



9- ESTABILIDAD

9.1- Introducción

9.2- Conceptos de arquitectura naval

9.2.1- Metacentro transversal

9.2.2- Radio metacentro transversal

9.2.3- Altura metacéntrica transversal

9.2.4- Metacentro longitudinal

9.2.5- Radio metacéntrico longitudinal

9.2.6- Altura metacéntrica longitudinal

9.3- Cálculos de estabilidad

9.3.1- Estabilidad estática transversal inicial

9.3.2- Estabilidad transversal para grandes escoras

9.3.3- Efecto de las superficies libres en la estabilidad del buque

9.4- Cálculos Hidromax

9.4.1- Desplazamiento en rosca

9.4.2- Desplazamiento medio

9.4.3- Desplazamiento máximo

9.5- Aplicación de la norma ISO

9.5.1- Determinación de las dos condiciones de carga para la verificación

9.5.2- Altura de inundación y ángulo de inundación.

9.5.3- Ensayo de compensación de pesos.

9.5.4- Resistencia a las olas y al viento

9- ESTABILIDAD

9.1- Introducción

El comportamiento del buque en la mar debe ser tal que se asegure su integridad en cualquier situación en la que pueda encontrarse la embarcación a lo largo de su vida útil. Para ello, uno de los aspectos básicos a estudiar es la estabilidad, que mediante el análisis de determinados parámetros característicos de la embarcación nos permite predecir el comportamiento en situaciones concretas.

En primer lugar haremos un repaso de los principales conceptos de arquitectura naval, en segundo lugar aplicaremos los conceptos expuestos al programa informático

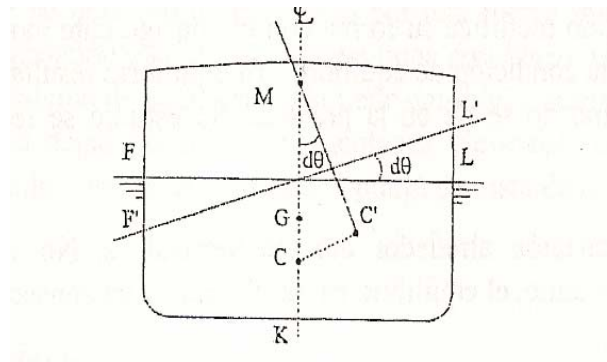


especializado “Hydromax Pro” y por último comprobaremos que cumple con la norma **ISO 12217-1: Evaluación y clasificación de la estabilidad y flotabilidad. Parte1: Embarcaciones no propulsadas a vela de eslora igual o superior a 6m**

9.2- Conceptos de arquitectura naval

9.2.1- Metacentro transversal

Partiendo de una situación de equilibrio, al producirse una escora infinitesimal, trazando las fuerzas de empuje vertical que pasan por los centros de carena inicial y final, éstas se cortarán en un punto denominado metacentro. Si la situación de equilibrio inicial corresponde al buque adrizado, la línea de empuje para esta condición coincidirá con la línea central, y el metacentro, situado sobre ella, recibe el nombre de metacentro transversal inicial, M. A efectos prácticos, dentro de los primeros grados de escora, las líneas de empuje pasarán por este punto M.



De la figura anterior deducimos

KG = coordenada vertical del centro de gravedad del buque

KC = coordenada vertical del centro de carena del buque

CG = distancia vertical entre el centro de gravedad y el centro de carena

KM = altura del metacentro sobre la quilla

CM = radio metacéntrico transversal

GM = altura metacéntrica transversal



9.2.2- Radio metacentro transversal

El valor CM, es el radio metacéntrico transversal inicial. Se denomina así porque, haciendo centro en M y con radio CM, la circunferencia trazada coincidiría, muy aproximadamente, con la curva del centro de carena para escoras infinitesimales.

El valor del radio metacéntrico transversal se obtiene a partir de los valores de los movimientos transversal, vertical y longitudinal del centro de carena. El radio metacéntrico será igual a

$$CM = r = \frac{I_x}{\nabla}$$

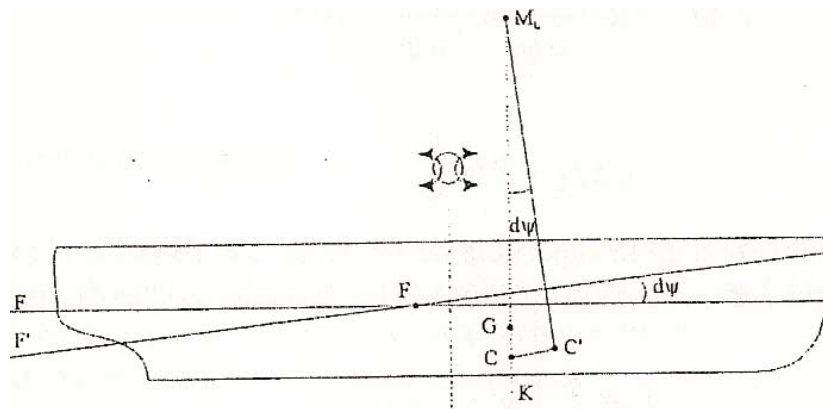
I_x = Momento de inercia de la superficie de flotación con respecto al eje longitudinal

9.2.3- Altura metacéntrica transversal

Recibe el nombre de altura metacéntrica transversal el valor GM, el cual es positivo si M está por encima de G y negativo cuando M está por debajo de G. El GM se utiliza como valor representativo de la estabilidad estática transversal inicial.

9.2.4- Metacentro longitudinal

Para una inclinación longitudinal infinitesimal, los empujes que pasan por la posición inicial y final del centro de carena intersectarán en un punto denominado metacentro longitudinal. Partiendo de la situación de equilibrio para el buque sin asiento, el empuje correspondiente a un ángulo infinitesimal, cortará a la línea de empuje del centro de carena inicial en un punto, M_L , metacentro longitudinal inicial. Dentro de los primeros grados de inclinación longitudinal, las diferentes líneas de empuje pasarán, prácticamente, por el punto M_L .





De la figura anterior deducimos

KG = altura del centro de gravedad del buque sobre la quilla

KC = altura del centro de carena del buque sobre la quilla

CG = distancia vertical entre el centro de gravedad y el centro de carena

KM_L = altura del metacentro longitudinal sobre la quilla

CM_L = radio metacéntrico longitudinal

GM_L = altura metacéntrica longitudinal

9.2.5- Radio metacéntrico longitudinal

El radio metacéntrico longitudinal, CM_L , se deducirá a partir del movimiento del centro de carena debido a una inclinación longitudinal isocarena, cuyo valor hallado es

$$CM_L = R = \frac{I_f}{\nabla}$$

I_f = inercia longitudinal con respecto a un eje transversal que pasa por F

9.2.6- Altura metacéntrica longitudinal

GM_L es la altura metacéntrica longitudinal, de valor próximo al del radio metacéntrico longitudinal, dado que CG es relativamente pequeño comparado con CM_L . Se comprende, por tanto, que la altura metacéntrica longitudinal sea siempre positiva, y que no será necesario analizarla a efectos de la estabilidad del buque. El valor de la altura metacéntrica longitudinal es del orden de la eslora del buque. Sin embargo, es un dato útil para el cálculo del asiento o de la alteración que produce un traslado, carga o descarga de un peso.



9.3- Cálculos de estabilidad

De acuerdo con el Principio de Arquímedes, al sumergir un cuerpo en un líquido, este experimenta un empuje ascendente. Si el valor del empuje es inferior al del peso del cuerpo, este cuerpo se hunde. Si es igual, quedará totalmente sumergido pero sin ir al fondo. Si es inferior, flota, una parte del volumen del cuerpo queda por encima de la superficie del líquido.

El peso se aplica en el Centro de Gravedad, mientras que el empuje o desplazamiento se aplica en el Centro de Carena. El equilibrio se produce cuando ambos centros están en la misma vertical, y el de gravedad está por debajo del de carena. Si giramos el cuerpo separando el Centro de Gravedad de la vertical se produce un par de fuerzas que retornan el cuerpo a la posición inicial, por esto se llama a esta posición equilibrio estable.

Si el cuerpo flota pero el Centro de Gravedad está por encima del de Carena, la estabilidad depende de las formas del cuerpo, especialmente del área de la flotación. Al inclinarse un flotador en esta el flotador un ángulo se forma una cuña emergida y una cuña sumergida. El centro de carena del volumen sumergido a la banda sumergida es más grande y en la banda emergida es más pequeño.

Según sea la nueva posición del Centro de Carena, puede ocurrir que el par entre el empuje y el peso devuelva el cuerpo a la posición inicial, es decir tengamos equilibrio estable, o bien, el par de fuerzas provoque un aumento de inclinación y entonces el flotador no este en equilibrio estable.

Precisamente el estudio de las características hidrostáticas de las formas de la Carena del buque, lleva a la determinación de cuando se produce la estabilidad o inestabilidad de un cuerpo flotante de un buque, a partir de la determinación de la posición del Centro de Carena según las diversas flotaciones.

En función del valor del ángulo de inclinación, el planteamiento de estudio difiere notablemente. La fuerza exterior puede producir un balance pequeño, el cual, dentro de las características de la forma de la carena, permite un estudio menos complejo que cuando la escora, a la que de lugar, sea grande. Tratándose de cabeceo, el ángulo de inclinación longitudinal en la práctica siempre es pequeño. Por tanto estudiaremos tres casos

- 1- Estabilidad transversal inicial
- 2- Estabilidad transversal para grandes escoras
- 3- Estabilidad longitudinal inicial



9.3.1-Estabilidad estática transversal inicial

La estabilidad transversal inicial se aplica al plano de inclinación transversal y para escoras pequeñas. Se ha visto la dependencia que valores tales como KC y CM tienen de las formas del buque. Las fórmulas obtenidas del movimiento del centro de carena debido a una escora isocarena se han basado en la simetría de las cuñas. Esta situación se acepta para una escora infinitesimal, cuyo valor dependerá de las formas del buque y en concreto de la sección transversal, si ésta es de costados paralelos, forma de "U", o bien, tiene forma de "V". En el primer caso la aceptación de estabilidad inicial podrá llegar a unos 15 o 20 grados, mientras que en el segundo se estaría dentro de los 5 o 10 grados de escora. Estos datos son meramente orientativos ya que cada buque tendrá sus formas y su límite, que, por otra parte, vendrá dado por un margen de grados, según la exactitud que se desee obtener en los cálculos, y que, en principio, para los usos normales de a bordo, la banda de los errores límite se puede tomar con cierta libertad, dado que no suele ser un elemento crítico.

Como hemos comentado anteriormente, el desplazamiento del buque tiene como punto de aplicación el centro de gravedad y el empuje pasa por el centro de carena. 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.

Si el buque sufre una escora isocarena, debido a una fuerza exterior, en este caso se rompe el equilibrio y las dos fuerzas, desplazamiento y empuje, formarán un par de giro, cuyo brazo es GZ, trazado siempre desde G. El valor del momento del par de fuerzas será

$$D \cdot GZ$$

Siendo, en el triángulo rectángulo GZM, ángulo recto en Z,

$$GZ = GM \cdot \text{sen}(\theta)$$

Por tanto,

$$D \cdot GZ = D \cdot GM \cdot \text{sen } \theta$$

El momento del par de fuerzas se puede descomponer en dos términos, uno de ellos quedará en función de las formas del buque, y se denomina estabilidad de formas, y el otro quedará en función de la posición del centro de gravedad del buque, recibiendo el nombre de estabilidad de pesos.

$$\text{Momento del par} = D \cdot GZ = D \cdot GM \cdot \text{sen } \theta$$

$$GM = CM - CG$$



$$D \cdot GM / \text{sen } \theta = D \cdot CM \cdot \text{sen } \theta - D \cdot CG \cdot \text{sen } \theta$$

$$\text{Momento debido a las formas} = D \cdot CM \cdot \text{sen } \theta$$

$$\text{Momento debido a los pesos} = D \cdot CG \cdot \text{sen } \theta$$

Por tanto la estabilidad de formas dependerá del plano de formas del buque, mientras que la estabilidad de pesos será responsabilidad de la posición del centro de gravedad

Si la estabilidad del buque es excesiva, los balances del buque son rápidos y cortos, ya que el valor del par adrizante es grande. A los buques de estas características se les llama buques "duros". Cuando la estabilidad es escasa, con efectos contrarios a los anteriores, es decir, balances lentos y largos, se denominan buques "blandos".

9.3.2-Estabilidad transversal para grandes escoras

En el estudio de la estabilidad inicial se han considerado pequeñas inclinaciones transversales y longitudinales del buque, para las cuales el metacentro transversal y longitudinal, respectivamente, se podían suponer invariables en su posición inicial. La estabilidad transversal para grandes escoras continúa el estudio realizado en el capítulo anterior, cuando el valor de la escora no permite la aplicación de los criterios y las fórmulas de la estabilidad inicial.

El valor del brazo GZ para grandes escoras se obtiene por el método de las cuñas, o fórmula de Atwood, que exponemos a continuación.

Al escorar el buque se producen las cuñas de emersión e inmersión. Al no haber modificaciones en el valor del volumen sumergido, aunque sí en su forma, las dos cuñas tendrán el mismo valor, y el movimiento del centro de carena responderá al momento producido por el traslado de la cuña de emersión a la de inmersión, siendo el brazo la distancia entre los respectivos centros de gravedad de las cuñas.

En la figura siguiente, CC' es el movimiento del centro de carena, paralelo a $b_e h_i$, centros de gravedad de las cuñas de emersión e inmersión. Desde C se traza una paralela al brazo GZ; por tanto, también será paralela a $h_1 h_2$. Y desde G se baja una línea perpendicular a CR, cortando en P.

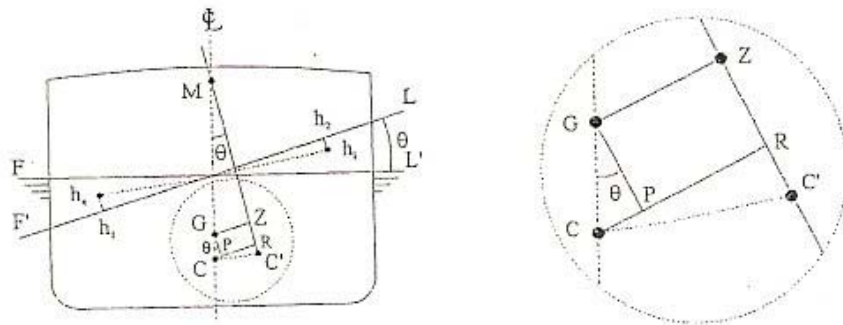
$$GZ = CR - CP$$

$$CR = \frac{v_c \cdot h_1 h_2}{\nabla}$$

$$CP = CG \cdot \text{sen } \theta$$



$$GZ = \frac{v_c \cdot h_1 h_2}{\nabla} - CG \cdot \text{sen } \theta$$

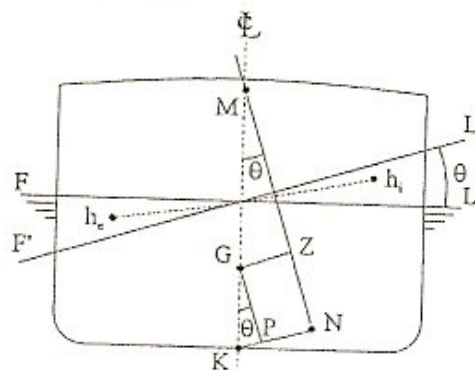


Supuesto un desplazamiento y un KG para una condición de carga del buque, evaluando el volumen de una de las cuñas y el brazo $h_1 h_2$, a varios ángulos de escora, se obtendrá una curva de brazos GZ sobre una base de escoras.

Una aplicación del método de las cuñas son las curvas KN, permitiendo calcular las curvas GZ de una manera simple. A las curvas KN se les llama, también, curvas cruzadas.

Suponiendo que el centro de gravedad del buque ocupa una posición fija, se pueden calcular los brazos GZ, que en este caso se llaman KN, para diferentes desplazamientos y escoras, con lo que se obtienen las curvas KN.

Bajando desde G una perpendicular a KN, se obtendrá el valor del GZ en función del KN.



$$GZ = KN - KP$$

$$KP = KG \cdot \text{sen } \theta$$

$$GZ = KN - KG \cdot \text{sen } \theta$$

Esta ecuación se ha obtenido a partir del buque adrizado, lo cual implica que $LCG = 0$.



9.3.3-Efecto de las superficies libres en la estabilidad del buque

Los tanques con fluidos, parcialmente llenos, presentan una superficie denominada superficie libre. Al escorar el buque, el fluido mantiene su superficie horizontal, lo cual con relación al barco significa un traslado hacia el costado de la escora.

Una aproximación al problema por su sencillez y resultados prácticos aceptables es la de considerar el fluido del tanque como una carena interior, que así se le llama también, y darle un tratamiento igual al realizado para la carena del buque.

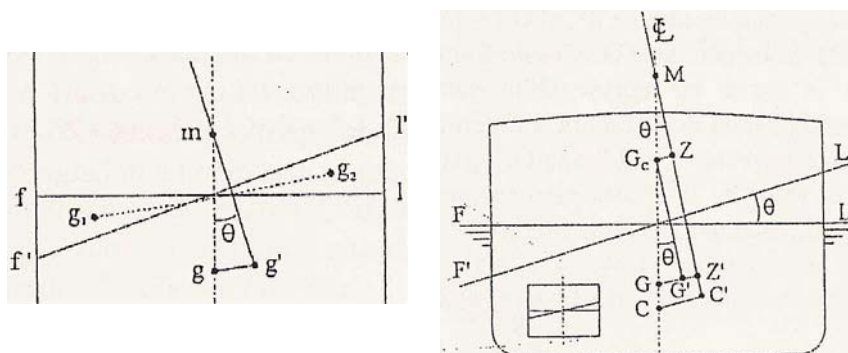
El centro de carena del buque se traslada en función de las cuñas de emersión e inmersión y el brazo correspondiente, situándose en el punto C'.

El centro de gravedad del líquido se moverá también en función de las cuñas que se forman entre las superficies fl y fl'. El efecto es el traslado del peso del líquido de la cuña de emersión, con centro de gravedad en g₁, a la cuña de inmersión, con centro de gravedad en g₂. El brazo será g₁g₂.

$$gg' = \frac{P_c \cdot g_1 g_2}{P}$$

Donde

- P_c peso del líquido de una cuña
- P peso del líquido del tanque
- g₁g₂ brazo del traslado
- gg' movimiento del centro de gravedad del líquido del tanque



Al tratarse de una carga homogénea el centro de gravedad del peso y del volumen coinciden.

El centro de gravedad del buque se trasladará un valor GG', y paralelamente a gg'.



$$GG' = \frac{P \cdot gg'}{D}$$

Sin embargo, el cálculo de los valores gg' para diferentes escoras requiere el conocimiento previo del peso del líquido trasladado y de su brazo. En lugar de hallar estos datos, los conocimientos adquiridos sobre carenas se aplican a la carena interior.

Pasando por C' se traza la nueva línea de empuje, con lo que se obtiene el metacentro inicial transversal, M . Desde G' y g' se trazan dos verticales, por tanto paralelas a la línea de empuje, cortando la primera a la línea central en G_c , y la segunda su línea de simetría en un punto m . Los triángulos $GG'G_c$ y $gg'm$ construidos son semejantes, estableciendo la siguiente relación entre sus lados,

$$\frac{GG'}{gg'} = \frac{GG_c}{gm}$$

El valor de gm , en que m será el metacentro de la carena interior, será

$$gm = \frac{i}{v}$$

Donde

- gm Radio metacéntrico de la carena interior
- i Inercia transversal de la superficie libre con respecto a un eje longitudinal que pase por su centro de gravedad
- v Volumen del líquido

Por otra parte se observa que los brazos GCZ y $G'Z'$ son iguales, por ser paralelos y estar comprendidos entre paralelas. Es decir, a efectos del brazo de estabilidad, es lo mismo que el centro de gravedad del buque esté en G' , que en una situación virtual G_c .

$$GG_c = \frac{p \cdot gm}{D}$$

$$GG_c = \frac{i \cdot \gamma}{D}$$

De esta manera se calcula el valor GG_c , que es la corrección por superficies libres, para una situación virtual del centro de gravedad G_c en lugar de la real G'

Si la superficie libre fuera rectangular, el valor de la inercia sería



$$i = 1/12 \cdot e \cdot m^3$$

- e eslora de la superficie libre del tanque
m manga de la superficie libre del tanque
 $i \cdot \gamma$ es el momento de la superficie libre.

a) *Cálculo de la escora, con superficies libres*

$$GG_c = \frac{i \cdot \gamma}{D}$$

$$KG_c = KG + CG_c$$

$$GM_c = KM + KG_c$$

$$\operatorname{tg} \theta = \frac{LCG}{GM_c}$$

Teniendo en cuenta que la utilización de la fórmula de la tangente está restringida a la estabilidad inicial.

b) *Cálculo del brazo GZ, corregido de superficies libre*

$$GZ_c = KN - KG_c \cdot \operatorname{sen} \theta - LCG \cdot \cos \theta$$



9.4- Cálculos Hidromax

El programa Hydromax®, es un potente software integrado en el paquete Maxurf® que nos permite calcular las curvas de estabilidad.

En dicho programa hemos modelado los tres que va a llevar la embarcación, con ello obtenemos unos resultados mucho más precisos, ya que el programa calculará el efecto de las superficies libres anteriormente expuestas.

Gasoil	900 ltrs
Aguas negras y grises	160 ltrs
Agua sanitaria	450 lts

Por exigencias de la sociedad de clasificación, vamos a estudiar tres situaciones de carga significativas (no requerida la “*Damage stability*”)

Desplazamiento en rosca: todos los tanques vacíos, corresponde a la situación de llegada a puerto

Desplazamiento medio: todos los tanques a la mitad y la tripulación mínima a bordo, sería condición normal de navegación

Desplazamiento máximo: todos los tanques llenos y la tripulación máxima, situación de salida de puerto.

La posición del centro de gravedad la obtenemos del capítulo 6- cálculo de pesos



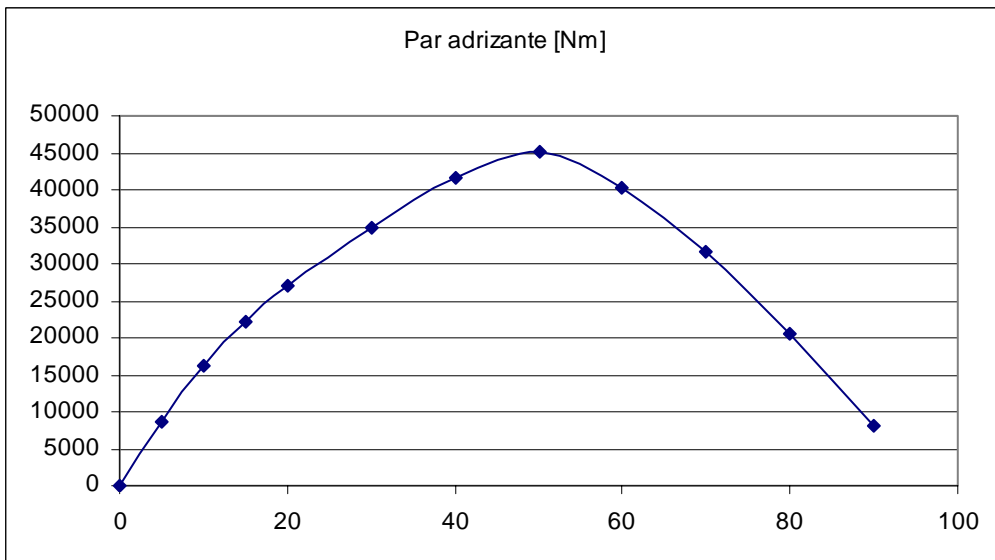
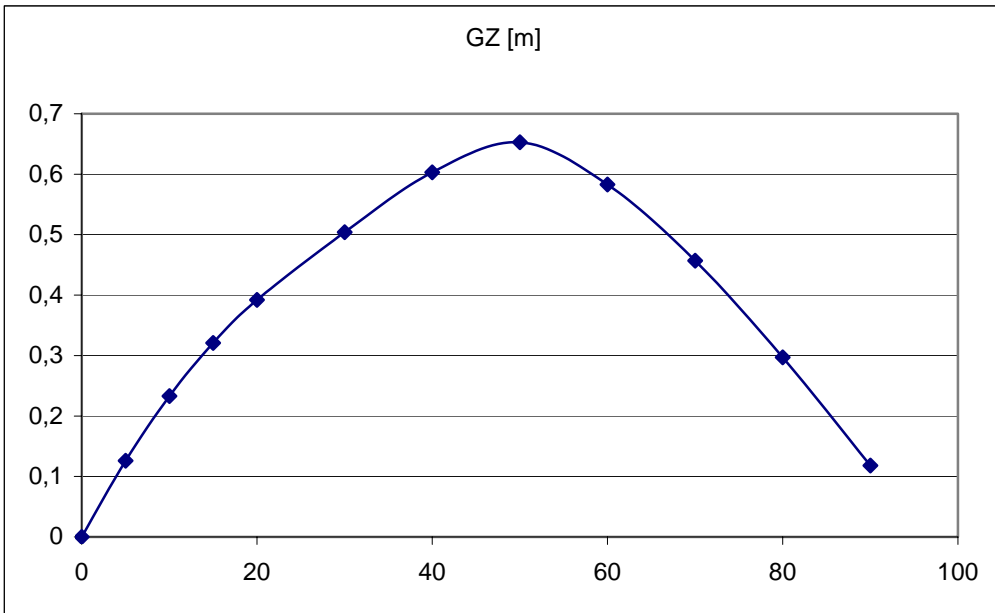
9.4.1- Desplazamiento en rosca (todos los tanques vacíos, corresponde a la situación de llegada a puerto)

Datos de entrada

Item	Cantidad	Peso [Kg]	Long arm [m]	Vert arm [m]	Trasn arm [m]	FS mom
Rosca	1	7040	-5,76	0,41	0	0
gasoil	0%	0	-7,55	-0,418	0	0
Agua dulce	0%	0	-4,236	-0,382	0	0
Grises y negras	0%	0	-2,462	-0,352	0	0
	Total Weight=	7040	LCG=-5,760 m	VCG=0,410 m	TCG=0,000 m	0
				FS corr.=0 m		
				VCG fluid=0,41 m		

Resultados

Escora	0	5	10	15	20	30	40	50	60	70	80	90
Displacement kg	7040	7041	7040	7041	7040	7040	7040	7039	7040	7039	7039	7040
Draft at FP m	0,754	0,748	0,733	0,707	0,669	0,555	0,367	0,029	-0,556	-1,741	-5,235	0
Draft at AP m	0,852	0,849	0,83	0,798	0,752	0,613	0,402	0,141	-0,27	-0,995	-3,058	0
WL Length m	10,75	10,75	10,749	10,748	10,745	10,732	10,469	9,414	9,801	10,058	10,232	10,351
Immersed Depth m	0,852	0,849	0,825	0,782	0,723	0,608	0,656	0,712	0,764	0,827	0,889	0,996
WL Beam m	3,044	3,025	2,966	2,871	2,771	2,637	2,625	2,525	1,94	1,775	1,611	1,476
Wetted Area m^2	33,375	32,847	32,223	31,78	31,233	30,3	29,775	27,722	26,284	25,912	25,765	25,79
Waterpl. Area m^2	23,347	22,575	21,452	20,398	19,785	19,409	19,608	17,175	13,852	12,646	11,655	11,612
Prismatic Coeff.	0,589	0,588	0,587	0,584	0,58	0,572	0,577	0,641	0,619	0,601	0,589	0,58
Block Coeff.	0,246	0,249	0,261	0,284	0,319	0,399	0,381	0,462	0,499	0,377	0,49	0,285
LCB to Amidsh. m	0,283 Aft	0,283 Aft	0,284 Aft	0,284 Aft	0,283 Aft	0,282 Aft	0,280 Aft	0,284 Aft	0,292 Aft	0,306 Aft	0,321 Aft	0,339 Aft
VCB from DWL m	0,188	0,19	0,195	0,2	0,205	0,214	0,225	0,254	0,284	0,317	0,347	0,372
GZ m	0	0,126	0,233	0,321	0,392	0,504	0,603	0,653	0,583	0,457	0,297	0,118
LCF to Amidsh. m	0,441 Aft	0,348 Aft	0,204 Aft	0,065 Aft	0,001 Aft	0,038 Fwd	0	0,159 Aft	0,049 Fwd	0,050 Aft	0,031 Aft	0,220 Aft
TCF to zero pt. m	0	0,12	0,247	0,362	0,465	0,633	0,752	0,738	0,752	0,674	0,553	0,416
Par de adrizamiento N·m	0	8703	16092	22172	27072	34807	41645	45091	40263	31557	20509	8149





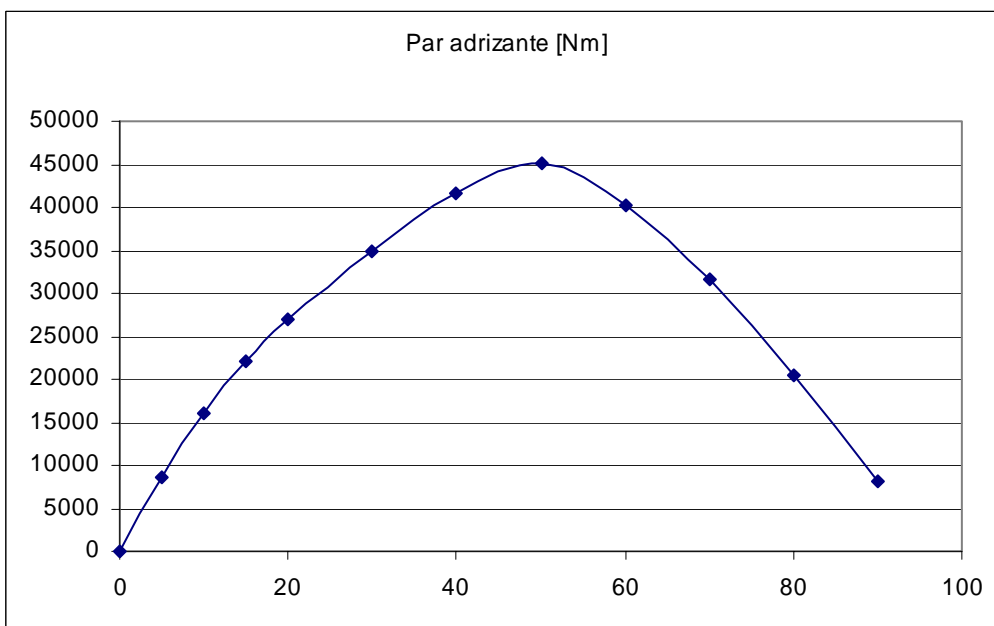
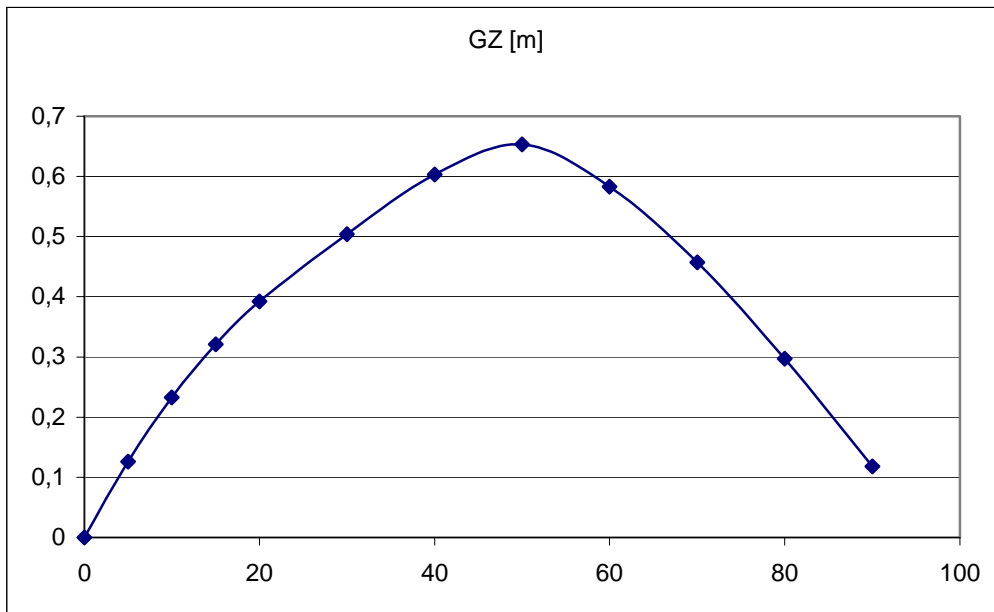
9.4.2- Desplazamiento medio (todos los tanques a la mitad, seria condición normal de navegación)

Datos de entrada

Item	Cantidad	Peso [Kg]	Long arm [m]	Vert arm [m]	Trasn arm [m]	FS mom
Media	1	7040	-5,76	0,41	0	0
gasoil	50%	301	-7,712	-0,527	0	51,735
Agua dulce	50%	260	-4,271	-0,474	0	43,2
Grises y negras	50%	80,8	-2,475	-0,428	0	16,2
	Total Weight=	7682	LCG=-5,752 m	VCG=0,335 m	TCG=0,000 m	111,135
				FS corr.=0,014 m		
				VCG fluid=0,349 m		

Resultados

Escora	0	5	10	15	20	30	40	50	60	70	80	90
Displacement kg	7682	7683	7683	7683	7683	7682	7682	7682	7683	7682	7682	7682
Draft at FP m	0,786	0,779	0,763	0,735	0,695	0,581	0,397	0,072	-0,5	-1,638	-5,028	0
Draft at AP m	0,875	0,873	0,858	0,833	0,793	0,663	0,456	0,216	-0,14	-0,8	-2,629	0
WL Length m	10,752	10,752	10,751	10,75	10,747	10,737	10,664	9,469	9,869	10,116	10,274	10,392
Immersed Depth m	0,875	0,874	0,853	0,816	0,761	0,642	0,691	0,753	0,815	0,882	0,949	1,059
WL Beam m	3,1	3,079	3,028	2,935	2,836	2,696	2,606	2,501	1,922	1,762	1,605	1,499
Wetted Area m^2	34,261	33,912	33,387	32,938	32,432	31,498	31,036	30,155	27,608	27,427	27,187	27,246
Waterpl. Area m^2	23,721	23,181	21,965	20,889	20,246	19,829	19,79	18,098	14,281	12,838	11,959	11,72
Prismatic Coeff.	0,598	0,596	0,593	0,588	0,584	0,576	0,572	0,643	0,619	0,604	0,592	0,584
Block Coeff.	0,257	0,259	0,27	0,291	0,323	0,403	0,39	0,424	0,502	0,503	0,493	0,346
LCB to Amidsh. m	0,273 Aft	0,274 Aft	0,274 Aft	0,275 Aft	0,276 Aft	0,274 Aft	0,273 Aft	0,276 Aft	0,287 Aft	0,299 Aft	0,316 Aft	0,333 Aft
VCB from DWL m	0,198	0,201	0,206	0,212	0,218	0,228	0,238	0,269	0,306	0,34	0,372	0,397
GZ m	0	0,128	0,239	0,331	0,408	0,53	0,634	0,682	0,619	0,498	0,343	0,169
LCF to Amidsh. m	0,397 Aft	0,339 Aft	0,177 Aft	0,035 Aft	0,032 Fwd	0,075 Fwd	0,061 Fwd	0,180 Aft	0,031 Fwd	0,006 Aft	0,031 Aft	0,143 Aft
TCF to zero pt. m	0	0,105	0,229	0,347	0,456	0,633	0,74	0,67	0,706	0,64	0,53	0,404
Par de adrizamiento N·m	0	9647	18013	24948	30751	39941	47779	51396	46654	37529	25849	12736





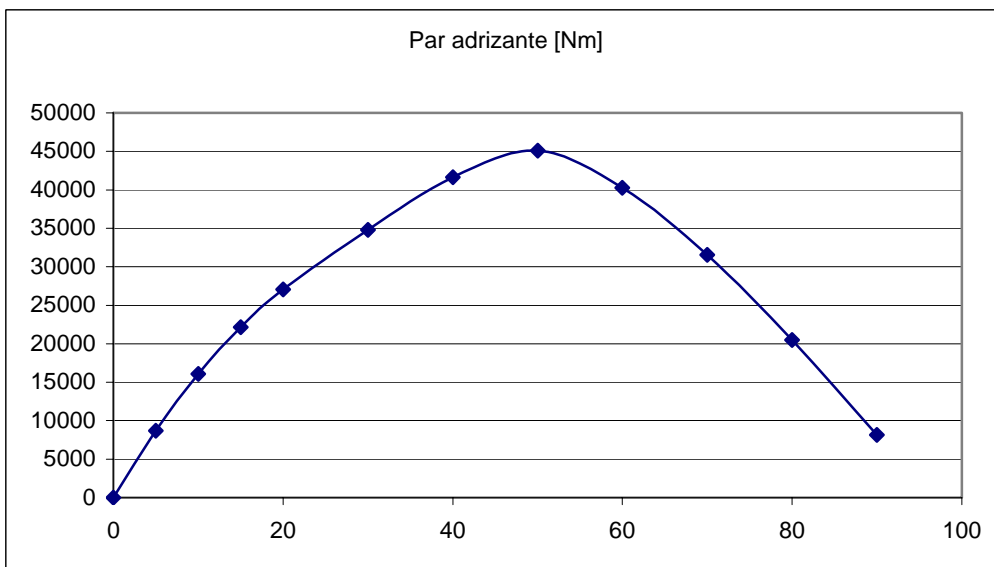
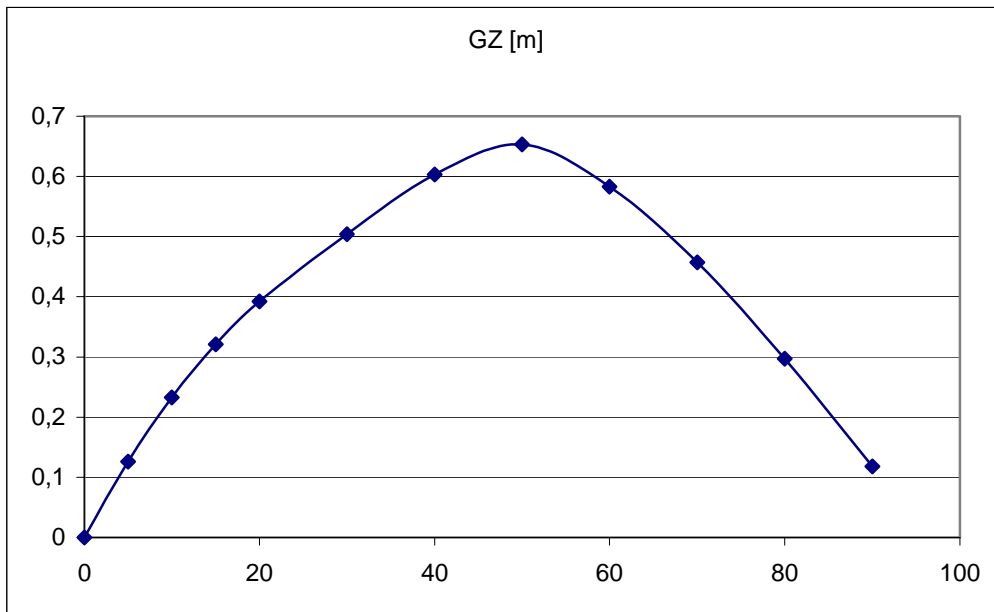
9.4.3- Desplazamiento máximo (todos los tanques llenos, situación de salida de puerto)

Datos de entrada

Item	Cantidad	Peso [Kg]	Long arm [m]	Vert arm [m]	Trasn arm [m]	FS mom
Máxima	1	7040	-5,76	0,41	0	0
gasoil	100%	602	-7,55	-0,418	0	0
Agua dulce	100%	520	-4,236	-0,382	0	0
Grises y negras	100%	162	-2,462	-0,352	0	0
	Total Weight=	8324	LCG=-5,730 m	VCG=0,286 m	TCG=0,000 m	0
				FS corr.=0 m		
				VCG fluid=0,286 m		

Resultados

Escora	0	5	10	15	20	30	40	50	60	70	80	90
Displacement kg	8323	8325	8325	8325	8325	8324	8324	8324	8323	8324	8324	8324
Draft at FP m	0,821	0,814	0,796	0,766	0,726	0,612	0,432	0,123	-0,426	-1,517	-4,771	0
Draft at AP m	0,895	0,894	0,883	0,863	0,828	0,705	0,505	0,279	-0,033	-0,626	-2,263	0
WL Length m	10,754	10,754	10,753	10,752	10,75	10,741	10,69	9,528	9,973	10,172	10,322	10,427
Immersed Depth m	0,894	0,894	0,878	0,845	0,794	0,674	0,724	0,791	0,862	0,934	1,005	1,118
WL Beam m	3,131	3,127	3,084	2,993	2,897	2,753	2,586	2,582	1,899	1,786	1,632	1,518
Wetted Area m ²	35,108	34,915	34,532	34,075	33,529	32,631	32,259	32,178	29,427	28,934	28,7	28,643
Waterpl. Area m ²	24,067	23,719	22,412	21,4	20,717	20,256	19,92	18,178	14,996	13,165	12,49	11,923
Prismatic Coeff.	0,607	0,604	0,6	0,594	0,588	0,581	0,578	0,647	0,62	0,608	0,596	0,588
Block Coeff.	0,27	0,27	0,279	0,299	0,329	0,407	0,406	0,443	0,503	0,507	0,286	0,415
LCB to Amidsh. m	0,251 Aft	0,251 Aft	0,252 Aft	0,253 Aft	0,253 Aft	0,253 Aft	0,252 Aft	0,256 Aft	0,265 Aft	0,279 Aft	0,296 Aft	0,313 Aft
VCB from DWL m	0,208	0,211	0,217	0,224	0,231	0,241	0,251	0,284	0,326	0,363	0,396	0,421
GZ m	0	0,129	0,244	0,341	0,424	0,558	0,667	0,711	0,659	0,543	0,393	0,224
LCF to Amidsh. m	0,352 Aft	0,321 Aft	0,141 Aft	0,009 Aft	0,063 Fwd	0,112 Fwd	0,124 Fwd	0,071 Aft	0,057 Aft	0,001	0,110 Aft	0,098 Aft
TCF to zero pt. m	0	0,094	0,212	0,333	0,447	0,633	0,725	0,645	0,656	0,605	0,516	0,392
Par de adrizamiento N-m	0	10535	19927	27849	34627	45565	54466	58059	53806	44341	32092	18291





9.5- Aplicación de la norma ISO

Como hemos comentado anteriormente, para obtener el marcado CE y por tanto poder matricular la embarcación, en este apartado tenemos que cumplir con la norma *ISO 12217-1: Evaluación y clasificación de la estabilidad y flotabilidad. Parte1: Embarcaciones no propulsadas a vela de eslora igual o superior a 6m*

La evaluación de las condiciones de estabilidad y flotabilidad permitirán asignar a la embarcación, la categoría de diseño, es decir, categoría B (condición impuesta por el astillero).

Esta opción nos exigirá cumplir los siguientes requisitos:

- Aperturas de inundación
- Altura de las aperturas de inundación
- Ángulo de inundación
- Ensayo de compensación de cargas
- Resistencia a las olas y al viento

9.5.1-Determinación de las dos condiciones de carga para la verificación

La embarcación se ha concebido con un peso en rosca de 7.744 kg. La evaluación requiere distinguir entre dos condiciones de carga, la **carga máxima total** ($m_{LDC} = 8.967 \text{ Kg}$) y la **carga mínima de operación** ($m_{MOC} = 8.004 \text{ Kg}$)

9.5.2- Altura de inundación y ángulo de inundación.

Los requisitos de altura y ángulo de inundación para la categoría de diseño B son los siguientes:

$$\text{Altura} = L_H/17 = 0,667 \text{ m}$$

$$\text{Ángulo} = \Phi_o + 15 = 28.38^\circ$$

Donde

Φ_o Es el ángulo máximo de escora para el ensayo de compensación de pesos.

L_H = Eslora total del casco

Nuestro punto de inundación es la ventilación de cámara de máquinas

$$\text{Altura} = 1 \text{ m}$$

$$\text{Ángulo} = 45^\circ$$

Cumple con la altura y ángulo de inundación



9.5.3- Ensayo de compensación de pesos.

Sirve para comprobar que la embarcación se mantendrá estable y no escorará más de lo debido cuando ubicamos toda la tripulación en la zona de manga máxima.

Para todas las categorías de diseño, el ángulo de escora no debe ser mayor de

$$\Phi_{O_R} = 10 + \frac{(24 - L_H)^3}{600}$$
$$\Phi_{O_R} = 13,38^\circ$$

Para la comprobación del ensayo de compensación de pesos lo que hacemos es calcular el momento producido por la tripulación si la ubicamos en la zona de manga máxima

$$M_C = CL \cdot 75 \cdot 9.81 \cdot B_C$$

Donde

$M_C = 4581.9 \text{ N}\cdot\text{m}$ Momento inducido por la tripulación

$CL = 8$ Número máximo de tripulantes (lo obtenemos de la ISO 14946)

$B_C = 1.9 \text{ m}$ Distancia transversal máxima donde pueda estar ubicada la tripulación

75 es el peso por tripulante

9.81 Paso de Kg a N

Entrando en las curvas de estabilidad que hemos obtenido anteriormente, obtenemos el ángulo de escora provocado por dicho momento

Ángulo de escora = 5° (Por tanto cumple)



9.5.4- Resistencia a las olas y al viento

La evaluación de la resistencia a las olas y al viento se deberá efectuar únicamente para la condición de carga MOC (Condición mínima de operación), para la condición de carga LDC no será necesario, puesto que la relación entre ambas cumple:

$$m_{LDC} / m_{MOC} \leq 1,15$$

Cálculo bajo condición mínima de operación

Se considera que el momento de escora debido al viento, M_w , es constante para todos los ángulos de escora y se debe calcular como sigue:

$$M_w = 0,3 \cdot A_{LV} \cdot \left(\frac{A_{LV}}{LWL} + T_M \right) \cdot v_w^2$$

Donde:

$T_M = 0.8$ m es el calado en mitad de la eslora en la flotación,

$v_w = 21$ m/s es la velocidad del viento para la categoría de diseño B.

$A_{LV} = 233,66$ es el área expuesta al viento. No menor de $0,55 \cdot L_H \cdot B_H = 26,66$ m²
(medida en Microstation = 19.41 m²)

$$M_w = 7738,2 \text{ N.m}$$

El ángulo previsto de balance se debe calcular como sigue:

$$\Phi_R = 20 + 20/V_D$$

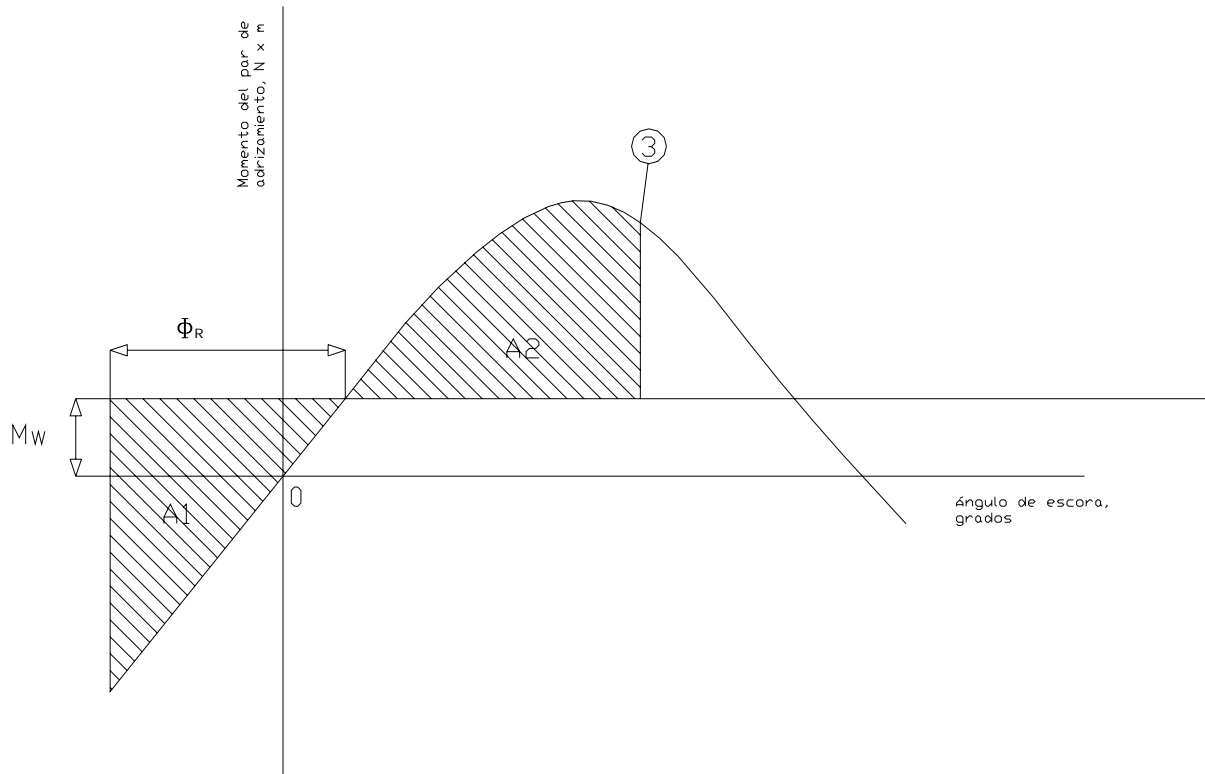
Donde

V_D es el volumen de desplazamiento y vale 8,748 m³, con lo que

$$\phi_R = 22.28^\circ$$



Con estos valores se debe construir un gráfico basado en la curva de brazos adrizantes de la embarcación, tal y como la que se ilustra en el siguiente dibujo.



El punto 3 corresponde al menor de los siguientes valores: ángulo de inundación Φ_D , ángulo de par de adrizamiento nulo Φ_V o bien 50° . En este caso el valor que tomaremos es el de inundación, correspondiente al momento en que el manguerote de ventilación del compartimiento de tanques entra en el agua. Su valor es $49,06^\circ$.

El objetivo de construir esta gráfica es comparar el valor de las áreas A1 y A2. Debemos verificar que el área A2 sea mayor que el área A1.



En el siguiente gráfico, comprobamos que se cumple el criterio de estabilidad exigido por ISO 1221 $A_2 > A_1$

