UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA
Escuela Universitaria de Ingeniería Naval y Oceánica

PROYECTO FIN DE CARRERA

ESTUDIO DE LA BOTADURA DEL ATUNERO MARÍA DE LOS ÁNGELES

Titulación: Ingeniero Técnico Naval: Especialidad en estructuras marinas.

Alumno: Juan García Miralles
Directores: Mª Concepción Bermúdez Edo
Sergio Amat Plata

Índice general

Capítulo 1

Objetivos

El objetivo de este proyecto es determinar si la botadura de un atunero va a ser satisfactoria, en el aspecto de la estabilidad inicial y comportamiento del buque en la grada con las características iniciales, o si es necesario hacer algún cambio. Para ello se seguirán los siguientes pasos:

1. Obtención de las curvas de Bonjean.
2. Obtención de las curvas hidrostáticas o carenas rectas.
3. Estudio de los momentos críticos: giro, arfada y saludo. Es decir, obtención de la evolución del volumen sumergido del buque en la botadura así como la evolución del centro de gravedad del mismo.
4. Estudio de la estabilidad inicial en el momento del giro y cuando el buque empieza a flotar libremente.

Capítulo 2

Introducción.

La botadura es el proceso mediante el cual cualquier buque, después de construido o carenado, es puesto a flotar en el agua. Existen diversas formas de realizar el proceso de botadura, dependiendo de las características del buque así como de las instalaciones del astillero, grada o dique seco o taller; generalmente, situadas junto a la línea de separación con el agua.

En el caso de estudio, el buque es construido en una grada donde el casco se le conoce por un número, entonces, la botadura es la operación que culmina la construcción del buque, y mediante la cual se transfiere a éste, desde la grada, a flotar como buque.

Múltiples precauciones tendrán que ser tomadas, para transferir las miles de toneladas de acero, desde la grada o dique hasta el agua.

La tarea consiste brevemente, en cambiar el peso del buque que gravita sobre la cama de construcción y que ha sido elaborada debajo del buque, antes de poner su quilla; a la cama de lanzamiento que se elabora debajo del buque, pero cuando ya está construido y no falta mucho para su botadura.

En ocasiones si la zona disponible para ser recorrida por el barco en el lanzamiento después de abandonar la grada es muy pequeña, pueden botarse los barcos de costado.

2.1. Cama de construcción

Sobre el piso o firme de la grada de construcción del astillero, se construye lo que se llama cama de construcción, cuya misión, entre otras, es facilitar el trabajo de los soldadores y otros en el fondo del buque, en su parte exterior; y además permitir la colocación de la cama de lanzamiento, así como la del plano inclinado que forman las camas de imadas, por encima de las cuales se va a deslizar dicha cama o cuna junto con el buque, hasta el agua.

En la figura 2.1, vemos el fondo de un buque plano, apoyado en su cama de construcción, formada por tres hileras de apoyos longitudinales. El apoyo del centro recibe el nombre de picaderos centrales, y están formados por:

1. Picadero base, formado de bloques normalmente de madera, de quita y pon, situados en el eje de simetría del piso de la grada.

2. Dos cuñones de madera.

3. Otro picadero, formado por bloques de madera de forma prismática.

4. Caja de arena: Consiste en una caja prismática, una de cuyas áreas se puede deslizar verticalmente mediante una corredera, y que en su interior tiene un saquete de arena.

5. Solera, bloque de madera que se apoya directamente en el saquete de arena de la caja descrita anteriormente.

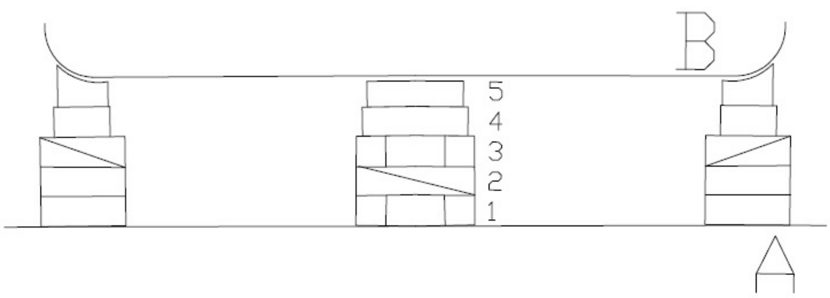

Figura 2.1:

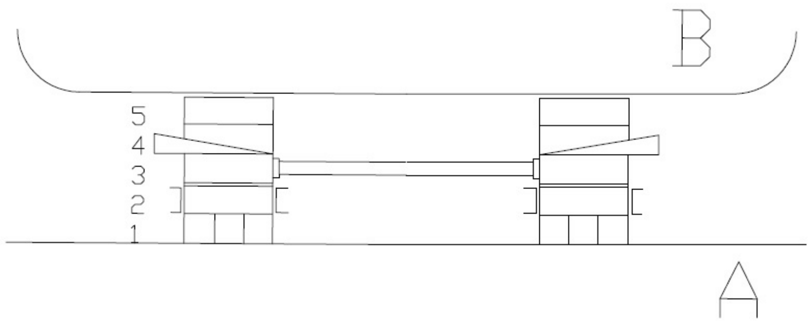

Figura 2.2:

A. Piso de la grada.
B. Fondo plano del buque.

La altura total de los picaderos centrales oscila de 1,20 metros a 1,50. Igualmente son los apoyos del pantoque, solo que no suelen tener el mismo firme que los de la quilla. Al conjunto de los apoyos del pantoque, se les llama calzadas o almohadas de pantoque.

2.2. Cama de lanzamiento o cuna

Cama de lanzamiento o cuna, y plano de inclinación de lanzamiento llamado cama de imadas o simplemente imadas.

Los dibujos de las figuras 2.1 y 2.2 se corresponden, o sea, que se pueden superponer, para más claridad es por lo que se representan por separado. En la figura 2.1, el peso del buque se apoya totalmente en la cama de construcción. Entonces en el momento oportuno (función del ritmo de la construcción del buque y tiempo que falta para la botadura), se empieza a construir debajo de él, la cama de lanzamiento o cuna, y la cama de imadas por donde se va a deslizar la cuna con el buque.

En la figura 2.2 tenemos la sección transversal en las proximidades de la sección media del mismo buque anterior, gravitando ahora exclusivamente sobre su cama de lanzamiento, y ya con la cama de construcción deshecha, y listo para la botadura.

Observando dicha figura 2.2 tenemos:

a) Los bloques prismáticos de madera (1) y (2) forman la cama de imadas (constituyen una especie de raíles de deslizamiento) afirmadas al piso o firme de la grada y que en su recorrido llegan hasta a sumergirse en el agua, de acuerdo con las necesidades de la botadura, como ya estudiaremos más adelante.

b) El bloque número (3) se llama anguila. Esta está forman digamos como el patín de la cama de deslizamiento, y se deslizan sobre la pista, formada por las imadas. La separación transversal entre imadas es de un tercio del la manga del buque. Las anguilas a veces van unidas entre si por una barra transversal rígida, y en sentido longitudinal forman bloques independientes. A veces van unidas a la cubierta superior del buque, en sentido vertical, mediante cables (sujeción de la cama de lanzamiento o cuna al buque, para que se mantengan unidos al flotar éste). La unión de las anguilas al fondo del buque, se hace, a través de las cuñas y embonos de apoyo, en función naturalmente del enorme peso del buque que gravita sobre el conjunto. Las cuñas y embono tienen los números (4) y (5).

c) Veamos ahora brevemente cómo pasa el peso del buque a gravitar, desde la cama de construcción a la de lanzamiento.

Con el buque apoyado en la cama de construcción, se construye la cama de imadas, en primer lugar.

Después sobre las imadas y habiendo dado previamente una sustancia deslizante de rozamiento, se colocan encima y de una forma ordenada en sentido longitudinal, los distintos bloques formados por las anguilas. Para este menester, o sea, para colocar las anguilas encima de las imadas, debe haber una distancia cómoda entre el fondo del buque y la superficie alta de las imadas. Colocados los bloques de las anguilas, debe quedar una altura vertical entre la superficie superior de estas y el fondo del buque, de más de de 150 milímetros, para encajar las cuñas y embonos, mencionados anteriormente; se colocan ambos por encima de las anguilas, pero sin que las cuñas aprieten todavía el embono sobre el fondo del buque, o sea, pasarlo a gravitar casi por completo sobre las cama de lanzamiento.

En estas condiciones hay dos caminos a seguir, según el tonelaje de los buques: En los de poco tonelaje, a todo lo largo de su eslora, y en forma preparada de antemano, se empiezan a golpear estas cuñas, que acabarán levantando el buque, lo suficiente, para que gravite sobre la superficie de rozamiento anguila-imada, y por tanto, ya se puede deshacer la cama de construcción, que ha quedado libre de la presión producida por el peso del buque.

En los buques de gran tonelaje, no se levantan éstos, sino lo que se hace es bajarlos; para lo cual, se aprietan las cuñas como las anteriores, cuando se considera suficientemente acuñado, se actúa sobre las cajas de arena que ya hemos explicado. Recordemos, que una de las tapas laterales de la caja es de corredera; todas las tapas laterales de las distintas cajas se van abriendo, después al saquete de arena que hay dentro, se le da una cuchillada; la arena empieza a salir, presionada por el bloque de madera que gravita sobre ella (solera), que a su vez está presionada por el peso del buque. En resumen que la solera entra como un pistón dentro de la caja de arena, y con ello baja el buque.

Con esta bajada, el buque pasa a apoyarse en el tándem anguilas-imadas, y deja libre la cama de construcción la que puede deshacerse parcialmente a continuación, para la botadura.

Los santos de proa y popa son los nombres que se le da, a la cama de lanzamiento del buque en las zonas de proa y popa; a ninguno nos cabe duda, a la vista de las formas del buque, que una cuna cama de lanzamiento tan simple como la formada por las anguilas no es válida para las zonas de proa y popa con formas tan especiales y la de popa con tanto voladizo; aunque ya veremos que la zona de proa es especial por otras razones. Los santos de proa descansan sobre cartabones, fuertemente soldados a una braga de acero con la sección del casco. Esta braga va sujeta al casco, con acolladores, y la distancia entre ella y el casco se rellena de madera blanda, chopo o similar.

Los santos de popa tienen una única misión, que es la de evitar que quede en voladizo una parte importante de la eslora, para lo cual suministra suficiente apoyo vertical.

En la siguiente foto se pueden observar los santos de proa en color blanco

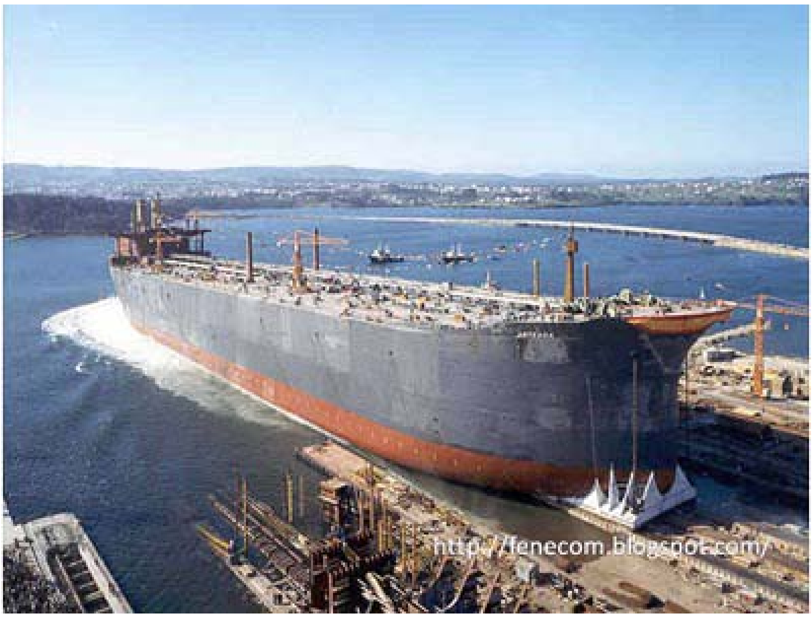

Figura 2.3:

2.3. Elementos y dispositivos de lanzamiento

Un buque debe ser construido en plano inclinado, para que cuando quede libre, se precipite hacia el agua. El ángulo de inclinación debe ser de entre unos 2 o 4 grados.

No hace falta decir que el terreno (el piso o firme de la grada de construcción) será inclinado también, para que la zona de proa del buque no alcance una excesiva altura sobre el terreno.

Un exceso de altura en la zona de proa, trae consigo, una excesiva altura en los picaderos, apoyos de pantoque, y andamiaje de trabajo.

Debido a todo esto, es costumbre para el piso de la grada o basada, tomar una pendiente de alrededor de 0,8 grados

También se sabe, que el principal apoyo durante la construcción del buque, consiste en una línea de picaderos centrales; la selección de la pendiente de ellos es una complicada e importante tarea.

La pendiente de la línea de picaderos, debe ser mayor que la de la basada, y normalmente oscila entre 2 y 2,5 grados.

Varios factores deben ser considerados para llegar al exacto grado de pendiente de los picaderos. Entre otros a considerar tenemos:

1) La altura de los picaderos debe ser de manera que cubran a un hombre de pie, para que se pueda trabajar cómodamente sobre el piso de la grada y debajo del fondo del buque, Recordamos que el ángulo de la pendiente de la quilla no debe ser demasiado grande, para que el bloque de la proa no quede demasiado alto

2) La distancia entre el fondo del buque y las imadas, no debe ser demasiado grande, y además éstas se construirán a poca altura sobre el terreno.

3) Si esta distancia vertical es demasiado grande, cuando la proa deje de apoyarse en las imadas, el cabeceo del buque puede ser demasiado grande (posible amplio saludo), habiendo agua bastante por debajo, no ofrece gran problema.

En cuanto a la pendiente de la cama de imadas, debe ser lo suficiente, para vencer la fricción entre anguilas e imadas, y no demasiado, para no aumentar el problema del frenado de carrera del buque, cuando este se desliza dentro del agua. Generalmente se puede decir, que a mayores buques, menor grado de pendiente escogido para las camas de imadas.

Finalmente se puede decir, que la altura de los picaderos centrales depende directamente de la pendiente requerida por la cama de imadas.

2.4. Momentos críticos

En las figuras 2.4 y 2.5 podemos ver los momentos críticos.

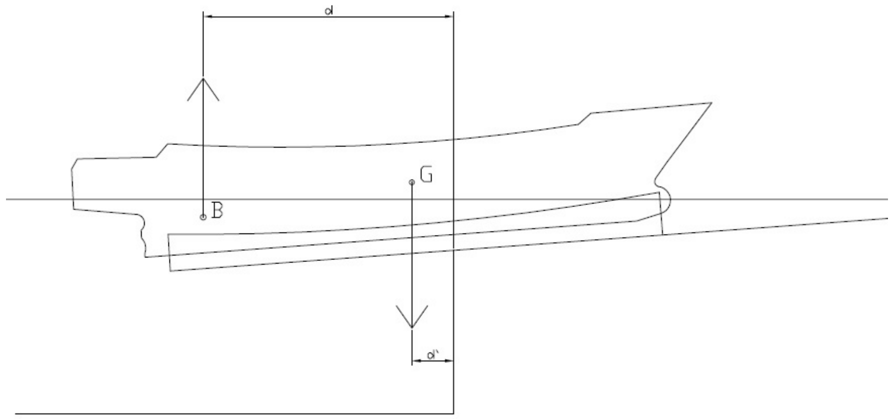

Figura 2.4:

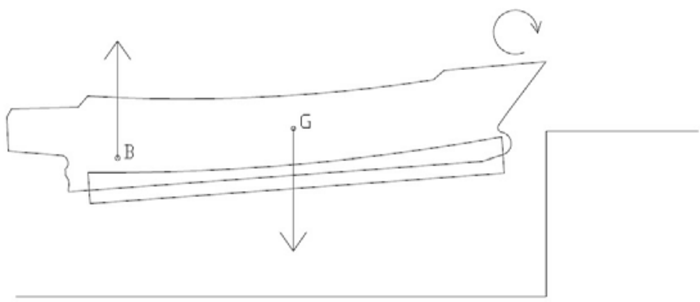

Figura 2.5:

A) Momento en que comienza el giro o pivoteo de la proa

Este momento es el de la figura 2.4, cuando la acción del empuje levanta la popa, mientras la proa sigue apoyada en las imadas, a través de los santos de proa, presentando por tanto aquí, una considerable concentración de esfuerzos.

B) Momento en que se puede presentar la posibilidad de arfada

Este accidente se puede presentar simultáneamente con el efecto anterior, por la tendencia a caerse la popa por falta del debido empuje, levantando por tanto la proa.

Trae como consecuencia un exceso de fatiga en la zona del buque (proximidad de la sección media), que se apoya en ese momento sobre los extremos del camino de imadas.

C) Momento en que se puede presentar el movimiento saludo

Si el buque no ha ido girando durante su recorrido sobre las imadas, en sentido longitudinal sobre un eje transversal, el ángulo $(a - i)$, siendo a el ángulo que forma la línea de imadas con la horizontal, e i el asiento del buque cuando flote; al llegar su proa al final de las imadas, hace el giro de una vez, y por tanto cae bruscamente, dando un violento cabeceo, que se conoce con el nombre de saludo.

Habría serios problemas si el saludo fuera amplio, y no hubiera agua suficiente al pie de los extremos de los caminos de imadas, por el peligro de que el pie de roda golpee el fondo.

2.5. Descripción de los 5 periodos de la botadura

En la operación de lanzamiento se pueden considerar los cinco periodos siguientes:

1) Período durante el cual, se apoya toda la cuna sobre las imadas, sin que el agua toque ni al buque ni a su cama.

2) Período desde que el agua moja los santos de popa, hasta que el buque inicia el giro o pivoteo alrededor de los santos de proa.

3) Período durante el cual, el buque solo se apoya en un punto de su plano de crujía

4) Período desde que la cuna abandona las imadas, hasta que empiezan a actuar las retenidas.

5) Período entre el instante en que empiezan a actuar las retenidas, y el momento en que se detiene el buque.

Por lo visto, el problema de la botadura de un buque, es un asunto que envuelve una gran técnica, y que tiene que solucionar el ingeniero naval, para que:

a) El buque no gire longitudinalmente a destiempo, por falta de empuje a popa, apoyándose por tanto en el extremo de las imadas (arfada).

b) El buque pivotee sobre los santos de proa, pero que en ese momento la presión no sea excesiva.

c) El buque posea suficiente estabilidad al flotar.

2.6. Arfada y pivoteo

Si el empuje que sufre la zona de popa cuando ésta se sumerge, no es suficiente, el buque giraría sobre los extremos de las imadas, y la presión en esa zona del fondo del buque, en este caso excesiva, produciría graves averías. Este movimiento del buque, cuando la botadura ha estado técnicamente mal calculada, se le conoce con el nombre de arfada.

Para evitarlo, se prolongan las camas de imadas debajo del agua, o bien se da la suficiente pendiente a dichas imadas, o bien se trae el centro de gravedad del buque hacia proa, para que el momento del peso actuando sobre el extremo de las imadas, no sea mayor, que el momento del empuje respecto del mismo extremo (figura 2.4).

Cuando la popa se levante, todo el peso del buque gravita sobre ese empuje y sobre el apoyo de los santos de proa sobre las imadas.

Uno de los más importantes cálculos en la botadura, es asegurarse, primero que el buque pivoteará y no se caerá de popa; y además que la presión en la zona de pivoteo no sea excesiva.

Para investigar este problema, el ingeniero naval, calcula la posición longitudinal del centro de gravedad del buque; la posición longitudinal del centro de carena debe ser conocida en cada instante de la botadura.

En la figura 2.4, el momento de empuje respecto al eje que pasa por el extremo de las imadas, ya hemos dicho que debe ser siempre mayor que el momento producido por el momento del peso, para evitar la arfada.

Los tanques de lastre pueden ayudar, a cambiar longitudinalmente el centro de gravedad, o también, poniendo flotadores en la popa, se cambia el centro de carena; con lo que se puede actuar sobre el comportamiento del buque durante la botadura. El pivoteo del buque dependerá del momento del peso respecto a los santos de proa y el momento de empuje respecto a ellos también.

Cuando el momento del empuje es mayor que el otro, el buque pivoteará. La presión sobre los santos de proa, mientras que el buque pivotea, es la diferencia entre el peso total del buque y su empuje total en aquel momento.

Esta diferencia se debe mantener en un valor mínimo. En mucho casos es necesario emplear refuerzos internos en la proa, para combatir las fatigas locales producidas por el pivoteo.

Capítulo 3

Conceptos básicos

Casi todos los cálculos en arquitectura naval requieren, en una etapa u otra de su desarrollo, la medida de un área.

Las áreas, normalmente, estén definidas por curvas planas continuas, quedando el problema reducido al cálculo del área comprendida entre una línea recta y la curva. Las ordenadas que definen las curvas pueden representar longitudes, áreas o volúmenes con lo que al integrarlas se obtienen, respectivamente, áreas, volúmenes y momentos. Sin embargo, estas curvas tienen formas tales que la ecuación que representa a cada una de ellas no se determina fácilmente, por lo que no es posible medir el área encerrada por ella por el proceso matemático de integración.

Antes de comenzar con los cálculos necesarios para el estudio de la botadura, es conveniente hacer una serie de definiciones previas para la correcta realización e interpretación de los mismos.

3.1. Momento estático y centroide

Dada una región plana cualquiera, por ejemplo la que se muestra en gris en la siguiente figura,

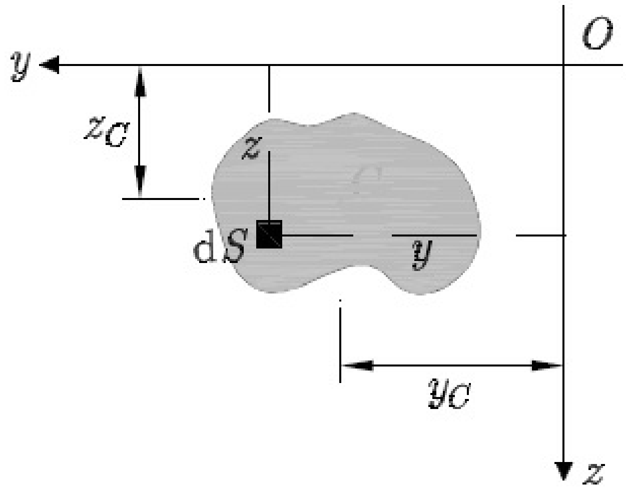

Figura 3.1:

El área S de la misma se obtiene mediante la expresión

$$S = \int_S dS$$

Siendo dS un elemento diferencial de área, con coordenadas y y z respecto a un sistema de referencia cartesiano arbitrario, con origen en O, como el mostrado en la figura. Los momentos estáticos del área con respecto a los ejes y y z, se definen como

$$Q_y = \int_S z * dS$$

$$Q_z = \int_S y * dS$$

Los momentos estáticos pueden ser positivos o negativos, dependiendo de la posición de los ejes y y z.

La obtención del centroide es inmediata a partir de los momentos estáticos, mediante las expresiones

$$y_C = \frac{Q_z}{S} = \frac{\int_S y * dS}{\int_S dS}$$

$$z_C = \frac{Q_y}{S} = \frac{\int_S z * dS}{\int_S dS}$$

Las coordenadas pueden ser positivas o negativas, dependiendo de la posición de los ejes y y z.

Si una región plana es simétrica respecto a un eje, el centro de gravedad debe encontrarse sobre ese eje, como se muestra en la Figura 2 a), ya que el momento estático de un objeto respecto a un eje de simetría es nulo. Si una región plana tiene dos ejes de simetría, el centro de gravedad se encuentra en la intersección de ambos ejes, como se muestra en la Figura 2 b).

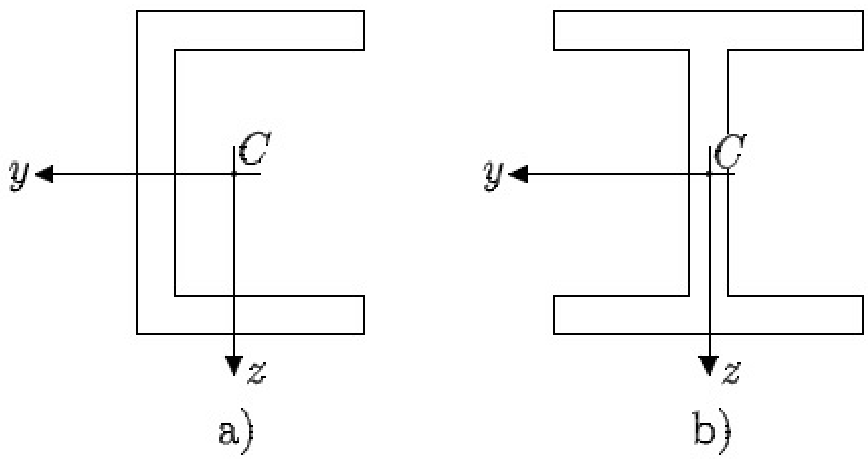

Figura 3.2:

A menudo, un área se puede descomponer en varias figuras simples. Si se conoce el área S_i de cada una de estas figuras y la localización de su centroide (y_{C_i}, z_{C_i}), desde el mismo sistema de referencia, es posible obviar la integración, y calcular las coordenadas del centroide mediante las expresiones:

$$y_C = \frac{\sum_{i=1}^{n} y_{C_i} * S_i}{\sum_{i=1}^{n} S_i}$$

$$z_C = \frac{\sum_{i=1}^{n} z_{C_i} * S_i}{\sum_{i=1}^{n} S_i}$$

Si una de las figuras simples tuviera un agujero, dicho agujero se consideraría como una parte adicional de área negativa.

Así mismo, si hubiera un objeto tridimensional con volumen V, en lugar de una figura plana, su momento M_{yz} respecto a un plano yz quedaría expresado de la siguiente manera

$$M_{yz} = \int_V h * dV$$

donde h es la distancia mínima del diferencial de volumen dV al plano yz.

Y la distancia mínima del centro de gravedad a dicho plano sería

$$h_G = \frac{M_{yz}}{V} = \frac{\int_V h * dV}{\int_V dV}$$

3.2. Momento de inercia

Los momentos de inercia I_y e I_z de una superficie plana con respecto a los ejes y y z, respectivamente, se definen como

$$I_y = \int_S z^2 * dS$$

$$I_z = \int_S y^2 * dS$$

Siendo siempre de signo positivo.

3.3. Teorema de Steiner

El teorema de Steiner o teorema de los ejes paralelos, permite relacionar el momento de inercia respecto a un eje cualquiera con el momento de inercia respecto a un eje paralelo al anterior que pase por el centro de gravedad de la sección.

Para una región plana, tomamos un nuevo sistema de referencia con origen en su centro de gravedad C, y con ejes, Y_C y Z_C , paralelos a los del sistema inicial (Y, Z), siendo d_1 la distancia entre los ejes Y e Y_C y d_2 la distancia entre los ejes Z e Z_C.Como se muestra en la siguiente figura, donde se ha denominado (y, z) a las coordenadas son respecto de este nuevo sistema de referencia.

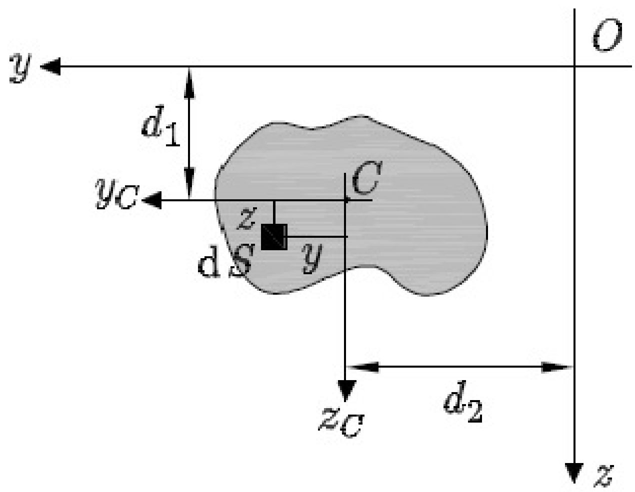

Figura 3.3:

El momento de inercia respecto al eje Y es

$$I_y = \int_S (z + d_1)^2 * dS$$

$$I_y = \int_S z^2 * dS + 2d_1 \int_S z * dS + d_1^2 \int_S dS$$

El primer término del segundo miembro es el momento de inercia, I_{yC}, de la región plana respecto al eje Y_C que pasa por el centroide de la figura. El segundo término es el momento estático de la región respecto al eje Y_C (dicha integral es nula ya que el momento estático respecto a un eje que pasa por el centroide es nulo). La integral que aparece en el tercer término es el área total S de la región. Por lo tanto la ecuación anterior se puede expresar como:

$$I_y = I_{yC} + S * d_1^2$$

De la misma manera, el momento respecto al eje Z se obtiene mediante la expresión

$$I_z = I_{zC} + S * d_2^2$$

El teorema de Steiner o teorema de ejes paralelos, para regiones planas, se expresa de la siguiente forma:

El momento de inercia de una figura plana, con respecto a cualquier eje en su plano, es igual al momento de inercia con respecto a un eje paralelo al anterior y que pase por el centro de gravedad de la figura, más el producto del área por el cuadrado de la distancia entre los dos ejes.

Capítulo 4

Integración numérica

4.1. Introducción.

Para el cálculo de áreas, volúmenes, centros de masas, momentos de inercia, etc., disponemos de fórmulas en las que interviene la integral definida de un función f.

Si conocemos una primitiva F de la función continua f, $(\frac{d}{dx}F(x) = f(x))$, obtenemos el valor de la integral aplicando la regla de Barrow:

$$\int_a^b f(x)dx = F(b) - F(a)$$

En construcción naval en general, y en particular en los cálculos de flotabilidad y estabilidad, se requiere la obtención de los valores de integrales de funciones que dependen de las formas del buque.

Sin embargo, normalmente, en la cartilla de trazado del buque únicamente se da un conjunto discreto de puntos y la representación gráfica de las curvas del buque, pero no conocemos la expresión analítica de las funciones a integrar, por lo cual el concepto de primitiva carece de sentido.

Para calcular una aproximación de dichas integrales se recurre a distintos métodos de integración numérica.

Integral definida. Suma de Riemann

La integral $\int_a^b f(x)\,dx$ de la función $f(x)$ definida en un intervalo $[a,b]$ está dada por

$$\int_a^b f(x)\,dx = \lim_{\|P\|\to 0} \sum_{i=1}^{n} f\left(\overline{x}_i\right) \Delta x_i$$

donde, se ha realizado una partición del intervalo $[a,b]$,

$P = \{a = x_0 < x_1 < x_2 < \cdots < x_n = b\}$,
$\overline{x}_i$ es un punto del intervalo $[x_{i-1}, x_i] \subset [a, b]$, $\Delta x_i = x_i - x_{i-1}$,
y $\|P\| = \text{máx}\{\Delta x_i\}$.

A la suma $\sum_{i=1}^{n} f(\overline{x}_i)\, \Delta x_i$se le denomina suma de Riemann.

La función f es integrable sobre $[a, b]$ si existe el límite anterior.

Si f es integrable y consideramos una partición del intervalo $[a, b]$, formada por n+1 puntos equidistantes: $\Delta x_i = x_i - x_{i-1} = \frac{b-a}{n} \to x_i = a + i\frac{b-a}{n}$

$$\int_a^b f(x)dx = \lim_{n\to\infty} \sum_{i=1}^{n} \left(\frac{b-a}{n}\right) f(x_i) = \lim_{n\to\infty} \frac{b-a}{n} \sum_{i=1}^{n} f\left(a + i\frac{b-a}{n}\right)$$

Para valores positivos de una función acotada f, cada uno de los sumandos $\left(\frac{b-a}{n}\right) f(x_i)$ es el área de un rectángulo de base $\dfrac{b-a}{n}$ y altura $f(x_i)$. Por lo tanto, $\sum_{i=1}^{n} \left(\frac{b-a}{n}\right) f(x_i)$ es la suma de las áreas de los n rectángulos.

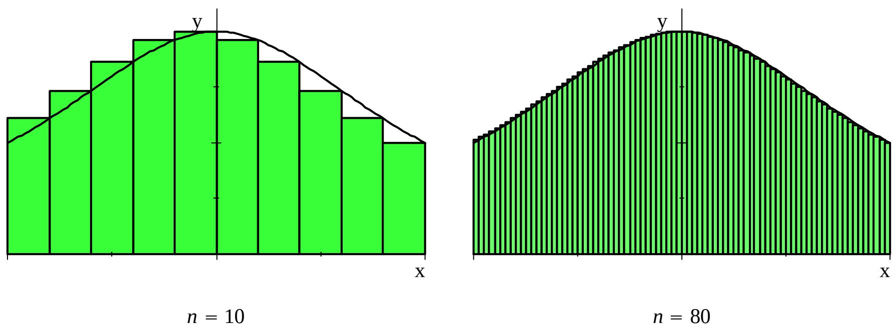

Figura 4.1:

Si f es una función continua que toma valores positivos en el intervalo $[a, b]$. La integral definida en dicho intervalo, $\int_a^b f(x)dx = \lim_{n\to\infty} \sum_{i=1}^{n} \left(\frac{b-a}{n}\right) f(x_i)$, es el área de la región comprendida entre el eje de abscisas, las rectas $x = a$ y $x = b$ y la gráfica de la función $(y = f(x))$.

4.2. Integración numérica de tipo interpolatorio.

Cuando es complicado e incluso imposible la obtención de una primitiva de la función $f(x)$, o bien cuando solamente disponemos de una tabla de valores de la función, para calcular $\int_a^b f(x)dx$ recurrimos a técnicas de cálculo numérico.

La estrategia, habitualmente utilizada, para calcular el valor numérico de una integral consiste en reemplazar la función f por otra función g que aproxima a f, de forma adecuada en el intervalo de integración, y cuya integral sea sencilla.

$$f \approx g \rightarrow \int_a^b f(x)\,dx \approx \int_a^b g(x)\,dx.$$

En nuestro caso, un buen candidato a g es un polinomio que interpole a f en cierto conjunto de puntos.

Polinomio interpolador. Forma de Lagrange.
Nuestro problema es: conocidos los valores de una función $f(x)$ en $n+1$ puntos $x_0 < x_1 < x_2 < \cdots < x_n$,

X	x_1	x_2	...	x_n
$f(x)$	f_1	f_2	...	f_n

donde $f_i = f(x_i),\ \ i = 0, 1, 2, ..., n.$

Buscamos un polinomio $P(x)$, del menor grado posible, que verifique:

$$P(x_i) = f_i,\ \ i = 0, 1, 2, ..., n.$$

Se dice que el polinomio $P(x)$ interpola a la función f en los puntos de la tabla, a dichos puntos se les denomina nodos de la interpolación.

Teorema. Si $x_0, x_1, x_2, \cdots, x_n$ son números reales distintos, entonces para cualquier conjunto de números reales $\{f_0, f_1, f_2, \cdots, f_n\}$ existe un único polinomio P_n de grado menor o igual que n, de forma que $P_n(x_i) = f_i,\ \ i = 0, 1, 2, ..., n.$

Sin embargo, existen distintos algoritmos que nos permiten obtener este polinomio.
La fórmula de interpolación de Lagrange es:
$P_n(x) = f_0L_0(x) + f_1L_1(x) + f_2L_2(x) + \cdots + f_nL_n(x) = \sum_{i=0}^{n} f_iL_i(x)$
Siendo

$$L_i(x) = \frac{(x - x_0)...(x - x_{i-1})(x - x_{i+1})..(x - x_n)}{(x_i - x_0)...(x_i - x_{i-1})(x_i - x_{i+1})..(x_i - x_n)} = \prod_{k=0,k\neq i}^{n} \frac{(x - x_k)}{(x_i - x_k)}$$

$L_i(x)$ son polinomios que se anulan en todos los nodos de interpolación excepto en x_i, que toman el valor 1.

$$L_i(x_i) = 1 \quad \text{y si } k \neq i \quad L_i(x_k) = 0.$$

Como consecuencia inmediata del teorema anterior, si $f(x)$ es un polinomio de grado menor o igual que n entonces coincidirá con su polinomio interpolador, $f(x) = P_n(x)$.

Teorema. Sea f una función $n+1$ derivable en $[a, b]$, y sea P_n el polinomio que interpola a f en $n+1$ puntos distintos $x_0, x_1, x_2, \cdots, x_n$ del intervalo $[a, b]$. Entonces, para cada $x \in [a, b]$ existe un punto $\xi_x \in (a, b)$ tal que:

$$f(x) - P_n(x) = \frac{f^{(n+1)}(\xi_x)}{(n+1)!}(x - x_0)(x - x_1)...(x - x_n)$$

Volviendo a nuestro problema de integración

$$\int_a^b f(x)\,dx \approx \int_a^b P_n(x)\,dx = \sum_{i=0}^{n} f_i \int_a^b L_i(x)dx.$$

El valor de cada integral lo denotamos por $\alpha_i = \int_a^b L_i(x)$.

Así, obtenemos una fórmula de tipo interpolatorio, que se puede utilizar para cualquier función,

$$\boxed{\int_a^b f(x)\,dx \approx \sum_{i=0}^{n} \alpha_i \cdot f(x_i)} \text{ (I)}$$

Si los nodos están uniformemente espaciados, esta expresión recibe el nombre de fórmula de Newton-Côtes.

Para acotar el error $R_n(f) = \int_a^b f(x)\,dx - \sum_{i=0}^{n} \alpha_i \cdot f(x_i)$, utilizamos el error asociado con la interpolación:

$$R_n(f) = \int_a^b \frac{f^{(n+1)}(\xi_x)}{(n+1)!}(x - x_0)(x - x_1)...(x - x_n)dx. \quad \text{para algún } \xi \in (a, b)$$

Si $\left|f^{(n+1)}(x)\right| \leq M$ para todo $x \in [a, b]$ entonces:

$$|R_n(f)| \leq \frac{M}{(n+1)!} \int_a^b |x - x_0|\,|x - x_1|\,...\,|x - x_n|\,dx.$$

En las fórmula de Newton-Côtes, si n es impar (el número de nodos es par) la fórmula es exacta para polinomios de grado menor o igual que n. Sin embargo, si n es par la fórmula es exacta para polinomios de grado menor o igual que $(n+1)$, por lo que son preferibles estas fórmulas con un número impar de nodos.

Si tomamos más nodos, aumentamos n, disminuirá el error. Sin embargo, no es conveniente utilizar un número elevado de nodos, ya que al aumentar n los coeficientes de las fórmulas son mayores en valor absoluto, y de signos cualesquiera, lo que hace aumentar los errores de redondeo. Una estrategia más eficaz es dividir el intervalo de integración en m subintervalos, y aplicar en cada uno de ellos una fórmula de tipo interpolatorio de orden bajo. Pudiendo aplicar una fórmula de orden n distinto en los diferentes subintervalos, para que, en cada subintervalo la aproximación de $P_n(x)$ a la función sea buena con el menor n posible.

Se denomina regla compuesta cuando se aplica la misma fórmula de integración a todos los subintervalos en que se ha dividido el intervalo.

A continuación, vamos a obtener las fórmulas de integración de tipo interpolatorio de órdenes menores.

4.2.1. Regla del trapecio

Corresponde al caso más sencillo, ocurre cuando $n = 1$, es decir, solo tenemos dos nodos: $x_0 = a$ y $x_1 = b$

Entonces el polinomio de interpolación es $P_n(x) = f_0 L_0(x) + f_1 L_1(x)$

Siendo los polinomios $L_0(x) = \dfrac{(x-b)}{(a-b)} = \dfrac{b-x}{b-a}$, $L_1(x) = \dfrac{x-a}{b-a}$,

entonces $\alpha_0 = \int_a^b L_0(x)dx = \frac{1}{2}(b-a) = \int_a^b L_1(x)dx = \alpha_1$,

La regla del trapecio es:

$$\int_a^b f(x)\,dx \approx S_1 = \frac{(b-a)}{2}\,(f(a)+f(b))$$

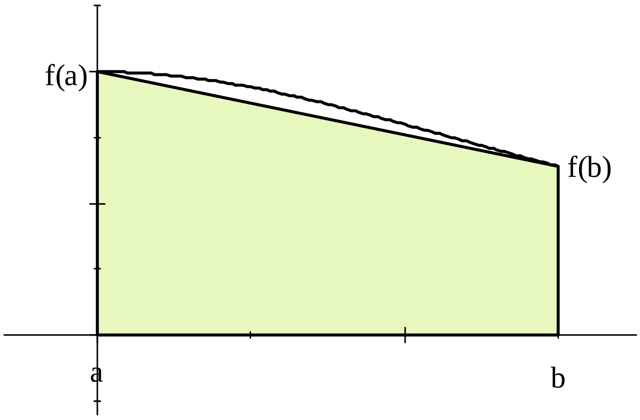

Figura 4.2:

Es decir, aproximamos el área que buscamos $\int_a^b f(x)\,dx$, por el área del trapecio determinado por las rectas $x = a$, $x = b$, el eje de abscisas y el segmento de extremos $(a, f(a)$ y $(b, f(b))$.

Esta fórmula es exacta si la función es un polinomio de grado a lo sumo 1,
$f(x) = m \cdot x + c$, su gráfica es la recta que pasa por los puntos $(a, f(a)$ y $(b, f(b))$.

$\int_a^b (m \cdot x + c)dx = \frac{1}{2}m(b^2 - a^2) + c(b - a) = \frac{b-a}{2}(m(b + a) + 2c) = \frac{b-a}{2}\,(f(a) + f(b))$.

En general, una acotación del error es: $\left|S_1 - \int_a^b f(x)dx\right| \leq K\frac{(b-a)^3}{12}$, donde K es un número tal que $|f''(x)| \leq K$ para todo $x \in [a, b]$.

Si se hace una partición del intervalo $[a, b]$, $P = \{a = x_0 < x_1 < x_2 < \cdots < x_n = b\}$, se puede aplicar la regla del trapecio a cada uno de los subintervalos, obteniéndose la regla del trapecio compuesta:

$$\int_a^b f(x)\,dx \approx S_n = \frac{1}{2}\left(\sum_{i=1}^{n-1}(x_i - x_{i-1})(f\,(x_i) + f(x_{i-1}))\right)$$

Si los puntos $a = x_0 < x_1 < x_2 < \cdots < x_n = b$ están igualmente espaciados, a distancia $h = x_i - x_{i-1} = \frac{b-a}{n}$,la formula de la regla del trapecio compuesta es:

$$\int_a^b f(x)\,dx \approx S_n = h\left(\frac{f(a)}{2} + \sum_{i=1}^{n-1} f\,(x_i) + \frac{f(b)}{2}\right)$$

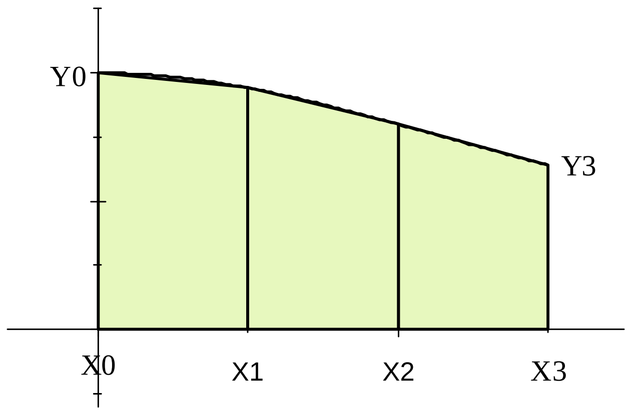

Figura 4.3:

En este caso, aproximamos la curva $y = f(x)$ a una línea quebrada formada por segmentos de extremos $(x_i, f(x_i))$.

Con una acotación del error

$$\left| S_1 - \int_a^b f(x)dx \right| \leq K \frac{(b-a)^3}{12n^2}$$

donde K es un número tal que $|f''(x)| \leq K$ para todo $x \in [a, b]$.

Si el arco de la curva, $y = f(x)$ en $[x_i, x_{i+1}]$, tiene una curvatura pequeña, es decir, no se aleja mucho del segmento de extremos $(x_i, f(x_i))$ y $(x_{i+1}, f(x_{i+1}))$, $f''(x)$ estará muy próxima a cero y el error cometido será pequeño aunque el número de puntos no sea muy grande.

4.2.2. Regla de Simpson

Corresponde al caso $n = 2$, es decir, tenemos tres nodos: $x_0 = a$, $x_1 = \dfrac{a+b}{2}$ y $x_2 = b$

Entonces el polinomio de interpolación es $P_2(x) = f_0L_0(x) + f_1L_1(x) + f_2L_2(x)$

Siendo:
$L_0(x) = \dfrac{(x-x_1)(x-b)}{(a-x_1)(a-b)}$, $L_1(x) = \dfrac{(x-a)(x-b)}{(x_1-a)(x_1-b)}$, $L_2(x) = \dfrac{(x-a)(x-x_1)}{(b-a)(b-x_1)}$

Entonces:
$\alpha_0 = \int_a^b L_0(x)dx = \frac{1}{6}(b-a) = \int_a^b L_2(x)dx = \alpha_2$, $\int_a^b L_1(x)dx = \frac{4}{6}(b-a) = \alpha_1$

Regla de Simpson:

$$\int_a^b f(x)\,dx \approx S_2 = \frac{(b-a)}{6}\left[f\,(a) + 4f\left(\frac{a+b}{2}\right) + f\,(b)\right]$$

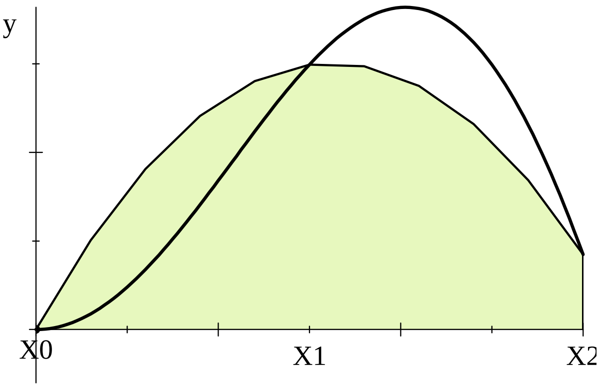

Figura 4.4:

Aproximamos el área que buscamos $\int_a^b f(x)\,dx$, por el área encerrada por las rectas $x = a$, $x = b$, el eje de abscisas y la parábola $y = P_2(x)$.

Como la regla de Simpson se deduce de aproximar la función f a un polinomio de segundo grado $P_2(x)$, sabemos que es exacta para los polinomios de grado menor o igual que dos.

Vamos a ver que también es exacta para polinomios de grado 3.

Si $h = \dfrac{b-a}{2}$ la fórmula de Simpson adopta la siguiente forma:

$\int_a^{a+h} f(x)\,dx \approx \frac{h}{3}\left[f(a) + 4f(a+h) + f(a+2h)\right]$
Si $F(x) = \int_a^x f(x)\,dx$, el teorema fundamental del cálculo nos dice que $F' = f$. Y por el teorema de Taylor:

$\int_a^{a+h} f(x)\,dx = F(a+h) =$

$2hf(a) + 2h^2 f'(a) + \frac{4}{3}h^3 f''(a) + \frac{2}{3}h^4 f'''(a) + \frac{32}{5!}h^5 f^{(4)}(a) + ...$

Aplicando el teorema de Taylor al segundo miembro:

$\frac{h}{3}\left[f(a) + 4f(a+h) + f(a+2h)\right] =$

$2hf(a) + 2h^2 f'(a) + \frac{4}{3}h^3 f''(a) + \frac{2}{3}h^4 f'''(a) + \frac{100}{3(5!)}h^5 f^{(4)}(a) + ...$

Combinando los dos desarrollos tenemos

$\int_a^{a+h} f(x)\,dx = \frac{h}{3}\left[f(a) + 4f(a+h) + f(a+2h)\right] - \frac{1}{90}h^5 f^{(4)}(a) - ...$

Entonces, el término del error es: $-\frac{1}{90}h^5 f^{(4)}(\xi)$, para algún $\xi \in [a,b]$.

Una acotación del error es: $\left|S_2 - \int_a^b f(x)dx\right| \leq K\frac{1}{90}h^5$, donde K es un número tal que $\left|f^{(4)}(x)\right| \leq K$ para todo $x \in [a,b]$.

En particular, podemos tomar $K = \text{máx}\{\ \left|f^{(4)}(x)\right|, \ x \in [a, b]\ \}$.

Por lo tanto, la regla de Simpson es exacta para las integrales de polinomios de grado menor o igual que 3, ya que la derivada cuarta de dichos polinomios es cero.

Si se hace una partición del intervalo $[a, b]$, usando un número impar de nodos equiespaciados, entonces n es par: $n = 2k$, con $k = n/2$ subintervalos: $[a, b] = [x_0, x_2] \cup [x_2, x_4] \cup \cdots \cup [x_{n-4}, x_{n-2}] \cup [x_{n-2}, x_n]$, de igual longitud: $h = x_i - x_{i-2} = 2\dfrac{b-a}{n}$, y se aplica la regla de Simpson a cada uno de estos subintervalos, obtenemos la fórmula de la regla de Simpson compuesta:

$$\int_a^b f(x)\,dx \approx S_n = \frac{h}{3}\left[f(a) + 4\sum_{i=1}^{n/2} f(x_{2i-1}) + 2\sum_{i=2}^{n/2} f(x_{2i-2}) + f(b)\right]$$

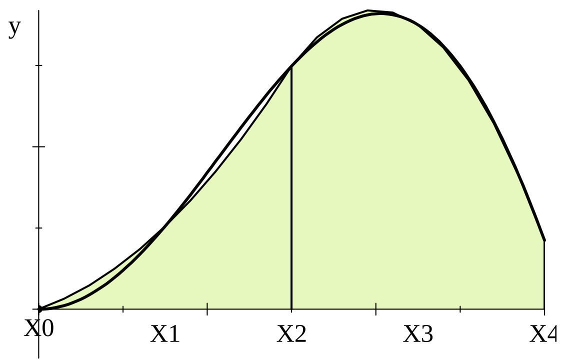

Figura 4.5:

Una acotación del error para esta fórmula es:

$$\left|S_n - \int_a^b f(x)\,dx\right| \leq K\frac{(b-a)^5}{180n^4}$$

donde K es un número tal que $\left|f^{(4)}(x)\right| \leq K$ para todo $x \in [a, b]$.

Por lo tanto, la regla de Simpson compuesta es exacta para las integrales de polinomios de grado menor o igual que 3.

4.2.3. Fórmulas de Newton-Côtes de orden superior

De la misma forma, que en los apartados anteriore, se obtienen los coeficientes, α_i, de las fórmulas de tipo interpolatorio de cualquier orden.

$$\boxed{\int_a^b f(x)\,dx \approx \sum_{i=0}^{n} \alpha_i \cdot f(x_i)}$$

En la siguiente tabla se dan los coeficientes y el error de las fórmula de Newton-Côtes cerradas, de hasta cuarto orden, aplicadas al intervalo $[a,b]$, con $h=(b-a)/n$

$$\int_a^b f(x)\,dx = \beta h \sum_{i=0}^{n} \alpha_i \cdot f(x_i) + R_n(f)$$

n	β	α_0	α_1	α_2	α_3	α_4	$R_n(f)$
1	1/2	1	1				$-\frac{h^3}{12}f^{(2)}(\xi)$
2	1/3	1	4	1			$-\frac{h^5}{90}f^{(4)}(\xi)$
3	3/8	1	3	3	1		$-\frac{3}{80}h^5 f^{(4)}(\xi)$
4	2/45	7	32	12	32	7	$-\frac{8}{945}h^7 f^{(6)}(\xi)$

Así:
Para $n=3$ obtenemos la llamada segunda regla de Simpson, o de Simpson $3/8$,

$$\int_a^b f(x)\,dx \approx \frac{3h}{8}\left[f(x_0)+3f(x_1)+3f(x_2)+f(x_3)\right] =$$
$$\frac{(b-a)}{8}\left[f(a)+3f\left(\frac{b+2a}{3}\right)+3f\left(\frac{2b+a}{3}\right)+f(b)\right]$$

Para $n=4 \rightarrow \int_a^b f(x)\,dx \approx \dfrac{2h}{45}\left[7f(x_0)+32f(x_1)+12f(x_2)+32f(x_3)+7f(x_4)\right]$

Capítulo 5

Datos de partida

5.1. Cartilla de trazado

La cartilla de trazado es una tabla de puntos que se encuentran en la superficie del casco del buque. Cada uno está definido por tres coordenadas en el espacio de un sistema de referencia, en el presente proyecto el sistema de referencia utilizado es DIN 81209-1, como se muestra en la siguiente figura:

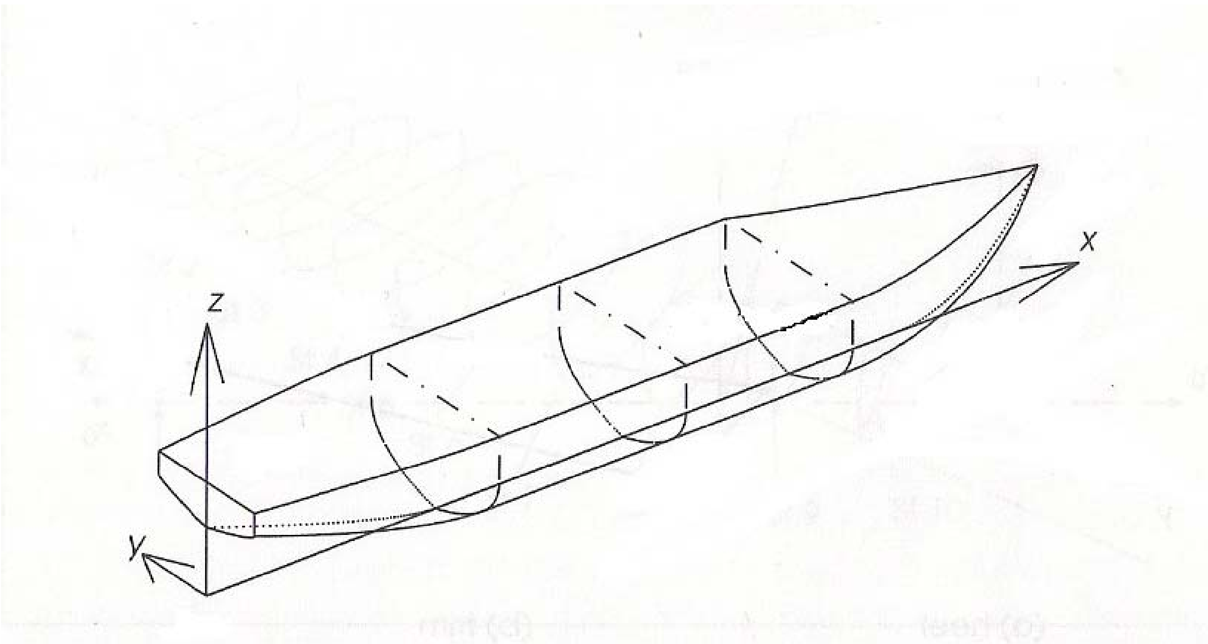

Figura 5.1:

El eje X está dispuesto a lo largo de la eslora del buque siendo positivo hacia proa, el eje Y es transversal y positivo para babor, y el eje Z es vertical y positivo hacia cubierta. El origen está situado en la intersección del plano crujía, el de simetría del buque, y un plano transversal que contiene la perpendicular de popa. Existen también otros sistemas de referencia pero el utilizado en este proyecto es el descrito.

Cada punto la cartilla de trazado del buque protagonista de los cálculos es representado por la coordenada definida por el eje y de la intersección de otras dos curvas, líneas de agua con cuadernas de trazado. También cabe la posibilidad de ser representado de otra manera, con la intersección de otras dos curvas que sirvan para la definición del casco.

Secciones	L.A.-1/2	L.A.0	L.A.1/2	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
C.-1									3,416	4,350	4,829	5,078
C.-1/2								1,291	3,741	4,556	5,008	5,228
C.0								2,242	4,035	4,760	5,172	5,365
C.1/2								2,904	4,305	4,951	5,312	5,477
C.1				0,179	0,325		0,333	3,449	4,557	5,128	5,436	5,575
C.1^1/2	0,279	0,308	0,362	0,461	0,722	1,046	2,047	3,906	4,815	5,295	5,547	5,659
C.2	0,371	0,489	0,631	0,816	1,319	1,942	3,135	4,314	5,048	5,453	5,650	5,734
C.2^1/2	0,441	0,713	0,979	1,280	1,965	2,789	3,831	4,737	5,311	5,601	5,727	5,778
C.3	0,491	0,943	1,369	1,785	2,649	3,520	4,385	5,072	5,490	5,688	5,770	5,801
C.3^1/2	0,520	1,133	1,714	2,277	3,327	4,187	4,866	5,348	5,625	5,752	5,803	5,822
C.4	0,523	1,310	2,087	2,827	3,961	4,710	5,235	5,557	5,724	5,799	5,830	5,840
C.5	0,379	1,640	2,885	3,884	4,875	5,390	5,658	5,768	5,816	5,838	5,847	5,850
C.6	0,311	1,834	3,487	4,705	5,500	5,742	5,816	5,840	5,848	5,849	5,850	5,850
C.7	0,309	1,882	4,015	5,176	5,719	5,817	5,844	5,850	5,850	5,850	5,850	5,850
C.8	0,304	1,868	4,502	5,444	5,782	5,831	5,845	5,850	5,850	5,850	5,850	5,850
C.9	0,301	1,384	4,799	5,562	5,806	5,837	5,846	5,850	5,850	5,850	5,850	5,850
C.10	0,300	0,300	4,794	5,575	5,817	5,844	5,848	5,850	5,850	5,850	5,850	5,850
C.11		0,299	4,381	5,479	5,811	5,850	5,850	5,850	5,850	5,850	5,850	5,850
C.12		0,297	3,570	5,233	5,741	5,833	5,844	5,838	5,836	5,836	5,838	5,842
C.13		0,297	2,575	4,851	5,560	5,739	5,788	5,798	5,803	5,809	5,816	5,825
C.14		0,297	1,521	4,314	5,205	5,530	5,663	5,715	5,744	5,767	5,787	5,806
C.15		0,297	0,297	3,533	4,513	4,933	5,199	5,350	5,485	5,551	5,633	5,705
C.16			0,297	2,572	3,614	4,048	4,357	4,595	4,807	5,009	5,202	5,377
C.16^1/2			0,296	2,098	3,050	3,504	3,848	4,144	4,414	4,672	4,921	5,150
C.17			0,292	1,650	2,457	2,904	3,283	3,631	3,952	4,259	4,557	4,843
C.17^1/2			0,284	1,205	1,924	2,307	2,685	3,069	3,432	3,780	4,123	4,459
C.18			0,266	0,837	1,472	1,788	2,105	2,483	2,877	3,268	3,658	4,045
C.18^1/2			0,231	0,557	1,106	1,356	1,598	1,890	2,277	2,707	3,155	3,605
C.19			0,170	0,324	0,875	1,056	1,169	1,306	1,600	2,048	2,567	3,100
C.19^1/2				0,149	0,800	0,918	0,876	0,792	0,924	1,325	1,885	2,488
C.20					0,705	0,832	0,656	0,133	0,010	0,531	1,131	1,768
C.20^1/2						0,351						0,810

Figura 5.2:

5.2. Plano de formas

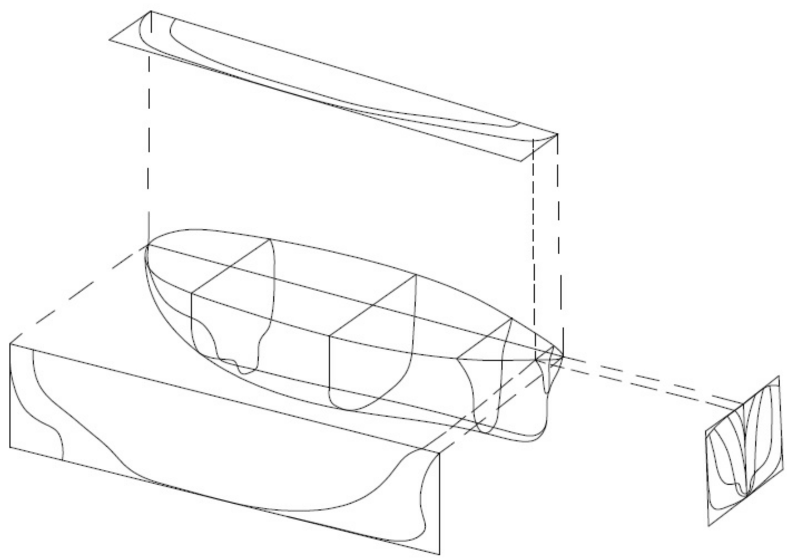

Figura 5.3:

Las formas de un determinado buque se representan a una determinada escala que depende de su tamaño, en un dibujo que se llama plano de formas, que acaba con el problema de representar la doble curvatura del casco. Este consta normalmente de tres proyecciones: el perfil longitudinal, la caja de cuadernas o transversal y el plano de líneas de agua. Cada una de ellas, se obtiene al cortar el buque por un sistema de planos paralelos entre sí y proyectar las intersecciones sobre un plano del sistema. Los sistemas de planos son cada uno de ellos perpendiculares a los otros dos.

Como los buques son simétricos, el primer sistema se deriva del plano de simetría. Las líneas que se representan a partir de él lo hacen en el que antes se ha llamado perfil longitudinal y se obtienen de la intersección del casco con planos longitudinales paralelos al plano diametral o de crujía.

El segundo sistema está constituido por planos verticales transversales, sus intersecciones con el casco se llaman secciones.

Por último el corte del casco por una serie de planos horizontales son las líneas de agua que se representan en lo que normalmente se llama el longitudinal. La figura anterior muestra la manera de obtener las tres proyecciones, no representándose por simetría, más que medio buque. Por medio de las tres proyecciones se pueden determinar las posiciones relativas en el espacio de todos los puntos y líneas del buque.

Normalmente en los buques de acero que son casi todos, la superficie que se representa es la de trazado, que viene determinada por el canto interior de las cuadernas, por lo que el forro exterior se considera apéndice. Esto también lleva a que la superficie sea continua y sin las irregularidades estructurales que normalmente tienen los cascos de los buques.

No hay regla fija en cuanto al número de las líneas de agua, secciones y cortes longitudinales que se representan en un plano de formas, sin embargo parece una buena regla hacer que la línea de agua seis coincida con la superficie del agua y se llame flotación, con esto, basta dividir el calado por 5 para obtener la separación entre ellas, la numeración va de abajo hacia arriba, siendo la línea de agua 0 la de tangencias. Además de estas líneas de agua conviene trazar alguna más en la parte baja para aumentar la precisión, por eso se acostumbra a dibujar la línea de agua 1/2 separada medio intervalo de la línea de agua 0.

Los perfiles longitudinales son normalmente 4, la intersección con el plano de crujía y 3 más para los cuales no hay regla fija.

El numero de secciones que se traza depende de la eslora del buque, en buques cortos se divide la eslora en 10 partes iguales, pero en buques medianos y grandes la división es en 20 partes. En los extremos debido a su mayor curvatura, y con objeto de precisar más las líneas se trazan secciones auxiliares cuya separación es de 1/4 ó 1/2 del intervalo normal. Como anécdota es interesante resaltar que en Europa las secciones empiezan a contarse desde popa, la cuaderna 0 coincide con la perpendicular de popa, mientras que en los Estados Unidos la cuaderna 0 coincide con la perpendicular de proa.

La línea que representa la parte más baja del buque en el perfil es la línea base que no representa la quilla misma sino la parte inferior de la superficie de trazado del buque. El punto donde esta línea corta a la ordenada media del buque se acostumbra a representar por K. El plano horizontal que pasa por K, se toma como referencia para las distintas líneas de agua, y él mismo es la línea de agua 0. Tal como se ha definido la línea base es paralela a la quilla, cuando la flotación no es paralela a la quilla, se toma como base una línea paralela a dicha flotación trazada casi siempre a partir del extremo interior del codaste. Este caso se dá con frecuencia en pesqueros, en buques mayores aún cuando en situación de plena carga haya una cierta diferencia de calados, la línea base es paralela a la quilla.

En el plano de formas también se representan las cubiertas, como estas tienen una cierta curvatura, su altura sobre la base será distinta según se considera la intersección con el forro o con el plano de simetría (plano de crujía). En el perfil longitudinal se dibujan ambas líneas, línea de cubierta en el costado o en el centro.

La curvatura de las cubiertas muestra normalmente su cavidad hacia la quilla y se llama brusca.

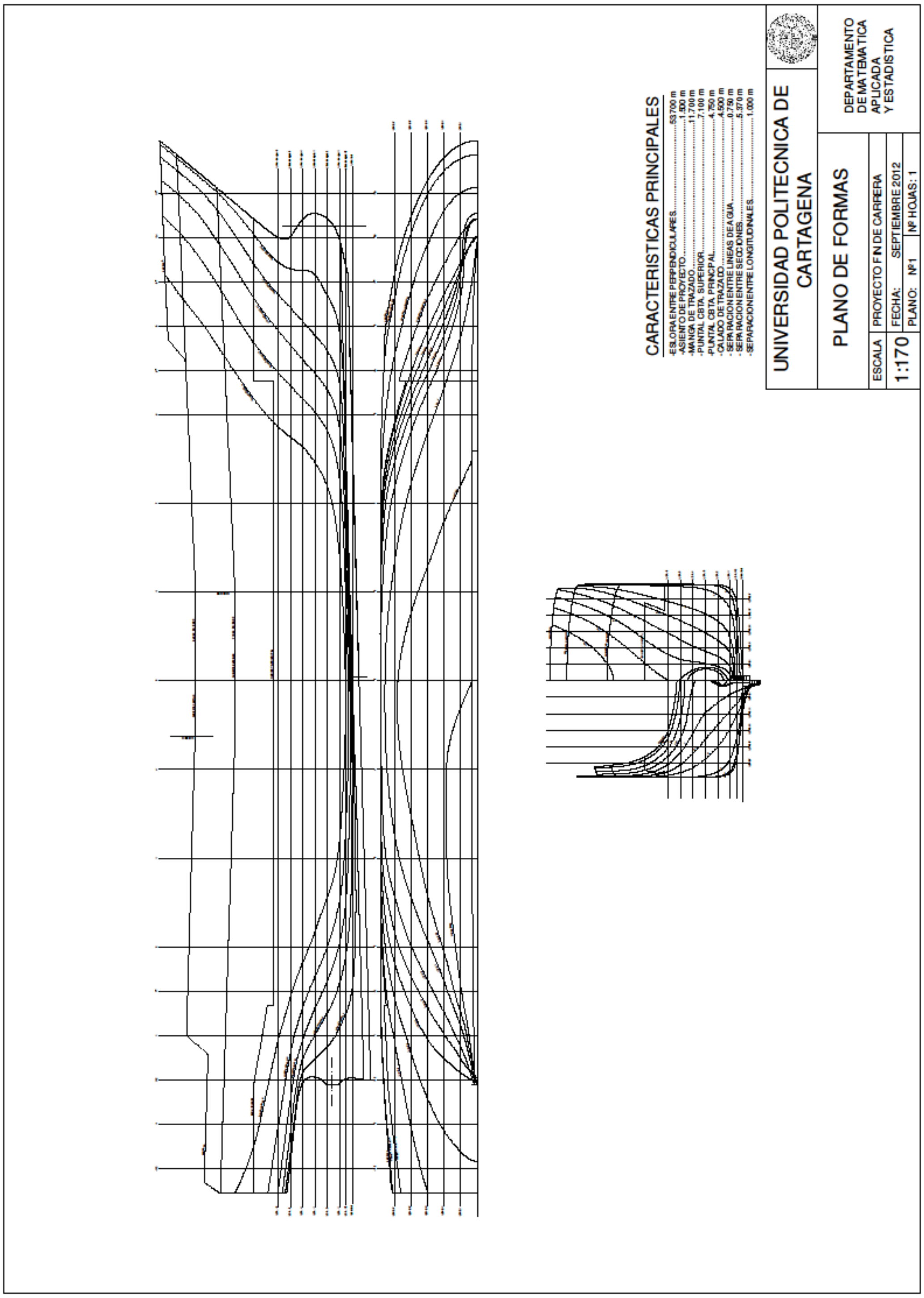
CARACTERISTICAS PRINCIPALES
-ESLORA ENTRE PERPENDICULARES 53.700 m
-ASIENTO DE PROYECTO 1.300 m
-MANGA DE TRAZADO 11.700 m
-PUNTAL CBTA. SUPERIOR 7.100 m
-PUNTAL CBTA. PRINCIPAL 4.750 m
-CALADO DE TRAZADO 4.500 m
-SEPARACION ENTRE LINEAS DE AGUA 0.750 m
-SEPARACION ENTRE SECCIONES 5.370 m
-SEPARACION ENTRE LONGITUDINALES 1.000 m
UNIVERSIDAD POLITECNICA DE CARTAGENA
DEPARTAMENTO DE MATEMATICA APLICADA Y ESTADISTICA
PLANO DE FORMAS
ESCALA
1:170
PROYECTO FIN DE CARRERA
FECHA: SEPTIEMBRE 2012
PLANO: Nº1
Nº HOJAS: 1

Figura 5.4:

5.3. Distribución de pesos y centro de gravedad del buque

El peso total del buque corresponde a la suma de los pesos parciales que lo forman, y las coordenadas del centro de gravedad corresponden a los cocientes de los momentos estáticos respecto a los tres planos de referencia por el peso total.

Peso del buque (desplazamiento): $\Delta = P = \sum p_i$

Abscisa del centro de gravedad: $X_G = \dfrac{\sum p_i * x_g}{\sum p_i}$

Ordenada del centro de gravedad: $Z_G = \dfrac{\sum p_i * z_g}{\sum p_i}$

Semimanga del centro de gravedad: $Y_g = \dfrac{\sum p_i * y_g}{\sum p_i}$

En la siguiente tabla se muestra la distribución de pesos del buque atunero.
Donde :
xg: Coordenada en el eje x.
Kg: Distancia mínima al plano base.
mto.x: Momento del peso respecto al plano yz.
mto.k: Momento del plano respecto al plano base.
XG: Coordenada en el eje x del centro de gravedad del buque.
KG: Distancia mínima del centro de gravedad al plano base.

Bloque	peso	xg	kg	mto.x	mto.k
1	66,144	-1,033	6,261	-68,327	414,126
2	173,232	5,341	2,584	925,230	447,631
3	158,868	11,716	3,848	1861,295	611,323
4	137,317	18,091	3,002	2484,194	412,224
5	166,515	24,466	3,343	4073,965	556,661
6	155,197	30,841	4,124	4786,443	640,034
7	145,632	37,216	3,550	5419,858	516,995
8	85,087	43,591	5,849	3709,045	497,676
9	90,818	49,966	4,028	4537,792	365,813
10	36,936	56,341	6,733	2081,023	248,692
tanque lastre bbr	106,318	35,045	0,953	3725,893	101,321
tanque lastre stbr	106,318	35,045	0,953	3725,893	101,321
Sumatorio	1428,382			37262,305	4913,818

XG	KG
26,087	3,440

Figura 5.5:

5.4. Características de la botadura

Longitud de las anguilas: 48,88 m

Anchura de las anguilas: 1.20 m

Altura de las anguilas: 0,8 m

Número de anguilas: 2

Longitud de las imadas: 256,95 m

Pendiente de la grada: 2,6^o

Nivel de la marea sobre el extremo de la grada: 7,836 m

Peso del buque en la botadura:1428,386 T

Abscisa del centro de gravedad del buque (X_G): 26,087 m (respecto a la perpendicular de popa)

Ordenada del centro de gravedad del buque (K_G): 3,440 m (respecto a la línea base)

Distancia del extremo de las anguilas al extremo de popa de las imadas: 206,95 m

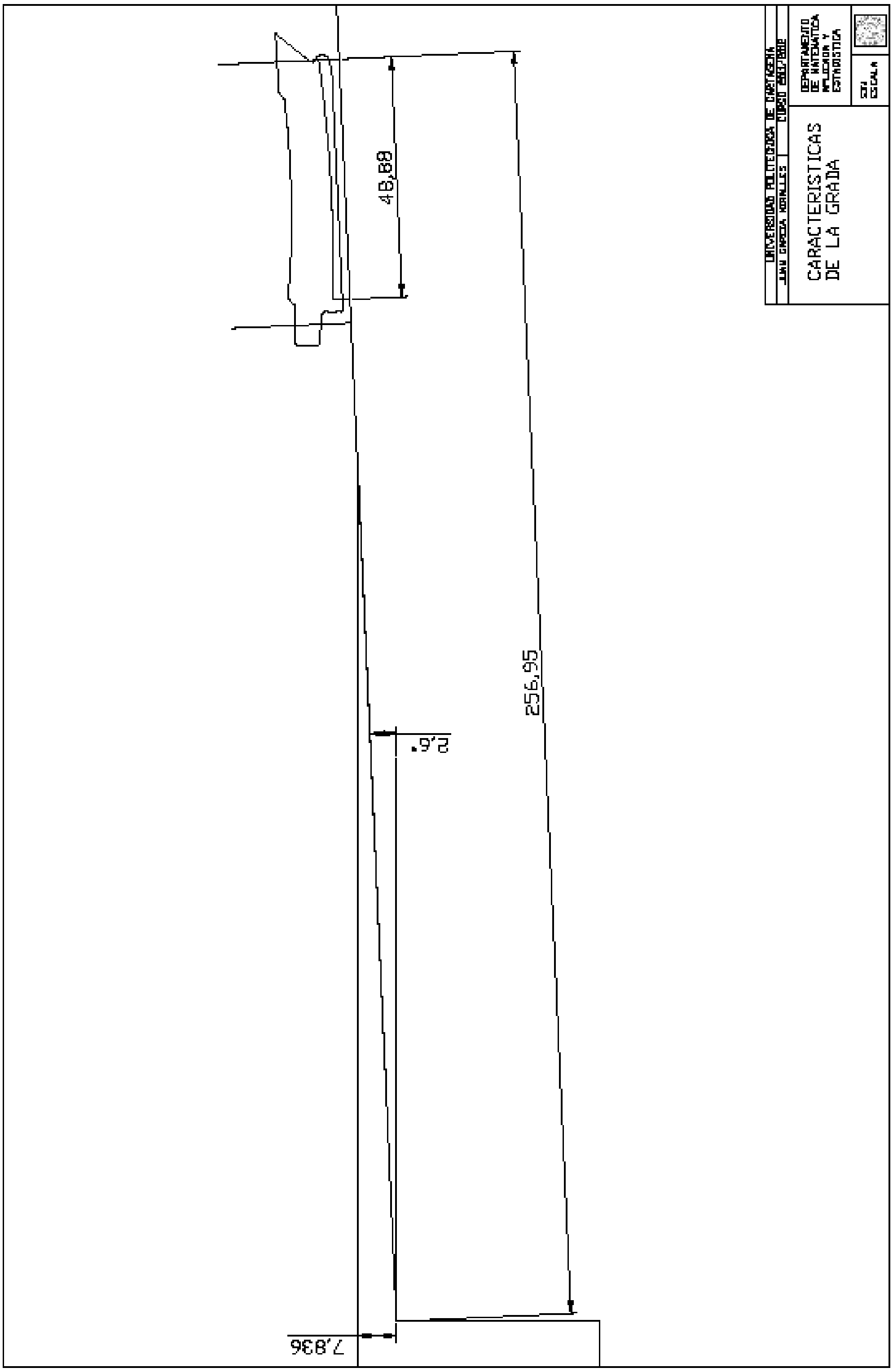

Figura 5.6:

Capítulo 6

Curvas hidrostáticas

6.1. Generalidades

Las curvas hidrostáticas no son más que unos diagramas que representan distintas características geométricas del buque, calculadas a partir del plano de formas o la cartilla de trazado. En un sentido amplio podemos considerar tres grupos o familias de curvas:

a) Las curvas hidrostáticas normales, o corrientes, también conocidas como carenas rectas. Se entiende que cuando se habla de curvas hidrostáticas, sin especificar nos estamos refiriendo a ellas.

b) Curvas de Bonjean.

c) Las curvas transversales de estabilidad, más conocidas como curvas kn, carenas inclinadas o pantocarenas. Estas curvas las comentaremos cuando desarrollemos el tema correspondiente.

6.2. Curvas hidrostáticas o carenas rectas

Son unas curvas o diagramas que representan determinados parámetros del buque en función del calado T, con la característica típica de que el calado se pone en el eje de ordenadas. Normalmente son las siguientes:

1.-Área de la flotación (A_f).

2.-Toneladas por centímetro de inmersión (TCI).

3.-Abcisa del centro de gravedad (c.d.g.) de la flotación, bien referida a la perpendicular de popa (x_f), o a la sección media ($\otimes_f$).

4.-Volumen de trazado. (∇)

5.-Desplazamiento de trazado

6.-Ordenada o altura del centro de carena (c.d.c.) (KB)

7.-Abcisa del c.d.c. (XB ó $\otimes$B)

8.-Radio metacéntrico transversal (BM o BM$_t$)

9.-Radio metacéntrico longitudinal (BM$_l$)

10.-Momento para alterar el trimado un centímetro (MTC)

Obviamente, como cada función tiene sus propias unidades, e, incluso, aunque dos funciones distintas se expresen en las mismas unidades (como por ejemplo BM$_t$ y BM$_l$), su rango de variación es muy distinto, cada curva tendrá su propio factor de escala para poder representarla en el diagrama.

A la hora de utilizar las curvas se debe tener presente que las curvas hidrostáticas están calculadas suponiendo el barco adrizado, por lo que si el buque tiene un cierto trimado , en principio, no se podrían utilizar. No obstante cuando el trimado es pequeño, si entramos con el calado medio ($T_m = \frac{T_{pr}+T_{pp}}{2}$), no se cometen grandes errores.

6.2.1. Curvas de áreas de la flotación

Es la curva básica para obtener todas las demás. Para un calado dado, el área de la flotación se obtiene integrando las distintas mangas, o semimangas , pues lo normal es que la flotación sea simétrica, a lo largo de la eslora en la flotación correspondiente a ese calado.

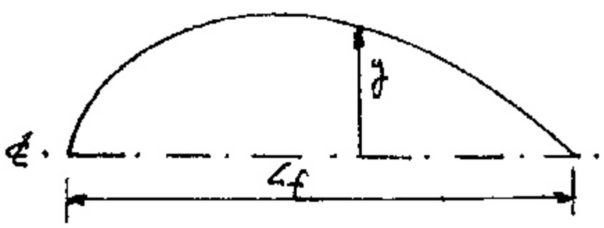

Figura 6.1:

$$A_f = 2\int_0^{Lf} y * dx, \text{ siendo } y \text{ las semimangas}$$

Normalmente éstas áreas se calculan para las distintas líneas de agua, empezando por la línea de agua cero, lo que nos da una serie de pares de valores (T; A_f), que al llevarlos al dibujo sobre papel milimetrado tendremos un conjunto de puntos. La curva $A_f = f(T)$ se obtiene trazando la curva que pasa por todos ellos. Quedando como se muestra en la figura.

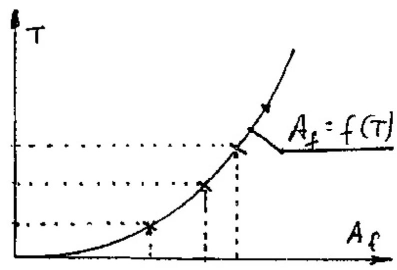

Figura 6.2:

6.2.2. Toneladas por centímetro de inmersión

Esta curva, en realidad no es más que una adaptación de la anterior, de las áreas de las flotaciones.

Veamos el concepto.

Sea un buque al que para un calado T, dado, le corresponde un área de la flotación A_f, y un volumen de carena, y, por tanto, un desplazamiento Δ. Supongamos que a partir de esta situación se le carga un peso que le produzca una variación paralela "infinitesimal" de calado dT. Si el buque estaba en equilibrio, su peso tenía que ser igual a su empuje, es decir, su desplazamiento Δ. Al cargarle el peso, para que siga estando en equilibrio, este peso tendrá que ser compensado con el incremento de empuje $d\Delta$ correspondiente al dT, y tal que

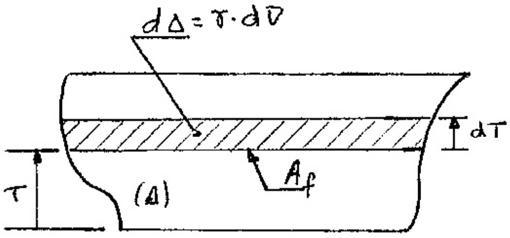

Figura 6.3:

$$d\Delta = \gamma * d\nabla = \gamma * A_f * dT$$

Si como dT consideramos 1 centímetro ($dT = 1cm = \frac{1}{100}m$), entonces el $d\Delta$ será igual a las toneladas por centímetro de inmersión (TCI), es decir, las toneladas que es preciso cargar (o descargar) para que ese calado T varíe un centímetro.

$d\Delta = \gamma * A_f * dT$; $dT = \frac{1}{100}m \rightarrow \left[TCI = \frac{\gamma * A_f}{100}\right]$

con γ en t/m^3 y A_f en m^2.

Desde el punto de vista práctico este concepto se maneja como una simple regla de tres, Si con las TCI correspondientes el calado dado varía 1cm, cuando cargamos (o descargamos) un peso p habrá una variación de calado $dT = \frac{p}{TCI}$.

Obviamente, se debe ser muy cauto cuando se aplique este concepto, pues la hipótesis o suposición que estamos haciendo es considerar que el área de la flotación permanece constante en toda la variación de calado que se produzca. Por tanto las variaciones de calado tendrán que ser forzosamente pequeñas, a no ser que el buque sea del tipo costados rectos. En ese caso contrario el error que se comete puede llegar a ser muy grande.

En cuanto a la curva en sí, tanto γ como 100 son constantes, por lo que la curva es esencialmente la misma que $A_f = f(T)$, lo único que cambia es el factor de escala; antes las unidades eran m^2 y ahora son toneladas. De ahí que en muchos casos sólo se represente una de las dos.

6.2.3. Abscisa del c.d.g. de la flotación

Como ya se ha dicho, la posición de c.d.g. del área de las distintas flotaciones se obtiene dividiendo el momento estático de este área, respecto del origen que estemos considerando, entre el área.

En principio, por comodidad de cálculo, se tomará como origen la perpendicular de popa.

$$XF = \frac{m_x}{A_f}$$

Si se considera como origen la sección media el proceso de cálculo es exactamente el mismo.

Realizando el cálculo con las semimangas, ya que las flotaciones son simétricas.

$$m_{\otimes} = 2 * \int_{L_f} x * y * dx \quad \text{y} \quad A_f = 2 * \int_{L_f} y * dx$$

siendo y las semimangas.

Estos valores pueden ser positivos o negativos, es decir, a proa o a popa del origen considerado.

6.2.4. Volumen de trazado

El volumen de trazado, correspondiente a cada flotación, es el volumen que se calcula con las lecturas del plano de formas o de la cartilla de trazado. Para ello antes se tendrá que calcular la función $A_f = f(T)$

$$\nabla = \int_0^T A_f * dz$$

También se puede calcular el volumen trabajando con las secciones

$$\nabla = \int_L A_S * dx$$

6.2.5. Curva de desplazamiento

El desplazamiento (toneladas) se calcula multiplicando el volumen de carena (m^3) por el peso específico supuesto γ constante, (normalmente 1.025 ó 1.026 t/m^3).

$$\Delta = \gamma * \nabla$$

Por tanto, en esta curva lo que en realidad se representa es la función $\nabla = f(T)$, de ahí que a la función volumen de carena, en algunos sitios se le llama desplazamiento en agua dulce.

6.2.6. Altura del c.d.c. sobre la base

Por definición de centro de carena (c.d.c.)

$$KB = \frac{M_K}{\nabla}$$

siendo M_K el momento estático del volumen de carena (∇) respecto al plano base. Si partimos de áreas de las flotaciones:

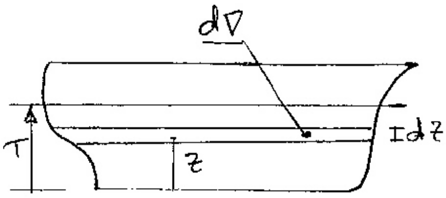

Figura 6.4:

$d\nabla = A_f * dz$ y $dM_K = d\nabla * z = A_f * dz * z$

con lo que

$$M_K = \int_0^T A_f * z * dz \quad \text{y} \quad \nabla = \int_0^T A_f * dz$$

6.2.7. Abscisa del c.d.c.

Si se toma como referencia la sección media,

$$XB = \frac{M_\otimes}{\nabla}$$

siendo $M_\otimes$ el momento estático del volumen de carena respecto a la perpendicular de popa.

Si se parte también de las áreas de las flotaciones $d\nabla = A_f * dz$, y para un calado z , el momento de este $d\nabla$ es

$$dM_X = \otimes b * d\nabla = \otimes F * d\nabla = \otimes F * A_f * dz$$

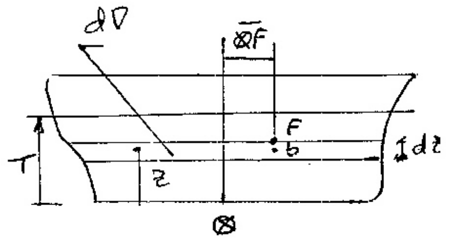

Figura 6.5:

$$\text{luego} \quad M_{\otimes} = \int_0^T \otimes F * A_f * dz \quad \text{y} \quad \nabla = \int_0^T A_f * dz$$

Si el origen hubiera sido tomado desde la perpendicular de popa, el procedimiento es similar.

6.2.8. Radio metacéntrico transversal

El radio metacéntrico transversal (BM_t, o simplemente BM) es el radio de curvatura de la curva que describe el c.d.c. al girar el buque un ángulo infinitesimal en el plano transversal, manteniendo constante el volumen sumergido, y se calcula mediante la expresión

$$BM_t = \frac{I_T}{\nabla}$$

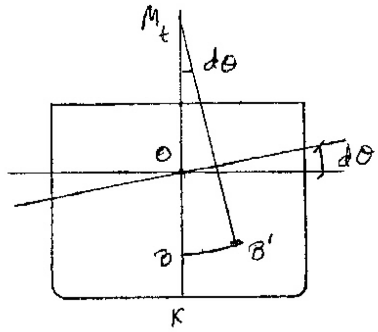

Figura 6.6:

Siendo I_T el momento de inercia del área de la flotación, respecto de un eje que pasa por la perpendicular al plano de giro y que pasa por su c.d.g.(F). Como las flotaciones son simétricas el momento de inercia queda

$$I_T = 2 * \int_{L_f} \frac{1}{3} * y^3 * dx$$

y siendo y las semimangas.

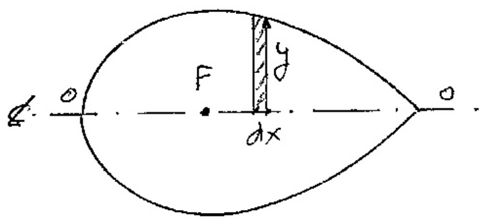

Figura 6.7:

6.2.9. Radio metacéntrico longitudinal

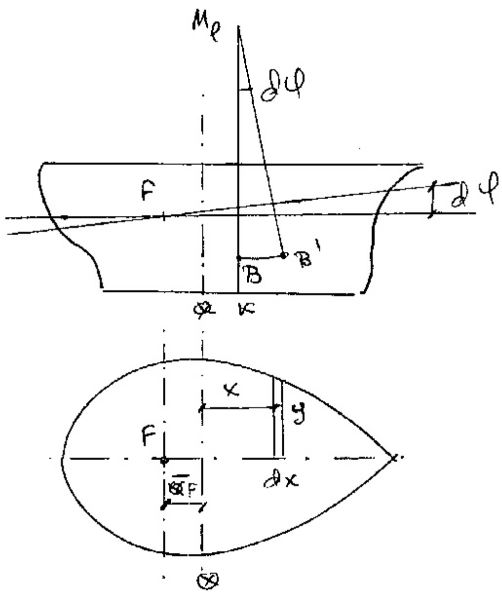

Figura 6.8:

Es lo mismo que en el caso anterior, salvo que ahora el plano de giro es el longitudinal

$$BM_l = \frac{I_l}{\nabla}$$

I_l es el momento de inercia del área de la flotación respecto del eje transversal que pasa por su c.d.g. (F).

Ahora bien, como quiera que el centro de la flotación F puede estar en cualquier posición , siempre resulta más cómodo calcular primero el momento de inercia respecto del eje paralelo que pasa por la perpendicular de popa o por la sección media ($I_{\otimes}$), después aplicando el teorema de Steiner, obtener I_l

$$I_l = I_{\otimes} - \otimes F^2 * A_f$$

Si, como es habitual, la flotación es simétrica

$$I_{\otimes} = 2 * \int_{L_f} x^2 * y * dx$$

En cuanto a los radios metacéntricos, conviene tener presente que el orden de magnitud de los radios metacéntricos transversales es relativamente pequeño, como mucho la decena, mientras que los longitudinales pueden llegar a la centena, o incluso mayores.

En algunos caso, en vez de dibujar los radios metacéntricos, lo que se dibuja es la distancia del metacentro, transversal o longitudinal sobre la línea base. Para ello se suma, para cada calado, la altura del c.d.c. al radio metacéntrico correspondiente.

$$KM_t = KB + BM_t \quad \text{y} \quad KM_l = KB + BM_l$$

6.2.10. Momento para alterar el trimado un centímetro

Es el momento necesario para modificar el trimado del buque (diferencia de calados en las perpendiculares) un centímetro para cada flotación, y se calcula mediante la expresión

$$MTC = \frac{I_l * \gamma}{100 * L}$$

siendo I_l,(m^4), el mismo momento de inercia que se utiliza para calcular BM_l, γ el peso específico supuesto para el agua de mar (normalmente 1.025 ó 1.026 t/m^3) y L es la eslora, que debería ser entre perpendiculares, en metros.

En las tablas siguientes se muestran las curvas hidrostáticas y sus cálculos.

Donde:

n: es la sección

Y: semimanga.

Fit: $FS \cdot Y^3$

Fil: $FS \cdot Y.n^2$

I_l : momento de inercia longitudinal.

I_t : momento de inercia transversal.

I_{oy}: momento de inerciarespecto del eje Y, en el plano XY.

T (m)	Af (m^2)	TCI (T)	XF (m)	V.Carena (m^3)	Δ (T)	KB (m)	XB (m)	BMt (m)	BMl (m)	MTC (T)
6	612,063	6,280	23,225	2811,262	2884,355	3,392	24,822	2,184	304,823	163,728
5,25	592,821	6,082	23,063	2359,561	2420,910	2,963	25,144	2,469	341,476	153,945
4,5	567,311	5,821	23,277	1922,407	1972,390	2,527	25,624	2,812	398,580	146,397
3,75	518,827	5,323	24,768	1514,339	1553,712	2,096	26,079	3,220	486,535	140,770
3	472,356	4,846	26,463	1147,887	1177,732	1,684	26,103	3,867	637,078	139,722
2,25	456,463	4,683	26,377	798,160	818,913	1,271	26,022	5,087	917,329	139,891
1,5	416,060	4,269	27,064	456,358	468,224	0,722	25,374	8,730	1546,111	134,809
0,75	347,535	3,566	26,632	181,101	185,810	0,378	23,111	13,884	3667,825	126,912

Figura 6.9:

X (m)	n	Y (m)	n*Y (m)	Y^3 (m^3)	Y*n^2	FS		FA		FM		Fit		FiI	
2,685	1	0,179	0,179	0,006	0,179	0,5		0,090		0,090		0,003		0,090	
4,028	1,5	0,461	0,692	0,098	1,037	2		0,922		1,383		0,196		2,075	
5,370	2	0,816	1,632	0,543	3,264	1		0,816		1,632		0,543		3,264	
6,713	2,5	1,280	3,200	2,097	8,000	2		2,560		6,400		4,194		16,000	
8,055	3	1,785	5,355	5,687	16,065	1		1,785		5,355		5,687		16,065	
9,398	3,5	2,277	7,970	11,806	27,893	2		4,554		15,939		23,611		55,787	
10,740	4	2,827	11,308	22,593	45,232	1,5		4,241		16,962		33,890		67,848	
13,425	5	3,884	19,420	58,592	97,100	4		15,536		77,680		234,368		388,400	
16,110	6	4,705	28,230	104,155	169,380	2		9,410		56,460		208,309		338,760	
18,795	7	5,176	36,232	138,670	253,624	4		20,704		144,928		554,680		1014,496	
21,480	8	5,444	43,552	161,345	348,416	2		10,888		87,104		322,689		696,832	
24,165	9	5,562	50,058	172,065	450,522	4		22,248		200,232		688,261		1802,088	
26,850	10	5,575	55,750	173,274	557,500	2		11,150		111,500		346,549		1115,000	
29,535	11	5,479	60,269	164,477	662,959	4		21,916		241,076		657,906		2651,836	
32,220	12	5,233	62,796	143,302	753,552	2		10,466		125,592		286,604		1507,104	
34,905	13	4,851	63,063	114,155	819,819	4		19,404		252,252		456,619		3279,276	
37,590	14	4,314	60,396	80,286	845,544	2		8,628		120,792		160,572		1691,088	
40,275	15	3,533	52,995	44,099	794,925	4		14,132		211,980		176,397		3179,700	
42,960	16	2,572	41,152	17,014	658,432	1,5		3,858		61,728		25,521		987,648	
44,303	16,5	2,098	34,617	9,235	571,181	2		4,196		69,234		18,469		1142,361	
45,645	17	1,650	28,050	4,492	476,850	1		1,650		28,050		4,492		476,850	
46,988	17,5	1,205	21,088	1,750	369,031	2		2,410		42,175		3,499		738,063	
48,330	18	0,837	15,066	0,586	271,188	0,5	0,5	0,419	0,419	7,533	7,533	0,293	0,293	135,594	135,594
49,673	18,5	0,557	10,305	0,173	190,633		1,5		0,836		15,457		0,259		285,950
51,015	19	0,324	6,156	0,034	116,964		1,5		0,486		9,234		0,051		175,446
52,358	19,5	0,149	2,906	0,003	56,657		0,5		0,075		1,458		0,002		28,329
								191,982	1,815	1886,077	33,677	4213,354	0,605	21306,228	625,319
								171,823	1,827	4532,383	91,048	3770,952	0,609	137473,218	4539,055

h	h/3	3h/8	h^2/3	3h^2/8	h^3/3	3h^3/8
2,685	0,895	1,007	2,403	2,703	6,452	7,259

Af/2 (m^2)	Xf (m)	It	Il	TCI	MTC	MTO
173,767	26,632	2514,374	530975,056	3,566	101,449	4627,809
Af (m^2)			Ioy			
347,535			284477,530			

Figura 6.10:

X (m)	n	Y (m)	n*Y (m)	Y^3 (m^3)	Y*n^2	FS	FA	FM	Fit	Fil
2,685	1	0,325	0,325	0,034	0,325	0,5	0,163	0,163	0,017	0,163
4,028	1,5	0,722	1,083	0,376	1,625	2	1,444	2,166	0,753	3,249
5,370	2	1,319	2,638	2,295	5,276	1	1,319	2,638	2,295	5,276
6,713	2,5	1,965	4,913	7,587	12,281	2	3,930	9,825	15,175	24,563
8,055	3	2,649	7,947	18,589	23,841	1	2,649	7,947	18,589	23,841
9,398	3,5	3,327	11,645	36,826	40,756	2	6,654	23,289	73,653	81,512
10,740	4	3,961	15,844	62,146	63,376	1,5	5,942	23,766	93,219	95,064
13,425	5	4,875	24,375	115,857	121,875	4	19,500	97,500	463,430	487,500
16,110	6	5,500	33,000	166,375	198,000	2	11,000	66,000	332,750	396,000
18,795	7	5,719	40,033	187,051	280,231	4	22,876	160,132	748,204	1120,924
21,480	8	5,782	46,256	193,301	370,048	2	11,564	92,512	386,602	740,096
24,165	9	5,806	52,254	195,718	470,286	4	23,224	209,016	782,873	1881,144
26,850	10	5,817	58,170	196,833	581,700	2	11,634	116,340	393,665	1163,400
29,535	11	5,811	63,921	196,224	703,131	4	23,244	255,684	784,897	2812,524
32,220	12	5,741	68,892	189,218	826,704	2	11,482	137,784	378,436	1653,408
34,905	13	5,560	72,280	171,880	939,640	4	22,240	289,120	687,518	3758,560
37,590	14	5,205	72,870	141,014	1020,180	2	10,410	145,740	282,028	2040,360
40,275	15	4,513	67,695	91,917	1015,425	4	18,052	270,780	367,668	4061,700
42,960	16	3,614	57,824	47,202	925,184	1,5	5,421	86,736	70,804	1387,776
44,303	16,5	3,050	50,325	28,373	830,363	2	6,100	100,650	56,745	1660,725
45,645	17	2,457	41,769	14,833	710,073	1	2,457	41,769	14,833	710,073
46,988	17,5	1,924	33,670	7,122	589,225	2	3,848	67,340	14,244	1178,450
48,330	18	1,472	26,496	3,190	476,928	1	1,472	26,496	3,190	476,928
49,673	18,5	1,106	20,461	1,353	378,529	2	2,212	40,922	2,706	757,057
51,015	19	0,875	16,625	0,670	315,875	1	0,875	16,625	0,670	315,875
52,358	19,5	0,800	15,600	0,512	304,200	2	1,600	31,200	1,024	608,400
53,700	20	0,705	14,100	0,350	282,000	0,5	0,353	7,050	0,175	141,000
							231,664	2329,190	5976,162	27585,567

h	h/3	3h/8	h^2/3	3h^2/8	h^3/3	3h^3/8
2,685	0,895	1,007	2,403	2,703	6,452	7,259

Af/2 (m^2)	Xf (m)	It	Il	TCI	MTC	MTO
208,030	27,064	3984,179	664247,910	4,269	126,912	5630,030
Af (m^2)			Ioy			
416,060			359510,479			

Figura 6.11:

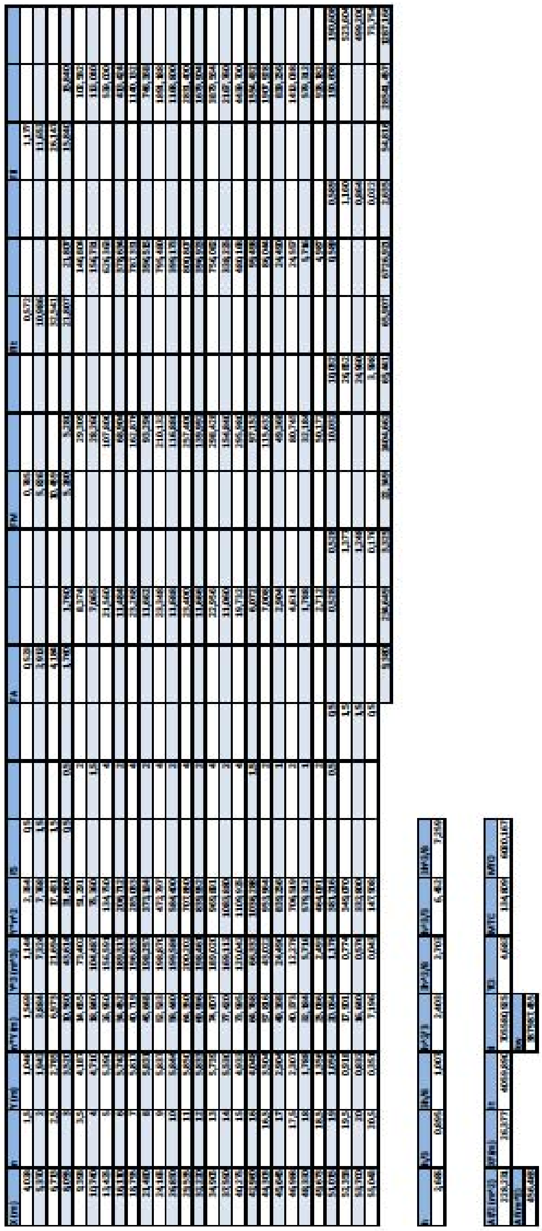

Figura 6.12:

X (m)	n	Y (m)	n*Y (m)	Y^3 (m^3)	Y*n^2	FS	FA	FM	FIt	FIl
2,685	1	0,333	0,333	0,037	0,333	0,5	0,167	0,167	0,018	0,167
4,028	1,5	2,047	3,071	8,577	4,606	2	4,094	6,141	17,155	9,212
5,370	2	3,135	6,270	30,811	12,540	1	3,135	6,270	30,811	12,540
6,713	2,5	3,831	9,578	56,226	23,944	2	7,662	19,155	112,452	47,888
8,055	3	4,385	13,155	84,316	39,465	1	4,385	13,155	84,316	39,465
9,398	3,5	4,866	17,031	115,217	59,609	2	9,732	34,062	230,434	119,217
10,740	4	5,235	20,940	143,466	83,760	1,5	7,853	31,410	215,200	125,640
13,425	5	5,658	28,290	181,129	141,450	4	22,632	113,160	724,517	565,800
16,110	6	5,816	34,896	196,731	209,376	2	11,632	69,792	393,462	418,752
18,795	7	5,844	40,908	199,586	286,356	4	23,376	163,632	798,345	1145,424
21,480	8	5,845	46,760	199,689	374,080	2	11,690	93,520	399,377	748,160
24,165	9	5,846	52,614	199,791	473,526	4	23,384	210,456	799,165	1894,104
26,850	10	5,848	58,480	199,996	584,800	2	11,696	116,960	399,993	1169,600
29,535	11	5,85	64,350	200,202	707,850	4	23,400	257,400	800,807	2831,400
32,220	12	5,844	70,128	199,586	841,536	2	11,688	140,256	399,173	1683,072
34,905	13	5,788	75,244	193,903	978,172	4	23,152	300,976	775,614	3912,688
37,590	14	5,663	79,282	181,610	1109,948	2	11,326	158,564	363,220	2219,896
40,275	15	5,199	77,985	140,527	1169,775	4	20,796	311,940	562,108	4679,100
42,960	16	4,357	69,712	82,711	1115,392	1,5	6,536	104,568	124,066	1673,088
44,303	16,5	3,848	63,492	56,978	1047,618	2	7,696	126,984	113,955	2095,236
45,645	17	3,283	55,811	35,384	948,787	1	3,283	55,811	35,384	948,787
46,988	17,5	2,685	46,988	19,357	822,281	2	5,370	93,975	38,714	1644,563
48,330	18	2,105	37,890	9,327	682,020	1	2,105	37,890	9,327	682,020
49,673	18,5	1,598	29,563	4,081	546,916	2	3,196	59,126	8,161	1093,831
51,015	19	1,169	22,211	1,598	422,009	1	1,169	22,211	1,598	422,009
52,358	19,5	0,876	17,082	0,672	333,099	2	1,752	34,164	1,344	666,198
53,700	20	0,656	13,120	0,282	262,400	0,5	0,328	6,560	0,141	131,200
							263,234	2588,305	7438,857	30979,055

h	h/3	3h/8	h^2/3	3h^2/8	h^3/3	3h^3/8
2,685	0,895	1,007	2,403	2,703	6,452	7,259

Af/2 (m^2)	Xf (m)	It	Il	TCI	MTC	MTO
236,178	26,463	4438,572	732175,594	4,846	139,891	6249,938
Af (m^2)			Ioy			
472,356			401393,507			

Figura 6.13:

X (m)	n	Y (m)	n*Y (m)	Y^3 (m^3)	Y*n^2	FS		FA		FM		It		FII	
1,343	-0,5	1,291	-0,646	2,152	0,323	0,5		0,646		-0,323		1,076		0,161	
0,000	0	2,242	0,000	11,270	0,000	1,5		3,363		0,000		16,904		0,000	
1,343	0,5	2,904	1,452	24,490	0,726	1,5		4,356		2,178		36,735		1,089	
2,685	1	3,449	3,449	41,028	3,449	0,5	0,5	1,725	1,725	1,725	1,725	20,514	20,514	1,725	1,725
4,028	1,5	3,906	5,859	59,593	8,789		2		7,812		11,718		119,186		17,577
5,370	2	4,314	8,628	80,286	17,256		1		4,314		8,628		80,286		17,256
6,713	2,5	4,737	11,843	106,294	29,606		2		9,474		23,685		212,589		59,213
8,055	3	5,072	15,216	130,478	45,648		1		5,072		15,216		130,478		45,648
9,398	3,5	5,348	18,718	152,959	65,513		2		10,696		37,436		305,917		131,026
10,740	4	5,557	22,228	171,602	88,912		1,5		8,336		33,342		257,402		133,368
13,425	5	5,768	28,840	191,900	144,200		4		23,072		115,360		767,601		576,800
16,110	6	5,840	35,040	199,177	210,240		2		11,680		70,080		398,353		420,480
18,795	7	5,850	40,950	200,202	286,650		4		23,400		163,800		800,807		1146,600
21,480	8	5,850	46,800	200,202	374,400		2		11,700		93,600		400,403		748,800
24,165	9	5,850	52,650	200,202	473,850		4		23,400		210,600		800,807		1895,400
26,850	10	5,850	58,500	200,202	585,000		2		11,700		117,000		400,403		1170,000
29,535	11	5,850	64,350	200,202	707,850		4		23,400		257,400		800,807		2831,400
32,220	12	5,838	70,056	198,972	840,672		2		11,676		140,112		397,944		1681,344
34,905	13	5,798	75,374	194,910	979,862		4		23,192		301,496		779,641		3919,448
37,590	14	5,715	80,010	186,659	1120,140		2		11,430		160,020		373,318		2240,280
40,275	15	5,350	80,250	153,130	1203,750		4		21,400		321,000		612,522		4815,000
42,960	16	4,595	73,520	97,019	1176,320		1,5		6,893		110,280		145,528		1764,480
44,303	16,5	4,144	68,376	71,164	1128,204		2		8,288		136,752		142,328		2256,408
45,645	17	3,631	61,727	47,872	1049,359		1		3,631		61,727		47,872		1049,359
46,988	17,5	3,069	53,708	28,906	939,881		2		6,138		107,415		57,812		1879,763
48,330	18	2,483	44,694	15,308	804,492		1		2,483		44,694		15,308		804,492
49,673	18,5	1,890	34,965	6,751	646,853		2		3,780		69,930		13,503		1293,705
51,015	19	1,306	24,814	2,228	471,466		1		1,306		24,814		2,228		471,466
52,358	19,5	0,792	15,444	0,497	301,158		2		1,584		30,888		0,994		602,316
53,700	20	0,133	2,660	0,002	53,200		0,5		0,067		1,330		0,001		26,600
								10,089	277,647	3,580	2670,048	75,229	8084,552	2,975	31999,953

h	h/3	3h/8	h^2/3	3h^2/8	h^3/3	3h^3/8
2,685	0,895	1,007	2,408	2,708	6,452	7,259

Af/2 (m^2)	Xf (m)	It	Il	TCI	MTC	MTO
259,413	24,768	4876,672	731293,812	5,323	139,722	6425,052
Af (m^2)			Ioy			
518,827			413027,367			

Figura 6.14:

X (m)	n	Y (m)	n*Y (m)	Y^3 (m^3)	Y*n^2	FS	FA	FM	FIt	FIl
-2,685	-1	3,416	-3,416	39,861	3,416	0,5	1,708	-1,708	19,931	1,708
1,343	-0,5	3,741	-1,871	52,356	0,935	2	7,482	-3,741	104,711	1,871
0,000	0	4,035	0,000	65,695	0,000	1	4,035	0,000	65,695	0,000
1,343	0,5	4,305	2,153	79,785	1,076	2	8,610	4,305	159,569	2,153
2,685	1	4,557	4,557	94,632	4,557	1	4,557	4,557	94,632	4,557
4,028	1,5	4,815	7,223	111,632	10,834	2	9,630	14,445	223,264	21,668
5,370	2	5,048	10,096	128,635	20,192	1	5,048	10,096	128,635	20,192
6,713	2,5	5,311	13,278	149,806	33,194	2	10,622	26,555	299,612	66,388
8,055	3	5,490	16,470	165,469	49,410	1	5,490	16,470	165,469	49,410
9,398	3,5	5,625	19,688	177,979	68,906	2	11,250	39,375	355,957	137,813
10,740	4	5,724	22,896	187,542	91,584	1,5	8,586	34,344	281,313	137,376
13,425	5	5,816	29,080	196,731	145,400	4	23,264	116,320	786,925	581,600
16,110	6	5,848	35,088	199,996	210,528	2	11,696	70,176	399,993	421,056
18,795	7	5,850	40,950	200,202	286,650	4	23,400	163,800	800,807	1146,600
21,480	8	5,850	46,800	200,202	374,400	2	11,700	93,600	400,403	748,800
24,165	9	5,850	52,650	200,202	473,850	4	23,400	210,600	800,807	1895,400
26,850	10	5,850	58,500	200,202	585,000	2	11,700	117,000	400,403	1170,000
29,535	11	5,850	64,350	200,202	707,850	4	23,400	257,400	800,807	2831,400
32,220	12	5,836	70,032	198,768	840,384	2	11,672	140,064	397,535	1680,768
34,905	13	5,803	75,439	195,415	980,707	4	23,212	301,756	781,660	3922,828
37,590	14	5,744	80,416	189,515	1125,824	2	11,488	160,832	379,030	2251,648
40,275	15	5,458	81,870	162,593	1228,050	4	21,832	327,480	650,370	4912,200
42,960	16	4,807	76,912	111,077	1230,592	1,5	7,211	115,368	166,615	1845,888
44,303	16,5	4,414	72,831	86,000	1201,712	2	8,828	145,662	171,999	2403,423
45,645	17	3,952	67,184	61,724	1142,128	1	3,952	67,184	61,724	1142,128
46,988	17,5	3,432	60,060	40,424	1051,050	2	6,864	120,120	80,848	2102,100
48,330	18	2,877	51,786	23,813	932,148	1	2,877	51,786	23,813	932,148
49,673	18,5	2,277	42,125	11,806	779,303	2	4,554	84,249	23,611	1558,607
51,015	19	1,600	30,400	4,096	577,600	1	1,600	30,400	4,096	577,600
52,358	19,5	0,924	18,018	0,789	351,351	2	1,848	36,036	1,578	702,702
53,700	20	0,000	0,000	0,000	0,000	0,5	0,000	0,000	0,000	0,000
							311,516	2754,531	9031,811	33270,029

h	h/3	3h/8	h^2/3	3h^2/8	h^3/3	3h^3/8
2,685	0,895	1,007	2,403	2,703	6,452	7,259

Af/2 (m^2)	Xf (m)	It	Il	TO	MTC	MTO
283,655	23,277	5405,625	736779,416	5,821	140,770	6602,738
Af (m^2)			Ioy			
567,311			429391,311			

Figura 6.15:

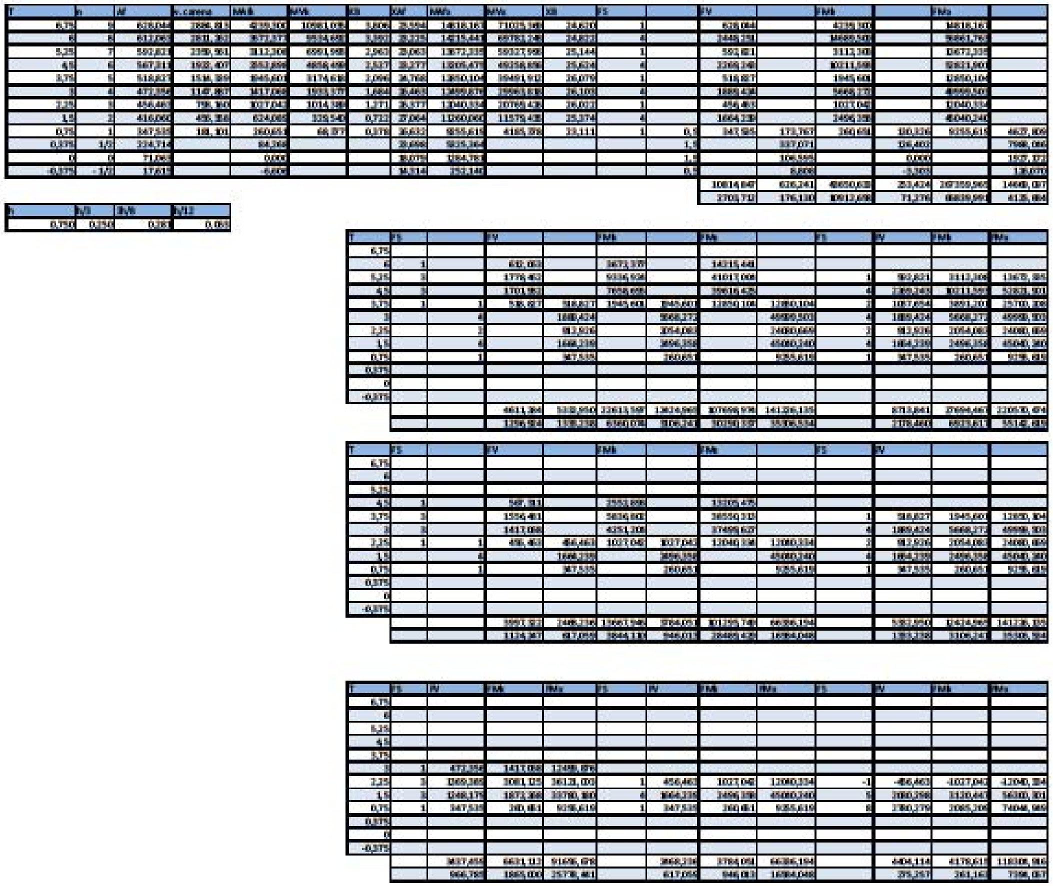

Figura 6.16:

Capítulo 7

Curvas de Bonjean

En este grupo de curvas se representan dos tipos de funciones: el área de cada sección de trazado (A_S) y el momento de cada una de estas áreas respecto al plano base (M_K), ambas en función del calado.

El diagrama de estas curvas puede ser representado de dos formas:

a) En forma de abanico, con el origen y el eje de calados común.

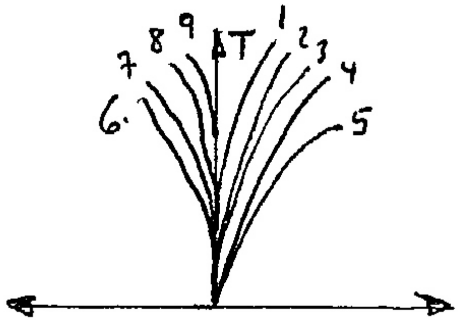

Figura 7.1:

A cada lado de este eje T se representan la mitad de las funciones de área, $A_S = f(T)$ (proa y popa de la sección media, $\otimes$), y lo mismo para las funciones momento $m_K = f(T)$. Hoy en día no es frecuente por resultar menos práctico que el otro tipo.

b) Separando las secciones. Sobre el papel se dibuja un simple esbozo del perfil del buque. Sobre el eje horizontal, que representa el plano o línea base, se levantan las distintas ordenadas, que corresponden a cada sección de trazado, donde se marca la escala de calados. Sobre cada origen relativo se dibujan la función área y los momentos de esa sección.

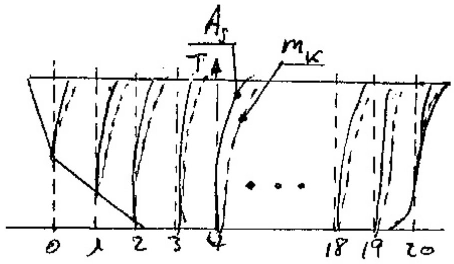

Figura 7.2:

Las curvas de Bonjean son más flexibles en su utilización que las curvas hidrostáticas corrientes, pues admiten cualquier flotación (plana adrizada, con trimado, o un perfil de ola cualquiera), la única limitación es que no tenga escora. Además el tipo b) de representación tiene la ventaja de que es más fácil visualizar la flotación que estemos calculando. En el caso de que la flotación sea plana, incluso con trimado, si elegimos adecuadamente los factores de escala, solamente necesitamos conocer los calados en las perpendiculares de proa y popa, pues marcándolos en el diagrama y trazando la recta que los une, su intersección con las ordenadas de las distintas secciones nos va dando sus respectivos calados.

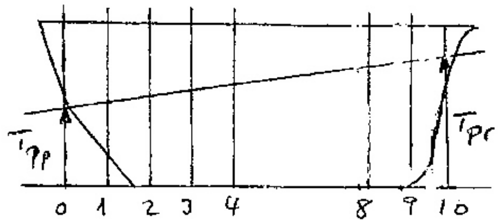

Figura 7.3:

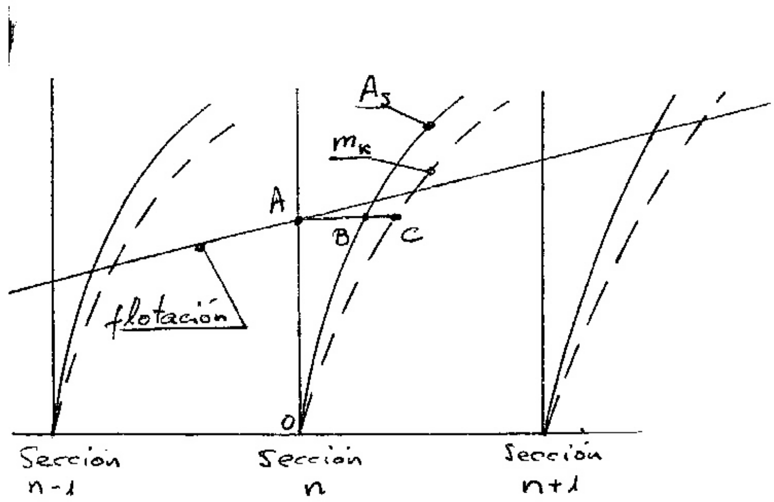

Figura 7.4:

$OA =$ calado en la sección n para esa flotación.
$AB =$ área de la sección n para el calado OA
$AC =$ momento respecto al plano base del área OA de la sección n

El cálculo de ambas funciones es el siguiente. Si suponemos que las secciones son simétricas, y que y son las semimangas en metros. Para un calado T tendremos un diferencial de área genérico $dA = y * dz$ situado a una altura z sobre el plano base con lo que

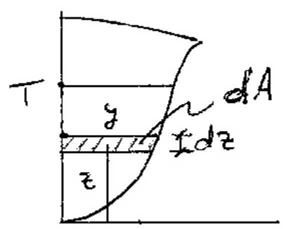

Figura 7.5:

$$A_S = 2\int_0^T y * dz \quad \text{y} \quad m_K = 2\int_0^T z * dA \quad \rightarrow \quad m_K = \int_0^T z * y * dz$$

Este cálculo se realiza para los calados correspondientes a cada línea de agua, lo que nos dará sendas familias de puntos. La función se obtiene después trazando la curva que pasa por todos ellos.

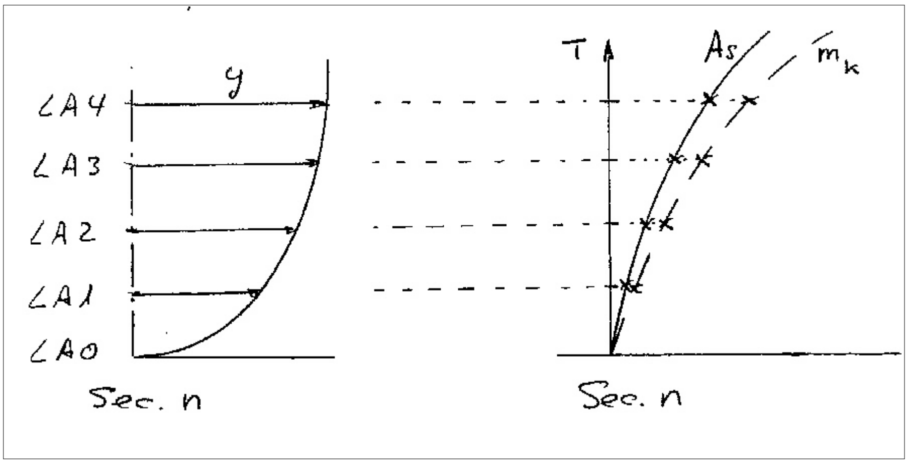

Figura 7.6:

Como podemos observar las curvas de Bonjean necesitan cuatro factores de escala: el de calados, el de la eslora o separación entre secciones (puede ser el mismo que el de calados), el de el área de las secciones y el de los momentos.

La finalidad de estas curvas es poder calcular el volumen de carena y las dos coordenadas (KB y $\otimes B$ ó XB) del centro de gravedad de carena de cualquier flotación que no tenga escora.

Volumen de carena

Si partimos del área de secciones:

$$d\nabla = A_S * dx$$

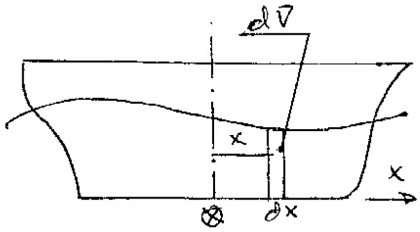

Figura 7.7:

$$\nabla = \int_L A_S * dx$$

Esta integral es a lo largo de la eslora sobre el plano base.

Si los valores calculados los multiplicamos por el peso específico obtendríamos los empujes o desplazamientos

$$\Delta = \gamma * \nabla = \int_L A_S * \gamma * dx$$

En este caso a la función $A_S * \gamma = f(T)$ para cada sección se la conoce como curva o función de empujes por unidad de longitud.

7.1. Momento del volumen de carena con relación al plano base

En una posición x cualquiera el diferencial de volumen es $d\nabla = A_S * dx$, en el que consideramos que A_S es constante en todo ese dx, es decir, comportándose como un prisma recto de sección constante, y por tanto la altura de su c.d.g., kg, coincidirá con la del c.d.g. del volumen $d\nabla$: $kg = kb$.

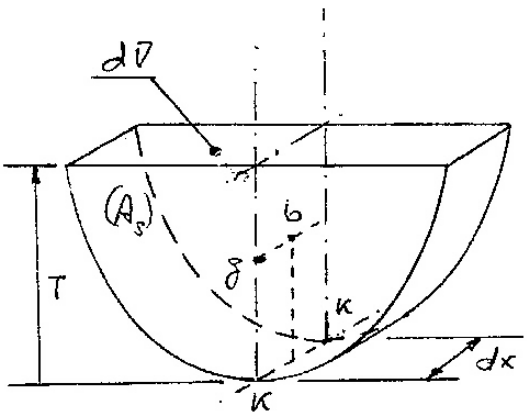

Figura 7.8:

Por otro lado, el momento de $d\nabla$ respecto al plano base, al no tener una separación uniforme respecto al mismo, valdrá

$$dM_K = kb * d\nabla = kg * d\nabla = kg * A_S * dx = \frac{m_K}{A_S} * A_S * dx \quad \rightarrow$$

$$M_K = \int_L m_K * dx$$

A modo de resumen, podemos concluir que la integral del área de las secciones a lo largo de la eslora nos da el volumen de carena, y que la integral del momento de las secciones, también a lo largo de la eslora, nos da el correspondiente momento del volumen.

7.2. Momento del volumen de carena respecto a la perpendicular de popa

Si consideramos un diferencial de volumen genérico $d\nabla = A_S * dx$, situado a una distancia x, uniforme, respecto al plano de referencia, en este caso la perpendicular de popa, su momento será

$dM_x = x * d\nabla = x * A_S * dx$

y el momento de todo el volumen

$M_x = \int_L x * A_S * dx$

7.3. Coordenadas del centro de carena

Una vez conocidos los valores ∇, M_K y M_x, del volumen sumergido en la flotación que se trate, para obtener la posición de su c.d.c. solamente hay que aplicar la definición de c.d.g.

$$KB = \frac{M_K}{\nabla} \quad \text{y} \quad XB = \frac{M_x}{\nabla}$$

A continuación se adjuntan las curvas de Bonjean con sus cálculos.

Donde:

L.A.: línea de agua

Y: semimanga

FA: coeficiente de Simpson (FS) por la semimanga.

FM: $FS \cdot Y \cdot LA$

h: longitud de la partición.

T: calado

	ESPEJO		C.-1		C.-1/2		C.0		C.1/2		C.1		C.1^1/2		C.2		C.2^1/2		C.3	
T	Área	Mto.K	Área	Mto.K	Área	Mto.K	Área	Mto.K	Área	Mto.K	Área	Mto.K	Área	Mto.K	Área	Mto.K	Área	Mto.K	Área	Mto.K
6,75	21,198	118,188	23,452	128,808	25,492	138,410	29,718	146,432	29,996	158,212	33,480	170,220	40,885	189,357	46,841	204,964	52,532	219,137	57,558	230,517
6	14,000	72,278	16,006	81,298	17,722	89,056	21,752	95,748	21,861	106,407	25,208	117,468	32,384	135,155	38,367	150,543	43,930	164,127	48,886	175,172
5,25	7,386	35,030	8,716	45,776	10,584	48,710	14,312	53,766	14,158	62,986	17,258	72,716	24,071	88,831	29,987	103,491	35,410	116,231	40,279	126,769
4,5	1,902	8,186	3,184	13,450	3,238	16,458	6,908	20,340	6,596	28,234	9,954	37,062	16,711	52,621	22,038	64,737	27,172	75,770	31,865	85,179
3,75					0,178	0,660	2,740	0,752	1,620	5,800	3,836	11,722	9,841	24,272	15,008	35,506	19,619	44,496	23,919	52,343
3											0,738	0,942	5,468	9,422	9,318	16,321	13,127	22,547	16,784	28,209
2,25											0,698	0,828	3,271	3,490	5,610	6,422	8,194	9,491	10,853	12,563
1,5											0,554	0,590	1,953	0,997	3,179	1,823	4,646	2,781	6,228	3,809
0,75											0,094	0,056	1,073	-0,026	1,593	0,125	2,230	0,329	2,903	0,562
0,375													0,768	-0,200	1,054	-0,184	1,386	-0,154	1,720	-0,114
0													0,586	-0,249	0,753	-0,266	0,935	-0,279	1,108	-0,286
-0,375													0,300	-0,208	0,314	-0,208	0,318	-0,204	0,312	-0,196

	C.3^1/2		C.4		C.5		C.6		C.7		C.8		C.9		C.10		C.11		C.12	
T	Área	Mto.K	Área	Mto.K	Área	Mto.K	Área	Mto.K	Área	Mto.K	Área	Mto.K	Área	Mto.K	Área	Mto.K	Área	Mto.K	Área	Mto.K
6,75	62,069	240,414	65,980	248,453	74,729	137,471	74,828	263,225	76,210	264,740	76,915	265,310	76,859	132,795	75,936	265,680	75,950	265,634	74,657	264,506
6	53,348	184,805	57,237	192,651	68,778	116,895	66,064	207,269	67,453	208,806	68,153	209,375	68,094	104,827	67,170	209,742	67,175	209,693	65,897	208,662
5,25	44,674	136,014	48,510	143,561	55,516	80,430	57,291	157,918	58,678	159,446	59,377	160,014	59,319	80,146	58,395	160,382	58,400	160,364	57,142	159,430
4,5	36,128	93,555	39,851	100,360	45,262	54,422	48,505	113,277	49,885	114,516	50,590	114,875	50,534	57,518	49,611	115,124	49,625	117,556	48,387	116,735
3,75	27,874	59,477	31,384	65,384	36,581	36,496	39,751	77,102	41,128	78,323	41,827	78,680	41,769	39,420	40,845	78,928	40,850	81,359	39,633	80,624
3	20,187	33,489	23,258	37,951	27,989	22,006	30,993	47,595	32,338	48,712	33,042	49,070	32,986	24,614	32,062	49,314	32,064	51,744	30,856	51,052
2,25	13,375	15,544	15,781	18,256	19,686	11,083	22,328	24,796	23,607	25,746	24,297	26,082	24,233	13,114	23,302	26,296	23,300	28,709	22,110	28,051
1,5	7,716	4,825	9,230	5,848	11,928	3,752	13,827	8,757	14,899	9,348	15,551	9,638	15,475	4,886	14,529	9,815	14,518	9,527	13,377	9,291
0,75	3,489	0,784	4,090	1,034	5,299	0,765	6,104	1,953	6,672	2,252	7,095	2,493	6,922	1,318	5,958	2,659	6,014	2,640	5,095	2,304
0,375	1,992	-0,072	2,245	-0,021	2,738	0,036	2,988	0,188	3,117	0,269	3,174	0,346	2,715	0,199	1,582	0,419	2,130	0,395	1,693	0,333
0	1,243	-0,286	1,361	-0,278	1,581	-0,137	1,654	-0,225	1,693	-0,195	1,696	-0,164	1,442	-0,059	0,851	-0,044	0,188	-0,030	0,142	-0,016
-0,375	0,300	-0,184	0,282	-0,168	0,282	-0,081	0,204	-0,110	0,154	-0,078	0,104	-0,048	0,056	-0,012	0,008	-0,002				

	c.13		C.14		C.15		C.16		C.16^1/2		C.17		C.17^1/2		C.18		C.18^1/2		C.19	
T	Área	Mto.K	Área	Mto.K	Área	Mto.K	Área	Mto.K	Área	Mto.K	Área	Mto.K	Área	Mto.K	Área	Mto.K	Área	Mto.K	Área	Mto.K
6,75	72,578	261,925	69,596	257,474	63,322	243,109	53,777	214,459	48,578	197,176	42,681	176,831	36,432	154,324	30,294	131,318	24,370	108,005	18,582	83,465
6	63,848	206,268	60,901	202,043	54,817	188,884	45,839	163,841	41,021	148,978	35,628	131,847	29,994	113,250	24,516	94,447	19,300	75,638	14,332	56,310
5,25	55,129	157,233	52,235	153,298	46,428	141,687	38,180	120,739	33,825	108,479	29,016	94,622	24,067	79,876	19,322	65,192	14,904	50,872	10,874	36,822
4,5	46,419	114,767	43,600	111,204	38,168	101,422	30,815	84,827	27,009	75,231	22,857	64,569	18,658	53,472	14,713	42,682	11,162	32,602	8,149	23,516
3,75	37,720	78,878	35,006	75,746	30,061	67,962	23,764	55,712	20,589	48,719	17,167	41,066	13,778	33,311	10,692	26,065	8,052	19,730	5,997	14,597
3	29,012	49,545	26,453	46,925	22,114	41,191	17,017	32,995	14,573	28,443	11,964	23,518	9,444	18,701	7,246	14,446	5,431	10,900	4,136	8,346
2,25	20,375	26,823	18,058	24,831	14,522	21,187	10,728	16,401	9,069	13,919	7,333	11,293	5,720	8,851	4,347	6,767	3,233	5,072	2,478	3,947
1,5	11,835	8,843	9,936	8,113	7,367	6,881	4,515	6,016	3,734	5,020	2,965	4,018	2,235	3,075	1,624	2,280	1,143	1,648	0,777	1,183
0,75	3,960	1,867	2,726	1,377	1,263	0,774	1,266	0,699	1,066	0,587	0,870	0,477	0,674	0,368	0,504	0,272	0,360	0,194	0,223	0,120
0,375	1,175	0,247	0,636	0,155	0,029	0,042	0,190	0,040	0,168	0,040	0,142	0,036	0,116	0,032	0,090	0,026	0,064	0,020	0,038	0,012
0	0,098	-0,008	0,052	-0,002	0,008	0,000														
-0,375																				

	C.19^1/2		C.20		C.20^1/2	
T	Área	Mto.K	Área	Mto.K	Área	Mto.K
6,75	13,372	59,067	7,324	30,879	1,020	4,454
6	10,090	38,080	5,152	16,976	0,524	1,202
5,25	7,695	24,572	3,830	9,573	0,524	1,202
4,5	6,032	16,466	3,520	7,985	0,524	1,202
3,75	4,789	11,292	3,558	8,079	0,524	1,202
3	3,524	7,082	2,921	5,981	0,524	1,202
2,25	2,182	3,519	1,767	2,897	0,226	0,468
1,5	0,582	0,892	0,576	0,724		
0,75	0,048	0,030				
0,375						
0						
-0,375						

Figura 7.9:

Figura 7.10:

L.A.	Calado (m)	Y(m)	Mto semiarea	semiarea(m^2)	area(m^2)	c.d.g(m)	FS		FA		FS		FA		FS	FA
9	6,75	5,705	121,554	31,661	63,322	3,839	1		5,705							
8	6	5,633	94,442	27,408	54,817	3,446	4		22,532		1		5,633			
7	5,25	5,551	70,843	23,214	46,428	3,052	2		11,102		3		16,653		1	5,551
6	4,5	5,458	50,711	19,084	38,168	2,657	4		21,832		3		16,374		4	21,832
5	3,75	5,350	33,981	15,031	30,061	2,261	2		10,700		1	1	5,350	5,350	2	10,700
4	3	5,199	20,596	11,057	22,114	1,863	4		20,796			4		20,796	4	20,796
3	2,25	4,933	10,594	7,261	14,522	1,459	2		9,866			2		9,866	2	9,866
2	1,5	4,513	3,440	3,684	7,367	0,934	4		18,052			4		18,052	4	18,052
1	0,75	3,533	0,387	0,631	1,263	0,613	1	0,5	3,533	1,767		1		3,533	1	3,533
0,5	0,375	0,297	0,021	0,014	0,029	1,465		2		0,594						
0	0	0,297	0,000	0,004	0,008	0,000		0,5		0,149						
									124,118	2,909			44,010	57,597		90,330
									31,030	0,627			12,378	14,399		22,583

h	h/3	3h/8	h/12	h^2/3	3h^2/8
0,750	0,250	0,281	0,063	0,188	0,211

L.A.	FM				FM			FM
9	51,345							
8	180,256				45,064			
7	77,714				116,571			38,857
6	130,993				98,244			130,993
5	53,500				26,750	26,750		53,500
4	83,184					83,184		83,184
3	29,598					29,598		29,598
2	36,104					36,104		36,104
1	3,533	1,767				3,533		3,533
0,5		0,297						
0		0,000						
	646,226	2,064			286,629	179,169		375,768
	121,167	0,387			60,461	33,594		70,457

L.A.	FS		FA		FS	FA	FS	FA	FS	FA	FS	FA	FS	FA
9														
8														
7														
6	1		5,458											
5	3		16,050		1	5,350								
4	3		15,597		4	20,796	1	5,199						
3	1	1	4,933	4,933	2	9,866	3	14,799	1	4,933	-1	-4,933		
2		4		18,052	4	18,052	3	13,539	4	18,052	8	36,104		
1		1		3,533	1	3,533	1	3,533	1	3,533	5	17,665	-0,5	-1,767
0,5													4	1,188
0													2,5	0,743
			42,038	26,518		57,597		37,070		26,518		48,836		0,164
			11,823	6,630		14,399		10,426		6,630		3,052		0,010

L.A.			FM			FM		FM		FM
9										
8										
7										
6			32,748							
5			80,250			26,750				
4			62,388			83,184		20,796		
3			14,799	14,799		29,598		44,397		14,799
2				36,104		36,104		27,078		36,104
1				3,533		3,533		3,533		3,533
0,5										
0										
			190,185	54,436		179,169		95,804		54,436
			40,117	10,207		33,594		20,209		10,207

Figura 7.11:

L.A.	Calado (m)	Y(m)	Mto semiarea	semiarea(m^2)	area(m^2)	c.d.g(m)	FS		FS				FS	
9	6,75	3,100	41,732	9,291	18,582	4,492	1	3,100						
8	6	2,567	28,155	7,166	14,332	3,929	4	10,268	1		2,567			
7	5,25	2,048	18,411	5,437	10,874	3,386	2	4,096	3		6,144		1	2,048
6	4,5	1,600	11,758	4,074	8,149	2,886	4	6,400	3		4,800		4	6,4
5	3,75	1,306	7,299	2,999	5,997	2,434	2	2,612	1	1	1,306	1,306	2	2,612
4	3	1,169	4,173	2,068	4,136	2,018	4	4,676		4		4,676	4	4,676
3	2,25	1,056	1,973	1,239	2,478	1,593	2	2,112		2		2,112	2	2,112
2	1,5	0,875	0,592	0,388	0,777	1,523	4	3,500		4		3,500	4	3,5
1	0,75	0,324	0,060	0,112	0,223	0,537	1	0,324		1		0,324	1	0,324
0,5	0,375	0,170	0,006	0,019	0,038	0,316		37,088			14,817	11,918		21,672
								9,272			4,167	2,980		5,418

h	h/3	3h/8	h/12	h^2/3	3h^2/8
0,750	0,250	0,281	0,063	0,188	0,211

L.A.	FM			FM			FM
9	27,900						
8	82,144			20,536			
7	28,672			43,008			14,336
6	38,400			28,800			38,400
5	13,060			6,530	6,530		13,060
4	18,704				18,704		18,704
3	6,336				6,336		6,336
2	7,000				7,000		7,000
1	0,324				0,324		0,324
0,5	222,540			98,874	38,894		98,160
	41,726			20,856	7,298		18,405

L.A.	FS				FS		FS		FS		FS	
9												
8												
7												
6	1		1,600									
5	3		3,918		1	1,306						
4	3		3,507		4	4,676	1	1,169				
3	1	1	1,056	1,056	2	2,112	3	3,168	1	1,056	-1	-1,056
2		4		3,500	4	3,500	3	2,625	4	3,500	5	4,375
1		1		0,324	1	0,324	1	0,324	1	0,324	8	2,592
0,5			10,081	4,880		11,918		7,286		4,880		5,911
			2,835	1,220		2,980		2,049		1,220		0,369

L.A.			FM			FM		FM		FM
9										
8										
7										
6			9,600							
5			19,590			6,530				
4			14,028			18,704		4,676		
3			3,168	3,168		6,336		9,504		3,168
2				7,000		7,000		5,250		7,000
1				0,324		0,324		0,324		0,324
0,5			46,386	10,492		38,894		19,754		10,492
			9,785	1,967		7,293		4,167		1,967

Figura 7.12:

L.A.	Calado (m)	Y (m)	Mto semiarea	semiarea(m^2)	area(m^2)	c.d.g(m)	FS		FS		FA		FS	FA
9	6,75	2,488	29,533	6,686	13,372	4,417	1	2,488						
8	6	1,885	19,040	5,045	10,090	3,774	4	7,540	1		1,885			
7	5,25	1,325	12,286	3,848	7,695	3,193	2	2,650	3		3,975		1	1,325
6	4,5	0,924	8,233	3,016	6,032	2,730	4	3,696	3		2,772		4	3,696
5	3,75	0,792	5,646	2,394	4,789	2,358	2	1,584	1	1	0,792	0,792	2	1,584
4	3	0,876	3,541	1,762	3,524	2,010	4	3,504		4		3,504	4	3,504
3	2,25	0,918	1,759	1,091	2,182	1,613	2	1,836		2		1,836	2	1,836
2	1,5	0,800	0,446	0,291	0,582	1,532	4	3,200		4		3,200	4	3,200
1	0,75	0,149	0,015	0,024	0,048	0,625	1	0,149		1		0,149	1	0,149
								26,647			9,424	9,481		15,294
								6,662			2,651	2,370		3,824

h	h/3	3h/8	h/12	h^2/3	3h^2/8
0,750	0,250	0,281	0,063	0,188	0,211

L.A.	FM			FM			FM
9	22,392						
8	60,320			15,080			
7	18,550			27,825			9,275
6	22,176			16,632			22,176
5	7,920			3,960	3,960		7,920
4	14,016				14,016		14,016
3	5,508				5,508		5,508
2	6,400				6,400		6,400
1	0,149				0,149		0,149
	157,431			63,497	30,033		65,444
	29,518			13,394	5,631		12,271

L.A.	FS		FA		FS	FA	FS	FA	FS	FA	FS	FA
9												
8												
7												
6	1		0,924									
5	3		2,376		1	0,792						
4	3		2,628		4	3,504	1	0,876				
3	1	1	0,918	0,918	2	1,836	3	2,754	1	0,918	-1	-0,918
2		4		3,200	4	3,200	3	2,400	4	3,200	5	4,000
1		1		0,149	1	0,149	1	0,149	1	0,149	8	1,192
			6,846	4,267		9,481		6,179		4,267		4,274
			1,925	1,067		2,370		1,738		1,067		0,267

L.A.			FM			FM		FM		FM
9										
8										
7										
6			5,544							
5			11,880			3,960				
4			10,512			14,016		3,504		
3			2,754	2,754		5,508		8,262		2,754
2				6,400		6,400		4,800		6,400
1				0,149		0,149		0,149		0,149
			30,690	9,303		30,033		16,715		9,303
			6,474	1,744		5,631		3,526		1,744

Figura 7.13:

L.A.	Calado (m)	Y(m)	Mto semiarea	semiarea(m^2)	area(m^2)	c.d.g(m)	FS		FA		FS	FA	FS		FA	
9	6,75	1,768	15,439	3,662	7,324	4,216	1		1,768							
8	6	1,131	8,488	2,576	5,152	3,295	3		3,393		1	1,131				
7	5,25	0,531	4,787	1,915	3,830	2,500	3		1,593		4	2,124	1		0,531	
6	4,5	0,010	3,992	1,760	3,520	2,269	1	1	0,010	0,010	2	0,020	3		0,030	
5	3,75	0,133	4,040	1,779	3,558	2,271		4		0,532	4	0,532	3		0,399	
4	3	0,656	2,990	1,460	2,921	2,048		2		1,312	2	1,312	1	1	0,656	0,656
3	2,25	0,832	1,449	0,883	1,767	1,640		4		3,328	4	3,328		4		3,328
2	1,5	0,705	0,362	0,288	0,576	1,257		1		0,705	1	0,705		1		0,705
									6,764	5,887		9,152			1,616	4,689
									1,902	1,472		2,288			0,455	1,172

h	h/3	3h/8	h/12	h^2/3	3h^2/8
0,750	0,250	0,281	0,063	0,188	0,211

L.A.	Calado (m)	FM			FM			FM	
9	6,75	15,912							
8	6	27,144			9,048				
7	5,25	11,151			14,868			3,717	
6	4,5	0,060	0,060		0,120			0,180	
5	3,75		2,660		2,660			1,995	
4	3		5,248		5,248			2,624	2,624
3	2,25		9,984		9,984				9,984
2	1,5		1,410		1,410				1,410
		54,267	19,362		43,338			8,516	14,018
		11,447	3,630		8,126			1,796	2,628

L.A.	Calado (m)	FS	FA	FS	FA	FS	FA	FS	FA
9	6,75								
8	6								
7	5,25								
6	4,5	1	0,010						
5	3,75	4	0,532	1	0,133				
4	3	2	1,312	3	1,968	1	0,656	-1	-0,656
3	2,25	4	3,328	3	2,496	4	3,328	8	6,656
2	1,5	1	0,705	1	0,705	1	0,705	5	3,525
			5,887		5,302		4,689		9,525
			1,472		1,491		1,172		0,595

L.A.	Calado (m)		FM		FM		FM
9	6,75						
8	6						
7	5,25						
6	4,5		0,060				
5	3,75		2,660		0,665		
4	3		5,248		7,872		2,624
3	2,25		9,984		7,488		9,984
2	1,5		1,410		1,410		1,410
			19,362		17,435		14,018
			3,630		3,678		2,628

Figura 7.14:

L.A.	Calado (m)	Y(m)	Mto semiarea	semiarea(m^2)	area(m^2)	c.d.g(m)	FS		fs		FS		FS	
9	6,75	5,477	79,106	14,998	29,996	5,275	1	5,477						
8	6	5,312	53,204	10,931	21,861	4,867	4	21,248	1	5,312				
7	5,25	4,951	31,493	7,079	14,158	4,449	2	9,902	3	14,853	1	4,951	-1	-4,951
6	4,5	4,305	14,117	3,298	6,596	4,281	4	17,220	3	12,915	4	17,220	5	21,525
5	3,75	2,904	2,900	0,810	1,620	3,580	1	2,904	1	2,904	1	2,904	8	23,232
								56,751		35,984		25,075		39,806
								14,188		10,121		6,269		2,488

h	h/3	3h/8	h/12	h^2/3	3h^2/8
0,750	0,250	0,281	0,063	0,188	0,211

L.A.	FM		FM		FM
9	49,293				
8	169,984		42,496		
7	69,314		103,971		34,657
6	103,320		77,490		103,320
5	14,520		14,520		14,520
	406,431		238,477		152,497
	76,206		50,304		28,593

Figura 7.15:

L.A.	Calado (m)	Y(m)	Mto semiarea	semiarea(m^2)	area(m^2)	c.d.g(m)	FS		FS		FS	
9	6,75	5,078	64,405	11,726	23,451	5,493	1	5,078				
8	6	4,829	40,649	8,003	16,007	5,079	3	14,487	1	4,829	-1	-4,829
7	5,25	4,350	22,888	4,358	8,715	5,252	3	13,050	4	17,400	5	21,750
6	4,5	3,416	6,725	1,592	3,184	4,224	1	3,416	1	3,416	8	27,328
								36,031		25,645		44,249
								10,134		6,411		2,766

h	h/3	3h/8	h/12	h^2/3	3h^2/8
0,750	0,250	0,281	0,063	0,188	0,211

L.A.	FM		FM
9	45,702		
8	115,896		38,632
7	91,350		121,800
6	20,496		20,496
	273,444		180,928
	57,680		33,924

Figura 7.16:

Capítulo 8

Estudio de los momentos críticos

En este apartado, se muestra una tabla que en función del recorrido realizado por el buque en la grada muestra el empuje, centro de carena, la reacción de la cama y par producido por el empuje respecto a un plano perpendicular al plano de crujía, perpendicular al plano de flotación y que pasa por donde la perpendicular de proa intersecta con los santos de proa.

Con estos datos, el peso del buque en el momento de la botadura y la posición del centro de gravedad del buque calculado anteriormente, se puede comparar el par producido por el peso del buque y el par producido por el empuje, los dos respecto al plano mencionado en el párrafo anterior . Y obtener el momento en que se produce el giro, si es que no hay arfada, cuando el valor del par producido por el empuje supere al del producido por el peso.

Para la obtención de propiedades geométricas del volumen sumergido se han utilizado las curvas de Bonjean, tal y como se explicó en apartados anteriores.

Los métodos de cálculo utilizados en el presente proyecto, para cumplir con los objetivos, son métodos numéricos aproximados. Que aunque tienen una precisión adecuada en este caso, no conviene olvidar que se comete un cierto error con su uso, por lo que debemos asegurarnos de que los resultados obtenidos no se encuentren muy cerca de los puntos críticos.

Xpp	Tpp	Tpr	V.CARENA (M^3)	EMPUJE (T)	BRAZO.Ppr	PAR EMPUJE.Ppr	PESO BUQUE	BRAZO PESO	PAR PESO.Ppr	reacción
79,040	-0,067	-1,004	6,926	7,107	46,766	332,346	1428,386	27,609	39436,309	1421,279
86,040	0,251	-0,686	27,950	28,677	38,877	1114,874	1428,386	27,609	39436,309	1399,709
93,040	0,568	-0,369	51,718	53,063	37,173	1972,537	1428,386	27,609	39436,309	1375,323
100,040	0,886	-0,051	103,727	106,424	35,189	3745,003	1428,386	27,609	39436,309	1321,962
107,040	1,203	0,266	193,843	198,882	33,139	6590,682	1428,386	27,609	39436,309	1229,504
114,040	1,521	0,584	301,459	309,297	31,669	9795,121	1428,386	27,609	39436,309	1119,089
121,040	1,838	0,901	422,320	433,301	30,545	13235,024	1428,386	27,609	39436,309	995,085
135,040	2,474	1,537	683,816	701,595	29,498	20695,977	1428,386	27,609	39436,309	726,791
149,040	3,109	2,172	972,438	997,721	28,817	28751,112	1428,386	27,609	39436,309	430,665
163,040	3,744	2,807	1277,460	1310,674	28,536	37401,893	1428,386	27,609	39436,309	117,712
170,400	4,061	3,124	1449,133	1486,811	28,768	42772,048	1428,386	27,609	39436,309	-58,425

Figura 8.1:

x_{pp}: Distancia recorrida por el buque a lo largo de la grada.(referenciado el punto a la perpendicular de popa)
T_{pp}: Calado en la perpendicular de popa.
T_{pr}: Calado en la perpendicular de proa.
$v.carena$: Volumen de carena.
$Brazo.P_{pr}$: Brazo del par producido por el empuje.
$Brazo.peso$: Brazo del par producido por el peso.
Reacción: Reacción en la cama del buque. Diferencia entre el peso y el empuje.

Realizando una interpolación lineal en el intervalo en el que se observa que se produce la condición de giro, par del empuje igual al par del peso, se puede determinar el momento del giro.

Xpp.GIRO	Tpp	Tpr	V.CARENA (M^3)	EMPUJE (T)	BRAZO.Ppr	PAR EMPUJE.Ppr	PESO BUQUE	BRAZO PESO	PAR PESO.Ppr	reacción
165,828244	3,899240828	2,96224083	1365,571654	1401,07652	28,1471486	39436,309	1428,386	27,609	39903,3913	27,309

Figura 8.2:

Como se observa en las tablas, no existirá saludo puesto que cuando el buque abandone la grada no habrá terminado todo el recorrido de las anguilas.

Tampoco existe riesgo alguno de arfada, el giro se comienza a producir antes de que el centro de gravedad del buque sobrepase el extremo de las anguilas.

Acontinuación se pueden ver los calculos de la evolución del volumen sumergido, realizados con las tablas de las curvas de Bonjean interpolando.

n:sección

T: calado.

MTO.K: momento del área respecto del plano base.

Fv: $FS \cdot \acute{A}rea$

FMx: $FS \cdot n \cdot \acute{A}rea$

FMK: $MTO.K \cdot FS$

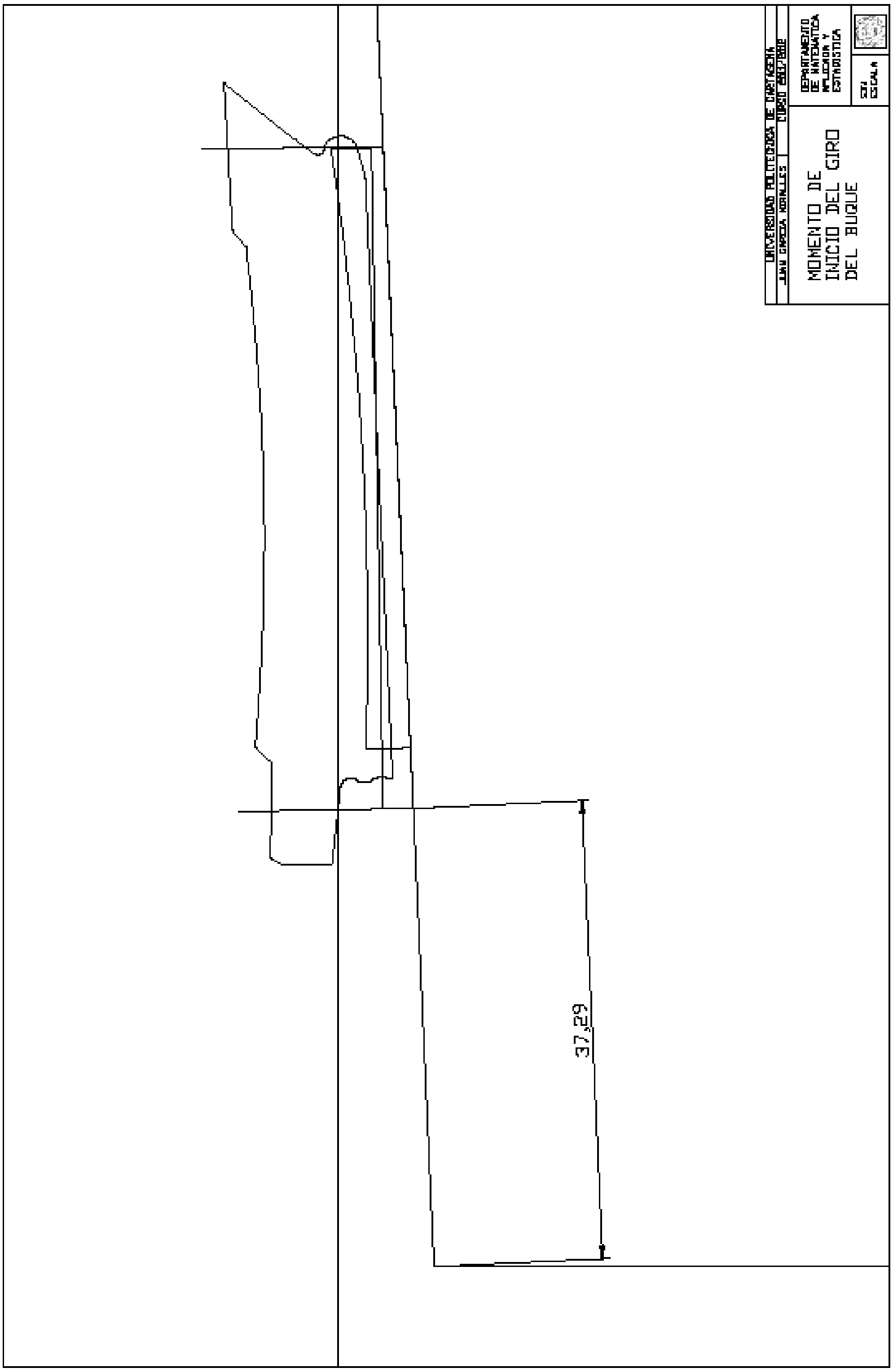

Figura 8.3:

n	T	Ti	Tf	Ai	Af	MTO.K.i	MTO.K.f	AREA	MTO.K
6	-0,348	-0,375	0,000	0,204	1,654	-0,110	-0,225	0,309	-0,118
5	-0,301	-0,375	0,000	0,282	1,581	-0,162	-0,274	0,539	-0,184
4	-0,254	-0,375	0,000	0,282	1,361	-0,168	-0,278	0,631	-0,204
3,5	-0,231	-0,375	0,000	0,300	1,243	-0,184	-0,286	0,663	-0,223
3	-0,208	-0,375	0,000	0,312	1,108	-0,196	-0,286	0,667	-0,236
2,5	-0,184	-0,375	0,000	0,318	0,935	-0,204	-0,279	0,633	-0,242
2	-0,160	-0,375	0,000	0,314	0,753	-0,208	-0,266	0,565	-0,241
1,5	-0,137	-0,375	0,000	0,300	0,586	-0,208	-0,249	0,481	-0,234

n	FS			FV			FMx			FMK		
6	1			0,309			1,856			-0,118		
5	4			2,157			10,784			-0,737		
4	1	0,5		0,631	0,315		2,523	1,262		-0,204	-0,102	
3,5		1,5			0,994			3,479			-0,335	
3		1,5			1,001			3,002			-0,354	
2,5		0,5	0,5		0,316	0,316		0,791	0,791		-0,121	-0,121
2			2			1,130			2,261			-0,482
1,5			0,5			0,241			0,361			-0,117
				3,097	2,626	1,687	15,163	8,533	3,413	-1,059	-0,912	-0,720
				2,772	2,644	1,510	36,438	20,506	8,201	-0,948	-0,918	-0,644

h	h/3	3h/8	h^2/3	3h^2/8
2,685	0,895	1,007	2,403	2,703

V.CARENA	MTO.x	MTO.K	XB	KB	BRAZO.Ppr	MTO.EMPUJE (T*M)
6,926	65,146	-2,511	9,405	-0,362	44,288	314,7318364

Figura 8.4:

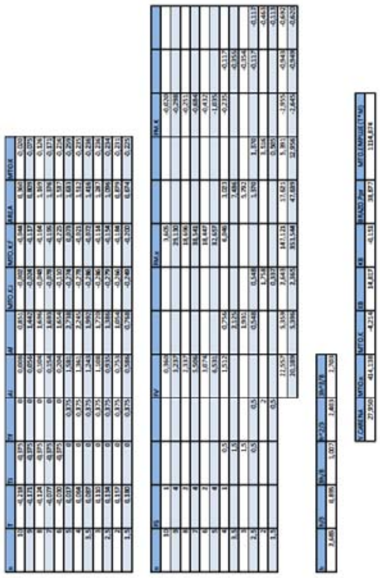

Figura 8.5:

n	T	Ti	Tf	Ai	Af	MTO.K.i	MTO.K.f	AREA	MTO.K
12	0,006	0	0,375	0,142	1,693	-0,016	0,333	0,168	-0,010
11	0,053	0	0,375	0,188	2,130	-0,030	0,395	0,464	0,030
10	0,099	0	0,375	0,851	1,582	-0,044	0,419	1,044	0,079
9	0,146	0	0,375	1,442	2,715	-0,117	0,398	1,939	0,084
8	0,193	0	0,375	1,696	3,174	-0,164	0,346	2,458	0,099
7	0,240	0	0,375	1,693	3,117	-0,195	0,269	2,606	0,103
6	0,287	0	0,375	1,654	2,988	-0,225	0,188	2,676	0,091
5	0,334	0	0,375	1,581	2,738	-0,274	0,073	2,613	0,035
4	0,381	0,375	0,750	2,245	4,090	-0,021	1,034	2,276	-0,004
3,5	0,404	0,375	0,750	1,992	3,489	-0,072	0,784	2,109	-0,005
3	0,427	0,375	0,750	1,720	2,903	-0,114	0,562	1,885	-0,019
2,5	0,451	0,375	0,750	1,386	2,230	-0,154	0,329	1,558	-0,055
2	0,475	0,375	0,750	1,054	1,593	-0,184	0,125	1,197	-0,102
1,5	0,498	0,375	0,750	0,768	1,073	-0,200	-0,026	0,868	-0,143

n	FS			FV			FM.x			FM.K		
12	1			0,168			2,018			-0,010		
11	4			1,856			20,420			0,122		
10	2			2,089			20,890			0,157		
9	4			7,755			69,793			0,335		
8	2			4,915			39,321			0,197		
7	4			10,423			72,961			0,410		
6	2			5,352			32,109			0,182		
5	4			10,450			52,250			0,141		
4	1	0,5		2,276	1,138		9,103	4,551		-0,004	-0,002	
3,5		1,5			3,163			11,070			-0,008	
3		1,5			2,828			8,483			-0,029	
2,5		0,5	0,5		0,779	0,779		1,947	1,947		-0,028	-0,028
2			2			2,394			4,787			-0,203
1,5			0,5			0,434			0,651			-0,071
				45,284	7,907	3,607	318,866	26,051	7,386	1,531	-0,066	-0,303
				40,529	7,962	3,228	766,258	70,429	17,748	1,371	-0,067	-0,271

h	h/3	3h/8	h^2/3	3h^2/8
2,685	0,895	1,007	2,403	2,703

V.CARENA	MTO.x	MTO.K	XB	KB	BRAZO.Ppr	MTO.EMPUJE (T*M)
51,718	854,435	1,033	16,521	0,020	37,173	1972,537

Figura 8.6:

n	T	Ti	Tf	Ai/2	Af/2	MTO.X.I/2	MTO.X.F/2	AREA	MTO.X
15	0,183	0	0,375	0,004	0,014	0,000	0,021	0,018	0,020
14	0,230	0	0,375	0,026	0,318	-0,001	0,077	0,410	0,094
13	0,277	0	0,375	0,049	0,588	-0,004	0,124	0,893	0,181
12	0,324	0	0,375	0,071	0,846	-0,008	0,166	1,481	0,285
11	0,371	0	0,375	0,094	1,065	-0,015	0,197	2,108	0,390
10	0,417	0,375	0,75	0,791	2,979	0,210	1,330	2,070	0,669
9	0,464	0,375	0,75	1,358	3,461	0,199	1,318	3,712	0,928
8	0,511	0,375	0,75	1,587	3,548	0,173	1,246	4,594	1,124
7	0,558	0,375	0,75	1,559	3,336	0,135	1,126	4,851	1,236
6	0,605	0,375	0,75	1,494	3,052	0,094	0,976	4,898	1,270
5	0,652	0,375	0,75	1,369	2,649	0,036	0,765	4,629	1,149
4	0,699	0,375	0,75	1,122	2,045	-0,011	0,517	3,839	0,890
3,5	0,722	0,375	0,75	0,996	1,744	-0,036	0,392	3,376	0,720
3	0,745	0,375	0,75	0,860	1,451	-0,057	0,281	2,887	0,553
2,5	0,769	0,75	1,5	1,115	2,323	0,165	1,390	2,290	0,391
2	0,792	0,75	1,5	0,796	1,590	0,062	0,911	1,682	0,220
1,5	0,816	0,75	1,5	0,537	0,976	-0,013	0,498	1,150	0,064
1	0,839	0,75	1,5	0,047	0,277	0,028	0,295	0,149	0,119

n	FS				FV				FM.x				FM.X			
15	1				0,018				0,270				0,020			
14	3				1,229				17,211				0,282			
13	3				2,680				34,837				0,542			
12	1	1			1,481	1,481			17,776	17,776			0,285	0,285		
11		4				8,432				92,757				1,560		
10		2				4,140				41,404				1,339		
9		4				14,848				133,630				3,712		
8		2				9,189				73,511				2,247		
7		4				19,403				135,820				4,944		
6		2				9,796				58,777				2,540		
5		4				18,515				92,576				4,595		
4		1	0,5			3,839	1,919			15,355	7,677			0,890	0,445	
3,5			1,5				5,066				17,727				1,079	
3			1,5				4,330				12,990				0,829	
2,5			0,5	0,5			1,145	1,145			2,863	2,863			0,195	0,195
2				1,5				2,523				5,046				0,330
1,5				1,5				1,725				2,588				0,096
1				0,5				0,074				0,074				0,060
					5,408	89,644	12,459	5,468	70,094	661,604	41,257	10,572	1,129	22,112	2,549	0,681
					5,446	80,231	12,545	5,506	189,496	1589,885	111,537	28,580	1,137	19,790	2,566	0,686

h	h/3	3h/8	h^2/3	3h^2/8
2,685	0,895	1,007	2,403	2,703

V.CARENA	MTO.x	MTO.X	XB	KB	BRAZO.Ppr	MTO.EMPUJE (T*M)
103,727	1919,498	24,179	18,505	0,233	35,189	3745,008

Figura 8.7:

h	T	TI	TF	Ai/2	Af/2	MTO.K.i/2	MTO.K.f/2	AREA	MTO.K	FS				FV				FM.x				FM.K			
17,5	0,383	0,375	0,75	0,058	0,337	0,016	0,184	0,129	0,040	0,5				0,064				1,125				0,020			
17	0,406	0,375	0,75	0,071	0,435	0,018	0,239	0,203	0,073	1,5				0,304				5,176				0,109			
16,5	0,430	0,375	0,75	0,084	0,533	0,020	0,294	0,301	0,121	1,5				0,451				7,441				0,181			
16	0,453	0,375	0,75	0,095	0,633	0,020	0,349	0,415	0,178	0,5	1			0,207	0,415			3,320	6,639			0,089	0,178		
15	0,500	0,375	0,75	0,014	0,631	0,021	0,387	0,441	0,287		4				1,765				26,471				1,346		
14	0,547	0,375	0,75	0,318	1,363	0,077	0,689	1,597	0,717		2				3,198				44,705				1,433		
13	0,594	0,375	0,75	0,588	1,980	0,124	0,934	2,805	1,195		4				11,218				145,836				4,780		
12	0,641	0,375	0,75	0,846	2,547	0,166	1,152	4,109	1,733		2				8,219				98,626				3,466		
11	0,688	0,375	0,75	1,065	3,007	0,197	1,320	5,376	2,271		4				21,502				236,526				9,086		
10	0,734	0,375	0,75	0,791	2,979	0,210	1,330	5,776	2,566		2				11,553				115,529				5,132		
9	0,781	0,75	1,5	3,461	7,737	1,318	4,886	7,280	2,935		4				29,120				262,082				11,739		
8	0,828	0,75	1,5	3,548	7,775	1,246	4,815	7,979	3,240		2				15,959				127,669				6,479		
7	0,875	0,75	1,5	3,336	7,450	1,126	4,674	8,048	3,438		4				32,192				225,341				13,753		
6	0,922	0,75	1,5	3,052	6,914	0,976	4,379	7,880	3,517		2				15,759				94,556				7,034		
5	0,969	0,75	1,5	2,649	5,964	0,765	3,752	7,238	3,278		4				28,953				144,763				13,111		
4	1,016	0,75	1,5	2,045	4,615	0,517	2,924	5,916	2,744		1	0,5			5,916	2,958			23,664	11,832			2,744	1,372	
3,5	1,039	0,75	1,5	1,744	3,858	0,392	2,413	5,120	2,343			1,5				7,680				26,879				3,515	
3	1,062	0,75	1,5	1,451	3,114	0,281	1,904	4,288	1,914			1,5				6,432				19,295				2,871	
2,5	1,086	0,75	1,5	1,115	2,323	0,165	1,390	3,314	1,425			0,5	0,5			1,657	1,657			4,142	4,142			0,714	0,714
2	1,110	0,75	1,5	0,796	1,590	0,062	0,911	2,354	0,939				1,5				3,530				7,061				1,409
1,5	1,133	0,75	1,5	0,537	0,976	-0,013	0,498	1,523	0,497				1,5				2,284				3,426				0,745
1	1,157	0,75	1,5	0,047	0,277	0,028	0,295	0,343	0,345				0,5				0,172				0,172				0,173
														1,027	185,763	18,726	7,643	17,062	1552,406	62,148	14,800	0,399	80,082	8,473	3,041
														1,034	166,258	18,855	7,696	46,126	3730,547	168,013	40,012	0,402	71,673	8,531	2,722

h	h/3	3h/8	h^2/3	3h^2/8
2,685	0,895	1,007	2,403	2,703

V.CARENA	MTO.x	MTO.K	XB	KB	BRAZO.Ppr	MTO.EMPUJE (T*M)
193,843	3984,698	83,328	20,556	0,430	33,139	6590,682

Figura 8.8:

n	T	Ti	Tf	Ai/2	Af/2	MTO.X.i/2	MTO.X.f/2	AREA	MTO.K	FS				FV				FM.x				FM.K			
19	0,631	0,375	0,75	0,019	0,112	0,006	0,060	0,164	0,086	0,5				0,082				1,562				0,043			
18,5	0,654	0,375	0,75	0,032	0,180	0,010	0,097	0,284	0,149	2				0,568				10,501				0,299			
18	0,678	0,375	0,75	0,045	0,252	0,013	0,136	0,424	0,225	1				0,424				7,635				0,225			
17,5	0,701	0,375	0,75	0,058	0,337	0,016	0,184	0,601	0,324	2				1,203				21,047				0,648			
17	0,724	0,375	0,75	0,071	0,435	0,018	0,239	0,820	0,447	1				0,820				13,934				0,447			
16,5	0,748	0,375	0,75	0,084	0,533	0,020	0,294	1,061	0,584	2				2,122				35,008				1,168			
16	0,771	0,75	1,5	0,633	2,257	0,349	3,008	1,357	0,847	0,5	1			0,678	1,357			10,853	21,706			0,424	0,847		
15	0,818	0,75	1,5	0,631	3,684	0,387	3,440	1,816	1,327		4				7,262				108,934				5,308		
14	0,865	0,75	1,5	1,363	4,968	0,689	4,057	3,831	2,410		2				7,662				107,262				4,819		
13	0,912	0,75	1,5	1,980	5,917	0,934	4,421	5,660	3,373		4				22,641				294,339				13,494		
12	0,959	0,75	1,5	2,547	6,689	1,152	4,645	7,402	4,251		2				14,804				177,648				8,501		
11	1,006	0,75	1,5	3,007	7,259	1,320	4,764	8,916	4,990		4				35,663				392,290				19,962		
10	1,052	0,75	1,5	2,979	7,265	1,330	4,908	9,409	5,540		2				18,818				188,181				11,080		
9	1,099	0,75	1,5	3,461	7,737	1,318	4,886	10,901	5,957		4				43,605				392,441				23,826		
8	1,146	0,75	1,5	3,548	7,775	1,246	4,819	11,559	6,265		2				23,119				184,949				12,530		
7	1,193	0,75	1,5	3,336	7,450	1,126	4,674	11,531	6,443		4				46,124				322,869				25,771		
6	1,240	0,75	1,5	3,052	6,914	0,976	4,379	11,149	6,398		2				22,299				133,793				12,796		
5	1,287	0,75	1,5	2,649	5,964	0,765	3,752	10,045	5,807		4				40,179				200,894				23,227		
4	1,334	0,75	1,5	2,045	4,615	0,517	2,924	8,092	4,782		1	0,5			8,092	4,046			32,367	16,183			4,782	2,391	
3,5	1,357	0,75	1,5	1,744	3,858	0,392	2,413	6,909	4,054			1,5				10,364				36,274				6,082	
3	1,380	0,75	1,5	1,451	3,114	0,281	1,904	5,695	3,289			1,5				8,543				25,629				4,933	
2,5	1,404	0,75	1,5	1,115	2,323	0,165	1,390	4,337	2,467			0,5	0,5			2,168	2,168			5,421	5,421			1,233	1,233
2	1,427	0,75	1,5	0,796	1,590	0,062	0,911	3,025	1,658				1,5				4,538				9,076				2,487
1,5	1,451	0,75	1,5	0,537	0,976	-0,013	0,498	1,895	0,930				1,5				2,842				4,264				1,395
1	1,474	0,75	1,5	0,047	0,277	0,028	0,295	0,538	0,572				0,5				0,269				0,269				0,286
														5,896	291,623	25,121	9,818	100,540	2557,673	83,507	19,029	3,253	166,944	14,639	5,401
														5,277	261,008	25,294	9,885	241,605	6146,281	200,675	51,444	2,911	149,415	14,740	5,438

h	h/3	3h/8	h^2/3	3h^2/8
2,685	0,895	1,007	2,403	2,703

V.CARENA	MTO.x	MTO.K	XB	KB	BRAZO.Pgr	MTO.EMPUJE (T*M)
301,459	6640,005	172,504	22,026	0,572	31,669	9795,121

Figura 8.9:

n	T	Ti	Tf	Ai/2	Af/2	MTO.K.i/2	MTO.K.f/2	AREA	MTO.K	FS			FV			FM.x			FM.K		
19,5	0,924	0,75	1,5	0,024	0,291	0,015	0,446	0,172	0,230	0,5			0,086			1,680			0,115		
19	0,948	0,75	1,5	0,112	0,388	0,060	0,592	0,370	0,401	1,5			0,555			10,538			0,602		
18,5	0,971	0,75	1,5	0,180	0,571	0,097	0,824	0,591	0,623	1,5			0,886			16,395			0,935		
18	0,995	0,75	1,5	0,252	0,812	0,136	1,140	0,870	0,929	0,5	0,5		0,435	0,435		7,832	7,832		0,465	0,465	
17,5	1,018	0,75	1,5	0,337	1,118	0,184	1,538	1,233	1,337		2			2,466			43,159			2,674	
17	1,041	0,75	1,5	0,435	1,482	0,239	2,009	1,684	1,854		1			1,684			28,632			1,854	
16,5	1,065	0,75	1,5	0,533	1,867	0,294	2,510	2,188	2,452		2			4,377			72,213			4,904	
16	1,088	0,75	1,5	0,633	2,257	0,349	3,008	2,732	3,098		1,5			4,098			65,572			4,647	
15	1,135	0,75	1,5	0,631	3,684	0,387	3,440	4,400	3,913		4			17,601			264,008			15,651	
14	1,182	0,75	1,5	1,363	4,968	0,689	4,057	6,883	5,262		2			13,767			192,736			10,523	
13	1,229	0,75	1,5	1,980	5,917	0,934	4,421	8,994	6,327		4			35,977			467,705			25,307	
12	1,276	0,75	1,5	2,547	6,689	1,152	4,645	10,909	7,209		2			21,817			261,809			14,417	
11	1,323	0,75	1,5	3,007	7,259	1,320	4,764	12,516	7,906		4			50,065			550,714			31,625	
10	1,369	0,75	1,5	2,979	7,265	1,330	4,908	13,038	8,570		2			26,076			260,757			17,140	
9	1,416	0,75	1,5	3,461	7,737	1,318	4,886	14,522	8,978		4			58,089			522,799			35,913	
8	1,463	0,75	1,5	3,548	7,775	1,246	4,819	15,139	9,290		2			30,279			242,229			18,580	
7	1,510	1,5	2,25	7,450	11,803	4,674	12,873	15,021	9,577		4			60,084			420,586			38,309	
6	1,557	1,5	2,25	6,914	11,164	4,379	12,398	14,479	9,987		2			28,958			173,746			19,974	
5	1,604	1,5	2,25	5,964	9,843	3,752	11,083	13,009	9,546		4			52,034			260,172			38,186	
4	1,651	1,5	2,25	4,615	7,890	2,924	9,128	10,553	8,354		1,5			15,829			63,317			12,532	
3,5	1,674	1,5	2,25	3,858	6,687	2,413	7,772	9,032	7,319		2			18,064			63,225			14,638	
3	1,697	1,5	2,25	3,114	5,427	1,904	6,281	7,446	6,114		0,5	0,5		3,723	3,723		11,168	11,168		3,057	3,057
2,5	1,721	1,5	2,25	2,323	4,097	1,390	4,745	5,694	4,762			2			11,388			28,469			9,525
2	1,745	1,5	2,25	1,590	2,806	0,911	3,211	3,972	3,324			1			3,972			7,945			3,324
1,5	1,768	1,5	2,25	0,976	1,635	0,498	1,745	2,424	1,888			2			4,848			7,272			3,777
1	1,792	1,5	2,25	0,277	0,349	0,295	0,414	0,610	0,683			0,5			0,305			0,305			0,341
													1,962	445,423	24,236	36,445	3972,380	55,160	2,117	310,395	20,024
													1,976	398,653	21,691	98,527	9545,926	132,554	2,131	277,803	17,921

h	h/3	3h/8	h^2/3	3h^2/8
2,685	0,895	1,007	2,403	2,703

V.CARENA	MTO.x	MTO.K	XB	KB	BRAZO.Ppr	MTO.EMPUJE (T*M)
422,320	9777,008	297,856	23,151	0,705	30,545	13235,024

Figura 8.10:

n	T	Ti	Tf	Ai/2	Af/2	MTO.K.i/2	MTO.K.f/2	AREA	MTO.K	FS	FV	FM.x	FM.K
20	1,537	1,5	2,25	0,288	0,883	0,362	1,449	0,634	0,830	0,5	0,317	6,341	0,415
19,5	1,560	1,5	2,25	0,291	1,091	0,446	1,759	0,709	1,100	2	1,419	27,662	2,201
19	1,584	1,5	2,25	0,388	1,239	0,592	1,973	0,966	1,491	1	0,966	18,362	1,491
18,5	1,607	1,5	2,25	0,571	1,616	0,824	2,536	1,440	2,135	2	2,879	53,269	4,270
18	1,631	1,5	2,25	0,812	2,173	1,140	3,384	2,098	3,061	1	2,098	37,756	3,061
17,5	1,654	1,5	2,25	1,118	2,860	1,538	4,426	2,949	4,258	2	5,897	103,205	8,516
17	1,677	1,5	2,25	1,482	3,667	2,009	5,646	3,993	5,731	1	3,993	67,882	5,731
16,5	1,701	1,5	2,25	1,867	4,535	2,510	6,959	5,161	7,400	2	10,322	170,311	14,800
16	1,724	1,5	2,25	2,257	5,364	3,008	8,200	6,367	9,111	1,5	9,550	152,806	13,667
15	1,771	1,5	2,25	3,684	7,261	3,440	10,594	9,948	12,042	4	39,792	596,885	48,168
14	1,818	1,5	2,25	4,968	9,029	4,057	12,416	13,375	15,192	2	26,750	374,496	30,384
13	1,865	1,5	2,25	5,917	10,188	4,421	13,411	15,986	17,583	4	63,944	831,273	70,331
12	1,912	1,5	2,25	6,689	11,055	4,645	14,026	18,169	19,586	2	36,338	436,058	39,172
11	1,959	1,5	2,25	7,259	11,650	4,764	14,355	19,887	21,256	4	79,550	875,047	85,022
10	2,005	1,5	2,25	7,265	11,651	4,908	13,148	20,431	20,903	2	40,862	408,624	41,806
9	2,052	1,5	2,25	7,737	12,117	4,886	13,114	21,916	21,875	4	87,664	788,978	87,500
8	2,099	1,5	2,25	7,775	12,148	4,819	13,041	22,531	22,762	2	45,062	360,496	45,523
7	2,146	1,5	2,25	7,450	11,803	4,674	12,873	22,394	23,463	4	89,577	627,041	93,853
6	2,193	1,5	2,25	6,914	11,164	4,379	12,398	21,677	23,568	2	43,354	260,123	47,137
5	2,240	1,5	2,25	5,964	9,843	3,752	11,083	19,578	21,962	4	78,312	391,562	87,847
4	2,287	2,25	3	7,890	11,629	9,128	18,975	16,145	19,217	1,5	24,218	96,873	28,825
3,5	2,310	2,25	3	6,687	10,093	7,772	16,745	13,916	16,969	2	27,832	97,411	33,938
3	2,333	2,25	3	5,427	8,392	6,281	14,105	11,506	14,285	1	11,506	34,519	14,285
2,5	2,357	2,25	3	4,097	6,563	4,745	11,273	8,895	11,346	2	17,790	44,475	22,692
2	2,380	2,25	3	2,805	4,659	3,211	8,161	6,252	8,136	1	6,252	12,504	8,136
1,5	2,403	2,25	3	1,635	2,734	1,745	4,711	3,720	4,702	2	7,440	11,160	9,405
1	2,427	2,25	3	0,349	0,369	0,414	0,471	0,707	0,855	0,5	0,354	0,354	0,427
											764,040	6885,471	848,604
											683,816	16546,302	759,501

h	h/3	3h/8	h^2/3	3h^2/8
2,685	0,895	1,007	2,403	2,703

V.CARENA	MTO.x	MTO.K	XB	KB	BRAZO.Ppr	MTO.EMPUJE (T*M)
683,816	16546,302	759,501	24,197	1,111	29,498	20695,977

Figura 8.11:

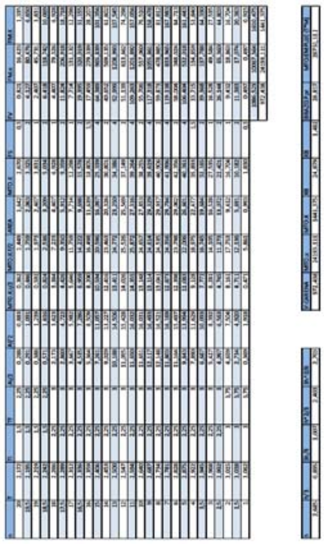

Figura 8.12:

h	T	Ti	Tf	Ai/2	Af/2	MTO.X.i/2	MTO.X.f/2	AREA	MTO.X	FS			FV			FM.x			FMX		
20,5	3,100	3	3,75	0,262	0,262	0,601	0,601	0,524	1,202	0,5			0,262			5,371			0,601		
20	3,124	3	3,75	1,460	1,779	2,990	4,040	3,026	6,329	1,5			4,539			90,786			9,493		
19,5	3,147	3	3,75	1,762	2,394	3,541	5,646	3,772	7,909	1,5			5,658			110,333			11,863		
19	3,171	3	3,75	2,068	2,989	4,173	7,299	4,561	9,773	0,5	0,5		2,281	2,281		43,332	43,332		4,887	4,887	
18,5	3,194	3	3,75	2,715	4,026	5,450	9,865	6,110	13,187		2			12,219			226,058			26,374	
18	3,218	3	3,75	3,623	5,346	7,223	13,032	8,249	17,827		1			8,249			148,482			17,827	
17,5	3,241	3	3,75	4,722	6,889	9,350	16,656	10,838	23,401		2			21,676			379,338			46,802	
17	3,264	3	3,75	5,982	8,583	11,759	20,533	13,797	29,701		1			13,797			234,547			29,701	
16,5	3,288	3	3,75	7,286	10,295	14,222	24,359	16,885	36,236		2			33,770			557,207			72,473	
16	3,311	3	3,75	8,509	11,882	16,498	27,856	19,817	42,424		1,5			29,726			475,612			63,635	
15	3,358	3	3,75	11,057	15,081	20,596	33,981	25,911	53,980		4			103,642			1554,690			215,919	
14	3,405	3	3,75	13,227	17,503	23,463	37,873	31,075	62,499		2			62,150			870,099			124,999	
13	3,452	3	3,75	14,506	18,860	24,772	39,439	34,263	67,234		4			137,051			1781,663			268,936	
12	3,499	3	3,75	15,428	19,817	25,526	40,312	36,699	70,738		2			73,398			880,777			141,476	
11	3,546	3	3,75	16,032	20,425	25,872	40,680	38,463	73,315		4			153,854			1692,392			293,259	
10	3,592	3	3,75	16,031	20,422	24,657	39,464	38,998	72,700		2			77,996			779,957			145,400	
9	3,639	3	3,75	16,493	20,884	24,614	39,420	40,472	74,469		4			161,889			1457,004			297,874	
8	3,686	3	3,75	16,521	20,914	24,535	39,340	41,081	76,165		2			82,162			657,295			152,329	
7	3,733	3	3,75	16,169	20,564	24,356	39,162	40,932	77,663		4			163,729			1146,103			310,653	
6	3,780	3,75	4,5	19,875	24,253	38,551	56,639	40,104	78,563		2			80,209			481,251			157,125	
5	3,827	3,75	4,5	18,290	22,631	36,496	54,422	37,475	76,686		4			149,901			749,507			306,746	
4	3,874	3,75	4,5	15,692	19,926	32,692	50,180	32,787	71,180		1,5			49,181			196,724			106,770	
3,5	3,897	3,75	4,5	13,937	18,064	29,739	46,777	29,495	66,169		2			58,990			206,466			132,338	
3	3,920	3,75	4,5	11,960	15,933	26,171	42,590	25,723	59,798		1			25,723			77,170			59,798	
2,5	3,944	3,75	4,5	9,810	13,586	22,248	37,885	21,576	52,598		2			43,151			107,878			105,195	
2	3,968	3,75	4,5	7,504	11,019	17,753	32,368	17,047	43,986		1			17,047			34,094			43,986	
1,5	3,991	3,75	4,5	4,920	8,355	12,136	26,211	12,048	33,381		2			24,096			36,145			66,762	
1	4,014	3,75	4,5	1,918	4,977	5,861	18,531	5,993	20,654		0,5	0,5		2,996	2,996		2,996	2,996		10,327	10,327
0,5	4,038	3,75	4,5	0,810	3,298	2,900	14,117	3,530	14,411			1,5			5,295			2,647			21,617
0	4,061	3,75	4,5	0,376	3,454	1,370	10,170	3,307	10,045			1,5			4,960			0,000			15,067
-0,5	4,085	3,75	4,5	0,330	1,619	0,089	8,229	1,810	7,443			0,5			0,905			-0,453			3,721
													12,740	1588,885	14,157	249,822	14776,726	5,191	26,843	3201,592	50,732
													12,828	1422,052	14,254	600,341	35509,581	14,084	27,028	2865,425	51,081

h	h/3	3h/8	h^2/3	3h^2/8
2,685	0,895	1,007	2,403	2,703

V.CARENA	MTO.x	MTO.X	XB	KB	BRAZO.Ppr	MTO.EMPUJE (T*M)
1449,133	36123,955	2943,534	24,928	2,031	28,768	42772,048

Figura 8.13:

Capítulo 9

Estabilidad inicial

9.1. Estabilidad estática inicial.

El desplazamiento de un buque (Δ) tiene como punto de aplicación el centro de gravedad, c.d.g. (G), y el empuje (E) pasa por el centro de carena, c.d.c. (B).
Mientras el buque está en equilibrio, el desplazamiento es igual al empuje, y el centro de gravedad y el centro de carena están en la misma vertical.

En principio al estudiar el equilibrio del buque por rotación, el flotador puede girar respecto de cualquier eje contenido en un plano xy. Si por alguna causa, ajena al mismo, se produce un giro alrededor de uno cualquiera de estos infinitos ejes, variaría la geometría del volumen sumergido, y por tanto la posición del c.d.c. ($B \rightarrow B_1$), aunque no el valor absoluto del volumen de carena (∇), puesto que en todo momento se tiene que mantener la igualdad $P = E$.

El lugar geométrico formado por todos los posibles puntos ocupados por el c.d.c., considerando todos los ángulos de giro respecto de los infinitos ejes del plano horizontal , será una superficie.

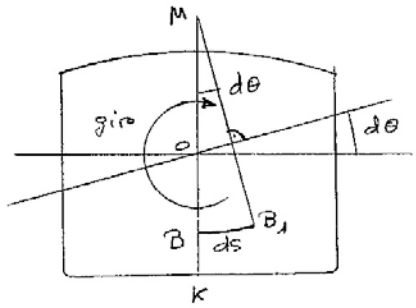

Figura 9.1:

Veamos el equilibrio alrededor de un eje paralelo al eje x o equilibrio transversal. Supongamos que por alguna causa ajena al barco se produce un giro (escora) infinitesimal, $d\theta$. La curva descrita por el movimiento del c.d.c. será un arco infinitesimal, $BB_1 = ds$, que según se estudia en la geometría diferencial tendrá un centro de curvatura, M, llamado metacentro, y un radio de curvatura, BM, llamado radio metacéntrico. Si el plano de corte es transversal, como en este caso, el metacentro y el radio de metacéntrico se llaman transversales, mientras que si el plano de corte fuese longitudinal se les llamaría longitudinales.

Una vez producida la escora $d\theta$, que desplaza el c.d.c. desde B hasta B_1, las líneas de acción del peso y el empuje (Siempre perpendiculares a la flotación correspondiente L_i) ya no coinciden, produciendo un par $(\Delta * GZ)$, De brazo GZ, donde Z es el punto de la línea de empuje con mínima distancia a G.

El sentido de giro debido a este par es el que hace que el equilibrio sea estable, inestable o indiferente.

Equilibrio estable, si el par $\Delta * GZ$, gire el buque en el sentido que gire, hace que el buque tienda a mantenerse adrizado. El metacentro se encuentra por encima del centro de gravedad $(GM > 0)$.

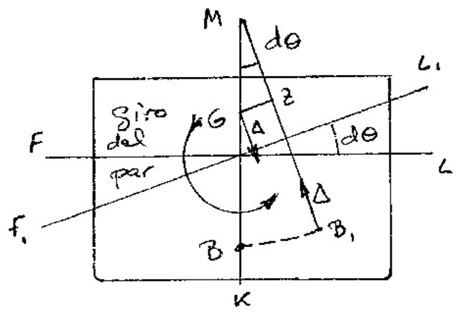

Figura 9.2:

Equilibrio indiferente, si el par $\Delta * GZ = \Delta * 0$, al ser el par nulo el buque no tiene capacidad de reacción. $(GM = 0)$.

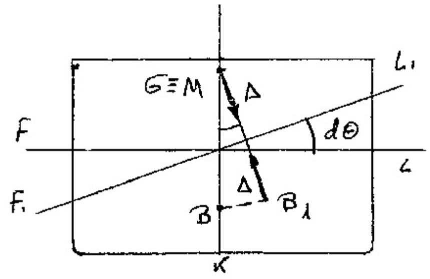

Figura 9.3:

Equilibrio inestable, si el par $\Delta * GZ$, el sentido de giro hacia ambas bandas hace que el buque se separe de su posición de adrizado. ($GM < 0$).

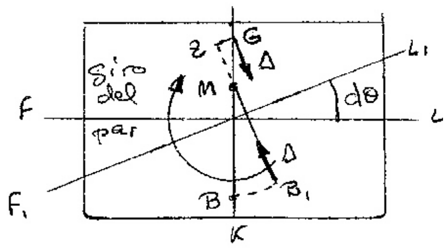

Figura 9.4:

Un caso particular es cuando $KB > KG$, en el que siempre va a ser estable el buque, si bien esta situación se da muy pocas veces en la práctica.

(KB es la altura del centro de carena desde el plano base, y KB es la altura del centro de gravedad desde el plano base)

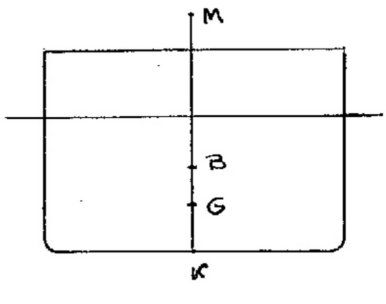

Figura 9.5:

A cualquier par que tienda a sacar el buque de su posición de equilibrio se le llama par escorante, y al par que le lleva a recuperarlo par adrizante (Pa).

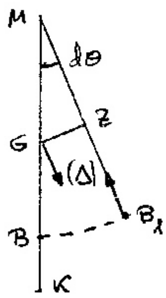

Figura 9.6:

$$Pa = \Delta * GZ = \Delta * GM * sen(d\theta) = \Delta * GM * d\theta$$

pues al ser el ángulo $d\theta$ un infinitésimo

$$d\theta = sen(d\theta) = tg(d\theta)$$

A la distancia GM se le llama altura metacéntrica, y es la que nos va a dar el criterio de estabilidad ($GM > 0$) en la zona de estabilidad inicial. A su vez podrá ser transversal o longitudinal, según sea el plano de giro.

El estudio del equilibrio alrededor del eje y sería totalmente análogo. En este caso, al metacentro, radio metacéntrico y altura metacéntrica se les llama longitudinales, para distinguirlos de los transversales, que son distintos.

Para el estudio de la estabilidad inicial en el buque de este proyecto, cuando el buque flota libremente y en el momento del giro, serán utilizadas las curvas hidrostáticas, puesto que el trimado respecto de la flotación es de 1^o solamente y el error sería aceptable.

9.2. Estabilidad cuando el buque flota libremente y en el momento del giro

Con un desplazamiento de $1428,386$ toneladas, con una interpolación en las tablas de las curvas hidrostáticas, se obtiene un $KM_t = 5,394$ m de donde se resta la altura del centro de gravedad ($KG = 4,425$) y se obtiene un $GM = 0,969$ m. De donde deducimos que el buque tiene una estabilidad positiva, y cumple con los requisitos internacionales que exigen un $GM \geq 0,15$ m.

Este caso es exactamente igual que el anterior ya que como ha sido dicho solo existe un grado de trimado y el punto de apoyo del buque es tratado como si se quitara un peso del buque en dicho punto. Luego disminuye el desplazamiento, sube el centro de gravedad y cambia la forma del volumen de carena.

Con un desplazamiento ahora de 1401,077 toneladas, de nuevo con una interpolación en las curvas hidrostáticas, se obtiene un $KM_t = 5,411$ m de donde se resta la nueva altura del centro de gravedad ($KG = 4,495$) y se obtiene un $GM = 0,916$ m. Por lo cual, se vuelve a deducir una estabilidad positiva, y que sigue cumpliendo los requisitos internacionales.

9.3. Efecto de las superficies libres sobre la estabilidad inicial

Las superficies libres o carenas líquidas, son un caso particular del traslado de pesos. Se produce cuando en un buque existen tanques parcialmente llenos de líquido. Al adquirir el buque una determinada escora, la propia naturaleza del líquido hará que éste se desplace, adaptándose a la nueva situación.

El estudio de las carenas líquidas resulta matemáticamente complejo, por lo que para facilitar su estudio se hacen las siguientes hipótesis simplificadoras:

a) El líquido es homogéneo ($\gamma_{líquido} = cte$).

Como $p_{líq} = v_{líq} * \gamma_{líq}$, al ser $\gamma_{líq}$ constante, esto supone que matemáticamente el problema de traslado de pesos se nos transforma en un traslado de volúmenes, y además el c.d.g. del líquido que consideremos coincidirá con el c.d.g. del volumen que ocupe.

b) No existen fuerzas de inercia. En todo momento la superficie del líquido o superficie libre es un área plana que se va a mantener paralela en todo momento a la flotación correspondiente.

Según todo esto, cuando se produzca una escora (grande o pequeña), la superficie libre del líquido se desplazará hasta alcanzar el ángulo correspondiente, lo que se traduce en que una parte del líquido del tanque se tendrá que trasladar, es decir, de un peso que forma parte del desplazamiento (habrá una cuña de líquido que desaparece y otra que surge), esto hará que varíe la posición del c.d.g. del líquido en el tanque, y, al mismo tiempo, se modificará la posición del c.d.g. global del buque.

Obviamente los tanques completamente llenos no darán superficies libres, y podemos considerar el líquido de estos tanques como si fuesen sólidos. En consecuencia, no hace falta que sean tenidas en cuenta en el buque de este proyecto puesto que los tanques se encuentran llenos completamente, pero si no fuera así habría que reducir la altura metacéntrica un valor igual a al momento de inercia, i_o, de la superficie libre del tanque por el peso específico del líquido contenido en el mismo (γ_l) entre el desplazamiento del buque (Δ).

$$G_oM = GM - GG_o = GM - \frac{i_o * \gamma_l}{\Delta}$$

Capítulo 10

Conclusiones

El giro se produce con suficiente adelanto como para que el riesgo de arfada sea nulo.

Se ha considerado un puerto con suficiente espacio y medios para frenar el buque.

No existe saludo gracias a que el buque abandona la grada antes de terminar de recorrer las anguilas.

Los santos de proa, aparte de resistir el peso del buque junto con el resto de la cama, deben resistir la reacción, de 27,309 toneladas aproximadamente, que se produce al inicio del giro.

En el momento del giro y cuando el buque flota libremente, la altura metacéntrica (GM) es positiva y cumple con los requisitos mínimos.

Si hubiera existido algún riesgo de arfada, saludo, o falta de estabilidad, se podrían haber utilizado flotadores.

En una botadura hace falta también un exhaustivo estudio de las concentraciones de esfuerzos y un estudio sobre como apoyar el buque en la cama.

Capítulo 11

Bibliografía

Bibliografía

[1] J.A. Alaez. *Teoría del buque.* ETSIN-UPM, 1980.

[2] S. Amat y S. Busquier. *Métodos Numéricos.* ETSIA-UPCT, 2005.

[3] A. Biran. *Ship hydrostatics and stability.* Butterworth-Heinemann, 2003.

[4] A. Bonilla. *Construcción naval y servicios.* L.San José, Vigo, 1984.

[5] D. Kincaid y W. Cheney. *Análisis Numérico: las matemáticas del cálculo científico.* Addison-Wesley, 1994.

[6] O. Palomo. *Hidrostática y estabilidad. Apuntes 2010-2011*, ETSINO-UPCT