEMBRE 2021

Nº DE PLANO: 02/05



UNIVERSIDADE DA CORUÑA
ESCOLA POLITÉCNICA SUPERIOR



PROYECTO: BUQUE PROTACONTENEDORES DE 20000 TEUS ADAPTADO A RUTA ASIA - EUROPA

TÍTULO PLANO: FORMAS DEL BUQUE DE PARTIDA

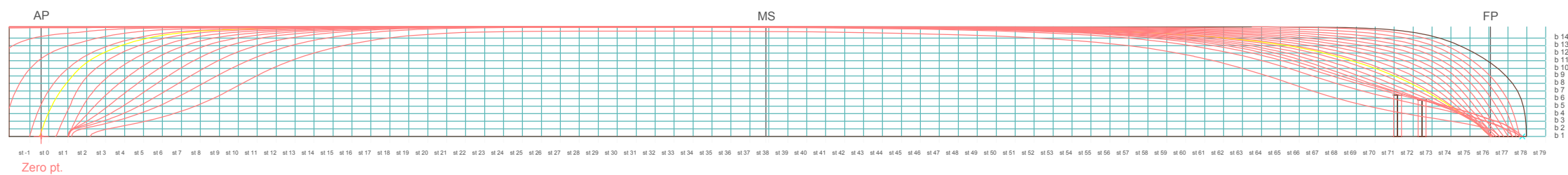
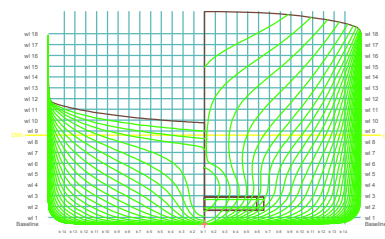
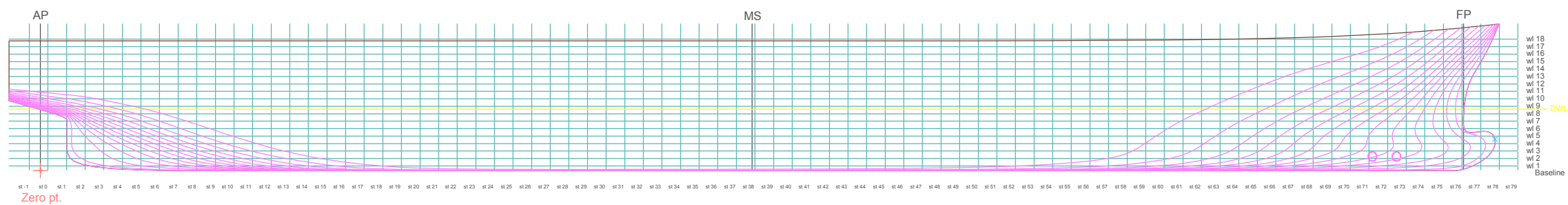
FIRMA:

ESCALA: 1:400 FORMATO: A3

AUTOR: MIGUEL ÁNGEL RODRÍGUEZ GONZÁLEZ

FECHA: SEPTIEMBRE 2021

Nº DE PLANO: 03/05



UNIVERSIDADE DA CORUÑA
ESCOLA POLITÉCNICA SUPERIOR



PROYECTO: BUQUE PROTACONTENEDORES DE 20000 TEUS ADAPTADO A RUTA ASIA - EUROPA

TÍTULO PLANO: FORMAS DEL BUQUE PROYECTO

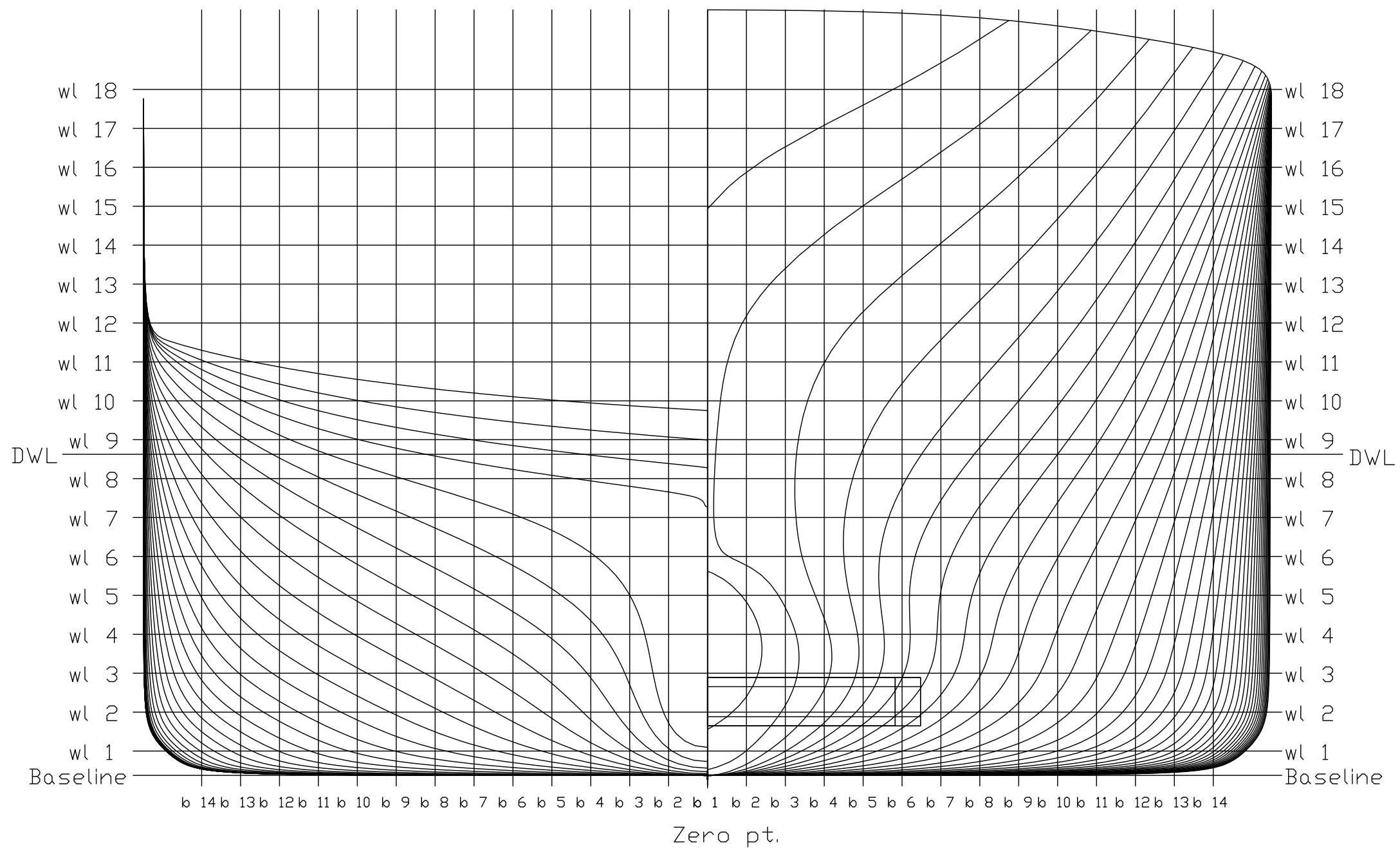
FIRMA:

ESCALA: 1:1400 FORMATO: A3

AUTOR: MIGUEL ÁNGEL RODRÍGUEZ GONZÁLEZ

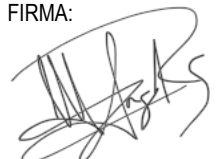
FECHA: SEPTIEMBRE 2021

Nº DE PLANO: 04/05



UNIVERSIDADE DA CORUÑA
ESCOLA POLITÉCNICA SUPERIOR



PROYECTO: BUQUE PROTACONTENEDORES DE 20000 TEUS ADAPTADO A RUTA ASIA - EUROPA			
TÍTULO PLANO:	SECCIONES DEL BUQUE PROYECTO	FIRMA:	ESCALA: 1:250
AUTOR:	MIGUEL ÁNGEL RODRÍGUEZ GONZÁLEZ		FORMATO: A3
			FECHA: SEPTIEMBRE 2021
		Nº DE PLANO: 05/05	