

ASIGNATURA DE LIBRE ELECCIÓN código nº 5280: REMOLCADORES
TEMA Nº 23: Estabilidad en los remolcadores.

1 INTRODUCCIÓN

Los buques remolcadores, al igual que el resto de buques deben cumplir los requisitos que se exigen en los diferentes reglamentos y convenios que establecen los estados, la Organización Marítima Internacional y las Sociedades de Clasificación.

Además de todas las normas anteriores, los remolcadores deben cumplir requisitos adicionales que se deben a los momentos escorantes específicos que deben soportar y que aquí se estudiarán.

Como sabemos los parámetros que se relacionan con la estabilidad de los buques son: por un lado la altura metacéntrica (GM) y por otro el brazo adrizante (GZ).

2 ALTURA METACÉNTRICA (GM)

La posición del metacentro inicial la obtenemos de las tablas hidrostáticas, o bien, al tener el radio metacéntrico transversal le sumaremos a la altura del centro de carena de esta manera:

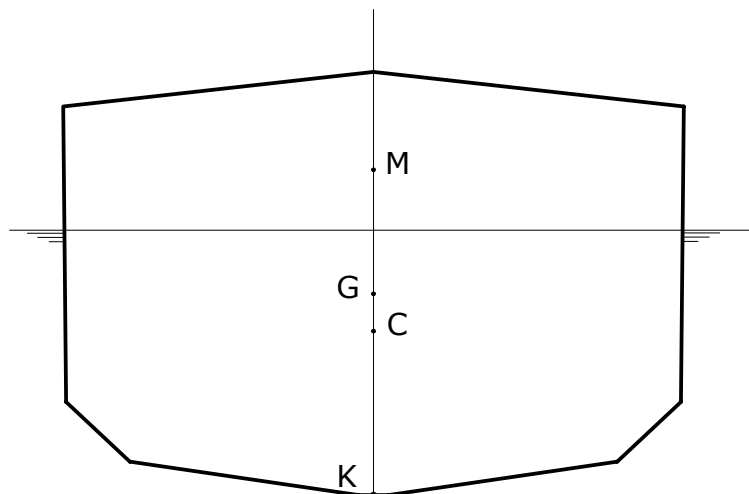


Figura 1

$$KM = KC + CM$$

$$KM = KG + GM$$

Una vez que tengamos la posición del centro de gravedad (p. e. gracias al cuadro de momentos) no tendremos más que aplicar esta fórmula:

$$GM = KM - KG$$

Es importante recordar que la fórmula anterior puede tener la siguiente variación debida a la subida virtual del centro de gravedad por efecto de las superficies libres.

$$KM = KG_c + GM_c$$

Solamente tiene utilidad práctica el GM inicial (GM_0) pues a partir de una determinada escora, el metacentro cambia drásticamente de posición y deja de ser una referencia adecuada. Podemos considerar entre 0° y 10° el rango de la estabilidad inicial, pues entre estos valores la posición del metacentro es prácticamente invariante. En figura nº 2 podemos

apreciar la trayectoria del metacentro real y la trayectoria del centro de carena de una gabarra de sección transversal rectangular continua que escora de 0° a 90°.

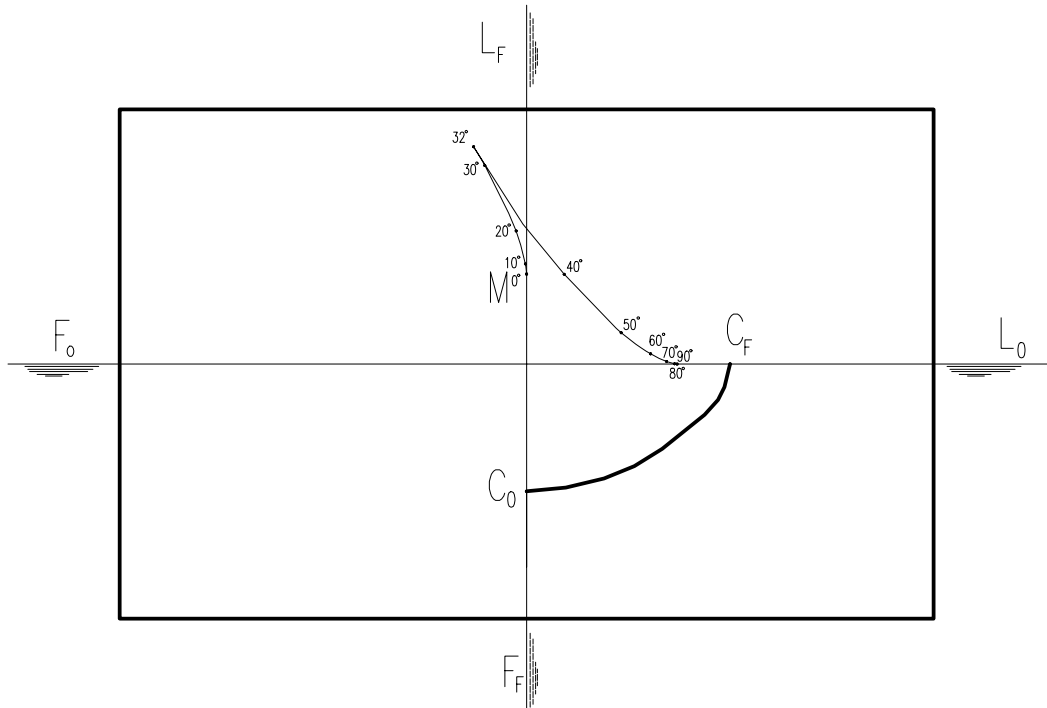


Figura 2

Nótese que el punto más distante del metacentro con respecto a la quilla corresponde a la escora en la que la regala se introduce en el agua (figura 3)

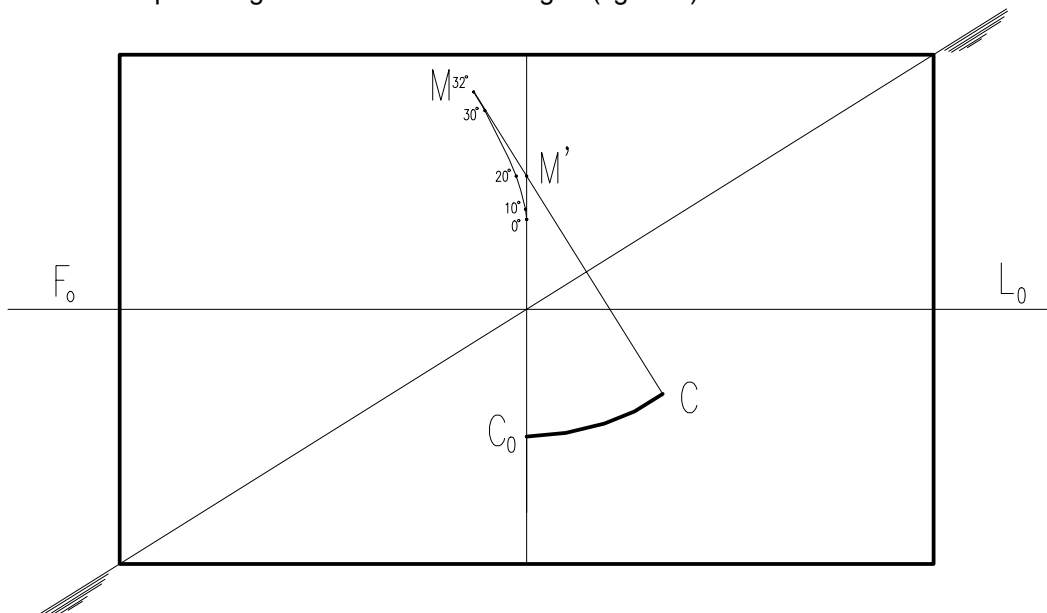


Figura 3

Para generar la trayectoria de C se han utilizado las siguientes fórmulas:

$$KC = KC_0 + \frac{I_x}{V} \cdot \frac{\text{tg}^2 \theta}{2}$$

$$\overline{GC} = \frac{I_x}{V} \cdot \text{tg } \theta$$

$$\frac{I_x}{V} = C_0 M_0$$

I_x = Momento segundo o de inercia de la flotación en condición de adrizado con respecto al eje de inclinación transversal (eje longitudinal).
 V = Volumen sumergido.

Nota: Las fórmulas solamente son válidas hasta la inmersión de la regala o la emersión del pantoque. Para ángulos mayores pueden girarse los ejes.

Los metacentros que se han reflejado en las figuras 2 y 3, son los centros de curvatura de la curva C también llamados prometacentros y volveremos a ellos cuando hablemos de la altura metacéntrica generalizada (estabilidad para grandes ángulos de inclinación). Los distintos cortes de las verticales de estos metacentros con el plano diametral generan los llamados falsos metacentros (M').

En el ámbito de la estabilidad inicial, al quedarse el metacentro prácticamente en la posición de M_0 podemos sacar la siguiente relación:

$$GZ = GM_0 \cdot \text{sen } \theta$$

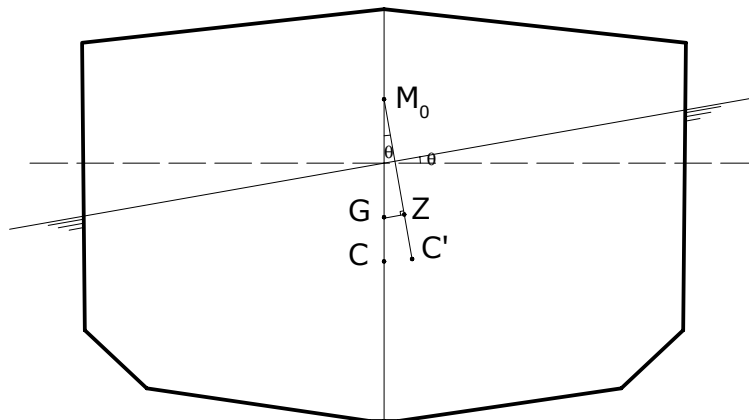


Figura 4

La altura metacéntrica inicial es positiva cuando G se encuentra por debajo de M –a esto le llamamos equilibrio estable–, es nula cuando G y M coinciden –a esto le llamamos equilibrio indiferente–, y es negativa cuando G está por encima de M –a esto le llamamos equilibrio inestable–.

Dimensionamiento: Seguidamente se escriben una serie de fórmulas empíricas que relacionan la posición del metacentro con otros parámetros del buque y que dan una idea o aproximación a los valores reales.

$$CM = 0,105 \cdot B^2 / T$$

CM: Radio metacéntrico.
 B: Manga.
 T: Calado.

$$KG = 0,76 \cdot H$$

H: Puntal.

3 BRAZO ADRIZANTE (GZ)

El brazo adrizante es el parámetro más importante de la estabilidad pues representa el valor de la separación del par de fuerzas que va a adrizar al buque, en el instante que desaparezca el momento escorante. En la figura 5 vemos el brazo del par, aunque suele representarse el barco derecho y se mueve la línea de agua.

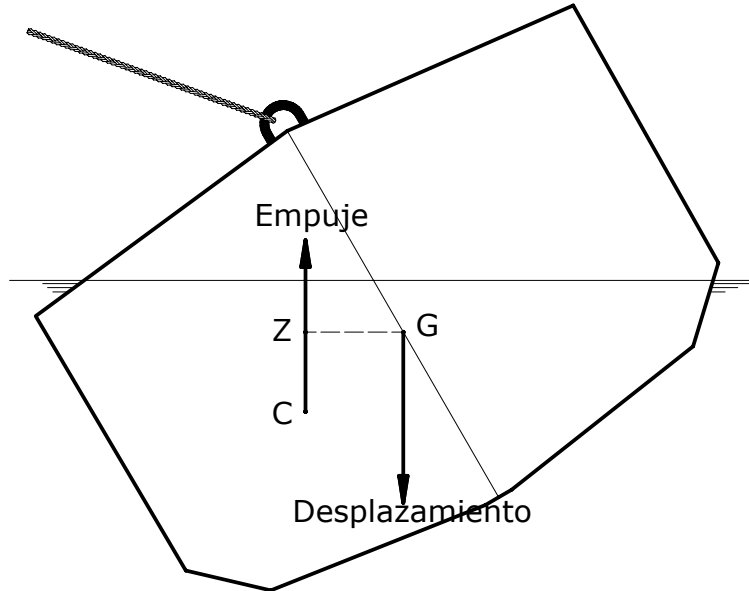


Figura 5

De las posiciones relativas de C y G podemos decir que normalmente en un flotador parcialmente sumergido, no es necesario que el centro de gravedad G esté por debajo de C –lo que generaría probablemente un exceso de estabilidad- ya que aquí interviene lo que se llama estabilidad de formas, siendo la estabilidad de pesos el efecto de esta posición más baja de G. Para aclarar este lío, las figuras nº 6 y 7:

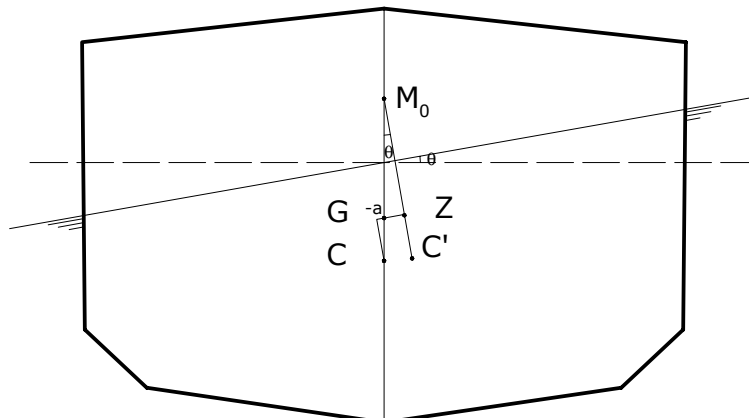


Figura 6

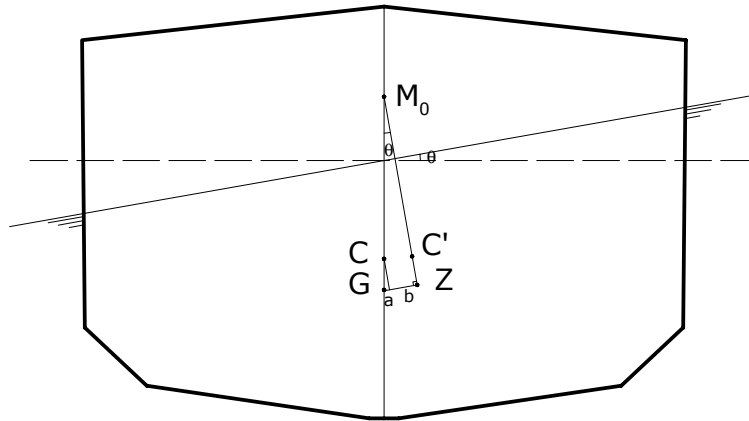


Figura 7

El GZ resultante de esta posición de G más baja que C, es mayor que en la figura 6 anterior, teniendo dos componentes: **a** y **b**. La componente **a** es la llamada estabilidad de pesos –necesaria en todos los buques totalmente sumergidos- y la componente **b** es la llamada estabilidad de formas generada por el momento de transferencia de las cuñas de emersión e inmersión.

Para la obtención del brazo GZ utilizamos la siguiente fórmula:

$$GZ_{\theta} = KN_{\theta} - KG_c \text{sen}\theta - |CG| \cos \theta$$

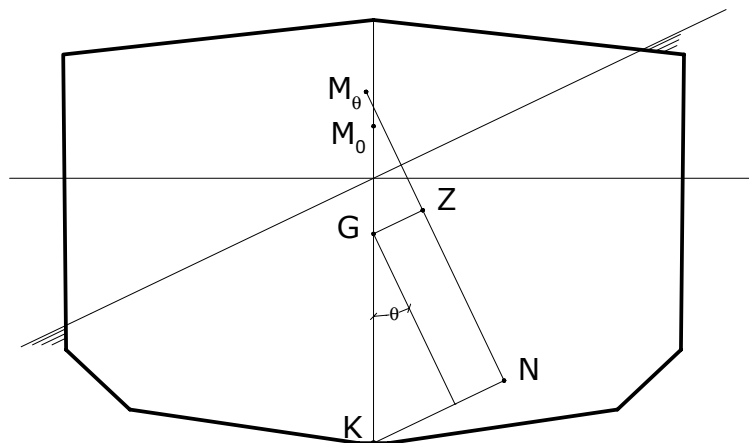


Figura 8

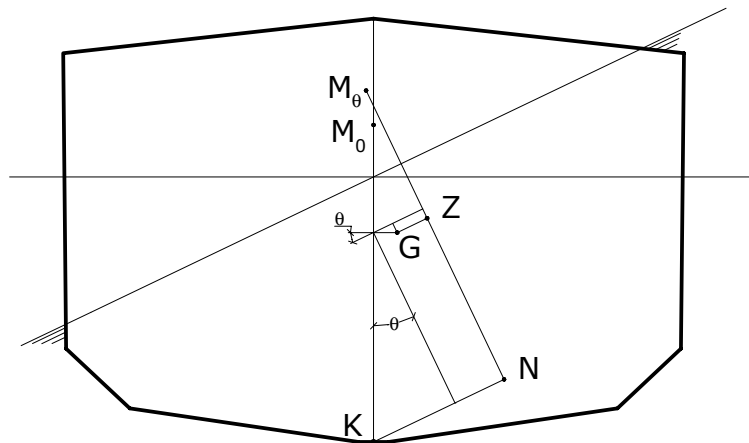


Figura 9

De la documentación del barco obtenemos los distintos valores de KN para cada escora en función del calado o del desplazamiento (pantocarenas)

4 ALTURA METACÉNTRICA GENERALIZADA (GM_θ)

Para grandes ángulos de inclinación, se ha visto que el metacentro real sale del plano diametral y se mueve como queda reflejado en la figura nº 2.

Llamamos altura metacéntrica generaliza, a la distancia vertical (perpendicular a la nueva flotación -escorada-) que hay entre el metacentro real y el punto Z. Esta distancia es el valor de la pendiente de la curva de estabilidad para esta escora.

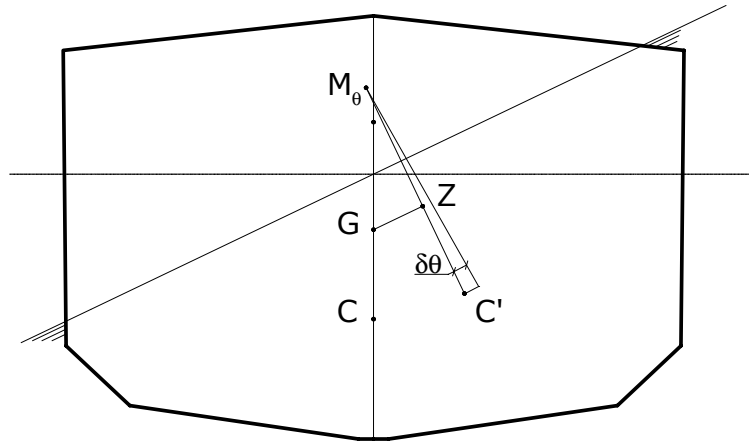


Figura 10

$$\delta GZ = M_\theta Z \cdot \delta\theta$$

$$\text{tg } \alpha = \frac{\delta GZ}{\delta\theta} = \frac{M_\theta Z \cdot \delta\theta}{\delta\theta} = M_\theta Z$$

véase fig. 13

En la figura nº 11 podemos ver el barco con la escora en la que coincide el metacentro con Z, con lo que la pendiente de la curva de estabilidad se anula, que corresponde con el valor máximo del brazo GZ

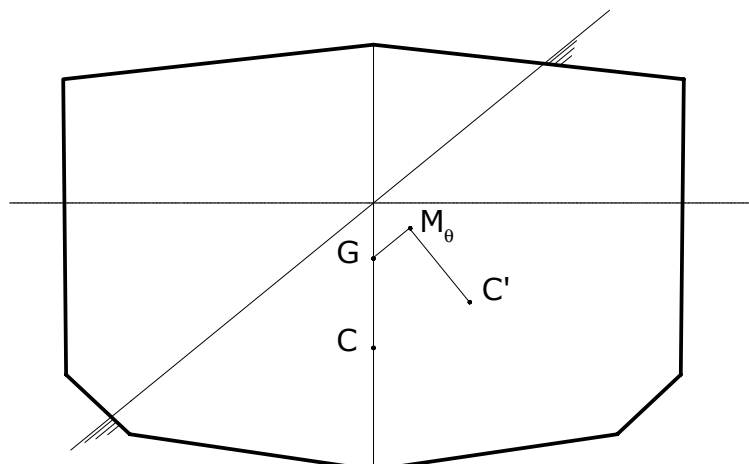


Figura 11

Quizás se vea mejor en la fig. nº 12

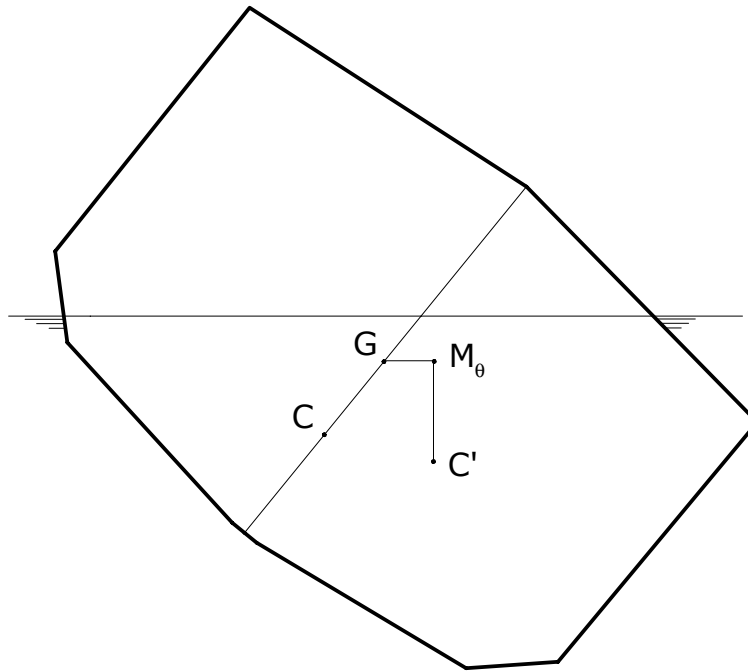


Figura 12

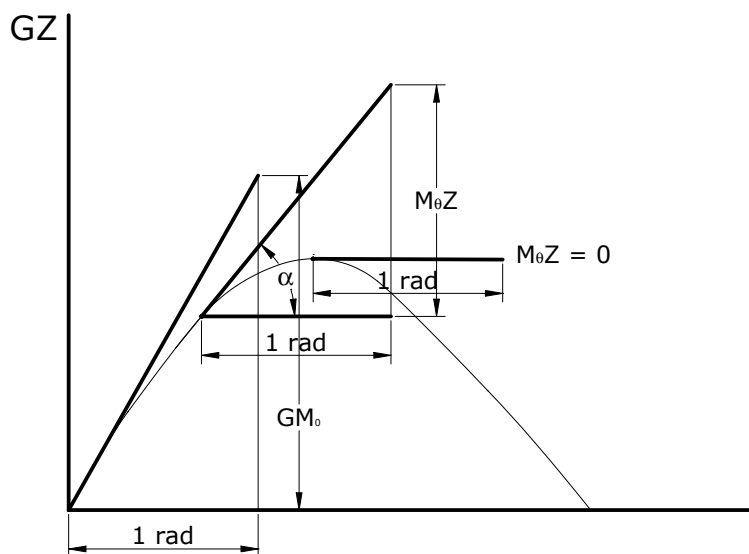


Figura 13

5 MOMENTOS ESCORANTES

Los agentes externos (mar y viento), las líneas de remolque e incluso efectos propios como la metida del timón, son capaces de generar un momento escorante que escorará el buque hasta un determinado ángulo.

Los distintos reglamentos que se relacionan al final de esta lección dictarán las medidas necesarias para que el buque los pueda soportar sin peligro. Estas medidas son de todo género, van desde los aspectos constructivos y de diseño hasta el dictado de protocolos de actuación, por ejemplo; la instalación de ganchos de remolque giratorios; el cierre de tambuchos y puertas estancas, etc.

Nos centraremos en dos momentos escorantes relacionados con los trabajos de remolque, que son:

- El momento escorante debido al arrastre del remolcador por parte del remolcado (Momento de arrastre).
- El momento escorante debido al tiro del remolcador (Momento de tiro).

También hay otros, como:

El generado por el empuje transversal debido a los monitores contra incendios (téngase en cuenta la formidable fuerza de impulsión de estos monitores y la gran altura a la que están dispuestos –por encima de la magistral-)

5.1 Momento de arrastre (M_1) -Tow Tripping-

(Ver criterios de estabilidad al final de este tema)

Como consecuencia de la inercia del buque remolcado o por efecto de agentes externos (viento, etc...), puede producirse un cambio de sentido en la aplicación de la fuerza en la línea de remolque, con lo que el remolcador pasa a ser el remolcado.

Existen varios elementos de maniobra que intentan reducir los efectos transversales de este momento, por ejemplo, obligando por medio de pines, retenidas o contras a que la línea de remolque trabaje desde un lugar distante del centro del remolcador, que sería el lugar más peligroso. Con este sistema se consigue que el efecto se reduzca a que el remolcador cambie de rumbo, poniéndose en línea con el calabrote que le une al remolcado y que ahora tira de él.

El valor del momento es el siguiente:

$$M_1 = \frac{1}{19,6} \cdot C_1 \cdot C_2 \cdot \gamma \cdot V^2 \cdot A_p \cdot (h \cdot \cos \theta + C_3 \cdot C_m - r \cdot \sin \theta)$$

Siendo:

C_1 = Coeficiente de tracción lateral -drag coefficient-

C_2 = Corrección de C_1 por el ángulo de escora.

C_3 = Distancia del centro de presión del área A_p a la flotación, expresada como fracción del calado medio real.

γ = Peso específico del agua (Tns/m^3).

V = Velocidad lateral del buque remolcador (2,57 m/seg \Rightarrow 5 nudos).

A_p = Área de la proyección sobre el plano diametral de la parte sumergida del remolcador, en metros cuadrados.

h = Altura del gancho de remolque sobre la flotación, en metros.

θ = Escora.

r = radio del gancho de remolque.

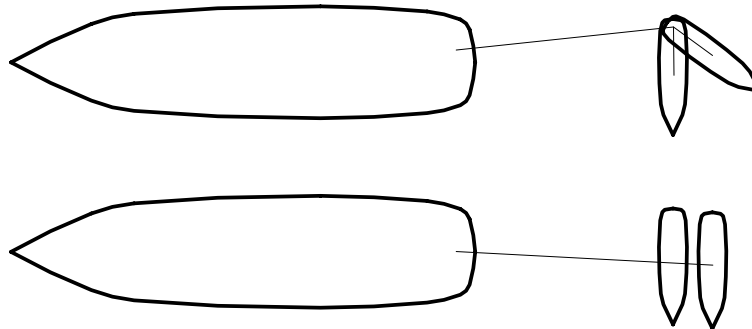
C_m = Calado medio (completo) en la maestra.



Explicación de los coeficientes

C₁: Existe una gran diferencia en el momento que se transmite al remolcador según la posición del gancho o afirmado de la línea de remolque. La peor posición corresponde a la mitad de la eslora en la flotación, pues esto imprimirá

Un movimiento totalmente transversal. La mejor corresponderá a un afirmado en la misma cabeza, con lo que el movimiento transversal se minimizará. La foto anterior muestra un remolcador sufriendo un momento escorante de arrastre estando el gancho prácticamente en el centro de la eslora en flotación.



C₂: El coeficiente C₁ se determina para pequeños ángulos de escora, pero en la medida que el barco escora más ampliamente, se hace necesario corregir el efecto de tracción lateral. Para posiciones del gancho más centradas que 0,20 veces la eslora de flotación (siendo 0,50 e. en centro de eslora) se comprueba que se mantiene la escora en el arrastre aumentando la componente transversal en la medida que aumenta la escora. En la foto vemos además como para ángulos grandes de escora aumentará la resistencia que ejerce el agua.

C₃: Dentro del paréntesis de la fórmula se busca el obtener la distancia vertical real entre el centro de Ap y el gancho de remolque. El cálculo se hace en tres etapas; la primera es del gancho a la flotación (h.cosθ), la segunda entre la flotación y el centro del área Ap, que se calcula como una porción del calado del remolcador y la tercera es la reducción en el brazo debida a la actuación del gancho de remolque (fig. 15). Hasta que se escora al ángulo de inmersión de la cubierta en el agua se toma la mitad del calado (C₃ = 0,50) y en adelante aumenta hasta el valor (C₃ = 0,84) que se puede entender como un aumento de la profundidad a la que está el área debido a la escora (fig. 14).

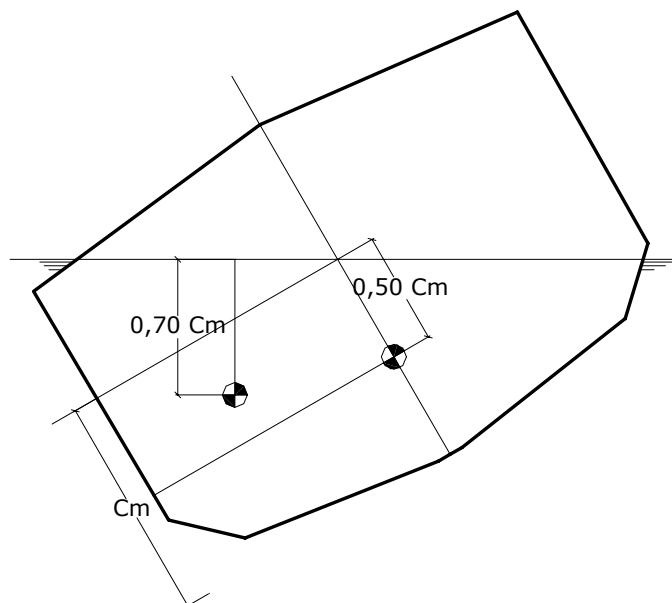


Figura 14

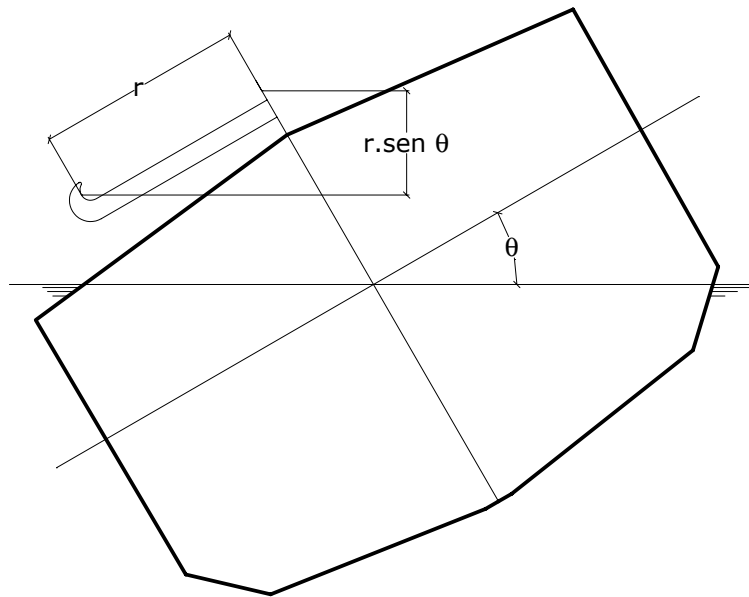


Figura 15

Gráfico 1.- Coeficiente de tracción lateral para estimaciones de las fuerza externas sobre el remolcador.

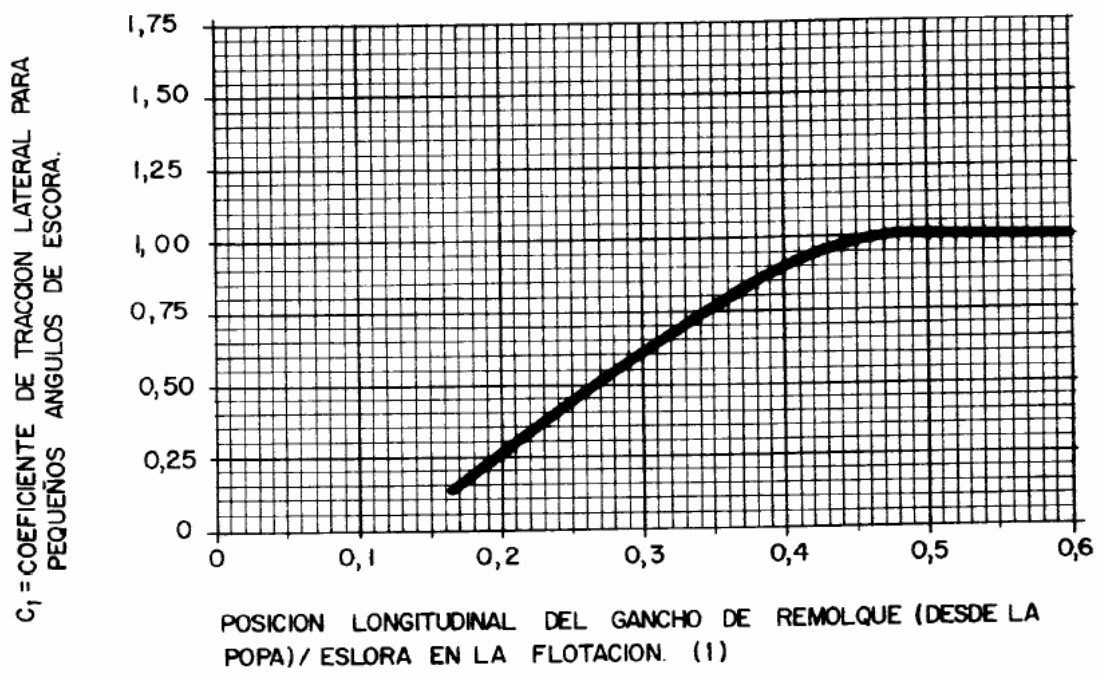


Gráfico 2.- Relacion del coeficiente de traccion lateral—ángulo escora normalizado
 (1) Si el buque tiene una superestructura en la sección *media* se consideraría el borde de la cubierta como si tal superestructura no existiera.

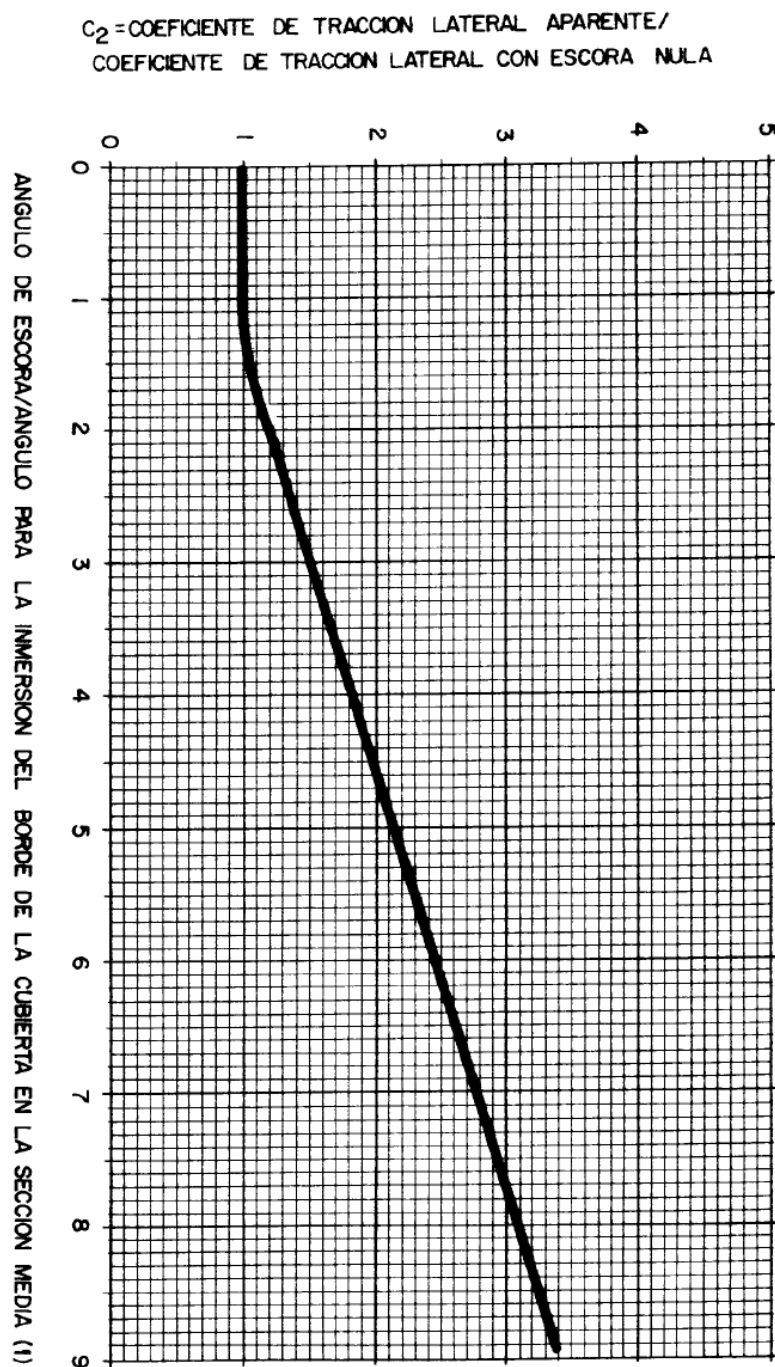
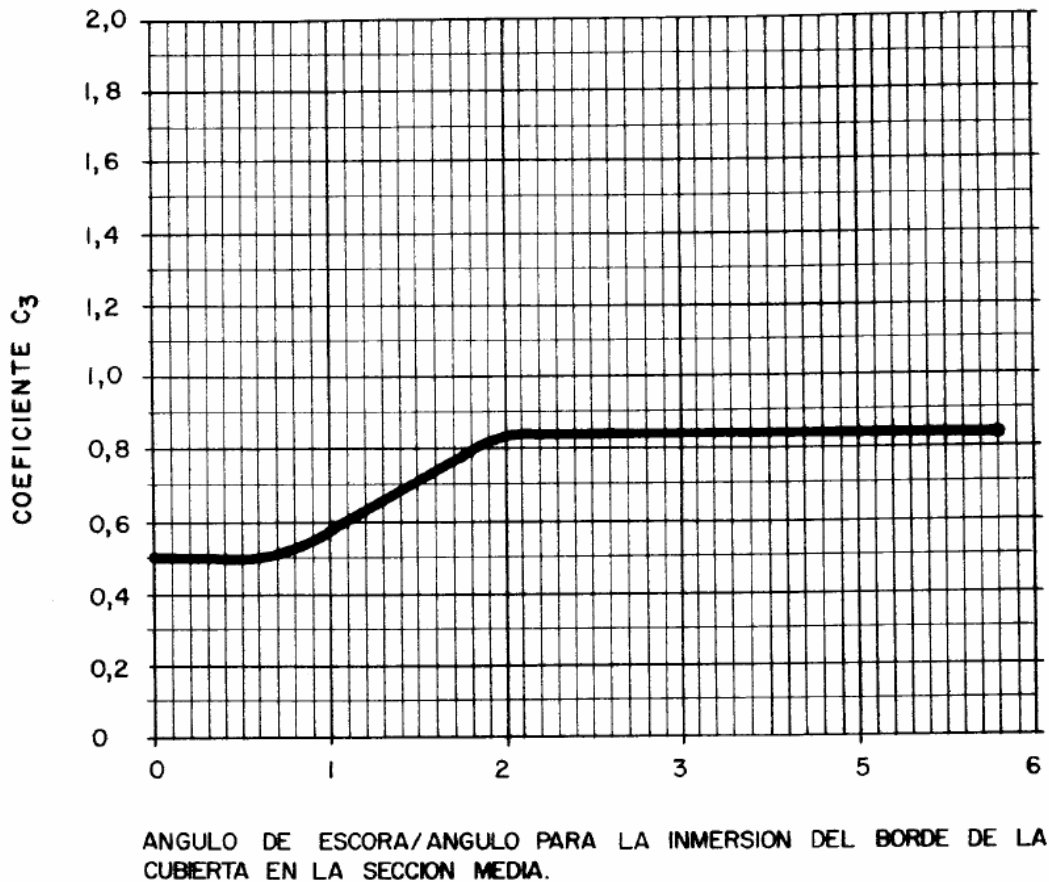


Gráfico 3.- Distancia a la flotación del centro del area Ap tomada como fracción del calado/ángulo de escora normalizado.



Los cálculos se disponen de la siguiente manera:

- En un principio se hace necesario calcular los parámetros que van a ser los argumentos con los que se entrará en los escalas de los coeficientes.

Argumento de C1: Relación entre la distancia del gancho a la popa con la eslora en la flotación.

En remolcador "Cathorce" para un calado medio de 4,60 metros: eslora en la flotación = 29,43 metros.

$$\text{arg} = \frac{\text{dist gancho - popa}}{E_f} = \frac{10,37}{29,43} = 0,352 \Rightarrow C_1 = 0,79$$

Argumento de C₂ y de C₃: Relación entre el ángulo que se estudia (rango de la curva de estabilidad) y el ángulo para la inmersión del borde de la cubierta en la sección media. Los argumentos serán tantos como ángulos que se estudien p.e. de 0° a 80° de 10° en 10°

En el siguiente ejemplo para el Remolcador "Cathorce" con un calado medio de 4,60 metros, el ángulo de inmersión de la cubierta es: 12,57°

Ángulo escora	Ángulo/Áng. Inm.	C ₂	C ₃
0°	0,000	1,000	0,500
10°	0,865	1,000	0,541
20°	1,729	1,096	0,780
30°	2,594	1,374	0,840
40°	3,458	1,650	0,840
50°	4,323	1,926	0,840
60°	5,188	2,202	0,840
70°	6,052	2,478	0,840
80°	6,917	2,754	0,840

- En segundo lugar, una vez conocidos los coeficientes y el resto de parámetros, se calculan los momentos escorantes para cada ángulo de escora.

h se puede calcular con la siguiente fórmula:

$$h = \text{kg bita} - \text{Cm}$$

Ap es el producto del calado medio completo (calado sobre la línea base + espesor de la quilla) en la sección media por la eslora entre perpendiculares (Se utiliza esta eslora, por que usar la eslora en flotación daría error por exceso –ver plano de disposición general del remolcador-).

$$V = 2,57 \text{ con lo que } V^2 = 6,605$$

$$\gamma = 1,025$$

Una vez que se tienen los momentos escorantes correspondientes a las distintas escoras se dividirá por el desplazamiento para obtener el brazo escorante, que es el que se representará en la gráfica donde se tiene representada a su vez la curva de estabilidad.

El corte de la curva de estabilidad estática con la que se acaba de calcular y representar dará el ángulo de equilibrio estático por arrastre del remolcador que siempre deberá existir y su valor será inferior al ángulo de inundación progresiva a través de aberturas o a la zozobra del remolcador (ver criterios de estabilidad).

Representación:

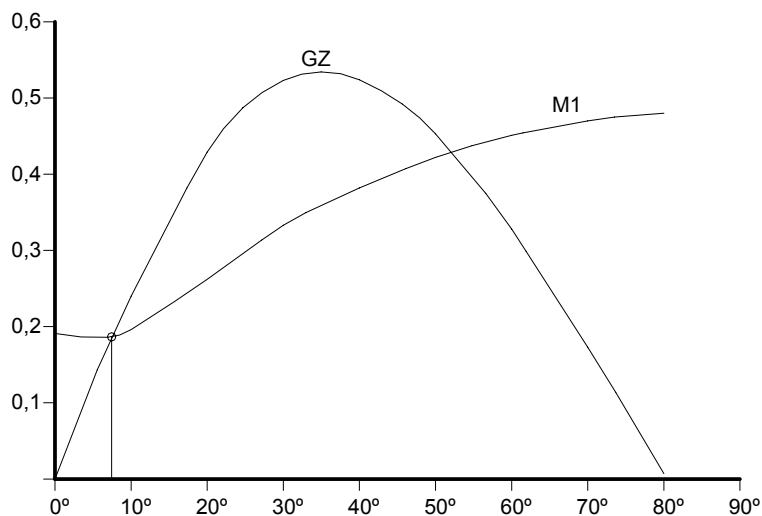


Figura 16

Que corresponde a los siguientes valores:

Ángulo	GZ	Ángulo/lnm	C3	Cm.C3	h.cos θ	r.sen θ	Suma	C1	C2	Mto 1	Brazo
0 °	0,000	0,000	0,500	2,296	1,988	0,000	4,284	0,786	1,000	143,140	0,191
10 °	0,240	0,865	0,541	2,484	1,958	0,053	4,389	0,786	1,000	146,652	0,196
20 °	0,429	1,729	0,780	3,582	1,868	0,104	5,346	0,786	1,096	195,756	0,261
30 °	0,523	2,594	0,840	3,857	1,722	0,153	5,426	0,786	1,374	249,123	0,333
40 °	0,524	3,458	0,840	3,857	1,523	0,196	5,184	0,786	1,650	285,806	0,382
50 °	0,543	4,323	0,840	3,857	1,278	0,234	4,901	0,786	1,926	315,426	0,421
60 °	0,328	5,188	0,840	3,857	0,994	0,264	4,587	0,786	2,202	337,498	0,451
70 °	0,173	6,052	0,840	3,857	0,680	0,287	4,251	0,786	2,478	351,937	0,470
80 °	0,007	6,917	0,840	3,857	0,345	0,300	3,902	0,786	2,754	359,068	0,479

Parámetros:

Eslora en la flotación = 29,43 metros.

Altura del gancho sobre la flotación = 1,988 metros.

Calado medio completo en la maestra = 4,592 metros.

Distancia del gancho a la popa = 10,37 metros.

Ángulo de inmersión de la cubierta en la maestra = 11,566°

Radio del gancho = 0,305 metros (pequeño, se instaló uno mayor).

Desplazamiento = 748,88 toneladas métricas.

El corte se produce a una escora de 7,5° que es claramente inferior al ángulo de inundación progresiva que para el desplazamiento de esta condición es de 65,5°

5.2 Momento de Tiro (M₂) -Self Tripping-

(Ver criterios de estabilidad al final de este tema)

Este momento se genera por la acción de los propulsores al aplicarse plena potencia

$$M_2 = C_4 \cdot C_5 \cdot T \cdot (h \cdot \cos \theta + C_6 \cdot C_m - r \cdot \text{sen} \theta)$$

$$M_2 = 0,70 \cdot C_5 \cdot T \cdot (h \cdot \cos \theta + 0,52 \cdot C_m - r \cdot \text{sen} \theta)$$

Siendo:

C₄: Fracción (del tiro máximo a punto fijo) del remolcador que se puede suponer actúa transversalmente. Siempre ⇒ C₄ = 0,70

C₅: Corrección de C₄ por la posición longitudinal del gancho de remolque.

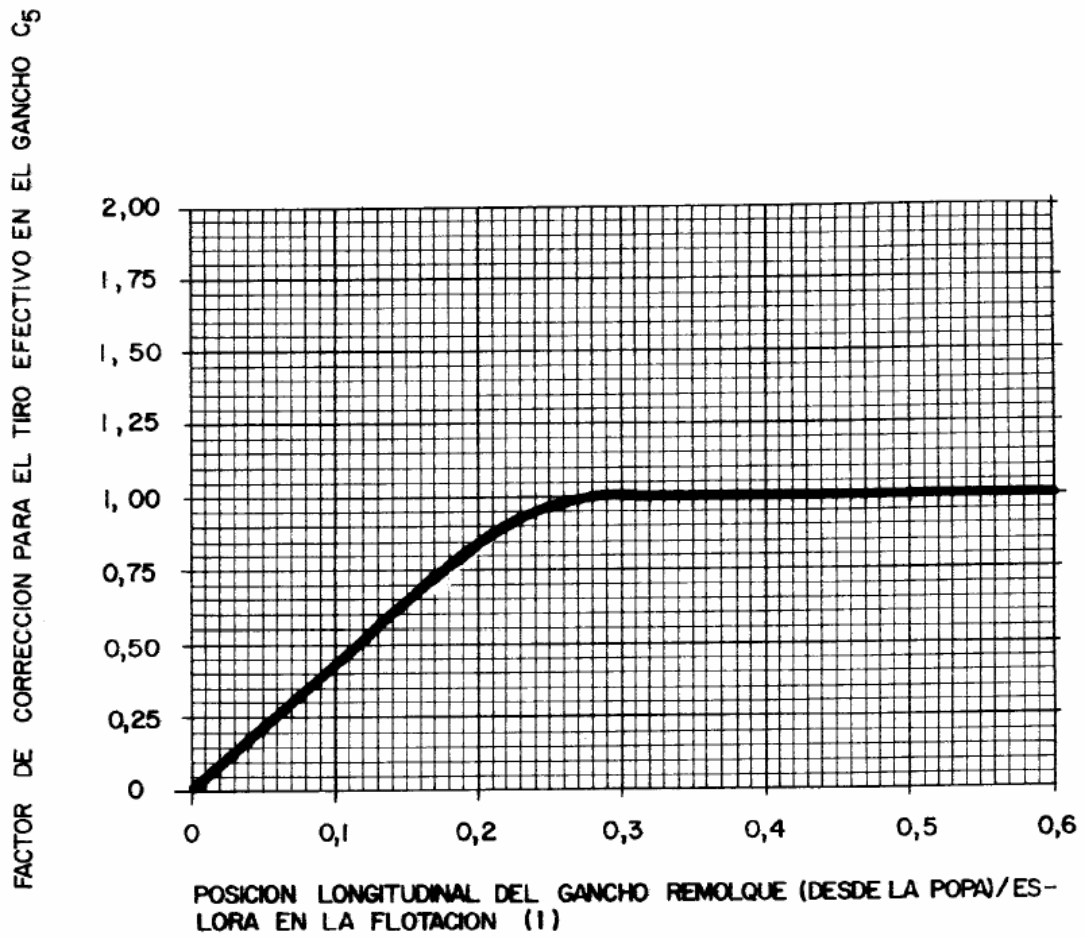
T: Tiro máximo a punto fijo del remolcador -Bollard Pull- (en toneladas métricas).

C₆: Distancia a la flotación del centro de resistencia efectivo, como fracción del calado. Siempre ⇒ C₆ = 0,52

h, C_m, θ y r: como en M₁

C₅: La transmisión transversal del tiro se verá claramente afectada por la posición longitudinal del gancho del remolque, anulándose al estar en la misma popa.

Gráfico 4.- Reduccion en el momento escorante efectivo-posicion longitudinal del gancho de remolque.



Representación:

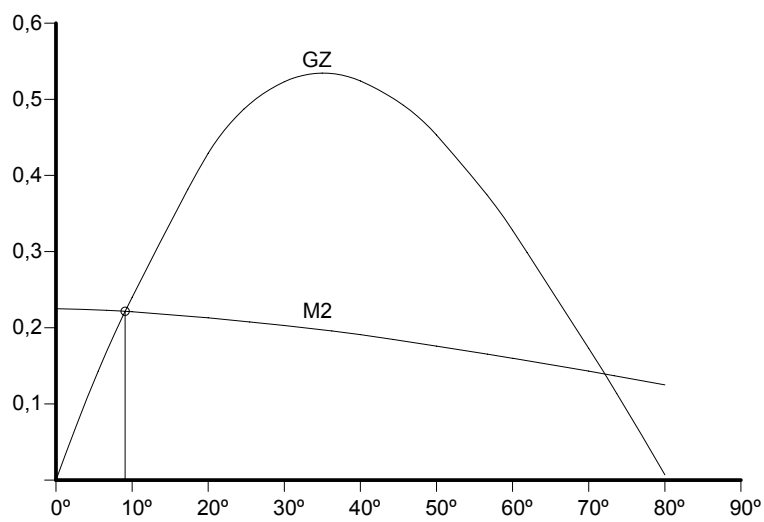


Figura 17

Los cálculos se disponen de la siguiente manera:

Ángulo	GZ	h.cos θ	0,52.Cm	r.sen θ	Suma	C5	Mto	Brazo esc
0 °	0,000	1,988	2,388	0,000	4,376	1	168,470	0,225
10 °	0,240	1,958	2,388	0,053	4,293	1	165,268	0,221
20 °	0,429	1,868	2,388	0,104	4,152	1	159,838	0,213
30 °	0,523	1,722	2,388	0,153	3,957	1	152,344	0,203
40 °	0,524	1,523	2,388	0,196	3,715	1	143,015	0,191
50 °	0,543	1,278	2,388	0,234	3,432	1	132,134	0,176
60 °	0,328	0,994	2,388	0,264	3,118	1	120,032	0,160
70 °	0,173	0,680	2,388	0,287	2,781	1	107,075	0,143
80 °	0,007	0,345	2,388	0,300	2,433	1	93,658	0,125

Para este ejemplo se ha considerado un tito de 55 toneladas métricas y los mismos parámetros que para el cálculo de M_1

5.3 Momento escorante en el remolque de escolta (Escort)

Los remolcadores pueden trabajar de distintas maneras, pero básicamente lo hacen con dos tipos de tiro: el tiro directo y el tiro indirecto. Para poder trabajar con el tiro indirecto es necesario que el remolcador sea un remolcador de escolta y para ello debe estar preparado para soportar las fuerzas hidrodinámicas que se generan.

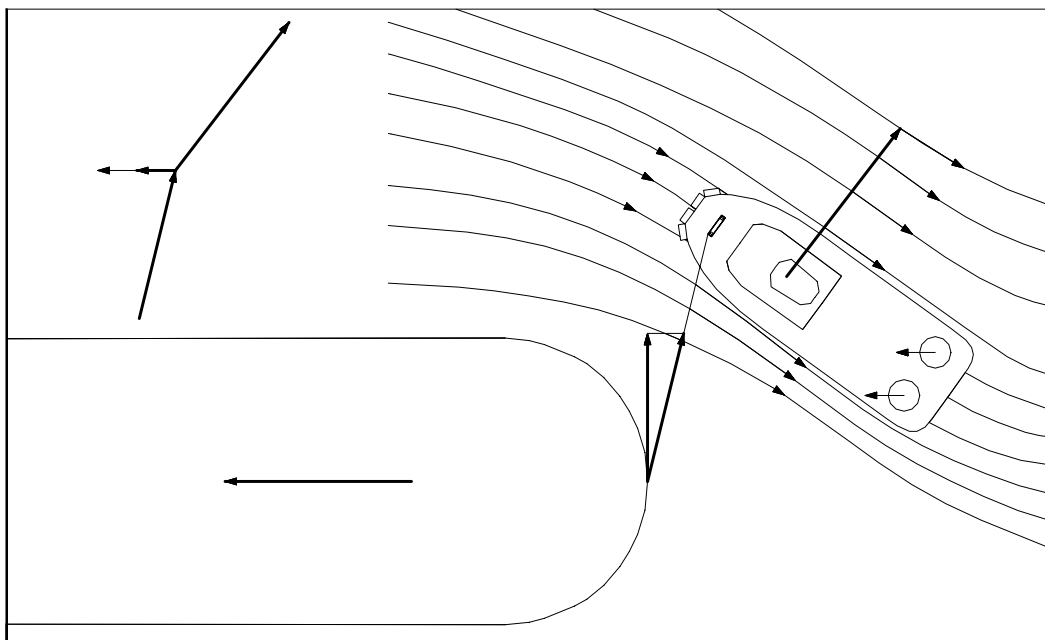


Figura 18

La fuerza hidrodinámica genera una componente transversal al remolcador que tenderá a cambiar el rumbo del remolcador y ponerle paralelo al buque escoltado. A esto se opondrá el empuje generado por los propulsores azimutales (figura nº 18) o cicloidales y resultará una fuerza que tensionará la línea de remolque. Esta tensión tendrá una componente longitudinal y otra transversal al escoltado. La longitudinal representa un freno al avance y la transversal es la que generará un momento evolutivo que se sumará al generado por el propio timón del buque escoltado. La velocidad a la que se desplaza el sistema es muy importante, considerándose una velocidad estándar la comprendida entre 8 y 10 nudos.

En la figura nº 19 se pueden apreciar los momentos que generan tanto la tensión en la línea de remolque (tiro) y el empuje de los propulsores. Sus componentes transversales tienen

el mismo sentido, con lo que al estar una por arriba y otra por abajo, generarán momentos opuestos. El momento mayor corresponderá al tiro (en su componente transversal horizontal) y la diferencia con la componente transversal de los propulsores estará contrarrestada

Un criterio de estabilidad muy práctico para este tipo de remolque, es que el patrón pone el límite del remolque en el instante en la cubierta entra en el agua. Sin embargo el remolcador está preparado para superar esta escora y llegar a la escora en la que se produciría la entrada de agua por aperturas en la habilitación o tambuchos, siempre que está demostrada la reserva de estabilidad.

Para una evaluación detallada de los momentos será necesario conocer los valores de las fuerzas y sus brazos. El tiro puede conocerse mediante la intercalación de un dinamómetro en la línea de remolque, aunque para determinar la componente transversal horizontal se deberá contar con un equipo topográfico o similar que sitúe perfectamente las posiciones relativas de la gatera del remolcado y el bitón del remolcador. El empuje transversal de los propulsores irá en función del acimut, de la escora y de la carga de los propulsores (revoluciones). La suma del brazo del tiro y del brazo de los propulsores será la distancia entre los propulsores y la bita, residiendo la dificultad, en determinar donde se encuentra el punto de giro (pivoting point) desde el cual se valoran los brazos anteriores. Los ensayos realizados por la casa VOITH GmbH muestran en sus gráficos, posiciones del punto de giro ligeramente inferiores al centro de gravedad de la superficie de flotación (medida ortogonal).

Para reducir el momento escorante, se instalan a bordo sistemas como son:

- Bita dinámica © UC, que mueve el enorme cáncamo o bita por la que sale la línea de remolque.

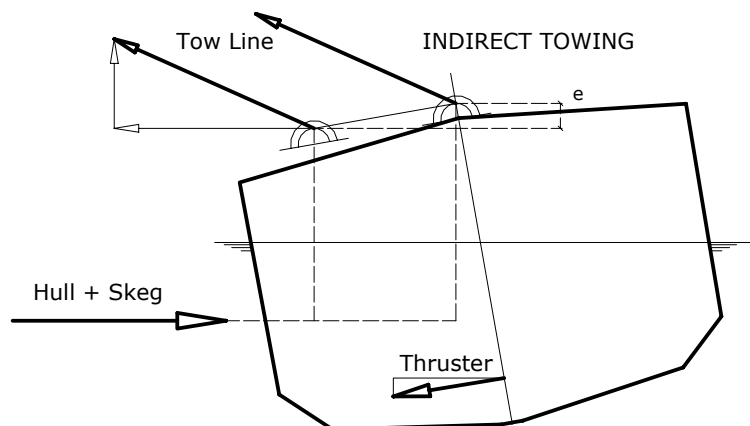


Figura 19

La bita dinámica y el gancho giratorio disminuyen el momento escorante al reducir el brazo del tiro, tal y como podemos apreciar en la figura nº 19, en donde la distancia “e” es la reducción en el brazo. En las figuras siguientes podemos ver el efecto en la curva de estabilidad.

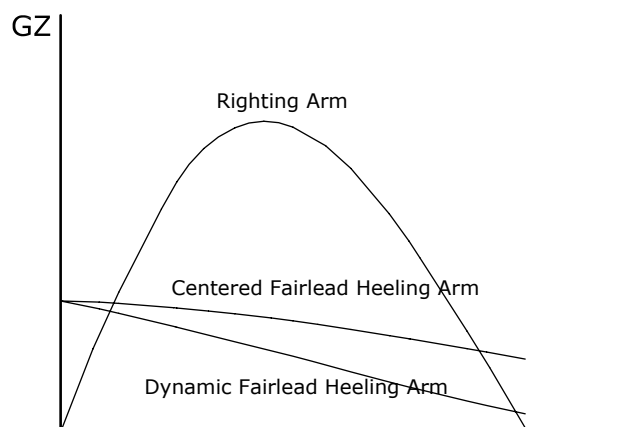


Figura 20

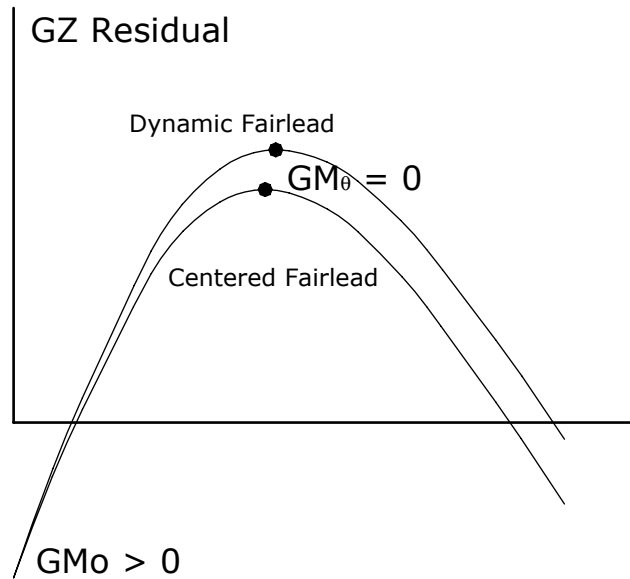
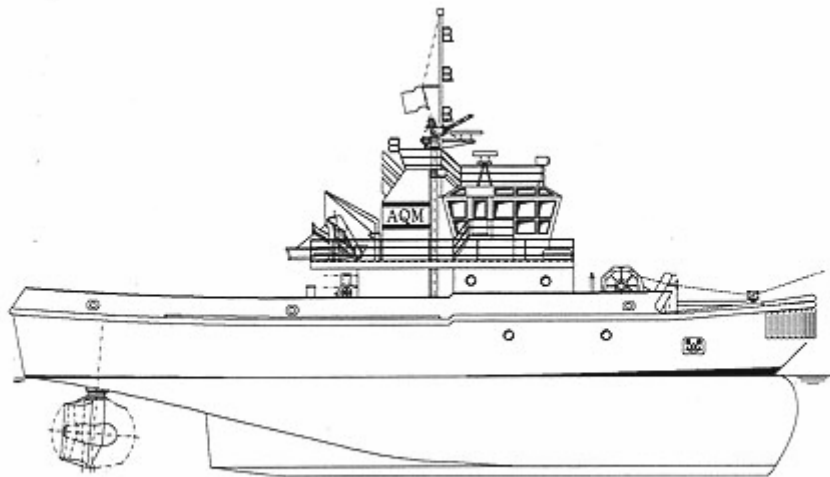


Figura 21

El gancho y la bita dinámica no generan aumentos en la estabilidad inicial, pues para una escora de 0° el momento escorante es el mismo, al estar el gancho y la bita a la misma distancia ortogonal de la línea base. Al escorar es cuando aparece la reducción en la distancia vertical. La altura metacéntrica generalizada (a grandes ángulos de inclinación) aumenta su valor y también aumenta el valor de escora en que se produce el máximo de brazo adrizante.

- Diseño de castillos de proa con poco francobordo. Esto es efectivo, pero el remolcador pierde utilidad como remolcador convencional o remolcador de alta mar.



- Existen diseños de remolcadores, sobre todo de tipo Tractor, que son muy prácticos para puerto pero pierden capacidad marinera en alta mar.



5.4 Momento de empuje transversal (p.e. monitores Fi-Fi 1)

Dada la enorme capacidad de las bombas de contraincendios que se instalan en los buques remolcadores y la altura a la que se disponen los monitores que expulsan el agua, se hace necesario calcular el momento escorante que generan.

Estos monitores están diseñados para lanzar el agua que manda la bomba a una distancia muy grande para asistir a un buque o instalación que lo necesite, siendo el caso más previsible el de socorrer a un buque incendiado. Piénsese que la reacción generada en los monitores puede ser del orden de toneladas (p. e. remolcador "Cathorce": cada monitor 1,42 toneladas métricas).

Representación:

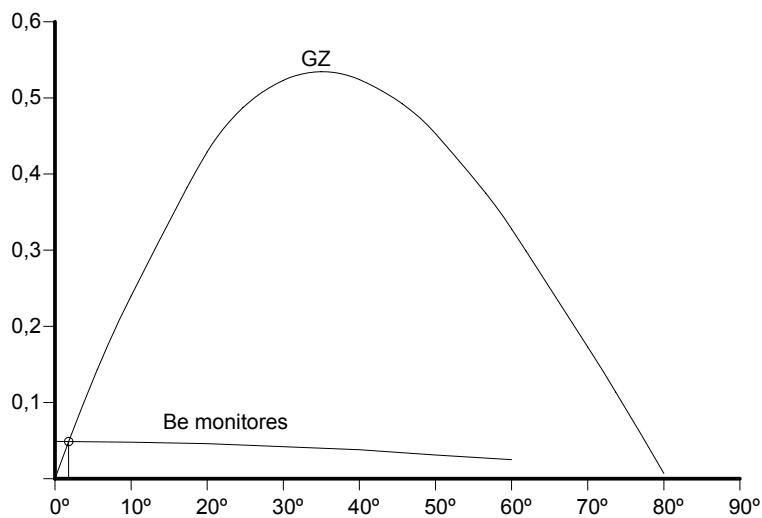


Figura 22

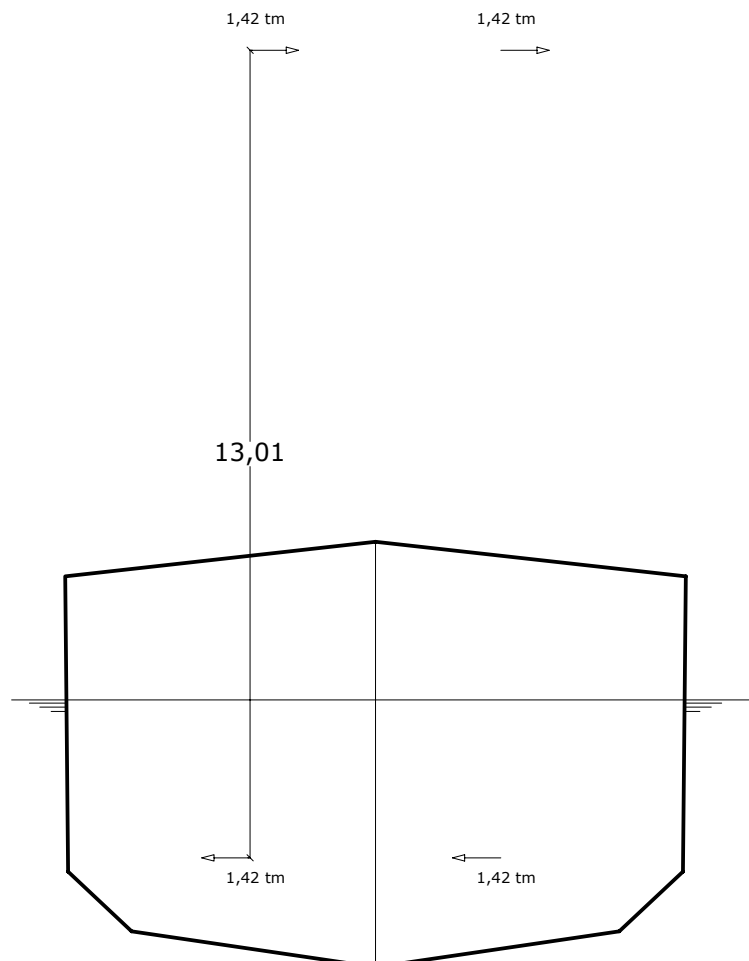


Figura 23

El cálculo es sencillo:

Ángulo	GZ	Brazo .cos θ	Reacción	Mto esc	Brazo
0 °	0,000	13,01	2,84	36,948	0,049
10 °	0,240	12,81	2,84	36,387	0,049
20 °	0,429	12,23	2,84	34,720	0,046
30 °	0,523	11,27	2,84	31,998	0,043
40 °	0,524	9,97	2,84	28,304	0,038
50 °	0,543	8,36	2,84	23,750	0,032
60 °	0,328	6,51	2,84	18,474	0,025
70 °	0,173	4,45	2,84	12,637	0,017
80 °	0,007	2,26	2,84	6,416	0,009

Es necesario tener en cuenta que el efecto representado en las figuras se produce cuando la descarga del agua se realiza transversalmente, minimizándose los efectos al descargar hacia proa o hacia popa. Como curiosidad cabe decir que al aplicar estas descargas longitudinalmente, el remolcador navegará a una velocidad de aproximadamente 4 nudos y si descarga transversalmente será necesario activar la hélice de proa y el propulsor azimutal que no alimenta a la bomba de contraincendios, para compensar el movimiento transversal y no alejarse de la zona.

5.5 Otros momentos escorantes.

Solamente mencionaremos otros momentos escorantes que será necesario tener en cuenta, de los cuales existe reglamentación nacional e internacional.

- Momento escorante por los efectos del viento y balance intensos.
- Momento escorante por los efectos del agua embarcada en cubierta.
- Momento escorante por la acumulación de hielo.

6 CORECCIONES AL GZ

6.1 Corrección al GZ por superficies libres.

Como sabemos, los líquidos en los tanques que están parcialmente llenos, generan un efecto de pérdida de estabilidad. La posición vertical del centro de gravedad del buque se mueve proporcionalmente –y en subida virtual- al momento de inercia de la superficie libre del tanque, también proporcionalmente al peso específico del líquido en el contenido y en una medida inversamente proporcional al desplazamiento del buque. En el caso de haber varios tanques parcialmente llenos, se obtendrá un sumatorio, con los productos de cada momento de inercia por el peso específico correspondiente que luego se dividirá por el desplazamiento.

Este, es un método muy útil cuando solamente necesitamos conocer la altura metacéntrica inicial corregida, pero pierde precisión cuando se busca conocer los brazos de estabilidad estática reales. Entre otros motivos, la corrección por superficies libres, que se va a calcular seguidamente, es más exacta porque tiene en cuenta la forma de los tanques en cuanto a que, en función de las proporciones del tanque se podrá conocer a que escora llega el líquido al techo o fondo del mismo, pudiéndose aplicar una corrección más atinada.

Se trata de calcular los momentos escorantes de los tanques para las distintas escoras y aplicar su efecto directamente al brazo GZ una vez que se ha dividido por el desplazamiento. El momento escorante se calcula según la fórmula:

$$M_{SL} = V \cdot b \cdot \gamma \cdot k \cdot \sqrt{\delta}$$

Siendo:

M_{SL} : Momento escorante por superficies libres.

V: Capacidad total del tanque, en metros cúbicos.

b: dimensión máxima del tanque en dirección de la manga, en metros.

γ : Peso específico del líquido contenido en el tanque, en toneladas métricas/m³.

k: coeficiente adimensional que se obtiene por tabla, según la relación b/h. Los valores intermedios se determinan por interpolación lineal.

δ : coeficiente de bloque del tanque = $V / (b.l.h)$

l: dimensión máxima del tanque en dirección de la eslora, en metros.

h: altura máxima del tanque, en metros.

De la tabla nº 1 obtenemos los diferentes valores de k para cada escora y con ellos se calculan los distintos valores de M_{SL} para cada escora y tanque. Finalmente se suman los distintos momentos de cada escora y se dividirá por el desplazamiento.

En el caso que el tanque sea pequeño, no será necesario añadir su efecto en los distintos sumatorios de los momentos de cada escora. Esto será así, si al aplicar la fórmula anterior, se comprueba que el M_{SL} para 30° de escora es menor de:

0,01 x Desplazamiento mínimo

Escora

b/h	5°	10°	15°	20°	30°	40°	b/h
20	0,11	0,12	0,12	0,12	0,11	0,10	20
10	0,07	0,11	0,12	0,12	0,11	0,10	10
5	0,04	0,07	0,10	0,11	0,11	0,11	5
3	0,02	0,04	0,07	0,09	0,11	0,11	3
2	0,01	0,03	0,04	0,06	0,09	0,11	2
1,5	0,01	0,02	0,03	0,05	0,07	0,10	1,5
1	0,01	0,01	0,02	0,03	0,05	0,07	1
0,75	0,01	0,01	0,02	0,02	0,04	0,05	0,75
0,5	0,00	0,01	0,01	0,02	0,02	0,04	0,5
0,3	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,03	0,3
0,2	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,02	0,2
0,1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,1

b/h: relación manga/puntal

b/h	45°	50°	60°	70°	75°	80°	90°	b/h
20	0,09	0,09	0,07	0,05	0,04	0,03	0,01	20
10	0,10	0,09	0,07	0,05	0,04	0,03	0,01	10
5	0,10	0,10	0,08	0,07	0,06	0,05	0,03	5
3	0,11	0,10	0,09	0,08	0,07	0,06	0,04	3
2	0,11	0,11	0,10	0,09	0,09	0,08	0,06	2
1,5	0,11	0,11	0,11	0,11	0,10	0,10	0,08	1,5
1	0,09	0,10	0,12	0,13	0,13	0,13	0,13	1
0,75	0,07	0,08	0,12	0,15	0,16	0,16	0,17	0,75
0,5	0,04	0,05	0,09	0,16	0,18	0,21	0,25	0,5
0,3	0,03	0,03	0,05	0,11	0,19	0,27	0,42	0,3
0,2	0,02	0,02	0,04	0,07	0,13	0,27	0,63	0,2
0,1	0,01	0,01	0,01	0,04	0,06	0,14	1,25	0,1

Tabla 1

Ejemplo de cálculo:

En primer lugar se determina el momento escorante para un valor de K = 1

	Eslora	Manga	Puntal	Volumen	Peso esp.	$\sqrt{\delta}$	Mto esc K = 1	x 2
Tanque 1	5,50	4,64	3,80	56,91	0,85	0,7661	171,944	343,888
Tanque 2	8,00	4,92	2,60	32,86	0,85	0,5667	77,8702	
Tanque 3	8,00	4,92	2,60	29,03	0,85	0,5326	64,6607	
Tanque 4	3,00	4,92	6,55	27,12	1,00	0,5296	70,6623	141,325

En la última columna se multiplica por 2 en caso de haber otro tanque simétrico en la otra banda (de las mismas características).

Tanques	Mto K = 1	10 °		20 °		30 °		40 °	
		K ₁₀	Mto	K ₂₀	Mto	K ₃₀	Mto	K ₄₀	Mto
Tanque 1	171,94	0,01	2,48	0,04	6,68	0,06	10,12	0,08	14,32
Tanque 2	77,87	0,03	2,17	0,06	4,50	0,09	6,67	0,11	8,40
Tanque 3	64,66	0,03	1,80	0,06	3,74	0,09	5,54	0,11	6,97
Tanque 4	70,66	0,01	0,71	0,02	1,42	0,04	2,83	0,05	3,54
Sumatorio			7,16		16,34		25,16		33,23

Tanques	Mto K = 1	50 °		60 °		70 °		80 °	
		K ₅₀	Mto	K ₆₀	Mto	K ₇₀	Mto	K ₈₀	Mto
Tanque 1	171,94	0,10	17,95	0,12	19,87	0,12	20,83	0,12	20,07
Tanque 2	77,87	0,11	8,57	0,10	7,95	0,09	7,34	0,08	6,57
Tanque 3	64,66	0,11	7,11	0,10	6,61	0,09	6,10	0,08	5,45
Tanque 4	70,66	0,08	5,66	0,12	8,48	0,15	10,59	0,16	11,30
Sumatorio			39,29		42,91		44,87		43,38

Los valores de K para las distintas escoras, se obtiene por interpolación lineal en la tabla nº 1.

Una vez obtenido el sumatorio para las distintas escoras, no queda más que dividirlos por el desplazamiento para obtener las correcciones al brazo GZ para cada escora.

C ^{on} 10° =	7,16/Desp
C ^{on} 20° =	16,34/Desp
C ^{on} 30° =	25,16/Desp
C ^{on} 40° =	33,23/Desp
C ^{on} 50° =	39,29/Desp
C ^{on} 60° =	42,91/Desp
C ^{on} 70° =	44,87/Desp
C ^{on} 80° =	43,38/Desp

6.2 Corrección al GZ por asiento.

Quando el asiento (aproante o apopante) difiere del de proyecto en más de un determinado porcentaje (2% Epp), o supera una determinada cifra (1 metro) se aplicará una corrección al valor del GZ calculado. Según la Circular nº 9 de 7 de diciembre de 1.977 esta corrección será de 2 centímetros (substractiva).

Cabe mencionar, que generalmente un asiento positivo genera un aumento de la estabilidad inicial, por aumento del radio metacéntrico debido al aumento del momento de inercia de la superficie de flotación al ser más llenas las zonas de popa que las de proa.

7 INSTRUCCIONES AL CAPITÁN

Se reproducen aquí las instrucciones que el astillero (oficina técnica) suministra al capitán del remolcador (Remolcador "Cathorce").

7.1 Instrucciones generales:

- El cumplimiento de los criterios de estabilidad no asegura la inmunidad del buque a la zozobra en cualquier circunstancia, ni exime al Capitán de sus responsabilidades. Los Capitanes deben tener prudencia y buen sentido marinero, prestando atención al estado de la mar, estación del año, previsiones del tiempo y zona en la que navega el buque.
- Se cuidará que la estiba de la carga se realice de modo que se puedan satisfacer los criterios de estabilidad. En caso de necesidad, puede admitirse para ello el empleo de lastre.
- Todas las puertas de acceso y otras aberturas a través de las cuales pueden entrar agua en el casco, casetas, castillo, etc., se cerrarán convenientemente en caso de mal tiempo y para ello todos los dispositivos necesarios se mantendrán a bordo en buen estado y listos para su empleo.
- Las tapas planas de escotillas y escotillones de cubierta se mantendrán cerradas de modo conveniente cuando no se empleen.
- Todas las tapas ciegas portátiles se conservarán en buen estado y serán cerradas con seguridad en caso de mal tiempo.
- Antes de salir de puerto se cuidará que la carga y las piezas de respeto se hallen debidamente estibadas y trincadas de forma que las posibilidades de corrimiento debidas al cabeceo o al balance se reduzcan al mínimo posible.
- Se cuidará en todo momento que el número de tanques parcialmente llenos sea mínimo.
- Deberán seguirse las instrucciones que existan relativas al llenado de los tanques de lastre de agua salada, recordando siempre que los tanques parcialmente llenos afectan desfavorablemente a la estabilidad y pueden ser peligrosos.
- En caso de mal tiempo, deberán cerrarse y asegurarse los dispositivos de cierre previstos en los tubos de aireación de los tanques de combustible.
- Deberán tenerse en cuenta todos los peligros de la navegación con mar de popa o de aleta. Si se produce una escora o un movimiento de guiñada excesivo, se reducirá la velocidad como primera precaución.
- En todas las condiciones de carga, se cuidará que el buque conserve un francobordo adecuado para su seguridad, en ningún caso inferior al mínimo asignado.
- Se prestará especial atención a la formación de hielo en cubiertas, superestructuras y arboladura, y se procurará eliminar el hielo acumulado por todos los medios posibles.
- Los consumos se tomarán simultáneamente de tanques simétricos (Br. y Er.), no comenzándose a consumir de una pareja de tanques hasta no haber agotado totalmente los precedentes.
- Se procederá, con una periodicidad que dependerá de las condiciones del estado de la mar, a comprobar la existencia de líquido en las cajas de cadenas, y tan pronto se detecte la misma, deberá ser achicada para evitar superficies libres en dicho espacio.

7.2 Instrucciones particulares:

En este apartado se incluyen aquellas instrucciones particulares de cada barco en función de características derivadas de su construcción, por ejemplo:

- Información de si existe algún tipo de lastre fijo.
- Enumeración de los tanques de lastre líquido e instrucciones para su lastrado y achique.
- Normas sobre como efectuar los consumos, por ejemplo, indicando la secuencia u orden.
- Instrucciones sobre los tanques de aceite, agua dulce, líquido espumógeno, líquido dispersante (y posibles instrucciones para su manipulación pues es muy corrosivo), aguas residuales.
- Modo y límites en la carga sobre cubierta (entonces no podrá remolcar) y su estiba y arriostamiento.
- Instrucciones en cuanto el mantenimiento de piezas especiales, como pueda ser el engrasado del gancho de remolque y del sistema de largado automático y manual.

7.3 Criterios de estabilidad

A nivel nacional, la norma es la Circular de Marina Mercante nº 9 de 7 de diciembre de 1977 que en un principio afecta a los buques pesqueros y por extensión a los remolcadores y la Circular nº 2 de 22 de mayo del año 1979.

De la Circular 2/79:

El área bajo la curva de brazos adrizantes (curva de valores GZ) no será inferior a 0,055 metros-radianes hasta el ángulo de inclinación de 30° ni inferior a 0,090 metros-radianes hasta el ángulo de inclinación de 40°, o hasta el ángulo de comienzo de la inundación a través de las aberturas, si este es menor de 40°. Asimismo, el área bajo la curva de brazos adrizantes entre los ángulos de inclinación de 30° y de 40°, o entre los ángulos de 30° y el de comienzo de la inundación a través de las aberturas, si éste es menor de 40°, no será inferior a 0,03 metros-radianes.

- El brazo adrizante GZ será como mínimo de 0,20 metros para un ángulo de inclinación igual o superior a 30°.
- El brazo adrizante máximo corresponderá a un ángulo de escora que no será inferior a 25°.
- La altura metacéntrica inicial no será inferior a 0,35 metros.

El ángulo de escora que tomará el remolcador al estar sometido, por separado, a cada uno de los momentos escorantes M_1 y M_2 (vistos anteriormente), y para cuya escora se produzca el equilibrio estático entre el momento escorante aplicado y el momento adrizante del remolcador (desplazamiento x brazo GZ correspondiente al ángulo de escora) será inferior al necesario para que se produzca la zozobra del remolcador o su inundación a través de las aberturas.

7.4 Otros criterios:

- Coast Guard Weather.
- Coast Guard Towline Pull.
- Roach.
- Argyriadis.
- Wood.
- Leathard.
- IMCO.

ÍNDICE

1	INTRODUCCIÓN	1
2	ALTURA METACÉNTRICA (GM).....	1
3	BRAZO ADRIZANTE (GZ)	4
4	ALTURA METACÉNTRICA GENERALIZADA (GM _□)	6
5	MOMENTOS ESCORANTES	7
5.1	Momento de arrastre (M ₁) -Tow Tripping-.....	8
5.2	Momento de Tiro (M ₂) -Self Tripping-.....	14
5.3	Momento escorante en el remolque de escolta (Escort).....	16
5.4	Momento de empuje transversal (p.e. monitores Fi-Fi 1).....	19
5.5	Otros momentos escorantes.....	21
6	CORRECCIONES AL GZ	21
6.1	Corrección al GZ por superficies libres.....	21
6.2	Corrección al GZ por asiento.....	23
7	INSTRUCCIONES AL CAPITÁN.....	24
7.1	Instrucciones generales:	24
7.2	Instrucciones particulares:	24
7.3	Criterios de estabilidad.....	25
7.4	Otros criterios:.....	25