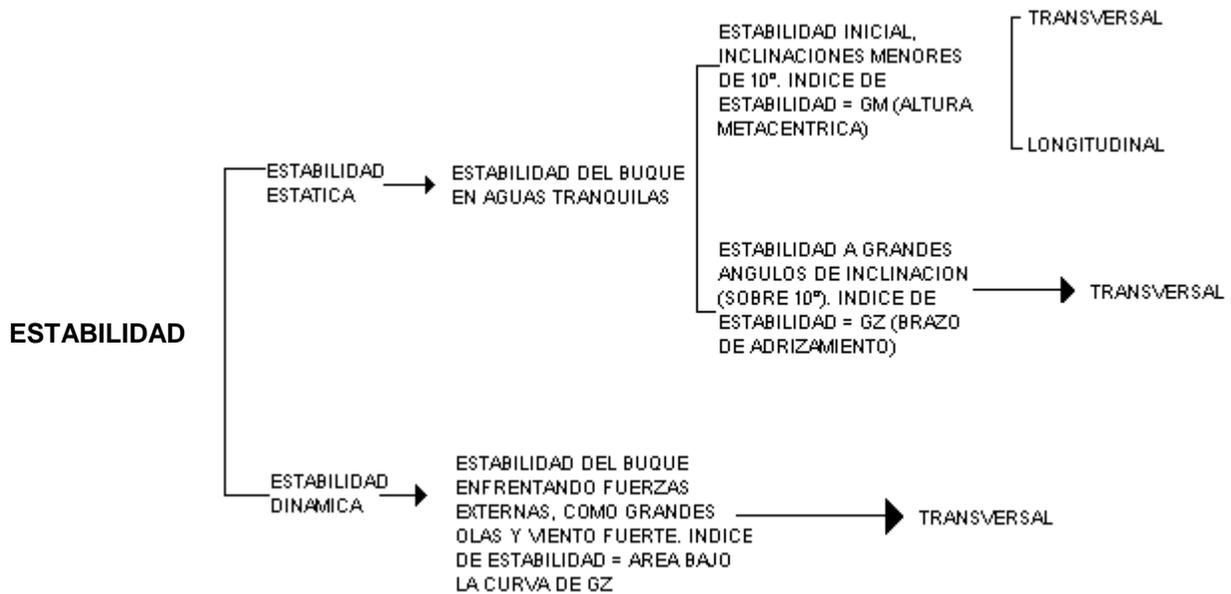


ESTABILIDAD: SU DEFINICIÓN Y CLASIFICACIÓN

Estabilidad es la propiedad que tiene un buque de recobrar su posición de equilibrio inicial, cuando circunstancias exteriores como el viento y el mar, lo sacan de ella.

Estabilidad Estática: estudia las condiciones de equilibrio de un buque en aguas absolutamente tranquilas. Aun cuando por estar flotando en un medio líquido la nave está en constante movimiento, es válido el estudio de la Estabilidad Estática y es válida su aplicación, ya que el comportamiento promedio de una nave en el mar es muy similar al comportamiento de ésta en aguas tranquilas.

Estabilidad Dinámica, estudia las condiciones de equilibrio de un buque sometido al efecto de las fuerzas de las olas y del viento. Este “equilibrio dinámico” resulta del despliegue de energía de la nave, o en otras palabras, de los “trabajos” que debe efectuar ante la exigencia que le impone el efecto de las olas y el viento. Ambos tipos de estabilidad los podemos clasificar:



Las condiciones de equilibrio de un buque pueden ser: Estable, Inestable e Indiferente.

ESTABILIDAD INICIAL

Compone el estudio de la estabilidad del buque para inclinaciones iguales o menores de 10°. Para inclinaciones transversales menores de 10° a cada banda, el Centro de Boyantez “B” describe un arco de circunferencia. El centro de ese arco es el metacentro transversal. De allí a que para inclinaciones menores de 10° puede asumirse KM constante, (se asume como un punto fijo).

El coeficiente de estabilidad inicial transversal = Desplazamiento x GM (en Tm x m), nos indica el comportamiento del buque dentro de la estabilidad inicial, es decir en inclinaciones menores de 10°, en aguas tranquilas (Estabilidad Estática).

Brazo del par de estabilidad o brazo adrizante: Distancia que separa los vectores representativos de los pesos y de los empujes durante las inclinaciones transversales del buque.

$$\text{Sen } \theta = \frac{GZ}{GM} \longrightarrow \boxed{GZ = Gm \times \text{sen } \theta} \quad \text{Estabilidad Inicial}$$

CONSIDERACIONES SOBRE LOS VALORES DE <<GM>>

Valores normales de "GM" para distintos buques en función del parámetro GM del buque.
manga

Buques de Pasaje,	GM/M = 0,040 a 0,050
Cargueros grandes,	GM/M = 0,035 a 0,052
Cargueros pequeños,	GM/M = 0,040 a 0,055
Buques tanques,	GM/M = 0,060 a 0,092
Transbordadores,	GM/M = 0,090 a 0,102
Costeros,	GM/M = 0,055 a 0,080
Remolcadores,	GM/M = 0,060 a 0,080

En buques de pasaje, con frecuencia el GM no excede del 5% de la manga.

En buques mercantes cargueros, de mediano y gran tonelaje, el GM tiene un valor de 1% al 2% de la manga, al final de viajes largos cuando transportaban una capacidad de carga completa. Al salir de viaje del 3% al 5% de la manga. En cargueros pequeños y costeros, el GM, llega a tener un valor del 8% de la manga.

BUQUES<<BLANDOS>> Y BUQUES <<DUROS>>:

Buques blandos, dulces o celosos de estabilidad son los que tienen un **GM pequeño**, los que como consecuencia tendrán un período de balance grande, balances suaves y lentos, el buque se duerme, tendiendo a quedarse escorado a una banda. El riesgo es que al enfrentar mal tiempo se dé vuelta de campana.

Un buque duro de estabilidad es el que tiene un **GM grande**, un período de balance pequeño, balances bruscos y rápidos. Esto es incómodo para la dotación. También existe el riesgo que se corten las trincas de la carga. En un buque de carga no es bueno ni un extremo ni el otro. Un GM inconveniente se modificará movilizandolos pesos, lastrando, deslastrando o trasvasijando combustible.

CRITERIOS DE ESTABILIDAD

Son normas dadas por investigadores, sociedades, organismos internacionales y administraciones para fijar las condiciones mínimas de estabilidad que han de cumplir los buques. Esto se refiere preferentemente a los valores de los brazos adrizantes o GZ, para las distintas inclinaciones transversales; algunas de estas normas se han convertido en doctrina preceptiva según las administraciones de los distintos países. Estos criterios de estabilidad están avalados por la estadística, y por la investigación sobre modelos en los canales de experiencia hidrodinámica.

La severidad de estos criterios varían, como varían los tipos de buques, tonelaje, tráfico, etc.

La condición del buque que se compara para ver si cumple las normas de los criterios de estabilidad, son las peores condiciones de estabilidad que se le puede presentar en <<Servicios>>.

Criterio de Rahola: Este criterio de estabilidad exige las cuatro condiciones siguientes:

1) Los brazos mínimos GZ han de ser:

$$\theta = 20^\circ - GZ = 0,140 \text{ mts.}$$

$$\theta = 30^\circ - GZ = 0,200 \text{ mts.}$$

$$\theta = 40^\circ - GZ = 0,200 \text{ mts.}$$

2) El área encerrada por la curva de brazos adrizantes GZ y la ordenada de 40° de escora será igual o mayor a 80 mm/radián.

3) Si el ángulo de inundación fuera menor de 40° el brazo dinámico para el ángulo de inundación será igual o mayor de 80 mm/radián

4) El máximo valor del brazo GZ debe estar comprendido entre 30° y 40°.

El criterio de Rahola es el exigido por el gobierno español a todos sus buques de carga y pasaje cuya eslora sea de 100 o más metros, así como a todos los buques madereros con cubertada y a los portacontenedores

cualquiera sea su eslora. También se exige el criterio de Rahola a los buques cargados con granos si su eslora es de 100 o más metros.

Para Buques Mercantes menores de 100 metros, el actual Criterio de Estabilidad exigido por la Administración española, abreviadamente es el que sigue:

Altura metacéntrica, GM, mayor o igual de 0,15 mts.

Angulo de escora mayor o igual de 30°, brazo adrizante, GZ, mayor o igual de 0,20 mts.

Para buques de Pesca: Altura metacéntrica, GM, mayor o igual de 0,35 mts.

Angulo de escora mayor o igual de 30°, brazo adrizante, GZ, mayor o igual de 0,20 mts.

EFFECTOS SOBRE LAS ESTABILIDAD TRANSVERSAL POR: CUBERTADAS, FORMACIÓN DE HIELO EN LAS SUPERESTRUCTURAS, Y AGUA EMBARCADA SOBRE CUBIERTA

Efectos sobre la estabilidad Transversal por cubertada.

Recibe el nombre de cubertada, la mercancía estibada sobre la cubierta superior, a la intemperie. Su efecto sobre la estabilidad transversal, como normalmente la cubertada abarca la manga del buque, la vamos a estudiar desde dos puntos de vista, atendiendo a los pesos y a las formas.

La cubertada como <<peso>> muy alejados de la quilla, dará como resultado una subida excesiva del centro de gravedad del buque, y como consecuencia una disminución del GM, con la pérdida de estabilidad consiguiente.

La cubertada como <<forma>>, al llegar la borda del buque al agua, se encontrará que todavía durante una cierta inclinación aditiva, no disminuirá la manga de la flotación, y como consecuencia prolongará la rama ascendente de la evoluta, aumentando la estabilidad para grandes inclinaciones, aunque el GM haya disminuido inicialmente.

Si observamos en los cuadernos de estabilidad de un buque, que tenga previsto un estado de carga con cubertada y otro mismo sin cubertada, vemos que prácticamente la curva de estabilidad transversal son similares, aunque haya disminuido algo el GM por la cubertada. Lo que nos indica que para grandes inclinaciones, se compensa la subida de <<G>> por los <<pesos>> de la cubertada, con la subida del metacentro por el aumento de la manga en la flotación del buque, en las inclinaciones en que la borda llegue al agua, por las <<formas>> de la cubertada. Para saber si cumple con un criterio de estabilidad determinado dicho buques, tendremos en cuenta la cubertada.

Efectos sobre la estabilidad transversal, por formación de hielo en las superestructuras: El efecto es disminuir tanto el GM, como los brazos adrizantes a grandes inclinaciones, por embarque de pesos por encima del centro de gravedad <<G>> del buque.

Para calcular el peso, los barcos que suelen estar en zonas de formación de hielos en superestructuras, llevan unas tablas, que en función del espesor de la capa en las distintas zonas de la obra muerta, obtienen su peso en toneladas por zonas, así como la altura de su centro de gravedad sobre la quilla; haciendo el cuadro esquemático de los distintos pesos y distancias, KG, obtenemos los momentos verticales, que dividido por el desplazamiento del buque, nos da la subida del centro de gravedad del buque, por formación de hielo. La pérdida de los brazos adrizantes se admite en algunos criterios que puede llegar a ser de:

$\theta = 30^\circ$ - Disminución de GZ por hielos = 0,028 mts.

$\theta = 60^\circ$ - Disminución de GZ por hielos = 0,048 mts.

$\theta = 40^\circ$ - Disminución de GZ por hielos = 0,040 mts.

En las práctica se han observado, hasta pérdidas de 0,366 mts., en barcos de mediano tonelaje.

El criterio de estabilidad ruso que es uno de los más severos, da márgenes a la estabilidad transversal del buque, para soportar 30 kilos de hielo por metro cuadrado en cubierta, y 16,40 kilos por metro cuadrado en el aparejo y palos, hasta una altura de 10 metros.

Efectos sobre la estabilidad transversal, por el agua embarcada en cubierta: El efecto, es disminuir los brazos adrizantes por embarques de pesos circunstanciales, por encima del centro de gravedad del buque.

La pérdida de brazos adrizantes, que se admiten en algunos criterios de estabilidad, por agua embarcada sobre la cubierta a la intemperie, en barcos de mediano tonelaje, es de:

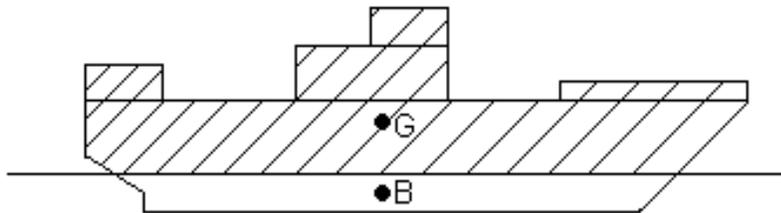
$\theta = 30^\circ$ - Disminución de GZ por agua embarcada sobre cubierta = 0,006 mts.

$\theta = 40^\circ$ - Disminución de GZ por agua embarcada sobre cubierta = 0,008 mts.

$\theta = 60^\circ$ - Disminución de GZ por agua embarcada sobre cubierta = 0,048 mts..

Se han hecho ciertos experimentos en buques de 80 y 100 mts de eslora, en ciertas condiciones, con unos imbornales determinados, etc., y se comprobó que en un temporal, quedaba un promedio en cada ola de agua sobre cubierta, de 20 toneladas durante 15 segundos.

Momento escorante del viento sobre la obra muerta, brazo del par escorante y representaciones gráficas del brazo y dinámica del par.



Se admite que el momento escorante M_e producido por el viento es constante en valor, y aquél viene dado por la fórmula:

$$M_e = \frac{p \times A}{1000} \left[Z + \frac{C}{2} \right] \quad \text{Siendo } p = 60 + 8Z$$

Representando:

M_e = Momento escorante del viento en tonelámetros.

p = Presión del viento en kilos por metro cuadrado.

A = Area de las superestructuras y casco expuesta al viento, en metros²

Z = Distancia entre c. de g. de la superficie expuesta al viento y la línea de flotación, en metros.

C = Calado en metros.

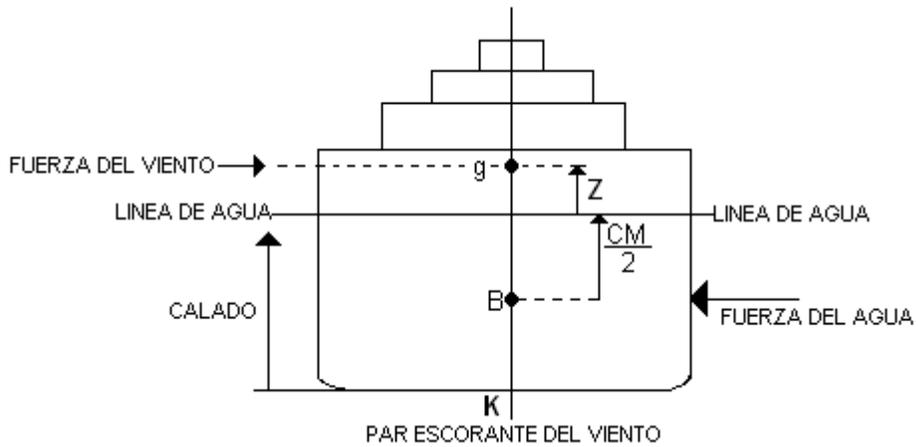
Para el valor de "p" se entra en unas tablas en función de "z" y de la clase de buque, teniendo en cuenta que todos los buques se dividirán:

Clase I : Buques con un TRB no inferior a 80 Tms que navegan en mares y zonas del océano sin limitación.

Clase II : Buques que navegan en mares y zonas del océano limitados.

Clase III : Buques para el tráfico costero.

Clase de buques	«p» EN KG./M ²												
	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5
I	—	96	107	117	125	131	136	140	144	147	150	153	155
II	—	54	61	66	71	74	77	80	82	84	86	87	88
III	24	27	30	33	35	37	38	39	40	41	42	43	43



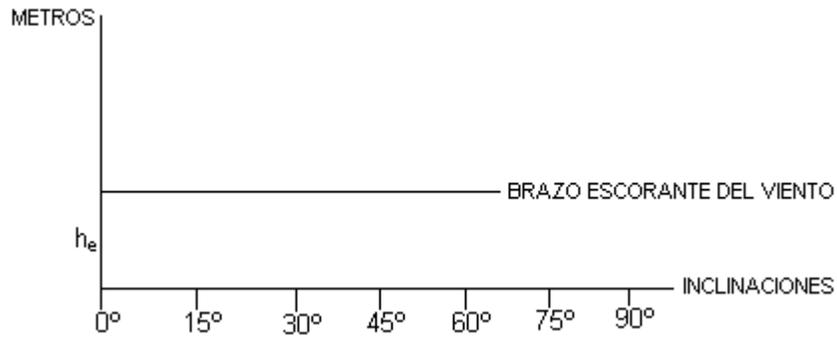
Representación gráfica del par escorante, constante del viento y dinámica del mismo
 El momento escorante del viento es:

$$M_e = \text{Desplazamiento} \times \text{Brazo} = D \times h_e$$

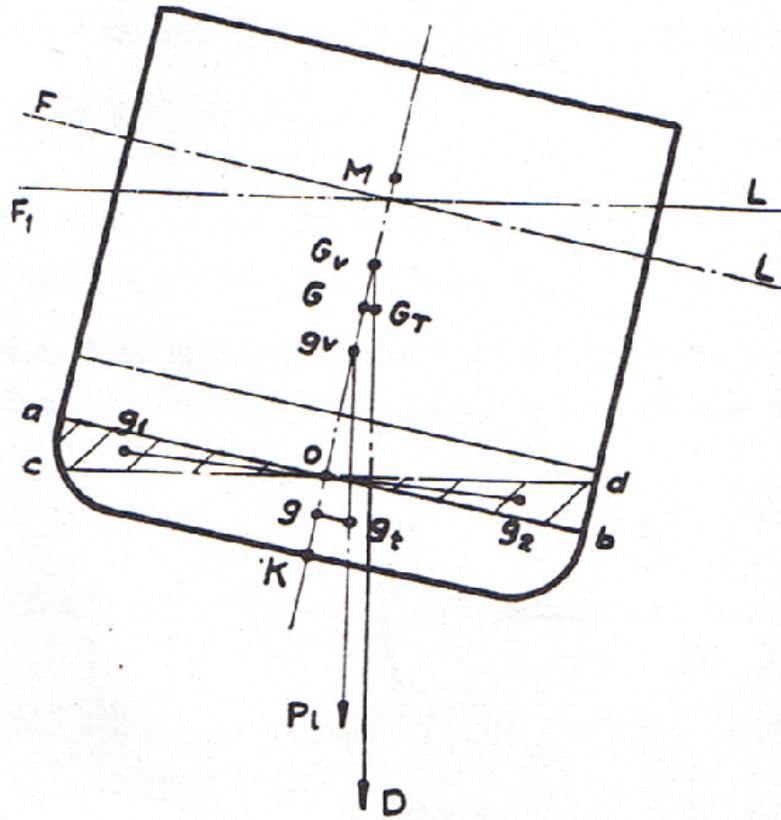
Para transformar momento en brazo, debemos dividir por el desplazamiento. Luego queda:

$$\text{Brazo} = h_e = \frac{M_e}{D}$$

Gráficamente se representa por la paralela al eje de abscisas, distante el momento M_e tal como lo indica la figura.



DEDUCCION DE FORMULA DEL EFECTO DE SUPERFICIES LIBRES



Fórmula General:

$$GG_0 = \frac{i}{V_c} \times \frac{\text{dens. líq.}}{\text{dens. flot.}} \times \frac{1}{n^2}$$

(i = Momento de Inercia del líquido del estanco)

$$i = \frac{e \times m^3}{12} \quad (\text{área de flotación rectangular})$$

$$GG_0 = \frac{e \times m^3}{12 \times V_c} \times \frac{d \times \text{líq.}}{d \times \text{flot.}} \times \frac{1}{n^2}$$

El centro de gravedad del líquido que se encuentra en libertad de movimiento dentro de un estanco a medio llenar, se comporta como un péndulo, que oscila respecto de un eje, es decir, de un metacentro. El centro gravedad de la nave sube por el efecto del movimiento pendular del centro de gravedad del líquido (elevación virtual del centro de gravedad de la nave).

Dedución de la Fórmula:

El movimiento del líquido dentro del estanque se calcula con la fórmula: $GG' = \frac{W \times dv}{D}$

Donde: $W = \text{Volumen cuña} \times \text{densidad del líquido}$

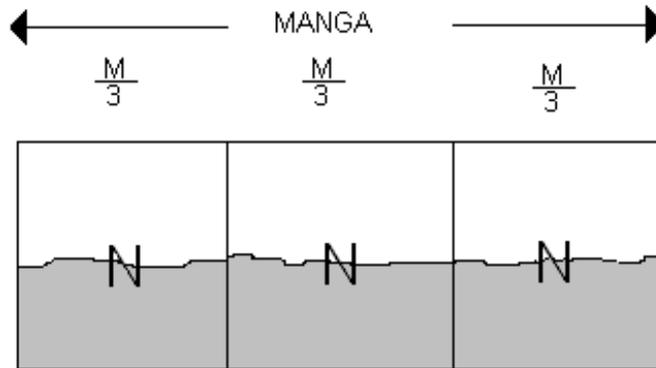
$dv = \text{largo péndulo} = gm = \frac{i}{vol.}$ (se calcula así porque gm se comporta como un radio)

$D = Vc \times \text{dens. flot.}$

Reemplazando en la primera fórmula: $GG' = \frac{Vol \times \text{dens. líq.} \times \frac{i}{vol}}{Vc \times \text{dens.} \times \text{flot.}}$

luego, $GG' = \frac{i \times \text{dens est}}{Vc \times \text{dens flot}}$

EXPLICACION DE n^2 : n es el número de espacios en que está dividido el estanque debido a la existencia de mamparos longitudinales que tienen por objetivo disminuir el efecto de superficie libre. Supongamos que la manga fue dividida por mamparos longitudinales, creando así "n" espacios. Entonces la fórmula de inercia se puede expresar de la siguiente manera:

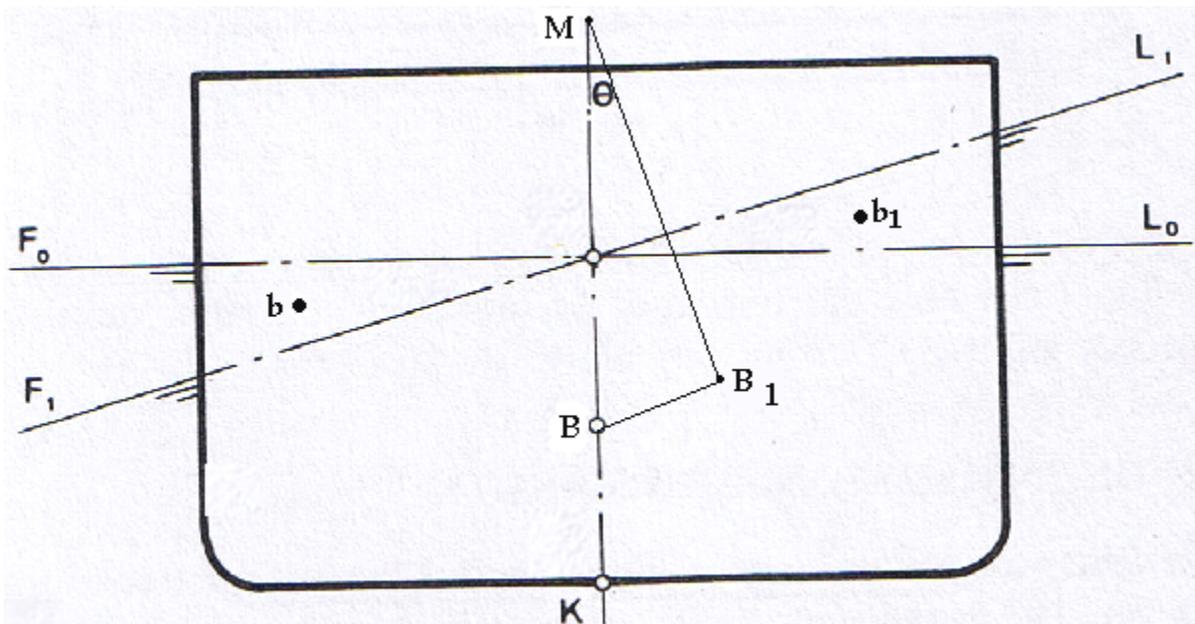


$$i = \frac{e \times n^3 \times (b)^3}{12}$$

$$i = \frac{n \times (e \times b^3)}{12 \times n^3} \quad (\text{n divisiones})$$

$$i = \frac{e \times b^3}{12 \times N^2}$$

DEDUCCION DE LA FORMULA DEL RADIO METACENTRICO (BM)



En la figura se prueba que $BM = \frac{I}{V}$. Una cuña de flotabilidad es transferida de un lado del buque al otro lado.

FORMULA DERIVADA PARA BM: Cuando se inclina ligeramente un buque hace que emerja del agua en un costado una pequeña cuña, que al otro lado se sumerge. Según el principio de los momentos, el efecto del movimiento de una pequeña parte del peso total de un sistema sobre la posición del centro de gravedad del total, puede encontrarse multiplicando el peso de la parte por la distancia que se ha corrido. Esto se establece en forma de fórmula como:

$$GG' = \frac{w \times d}{\text{Despl.}}$$

Por el mismo principio decimos que el volumen de la cuña, multiplicado por la distancia de su transferencia de un lado del buque al otro, dividido por el volumen total sumergido, es igual a lo que se corre el centro de flotabilidad, BB.

El momento de la cuña respecto de la línea de centro del buque, es el volumen de la cuña multiplicado por la distancia entre los centros de gravedad de las dos cuñas.

Podemos ahora derivar la fórmula para un plano de agua rectangular, en que L es igual a la longitud del plano de agua y B es la manga. En otras palabras, asumimos un área de flotación rectangular

Encontramos el volumen de la cuña multiplicando su longitud x su manga x su espesor medio

$$\text{Volumen de la cuña: } L \times \frac{B}{2} \left(\frac{1}{2} \times \frac{B}{2} \right) \text{ sen } \theta \quad \text{Entonces, volumen de la cuña queda: } \frac{L \times B^2}{8} \text{ sen } \theta \quad (1)$$

$$\text{Para encontrar la distancia entre las cuñas: } b b' = \frac{2}{3} \text{ veces } \frac{2}{2} \times \frac{B}{3} = \frac{2}{3} B \quad (2)$$

Momento de la cuña = volumen cuña x distancia $b b'$: es multiplicar (1) x (2) = $L \times \frac{B^2}{8} \text{ sen } \theta \times \frac{2}{3} B$

quedando, momento de la cuña = $L \times \frac{B^3}{12} \sin \theta$

En gráfico principal, tenemos que $\sin \theta = \frac{B B'}{BM}$ despejando, $B B' = BM \sin \theta$

Por lo que $BM \sin \theta = \frac{\text{vol. cuña} \times \text{dist.}}{VOL.}$ lo que es lo mismo que decir que: $BM \sin \theta = \frac{L \times \frac{B^3}{12} \sin \theta}{V}$

Eliminando $\sin \theta$ en ambos miembros, queda: $BM = \frac{L \times \frac{B^3}{12}}{V}$ (sólo para pequeños ángulos)

El numerador ($L \times \frac{B^3}{12}$) se designa como I (momento de inercia), luego: $BM = \frac{I}{V}$.

Para planos de agua de forma no rectangular cambiará I . Deberá entonces, multiplicarse por un constante que depende del coeficiente del plano de agua. (coeficiente de afinamiento superficial)

ESTABILIDAD DE BUQUES QUE CARGAN "GRANO A GRANEL"

Un bulkcarrier (buque existente), va a efectuar un viaje con "trigo a granel" desde New York a Málaga. La estación del año es verano en el Hemisferio Norte. Factor de estiba (F.E.) es de $1,34 \text{ m}^3/\text{Tm.}$; se cargará el máximo según zona y fecha. En Bodega 1 se llevará grano suelto, altura S/B del grano 12 metros.

Datos obtenidos de la documentación del buque:

1) Características de la nave

Eslora entre perpendiculares.....197 m.
Calado de verano.....10,05 m.
Desplazamiento de verano.....37.280 Tms.

2) Plano capacidades estanques

- a) Combustible y aceites. Peso total = 1.000 Tms., Kg = 1,60 m., Momento S.L. = 4.500 Tms. M.
b) Agua dulce. Peso total = 300 Tms., Kg = 14,33 m., momento S.L. = 1.500 Tms., m.

3) Desplazamiento en rosca = 8.697 Tm. KG = 9,14 m.;
Tripulación y efecto = 50 Tm. Kg = 14,33 m.

4) Curvas hidrostáticas. Para el calado de verano 10,05 m.: KM = 9,28 m.

5) Peso a embarcar en cada bodega se obtiene de: $\frac{\text{Volumen de Bodega}}{\text{Factor de Estiba}}$

(Bodegas supuestamente abarrotadas, excepto la N^o1).

B1 = 2.528 Tm. Kg1 = 6,20 m. (*) B2 = 3.600 Tm. Kg2 = 8,50 m.
B3 = 3.650 Tm. Kg3 = 8,40 m. B4 = 1.800 Tm. Kg4 = 8,00 m.
B5 = 2.250 Tm. Kg5 = 8,50 m. B6 = 2.700 Tm. Kg6 = 8,50 m.
B7 = 3.625 Tm. Kg7 = 8,50 m. B8 = 3.630 Tm. Kg8 = 8,50 m.
B9 = 3.450 Tm. Kg9 = 8,53 m.

(*) En la bodega número 1 se mide el vacío desde el borde de la escotilla hasta la superficie del grano, con ese dato como ordenada, se entra en el gráfico de esa bodega y en las varias escalas de las abscisas y en las correspondientes curvas, se obtiene: a) capacidad en metros cúbicos para ese vacío b) centro de gravedad del volumen ocupado por el grano c) momento escorante volumétrico supuesto una inclinación del nivel del grano de 25° d) este momento se dividirá por el (F.E) y obtendremos momentos escorantes de peso, que multiplicado por 1,12 nos dará el momento total, incluido la subida de G por la inclinación supuesta de 25°.

En cuadros adjuntos de la información de estabilidad para "carga de grano", van los momentos escorantes de las bodegas "llenas" de grano.

Momentos volumétricos para cada bodega, obtenidos de la documentación del buque

B1 (Momento volumétrico, M4) = 400 M4''
B2 (Momento volumétrico, M4) = 425 M4''
B3 (Momento volumétrico, M4) = 425 M4''
B4 (Momento volumétrico, M4) = 425 M4''
B5 (Momento volumétrico, M4) = 425 M4''
B6 (Momento volumétrico, M4) = 425 M4''
B7 (Momento volumétrico, M4) = 425 M4''
B8 (Momento volumétrico, M4) = 425 M4''
B9 (Momento volumétrico, M4) = 425 M4''

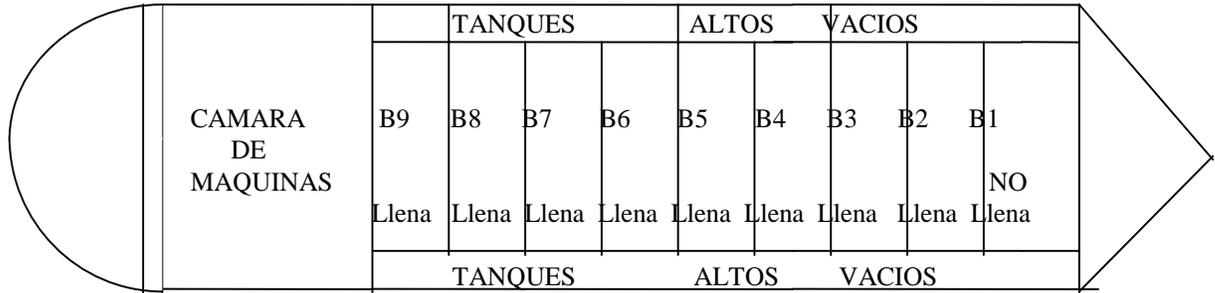
6) Brazos KN en metros para el desplazamiento de verano, (de la curva de KN o de Pantocarenas

KN 5° = 0,86 m. KN10° = 1,75 m. KN15° = 2,40 m. KN20° = 3,28 m. —
KN25° = 4,11 m. KN30° = 4,88 m. KN35° = 5,55 m. KN40° = 6,25 m.

7) Angulo de inclinación límite para este desplazamiento = 35°. Este dato se obtiene de la información de estabilidad.

Con los datos anteriores procedamos al cálculo de estabilidad de acuerdo con las normas vigentes, SOLAS, Capítulo VI (30 noviembre 1977), para el transporte de grano, del presente buque.

PLANO DE LA CARGA



CAMARA	B9	B8	B7	B6	B5	B4	B3	B2	B1	F
DE MAQUINA	3.450 Tm.	3.630 Tm.	3.625 Tm.	2.700 Tm.	2.250 Tm.	1.800 Tm.	3.650 Tm.	3.600 Tm.	2.528 Tm.	

RELLENAR LA TABLA I

Compartimiento	Condición más desfavorable con lastre si es necesario		
Nº	PESO	KG	Momentos
Buque en rosca	8.697	9,14	79.491
Trip y efectos	50	14,50	725
Bodega Nº1	2.528	6,20	15.674
Bodega Nº2	3.600	8,50	30.600
Bodega Nº3	3.650	8,40	30.600
Bodega Nº4	1.800	8,00	14.400
Bodega Nº5	2.250	8,50	19.125
Bodega Nº6	2.700	8,50	22.950
Bodega Nº7	3.625	8,50	30.813
Bodega Nº8	3.630	8,50	30.855
Bodega Nº9	3.450	8,53	29.429
TOTAL PARCIAL	35.980		304.722
			MOMENTO DE SUPERFICIES LIBRES
Combustible y aceite	1.000	1,60	1.600
Agua dulce	300	14,33	4.299
TOTALES LIQUIDOS	1.300		5.899
TOTALES FINALES	37.280		310.621
	Desplazamiento		Momentos

RELLENAR LA TABLA II

CALCULO DE KG y GM

KG	$\frac{\text{Momento total}}{\text{Desplazamiento}} = \frac{310.621}{37.280}$	=	8.33 m.
Con x SUP libres:	$\frac{\text{Mto total S.L.}}{\text{Desplazamiento}} = \frac{6.000}{37.280}$	=	(+) 0.16 m.
KG corregido por superficie libre			8.49 m.
KM para el \triangle de que se trata (Verano)			(-) 9.29 m.
GM corregido			0.80 m.
GM corregido = 0,80 m. es mayor que 0,30 m. (BUQUE CUMPLE)			

RELLENAR LA TABLA III

MOMENTOS ESCORANTES

COMPART ° N°	ALTURA DE GRANO	FACTOR DE ESTIBA	Mtos. Escorantes volumétricos (M4)	Mtos. Escorantes transversales (Tm m.)	Mtos. Escorantes totales (Tm m.)
Bodega Núm. 1	12	1,34	2.200	1.642	1.839 (*)
Bodega Núm. 2	-	1,34	425	317	317
Bodega Núm. 3	-	1,34	425	317	317
Bodega Núm. 4	-	1,34	425	317	317
Bodega Núm. 5	-	1,34	425	317	317
Bodega Núm. 6	-	1,34	425	317	317
Bodega Núm. 7	-	1,34	425	317	317
Bodega Núm. 8	-	1,34	425	317	317
Bodega Núm. 9	-	1,34	425	317	317
T O T A L E S					4.375

$$\text{Mto. Esc}_i = \frac{\text{Mto. Esc. Vol}}{\text{F.E.}}$$

(*) = Bodega 1, parcialmente llena se aumenta el momento escorante en un 12%, multiplicando por 1,12.
En las demás bodegas, totalmente llenas, se aumenta el momento escorante en un 6%, multiplicando por 1,06

RELLENAR LA TABLA IV

CALCULO DEL BRAZO ESCORANTE SUPUESTO PARA
ángulo = 0° y ángulo = 35° (INUNDACION)

$$(a) \text{ Brazo escorante buque adrizado} = \frac{\text{Mto escorante total}}{\text{Desplazamiento}} = \frac{4.375}{37.280} = 0,12 \text{ m.}$$

$$(b) \text{ Brazo escorante ángulo} = 35^\circ = 0,12 \times \text{Cos } 35^\circ = 0,12 \times 0,80 = 0,10 \text{ m.}$$

Nota: El brazo escorante es máximo para inclinación 0° (nave adrizada). Los valores para las demás inclinaciones se obtienen multiplicando dicho brazo por el coseno θ

RELLENAR LA TABLA V

MOMENTOS ESCORANTES ADMISIBLES MAXIMOS

KG corregido (de la TABLA II)	8,49
Desplazamiento (de la TABLA I)	37.280
(A) Momento escorante admisible máximo.	12.900
(B) Valor real Momento escorante (de la TABLA III)	4.375
Como (A) es mayor que (B)	Cumple

RELLENAR LA TABLA VI

CALCULO DE LA ESCORA PERMANENTE CON LOS MOMENTOS ESCORANTES SUPUESTOS

BRAZOS GZ CORREGIDOS

Inclinaciones transversales	5°	10°	15°	20°	25°	30°	35°
Valores KN (curvas insoclinas)	0,86	1,80	2,50	3,28	4,11	4,88	5,55
KG x sen θ (corregido x S.L.)	0,74	1,48	2,20	2,90	3,59	4,25	4,87
GZ = KN - KG sen θ	0,12	0,22	0,30	0,38	0,52	0,63	0,68
Brazos escorantes	0,12	0,12	0,12	0,11	0,11	0,10	0,10
Valores GZ corregidos	0,00	0,10	0,18	0,27	0,41	0,53	0,58

El buque existente ha completado y cumplido todas las tablas (la V no necesita).

La VI también la cumple porque el buque queda escorando 5° (GZ corregido = 0 para $\theta = 5^\circ$), en el caso que se efectúe el corrimiento de grano supuesto, en la mar durante el viaje.

En el caso que el buque del ejercicio fuera considerado como "buque nuevo":

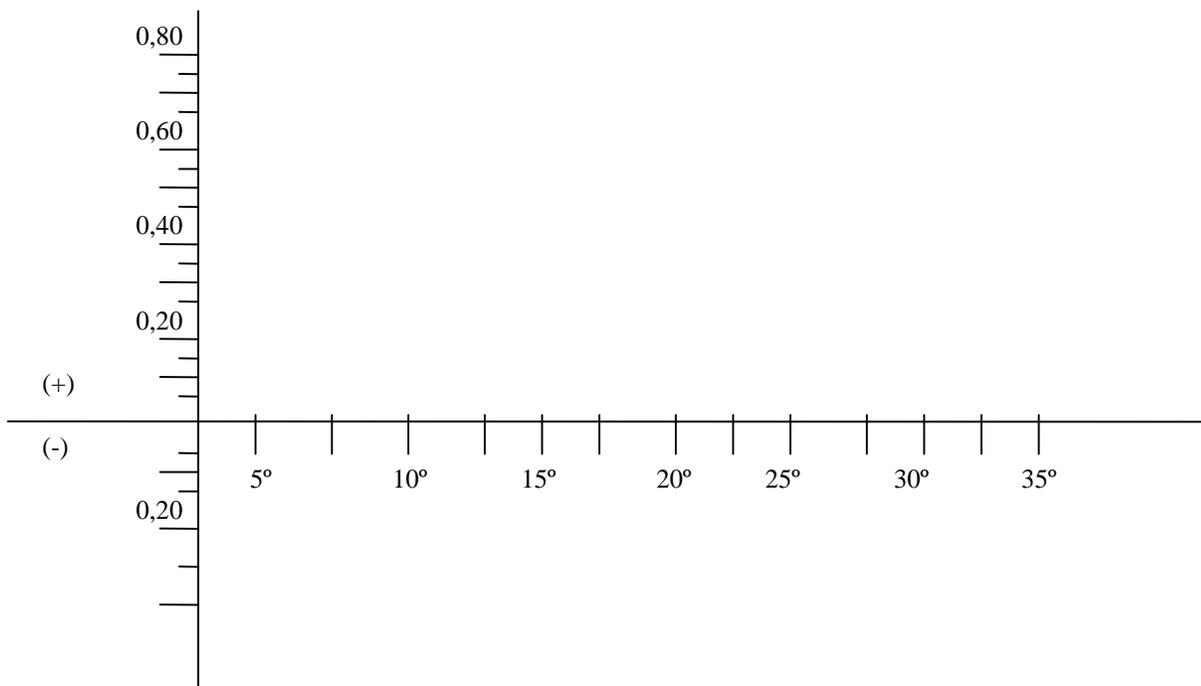
Se rellenan todas las tablas anteriores (no hay necesidad de la IV) porque cumple con la V o sea que la IV y V se excluyen.

Rellenar la TABLA VII y hacer el gráfico residual de la curva GZ para: a) demostrar que la escora supuesta no será mayor de 12° (en este caso está demostrado porque $\theta = 5^\circ$), b) que el área mínima residual sea igual o menor que 0,075 metros radianes.

RELLENAR TABLA VII

PARA CALCULAR EL AREA RESIDUAL

Angulos Inclinación	VALORES GZ CORREGIDOS	Factor Simpson	FUNCIONES DE AREA
$\theta = 5^\circ$	0,00	1	0,00
$\theta = 10^\circ$	0,10	4	0,40
$\theta = 15^\circ$	0,18	2	0,36
$\theta = 20^\circ$	0,27	4	1,08
$\theta = 25^\circ$	0,41	2	0,82
$\theta = 30^\circ$	0,53	4	2,12
$\theta = 35^\circ$	0,58	1	0,58
SUMA DE PRODUCTOS			5,36



Area residual = $\frac{1}{3} \times h \times \Sigma$ de producto para Area

(fórmula de la primera regla de Simpson)

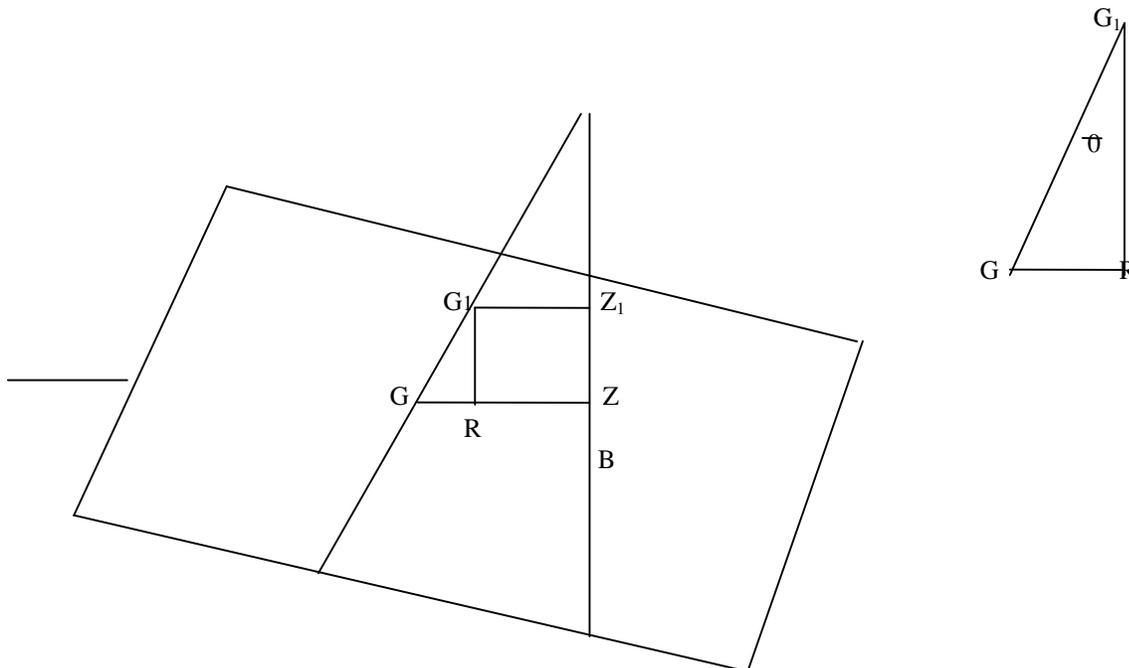
$$\text{Area} = \frac{1}{3} \times \frac{5^\circ}{57,3^\circ} \times 5,36 = 0,1558 \text{ m x rad.}$$

Buque nuevo cumple:

- La escora es de 5° (menor de 12° que es la exigida)
- El área residual = 0,1558 metros radianes, (es mayor que 0,075m x rad. que es la mínima exigida)

NOTA: No se hace cálculo para ángulo $\theta = 40^\circ$, porque el ángulo límite de inundación es de $\theta = 35^\circ$.

DISMINUCION DEL BRAZO DE ADRIZAMIENTO DEBIDO AL ASCENSO DEL CENTRO DE GRAVEDAD



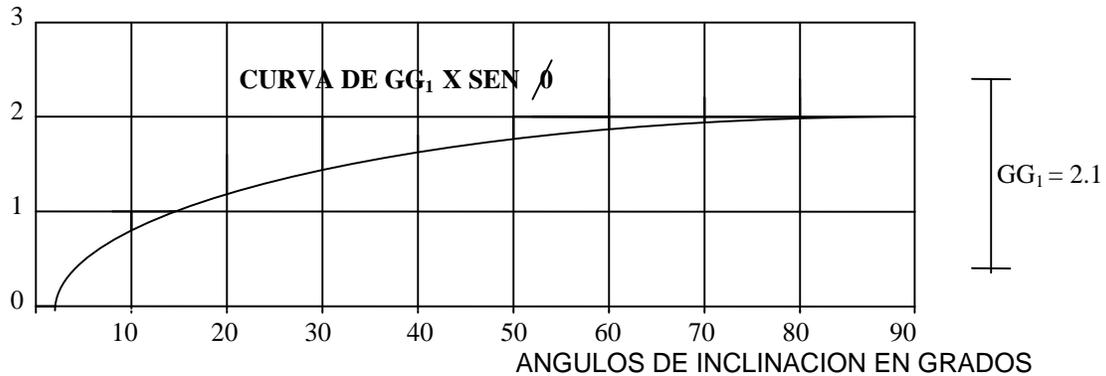
Un traslado vertical del centro de gravedad del buque cambia las magnitudes de los brazos de adrizamiento. Si el buque está en un ángulo de inclinación, como θ en la figura, el brazo de adrizamiento es GZ con el centro de gravedad G . Pero, si el centro de gravedad se desplaza a G_1 como resultado de un traslado de peso verticalmente hacia arriba, el brazo de adrizamiento será $G_1 Z_1$, que es más pequeño que GZ en una cantidad igual a GR . En el triángulo recto GRG_1 , el ángulo de inclinación está en G_1 ; por esto, la disminución del brazo de adrizamiento se puede calcular con

$$GR = GG_1 \times \text{sen } \theta$$

En otras palabras, la disminución del brazo de adrizamiento equivale al ascenso del centro de gravedad por el seno del ángulo de inclinación. El seno del ángulo de inclinación es una razón que se puede encontrar consultando una tabla de senos.

Si la disminución de GZ se determina para los 10° , 20° , 30° , etc., y sucesivamente al multiplicar GG_1 por el seno del ángulo correspondiente. Se puede obtener una curva de disminución de los brazos de adrizamiento ploteando los valores de $GG_1 \times \text{sen } \theta$ en el eje vertical contra los ángulos de inclinación en el eje horizontal, lo que genera una curva sinusoidal, como la que aparece en la figura

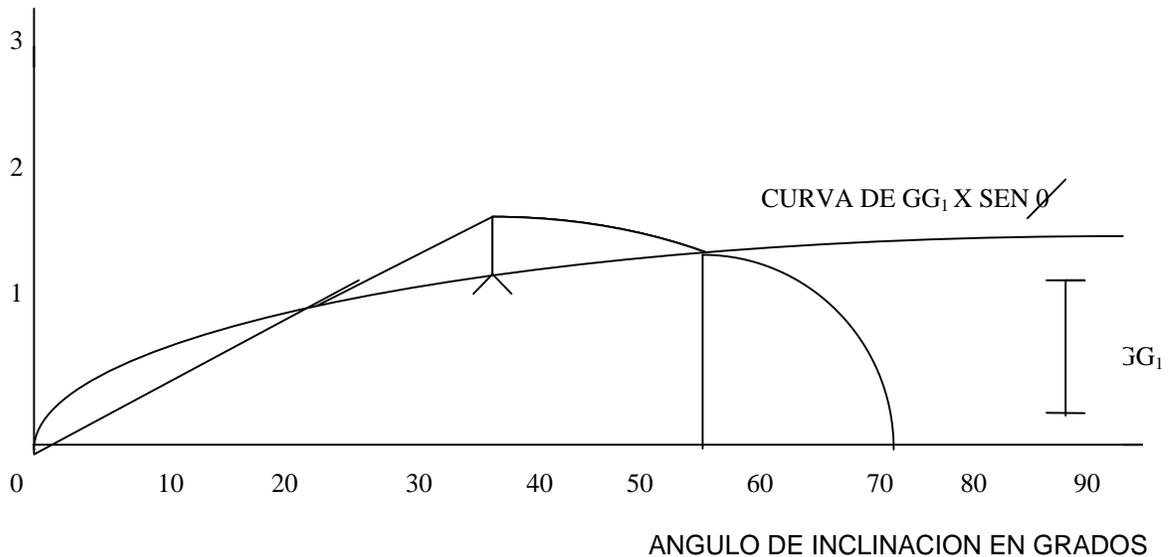
DISMINUCION DEL BRAZO DE ADRIZAMIENTO EN PIES



SINUSOIDE QUE MUESTRA LA DISMINUCION DEL BRAZO DE ADRIZAMIENTO A DIFERENTES GRADOS DE INCLINACION

La curva senoide se puede superponer a la curva de estabilidad original para demostrar efecto característico en la estabilidad producida por el movimiento de un peso hacia arriba en un buque. En tanto no cambie el desplazamiento, los brazos de adrizamiento de la curva antigua sólo se deben corregir por el cambio de G, sin que haya otras variaciones. Por consecuencia, si $GG_1 \times \text{sen } \theta$ se reduce a cada GZ en la curva de estabilidad antigua, el resultado será una curva de brazo de adrizamiento corregida para el buque después del movimiento del peso.

En la figura se ha sobrepuesto una curva senoide a una curva original de estabilidad. El área punteada es la parte de la curva se perdió debido al movimiento ascendido del peso mientras que el área con líneas es la parte restante o residual de la curva. El brazo de adrizamiento residual máximo es AB y se da en un ángulo de aproximadamente 37° . El nuevo rango de estabilidad está entre 0° y 53° .



La reducida estabilidad de la nueva curva se hace más evidente si las distancias intersectadas entre la antigua curva de GZ y la curva senoide se transfieren midiéndolas desde la base, formando así una nueva curva de estabilidad estática. En que el antiguo brazo de adrizamiento a los 30° era AB, el nuevo tiene un valor de CB que se pilotea desde la base hasta encontrar el punto D (CB - AD) y así se establece un punto a los 30° de la nueva curva.

ESTABILIDAD A GRANDES ANGULOS DE INCLINACIÓN

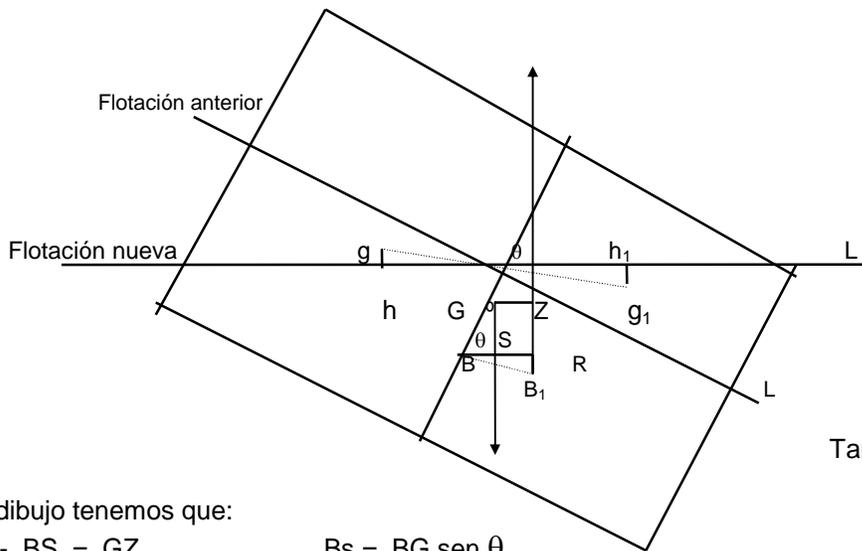
Para inclinaciones menores de 10° la variación que experimenta el Metacentro es muy poca, por lo que podemos considerarlo fijo. Esto nos permite estudiar la estabilidad de la nave en base a su altura metacéntrica (GM). Para ángulos de inclinación mayores de 10° la posición del Metacentro cambia apreciablemente, por lo que no puede considerarse fijo. Al variar este punto, GM pierde su validez como índice de estabilidad. La movilidad del Metacentro no debe sorprender, ya que su nombre que viene del idioma griego y que se traduce al Castellano como "Centro Móvil" nos revela su naturaleza eminentemente móvil. Esto obedece a que el Metacentro es generado por el Centro de Boyantez, el que cambia con cada grado de inclinación de la nave. (La nave es un cuerpo eminentemente móvil también).

ESTABILIDAD ESTÁTICA: Estudio del equilibrio de la nave en aguas tranquilas. Si las inclinaciones son mayores de 10° GM pierde validez y nuestro índice de estabilidad es **el brazo de adrizamiento (GZ)**, distancia que también recibe nombres tales como **par adrizante, par, cupla de fuerzas o cupla adrizante**. Debe recordarse que GZ representa la distancia que separa a la vertical que pasa por el Centro de Gravedad de la vertical que pasa por el Centro de Boyantez. El Constructor nos entrega curvas con los valores de GZ. **¿Cómo llega él a obtener estos valores? La respuesta es: Valiéndose de la FÓRMULA DE ATWOOD**

FÓRMULA DE ATWOOD PARA MOMENTO DE ESTABILIDAD ESTÁTICA

DEDUCCIÓN: Cuando un buque con un determinado volumen sumergido tras estar flotando adrizado se inclina hacia una banda, una cuña de agua de la banda que aflora se traslada a la banda que se sumerge. Llamaremos v al volumen de esta cuña, g y g_1 a sus centros de gravedad, B al Centro de Boyantez inicial y B_1 al nuevo Centro de Boyantez. Haremos uso de las fórmulas reducidas ($GG' = \frac{W \times d}{D}$), aplicándolas a volúmenes, luego tendremos que:

$$BB_1 = \frac{v \times g g_1}{V_c} \quad \text{considérese que } BB_1 \text{ es paralelo a } g g_1$$



$$\text{También: } BR = \frac{v \times h h_1}{V_c}$$

Del dibujo tenemos que:

$$BR - BS = GZ$$

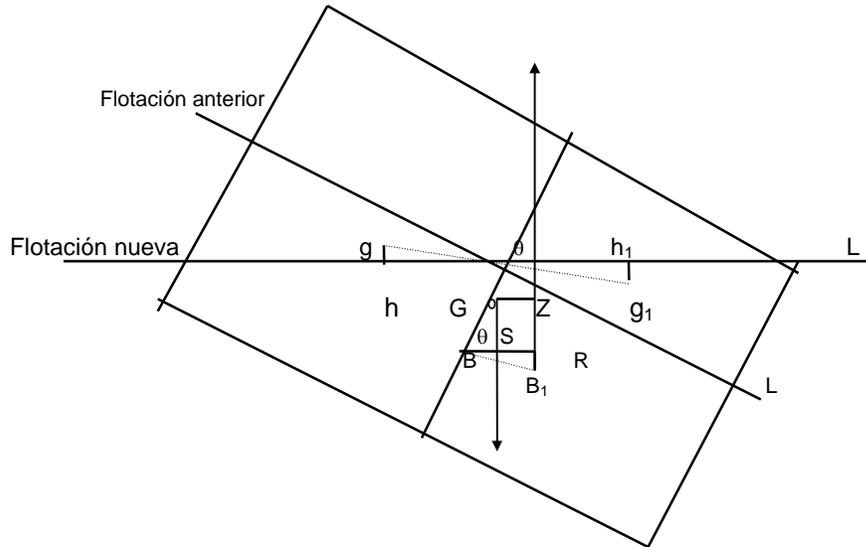
$$BS = BG \text{ sen } \theta$$

Combinando estas fórmulas obtenemos la fórmula de Atwood para momentos de estabilidad estática:

Momento de Estabilidad Estática = Desplazamiento x Brazo de adrizamiento

$$\text{Momento de Estabilidad Estática} = \text{Desp} \times \left[\frac{v \times h h_1}{Vc} - BG \sin \theta \right]$$

ESTABILIDAD DINÁMICA: Es el estudio del equilibrio de la nave enfrentando la fuerza de las olas o del viento.



Estabilidad Dinámica o fórmula de **Moseley**.

Estudiando el mismo gráfico, observemos que la distancia vertical entre el Centro Boyantez y el Centro de Gravedad era **BG** antes de que el buque se inclinara. Al inclinarse el buque la distancia entre el nuevo Centro de Boyantez y el nivel del Centro de Gravedad es **B₁Z**.

Observando el gráfico tenemos que: **B₁Z = B₁R + RZ**

Podemos decir que: **B₁R = $\frac{v (gh + g_1 h_1)}{Vc}$** y que **RZ = BG cos θ**

Multiplicando el Desplazamiento por la diferencia que existe entre **BG** y **B₁Z** (separación vertical), obtenemos la Estabilidad Dinámica o Fórmula de Moseley.

$$\text{Momento de Estabilidad Dinámica: } \text{Desp} \times \left[\left[\frac{v (gh + g_1 h_1)}{Vc} + BG \cos \theta \right] - BG \right]$$

Resumiendo, podemos decir que el momento de Estabilidad Dinámica para cada ángulo de inclinación es el Desplazamiento multiplicado por la diferencia que existe entre **BG** de la nave adrizada y la distancia vertical entre el Centro de Boyantez y el nivel del Centro de Gravedad para la inclinación dada.

El método más apropiado para representar la Estabilidad consiste en graficar la curva de Estabilidad Estática dada por los brazos de adrizamiento para diversas inclinaciones y condiciones de carga.

El Brazo de Adrizamiento **GZ** es índice de estabilidad por sí solo, ya que el Desplazamiento **siempre** está presente. Debe recordarse que la magnitud de GZ depende de las posiciones del Centro de Gravedad y del Metacentro respecto a la quilla. **G** depende de la distribución de los pesos a bordo. **M** depende de las formas y dimensiones del casco y del área de flotación para cada grado de inclinación.

Si es factible, cada vez que se requiera de nosotros la definición o explicación de un concepto de Estabilidad, debemos dar una respuesta amplia, satisfactoria, que refleje nuestro dominio sobre la materia. En este sentido podemos proponer un cierto orden en cuanto a la elaboración de nuestras respuestas. Este podría ser: 1. Nombre del concepto 2. Abreviatura o simbología 3. Definición 4. Unidades de medida 5. Gráfico alusivo 6. Modo de obtención (Curvas de la nave, escalas o fórmulas; deducción de la fórmula si es posible). 7. Ejemplo 8. Materias relacionadas o anexas.

Principales conceptos de Estabilidad

1. Densidad
2. Masa
3. Peso
4. Factor de Estiba
5. Pérdida de espacio por Estiba.
6. Desplazamiento (principio de Arquimides) (tipos de desplazamiento).
7. Calados, (lectura, calado medio, asiento, deflexión). Franco bordo
8. Volumen sumergido, reserva de flotabilidad, coeficiente de reserva de flotabilidad, obra viva y obra muerta, área de flotación.
9. Arqueo
10. Coeficientes de afinamiento
11. TPI, TCI.
12. Estabilidad Estática Transversal. Centro geométrico. Quilla. Centro de Carena. Centro de Gravedad. Metacentro transversal, (considerado fijo entre cero y diez grados de inclinación).
13. Momentos.
14. Cálculos por el método de momentos y por el método de fórmulas reducidas GG'. Cálculo de altura metacéntrica (GM)
15. Experimento de inclinación. Fórmulas que se derivan del experimento.
16. Cálculos de Escoras
17. Cálculo de la altura del metacentro sobre línea base (KM)
18. Cálculo de KB, diversos casos
19. Cálculo de radio metacéntrico (BM). Inercia transversal para áreas de flotación rectangular y no rectangular.
20. Variación de calado por densidad de flotación. Permiso de agua dulce
21. Líneas de Francobordo. Disco Plimsoll. Líneas para naves que transportan cubiertas de madera.
22. Cartas de zonas permanentes y periódicas.
23. Simpson. Cálculo de áreas, volúmenes y centro geométricos.
24. Efecto de superficies libres. Elevación virtual del centro de gravedad. Superficies libres producidas por líquidos y graneles. Cálculos. Formas de disminuir las superficies libres
25. Curvas hidrostáticas.
26. Estabilidad a grandes ángulos de inclinación. Cambio de la posición del metacentro a inclinaciones mayores de 10° . Uso de GZ como índice de Estabilidad.
27. Curvas de brazos de adrizamiento. Curvas cruzadas. Curvas de Pantocarenas
28. Brazo de adrizamiento corregido (GZ) Correcciones vertical y transversal. Gráficos
29. Estabilidad Estática Longitudinal
30. Asiento, cambio de asiento
31. Momento para cambiar el asiento (MT1, MTC ó Mu). Unidades de medida
32. Cálculos de calados. Centro de flotación. Método centro de flotación. Método centro de gravedad.
33. Estabilidad con averías. Métodos de cálculo
34. Esfuerzos longitudinales. Deflexión (arrufo, quebranto); esfuerzos de corte; torsión, etc.
35. Esfuerzos longitudinales en navegación. Nave en olas.
36. Acción del viento sobre la superestructura de la nave. Cálculos.
37. Entrada a dique. Varadura
38. Distribución longitudinal de carga
39. Curvas de esfuerzos
40. Estabilidad dinámica.