

Humboldt Marine Training

EQUILIBRIO DE LOS CUERPOS FLOTANTES

Preparado por

Ing. Boris L. GUERRERO B.

Valparaíso, CHILE, 2011.

INDICE DE MATERIAS

Introducción	.....	3
Centro de Gravedad	.....	4
Centro de Boyantez	.....	5
Centro de Flotación	.....	8
Metacentro	.....	9
Momento de Adrizamiento	.....	10
Incidencia de KG en la Estabilidad	.....	13
Curva de Estabilidad Estática	.....	14
Generación de la Curva de Estabilidad.....		15
Información que entrega la Curva.....		18
Ubicación Vertical del Metacentro.....		19
Problemas	.....	21
Metacentro Longitudinal	.....	23
Mto Inercia Plano Flotación	.....	25
Conclusiones	.....	27

EQUILIBRIO

Ya vimos los principios básicos que rigen la flotabilidad de los cuerpos que se encuentran en fluidos, especialmente de los cuerpos que flotan en un medio líquido.

Es importante para los Capitanes, Primeros Pilotos y Oficiales en general, el dominio de los conceptos relativos al equilibrio de la nave, o sea de los parámetros que participan en las escoras de los barcos como en los fenómenos físicos que participan en el proceso de llevar a la nave a su posición original de 'adrizada'.

Si bien es cierto el Primer Piloto normalmente cuenta con un programa computacional que resuelve rápidamente el cálculo de las diferentes condiciones de carga, no debe olvidarse que en emergencias serias, como son las varadas, colisiones y averías, el "software" NO dará las soluciones que se necesitan y el Capitán con sus oficiales deberán aplicar rápida y acertadamente todos los conceptos que tiendan a mantener la seguridad de los tripulantes y de la nave.

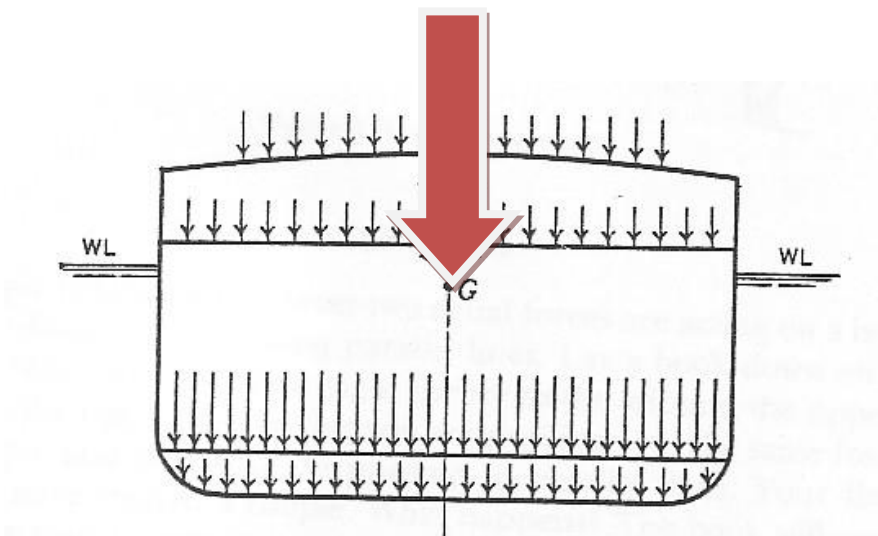
Hay muchos casos en que se tomaron decisiones erradas que costaron vidas humanas y causaron pérdidas de naves, tales como las tragedias del Alborada, del Dique Flotante Valparaíso II y de la Janequeo, por nombrar sólo algunos. En estos tres casos no se aplicaron correctamente ciertos principios básicos relacionados con estabilidad y flotabilidad. En las 3 tragedias citadas anteriormente fallecieron unas 80 personas.

DEFINICIONES IMPORTANTES

1.- Centro de gravedad: “Es el ‘punto de aplicación’ de la resultante de todos los pesos que conforman la nave”.

- Conviene operar con la “resultante”, que es una sola fuerza, en vez de trabajar con las innumerables fuerzas que representan a cada peso de la nave.

Esta resultante es la suma aritmética de todos los pesos, como se dijo anteriormente, vale decir la suma del buque liviano, o buque en rosca (light ship) más todos los pesos adicionales que tenga, o peso muerto (dead weight). Esta resultante físicamente no existe, sino que es sólo una conveniencia matemática, útil para operar con ella. Para efectos de la estabilidad la nave se comportará igual si consideramos la infinidad de pesos componentes que si consideramos que hay sólo una fuerza igual a la resultante, actuando en el punto “**G**” (centro de gravedad)

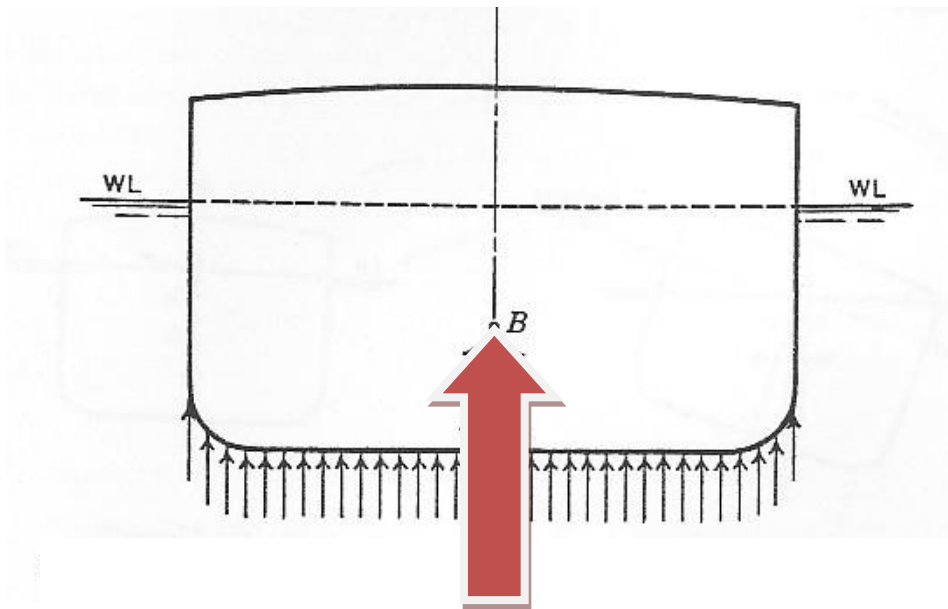


La ubicación del centro de gravedad “**G**” es de suma importancia y una de las más importantes obligaciones del Primer Piloto será saber exactamente la ubicación de él para la correspondiente condición de carga de la nave. Veremos que para calcular objetivamente la estabilidad será indispensable

saber primero la ubicación de este punto teórico, lo que se conseguirá resolviendo el importante “cuadro de carga”.

Todos quienes participen en tomar decisiones respecto a la estabilidad, lo que incluye a los pilotos de guardia, deberán tener claros los conceptos respecto a la estabilidad. Podemos adelantar que uno de los más importantes es: **“En una emergencia en que se vea involucrada la estabilidad del barco, deberá “bajarse” el centro de gravedad ‘G’, en cuanto sea posible”**.

2.- Centro de Boyantez.- Es el punto de aplicación de la resultante de todas las fuerzas de boyantes, (o empuje, o de flotación, o de carena), que actúan sobre el casco sumergido, u obra viva. Estas fuerzas son ejercidas perpendicularmente a las superficies del casco, pero se consideran que las componentes horizontales se anulan entre sí, por lo que quedan sólo componentes verticales, hacia arriba.



Normalmente el centro de boyantez se denomina con la letra “B”.

La ubicación del centro de boyantez está en el '**centro geométrico del volumen sumergido**'. Este concepto es muy importante, como veremos cuando analicemos la generación del "momento de adrizamiento".

De acuerdo a lo que vimos en el capítulo de 'Flotabilidad', el valor de la resultante de todas las fuerzas de flotabilidad será exactamente igual a la resultante de todos los pesos del barco, en la condición estática de la nave. (Navegando puede variar la flotabilidad al emerger o sumergirse el casco momentáneamente debido a condiciones dinámicas que se produzcan).

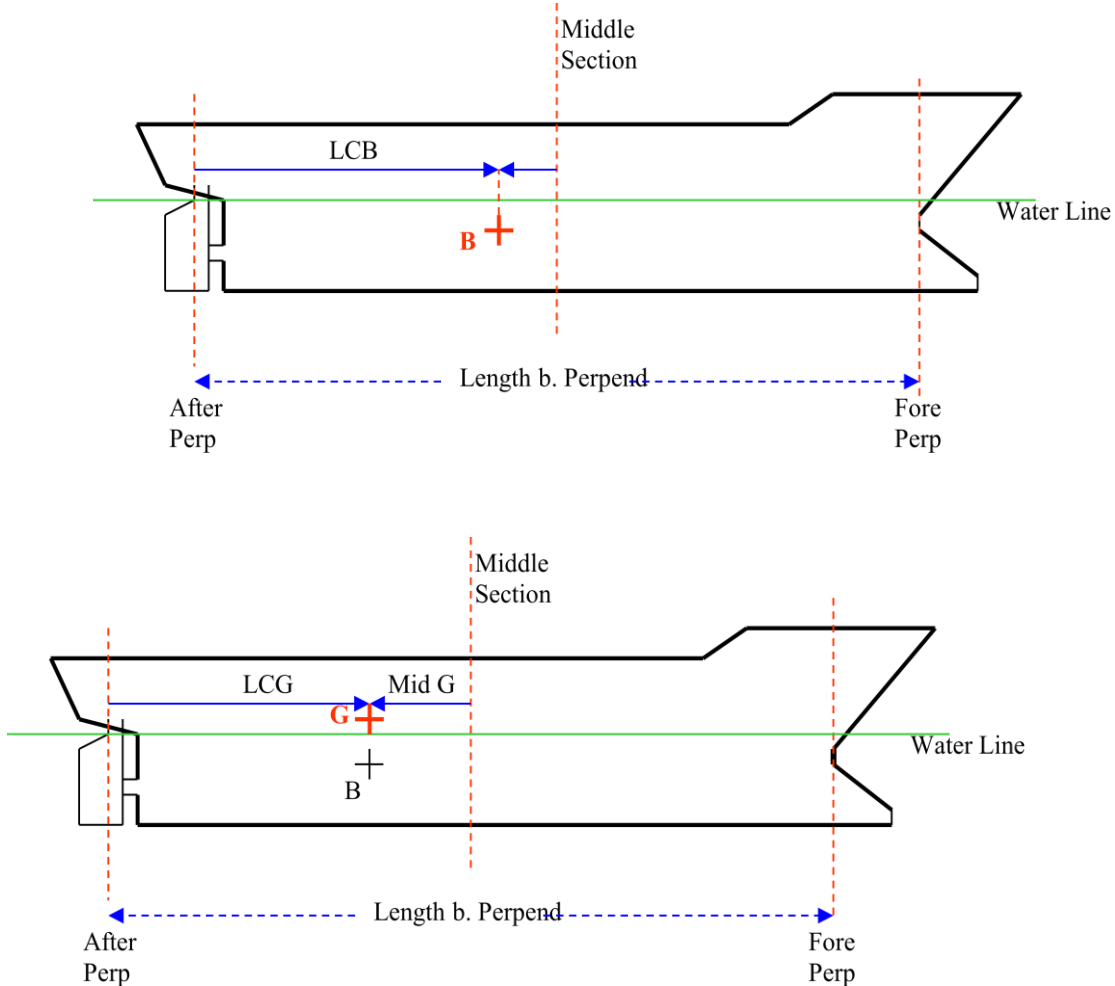
Podríamos agregar que para la condición estática B y G estarán siempre en la misma vertical, ya que para que dos fuerzas mayores de 'cero' puedan estar en equilibrio, ellas deben ser "iguales, contrarias y colineales".

La ubicación vertical de B y G se da con respecto a la quilla, la que designaremos con la letra K, símbolo que normalmente se usa en los Manuales de Estabilidad (Stability Booklet). Por lo tanto KB será la posición vertical del centro de boyantez B y KG será la posición vertical del centro de gravedad G.

En cuanto a la ubicación longitudinal de B y G, ella puede darse:

- a) Con respecto a la sección media de la nave (mid ship), con lo que las distancias se llamarán, normalmente, Mid B o Mid G. Convencionalmente suele usarse signo positivo (+) para las ubicaciones a "**popa**" de la sección media y signo negativo (-) para las ubicaciones a "**proa**" de la sección media.

b) Con respecto a la perpendicular de popa con lo que las distancias se llamarán, normalmente, LCB o LCG.



(En naves de guerra norteamericanas e inglesas, usaban la proa como punto de referencia longitudinal, al igual que algunas naves rusas).

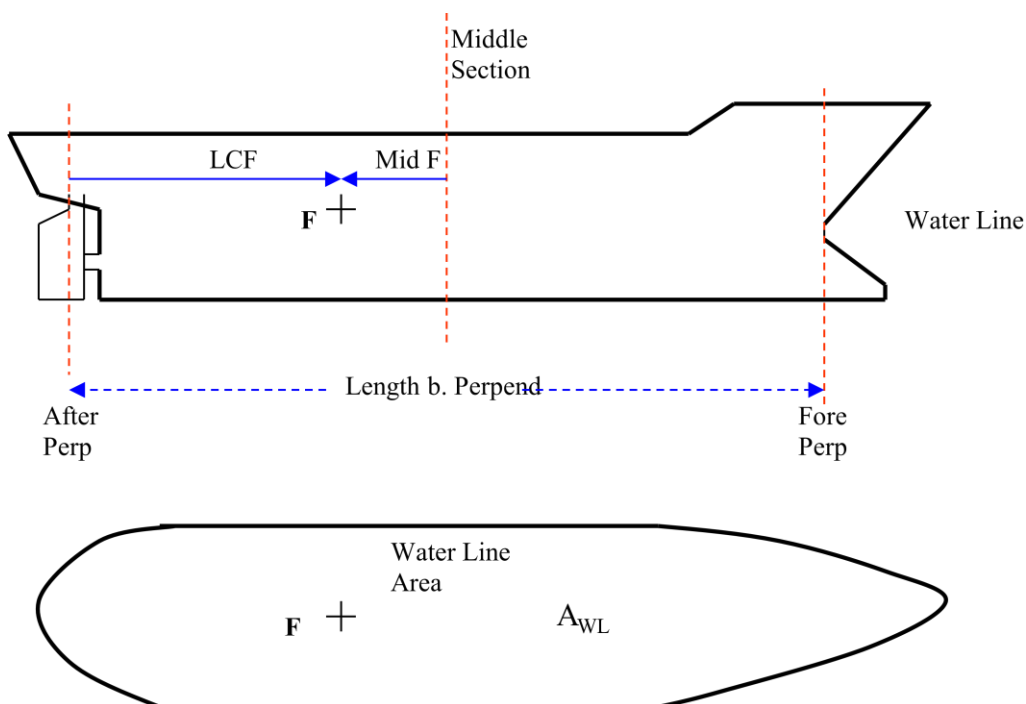
En la práctica, la ubicación vertical y longitudinal de B (para la nave 'sin' asiento) se obtendrá de las curvas o tablas hidrostáticas.

3.- Centro de Flotación F.- Es el punto en torno al cual se considera que se realizan los cambios de asiento, vale decir es como si la nave 'pivoteara' en ese punto.

Está ubicado en el centro geométrico (o centroide, o baricentro) del 'área' del plano de flotación.

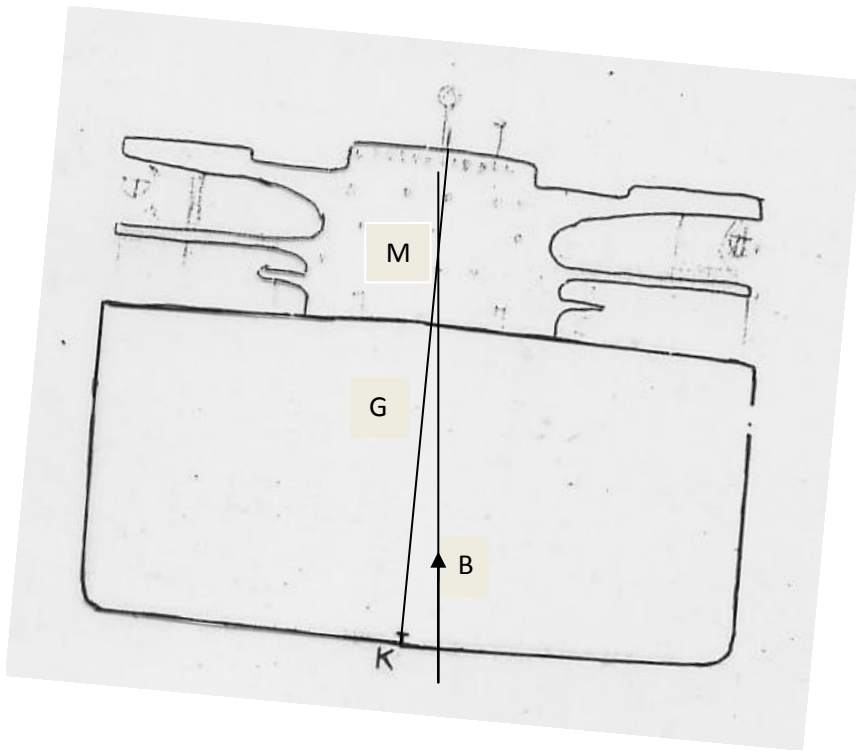
Se emplea para calcular los calados y los cambios de calado. Su ubicación longitudinal (para la condición de 'cero' asiento) se puede obtener de las curvas o tablas hidrostáticas, como se verá posteriormente.

Su posición longitudinal se mide con respecto a la sección media con lo que las distancias se llamarán Mid F, usándose la misma convención de signos que para la posición de B, o bien con respecto a la perpendicular de popa con lo que las distancias se llamarán, normalmente, LCF.



4.- Metacentro M (para pequeños ángulos de escora).- Es la intersección de la vertical que pasa por el Centro de Boyantez "B" con el Plano de Crujía, siendo el ángulo de escora inferior a unos 5° .

A la distancia BM se le llama RADIO METACÉNTRICO TRANSVERSAL.

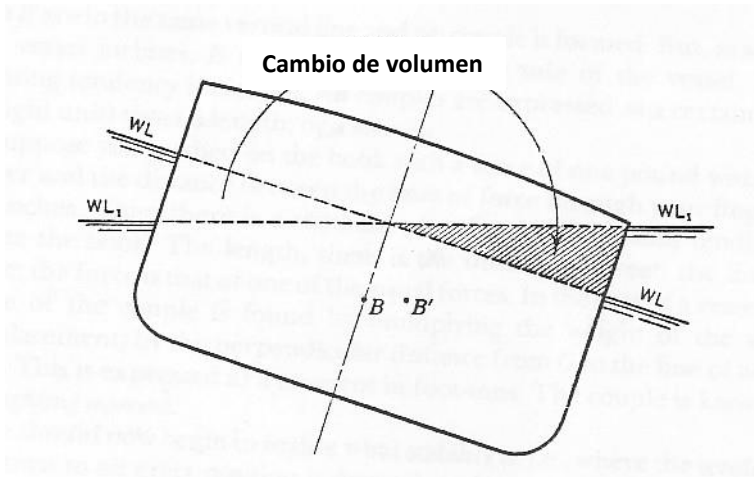


La distancia vertical KM (o TKM) se conoce como posición vertical del metacentro y se puede obtener de las curvas o tablas hidrostáticas (para la condición de 'cero' asiento).

La distancia vertical GM se conoce como altura o distancia metacéntrica y es muy usada como una indicación del valor de la estabilidad de la nave. Veremos que para ángulos mayores a unos 5° o 7° (aproximadamente) el metacentro se traslada y toma otra posición, como se verá posteriormente.

GENERACIÓN DEL MOMENTO DE ADRIZAMIENTO.

Movimiento de B al escorarse la nave.- Al escorarse la nave cambiará la forma del volumen sumergido. Ya que 'B' está en el centro geométrico del volumen sumergido, variará la posición del centro de boyantez B, como se aprecia en el gráfico adjunto.

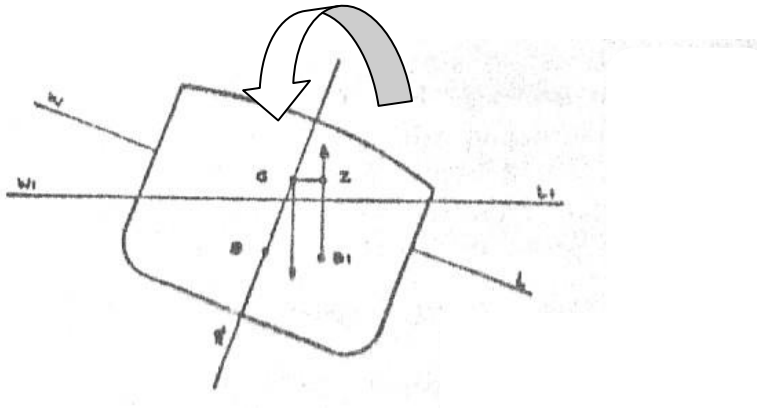


La cuña izquierda estaba sumergida y ahora no forma parte del volumen de carena u obra viva, en cambio la cuña derecha, achurada, ahora está sumergida, lo que ha cambiado la forma de la carena y por lo tanto ha variado el centro de boyantez, de B a B'. Vale decir la fuerza de flotabilidad estará actuando ahora en B'.

Veremos que la cantidad de movimiento de B a B' es importante para cuantificar la capacidad que tendrá el barco de generar un momento de fuerzas adecuado para recuperar su posición 'adrizada'. El diseñador del casco deberá darle a la obra viva una forma tal que asegure un buen movimiento lateral de B, de acuerdo a la estabilidad que quiera darle al barco.

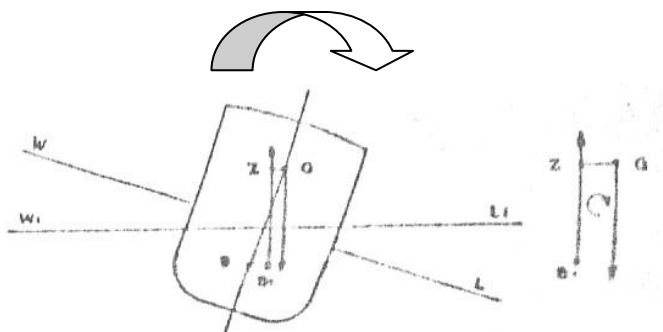
Esto nos hace pensar que un buque con bastante manga, con respecto a su puntal, tendrá mucha estabilidad. En el gráfico que se incluye a continuación se puede apreciar que al escorarse la nave B se ha movido hacia la derecha, actuando en ese punto la fuerza de boyantez o de flotabilidad. Estando el

centro de gravedad G en un punto fijo observamos que se ha formado un “par de fuerzas” que tratará de llevar el casco a su posición original, adrizada. A este par de fuerzas se le llama “**momento de adrizamiento**” y es igual al producto del peso del buque multiplicado por la distancia entre las líneas de acción de ambas fuerzas (veremos que esta distancia se llama ‘brazo de adrizamiento’ GZ).



Podemos apreciar que cuanto más se mueva B a su nueva posición B_1 , mayor será el brazo de adrizamiento GZ y mayor será también el momento de adrizamiento y más grande será la estabilidad del barco.

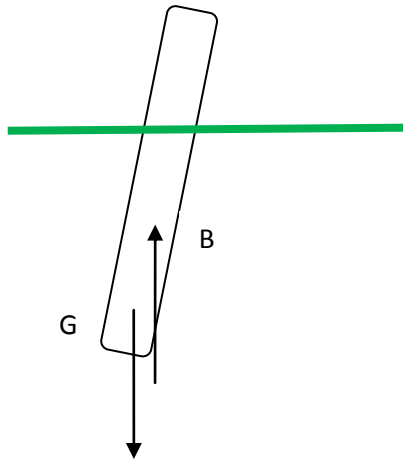
Si analizamos un casco muy estilizado, vale decir poca manga con respecto a su puntal, veremos que disminuye el momento de adrizamiento, pudiendo llegar a un valor negativo, o sea un momento de ‘volcamiento’ como se aprecia en el gráfico que se inserta a continuación.



En este caso la fuerza de boyantez ha quedado a la izquierda del peso W del barco, por lo que se producirá un momento de volcamiento, como se indicó anteriormente.

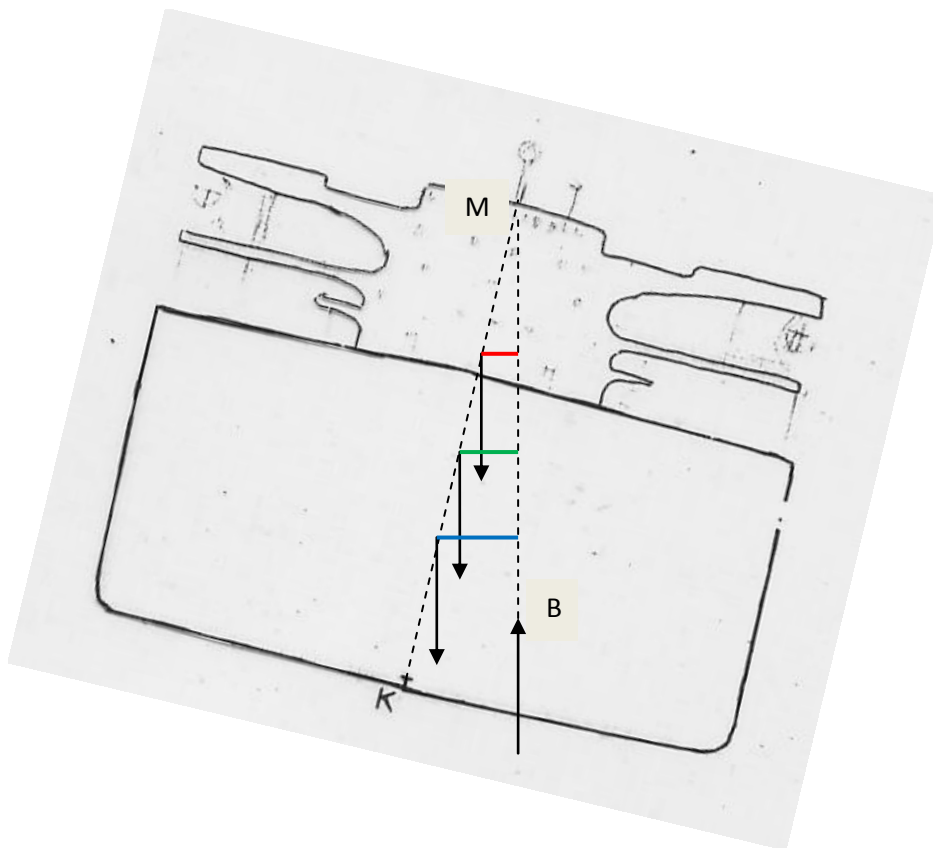
Estabilidad en aparatos flotantes muy esbeltos.

- Para ciertos cuerpos que podríamos considerar de “muy” poca manga, tales como compuertas de diques, cilindros verticales, densímetros y otros, podríamos establecer una condición estable que se aparta totalmente de las consideraciones analizadas anteriormente. Vale decir no tienen validez los análisis de estabilidad que se usan convencionalmente en una nave.
- Para ello se debe hacer un diseño tal que “siempre” el centro de gravedad del cuerpo flotante se encuentre BAJO el Centro de Boyantez “B”.
- En esta condición siempre tendremos un momento positivo de adrizamiento al generarse una escora.



Estos mismos principios pueden emplearse si queremos diseñar una embarcación ‘involcable’, vale decir debemos dejar el centro de gravedad “bajo” el centro de boyantez. Tendríamos eso sí una embarcación con ‘demasiada’ estabilidad, lo que se llama muy ‘dura’, que volvería rápidamente a su posición adrizada pero que sería muy “mareadora” e incómoda para sus tripulantes.

INCIDENCIA DE LA POSICIÓN DE “G” EN LA ESTABILIDAD.



Supongamos que la nave del gráfico tiene su centro de boyantez en B. Imaginaremos tres diferentes posiciones del centro de gravedad G. En la posición superior producirá un brazo de adrizamiento 'rojo', en la posición intermedia producirá un brazo de adrizamiento 'verde' y en su posición inferior producirá un brazo de adrizamiento 'azul'. Es evidente que cuanto más baja sea la posición del centro de gravedad, mayor será el brazo de adrizamiento y por lo tanto mayor será el "momento de adrizamiento" (y mayor será la estabilidad).

Teóricamente si el centro de gravedad G coincide con el metacentro M no habrá brazo de adrizamiento y por lo tanto la estabilidad sería nula, aunque veremos posteriormente que gracias al movimiento de M se generarán brazos de adrizamiento positivos.

CURVA DE ESTABILIDAD ESTÁTICA.

Hemos visto la importancia del ‘brazo de adrizamiento’ y del ‘momento de adrizamiento’ como parámetros de la estabilidad de la nave, pero es necesario cuantificar en forma objetiva la “cantidad” de estabilidad que tiene la nave y establecer si ella es grande, mediana, pequeña suficiente o insuficiente. Para ello debe analizarse la **CURVA DE ESTABILIDAD ESTÁTICA FINAL**, que es, en forma figurada, una ‘fotografía’ de la estabilidad.

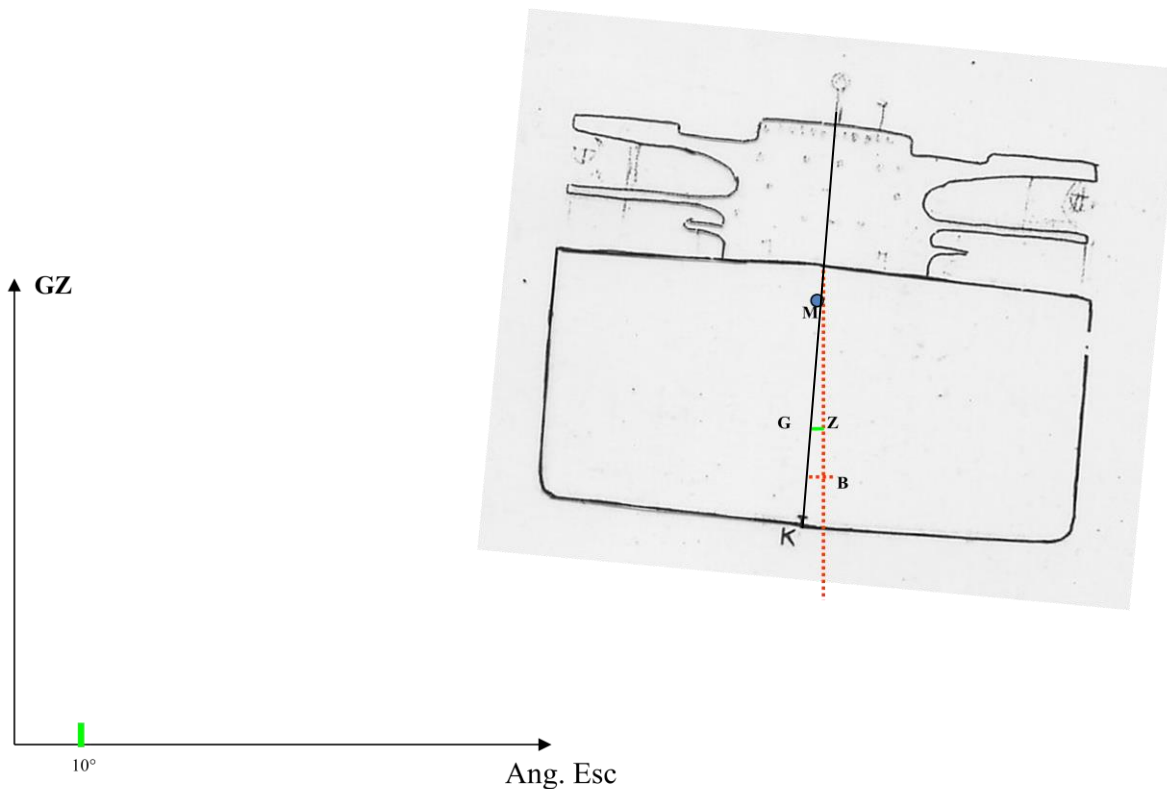
De su análisis podrá determinarse finalmente si la nave tiene la estabilidad suficiente para navegar o si ésta tiene que modificarse para dar la suficiente seguridad a la tripulación, la carga y la nave.

Cabe hacer presente que la cantidad de estabilidad debe ‘manejarse’ dentro de ciertos rangos, ya que si ésta es pequeña la nave puede ser insegura, pero si es muy grande sufrirá la estructura de la nave, algunas maquinarias o equipos pueden funcionar defectuosamente, la carga puede dañarse (colapsarse contenedores) y la tripulación y/o pasajeros pueden estar incómodos (y/o mareados).

Puede apreciarse que a medida que aumenta la escora aumenta también la magnitud del brazo de adrizamiento.

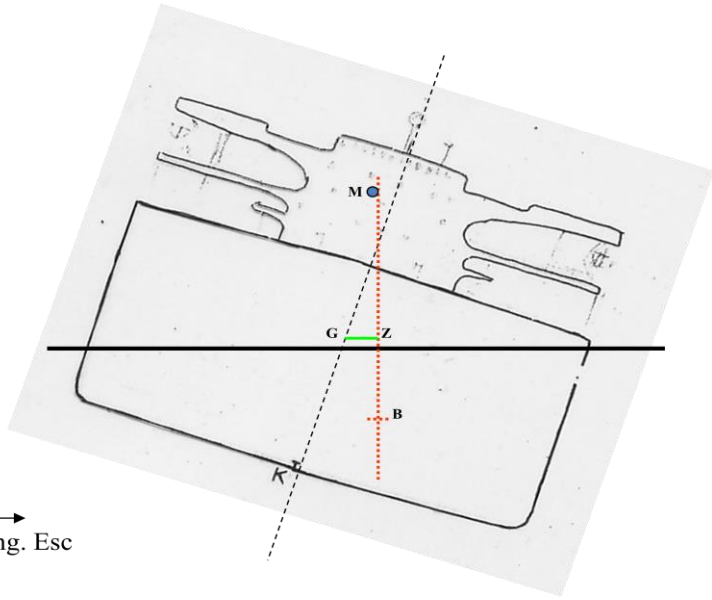
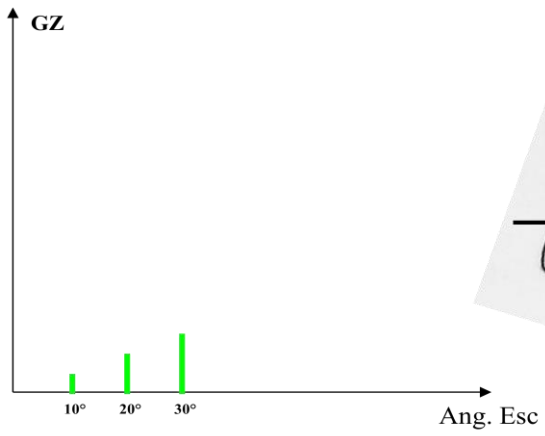
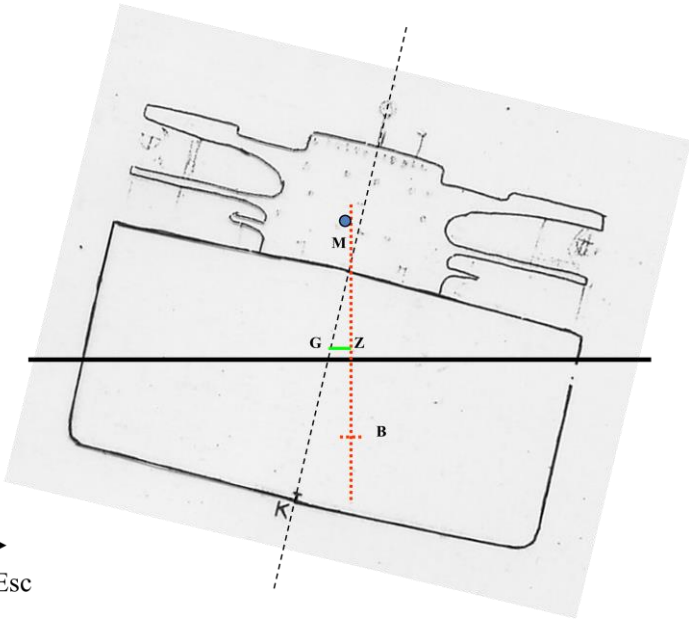
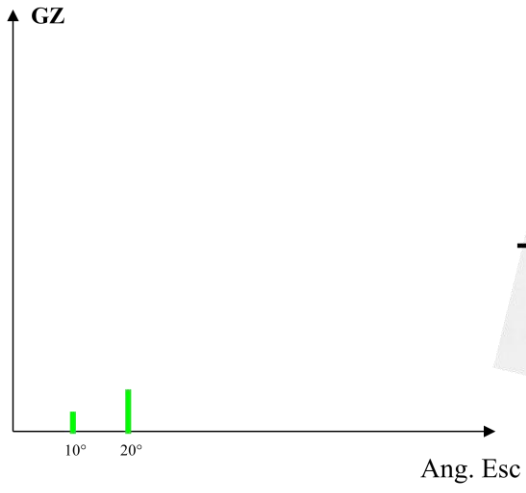
Tendremos que para una condición de carga (y su correspondiente desplazamiento) la magnitud del brazo de adrizamiento GZ será función de la posición vertical del centro de gravedad, KG , y del ángulo de escora. La solución la tendremos al crear un gráfico que indique el valor de GZ para la altura de G sobre la quilla (KG) y para los distintos ángulos de escora que pueda tener la nave. Este gráfico es lo que se conoce como **CURVA DE ESTABILIDAD ESTÁTICA**.

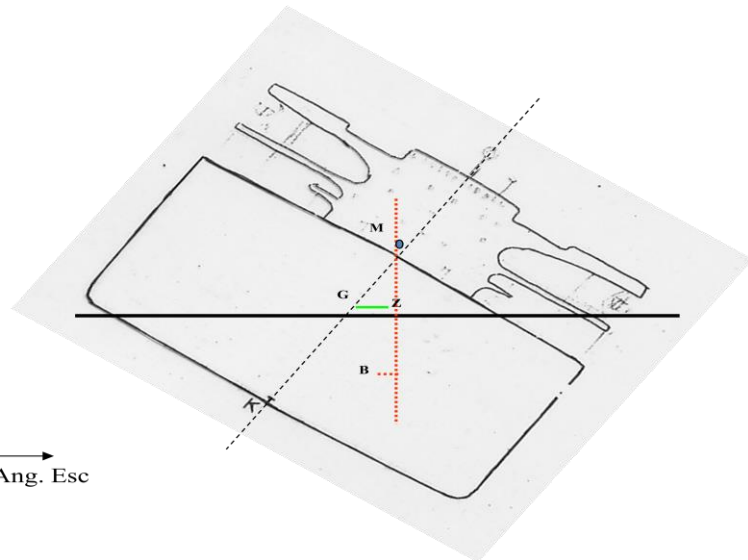
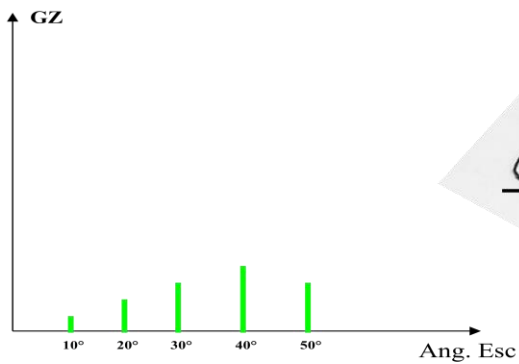
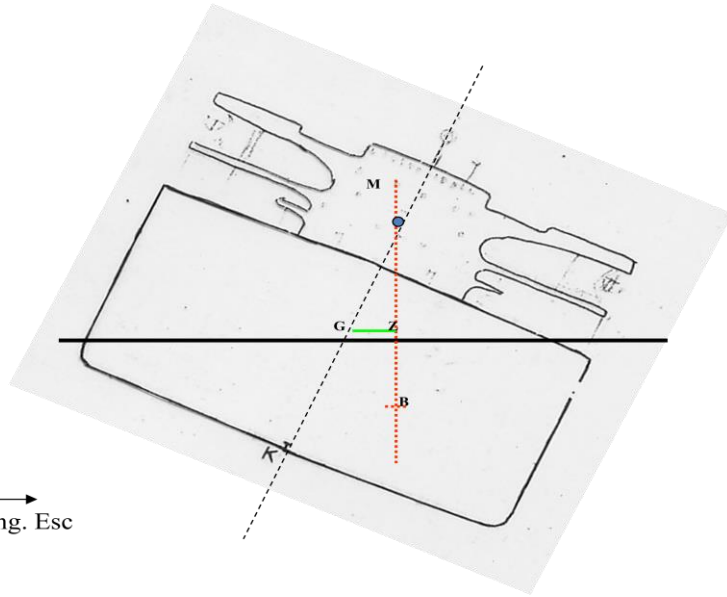
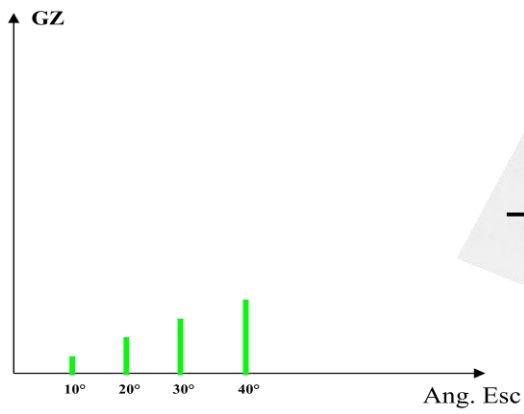
GENERACIÓN DE LA CURVA DE ESTABILIDAD



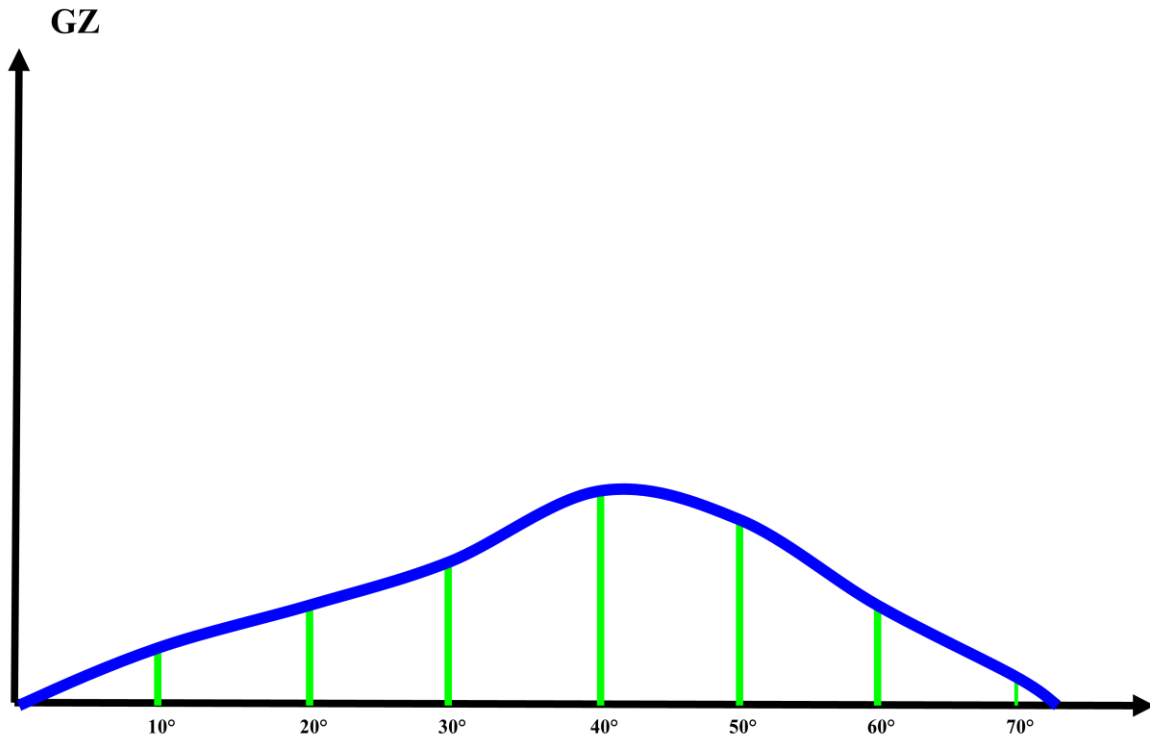
Supongamos que escoramos una nave 10° y que pudiéramos medir la magnitud del brazo de adrizamiento GZ (trazo color verde). Llevamos esta magnitud a un sistema de ejes coordenados con los ángulos de escora en el eje de las abscisas y los brazos de adrizamiento en las ordenadas. En la posición correspondiente a 10° ubicamos el trazo (verde) correspondiente al brazo de adrizamiento. (ver gráfico de ejes coordenados).

Repetimos la operación para diferentes ángulos de escora, obteniéndose los gráficos que se adjuntan:





Al unirse los extremos de los brazos GZ se obtiene una curva (dibujada en color azul), o función gráfica, que nos permitiría calcular el brazo de adrizamiento GZ para cualquiera de los, teóricamente, infinitos ángulos de escora que pudiera tener el barco.



De la Curva de Estabilidad Estática puede obtenerse la siguiente información:

- 1.- Brazo de Adrizamiento GoZ para cualquier ángulo de escora.
- 2.- Angulo(s) de escora correspondiente(s) a un cierto GoZ.
- 3.- Máximo GoZ.
- 4.- Ángulo para máximo GoZ.
- 5.- Angulo de volcamiento (o “límite de estabilidad)
- 6.- Áreas bajo la curva (lo que indica la “estabilidad dinámica” correspondiente).
- 7.- GoM gráfico.

Nota: el subíndice “subcero” puesto junto al símbolo G del centro de gravedad (G_0) indica que se ha corregido en G la ‘subida virtual’ por efecto de las ‘superficies libres’ que pudieran existir en el barco, lo que se tratará posteriormente.

El procedimiento para calcular y dibujar la curva de estabilidad se verá posteriormente, luego de verse el uso de las Curvas Cruzadas.

VALORES DE GoM NORMALMENTE USADOS EN NAVES MERCANTES

Carga General	0,30 a 0,50 m
Tanqueros	0,30 a 1,00 m
Portacontenedores	0,30 a 0,60 m
Ro-Ro	1,20 a 1,50 m
Bulk Carrier	2,00 a 3,00 m

DETERMINACIÓN DE “KM”

Veremos que es importante saber la ubicación del metacentro para pequeños ángulos de escora (M), ya que el parámetro “GM” será un antecedente interesante para quienes manejen la estabilidad de la nave. Su valor (KM) se obtiene de las curvas o tablas hidrostáticas, pero igualmente veremos algo de la teoría para su determinación.

En primer término indico la expresión matemática que permitirá llegar a saber cuál será la posición de M.

$$BM = \frac{I}{V}$$

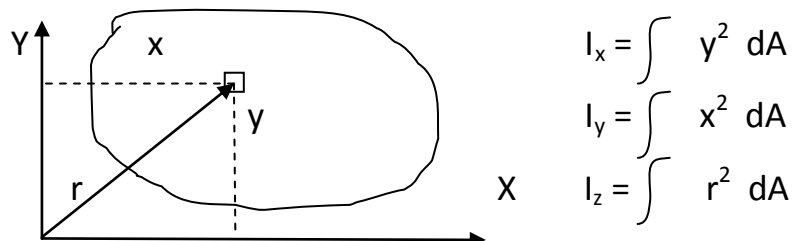
En que “I” es el momento de inercia del área del plano de flotación (A_{wl}) con respecto a la línea de crujía de dicho plano (expresado en m^4) y “V” es el valor del volumen sumergido del barco (expresado en m^3).

El valor del volumen sumergido es fácil de calcular, ya que se obtiene de las curvas o tablas hidrostáticas, o mediante lectura de los calados, pero el cálculo del momento de inercia (I) es complicado.

Analizaremos el cálculo de KM para una barcaza en forma de caja.

Recordaremos algunos conceptos de los momentos de inercia

- En general, un momento de inercia es el **producto** de una dimensión física o geométrica (punto, línea, área, volumen, masa, etc...) por una distancia al **cuadrado** a un punto (momento de inercia polar) o a un eje (momento de inercia axial).

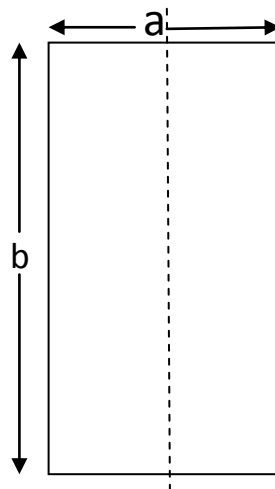


Ya que las formas de los cascos y sus componentes no responden a ecuaciones algebraicas fáciles de determinar, las integraciones anteriores no serán fáciles de resolver. Los astilleros, a través de sus computadores y de las curvas y tablas hidrostáticas darán la solución práctica que el operador de la estabilidad necesitará en sus cálculos de la estabilidad de la nave.

Como aproximación daremos la expresión que usaremos para casos de cuerpos flotantes con forma de caja, en que el plano de flotación será un rectángulo.

El momento de inercia de un rectángulo con respecto a uno de sus eje de simetría está dado por la expresión:

$$I_{y-y} = 1/12 (\text{lado paralelo a eje}) \times (\text{lado perpendicular a eje})^3$$



o sea

$$I = 1/12 a^3 \times b$$

Si se trata de una barcaza tendríamos

$$I = 1/12 \text{ manga}^3 \times \text{eslora}$$

Por tratarse de un cuerpo flotante con forma de caja, tendremos que la altura del centro de flotación, o sea KB, será la mitad del calado.

$$KB = \text{calado} / 2$$

Problema:

Una barcaza con forma de caja tiene las siguientes medidas:

Eslora 25,64 m

Manga 8,78 m

Puntal 4,88 m

Calado 3,30 m

KG 3,00 m

- Flota en agua de mar. Calcular W, Reserva Flotabilidad, TPC, KB, BM, KM y GM.

- **SOLUCIÓN**

- Volumen Sumergido = $25,64 \text{ m} \times 8,78 \text{ m} \times 3,30 \text{ m} = 742,89 \text{ m}^3$
- Desplazamiento $W = \text{Vol. Sum.} \times \gamma = 742,89 \text{ m}^3 \times 1,025 \text{ TM/m}^3 = 761,47 \text{ TM}$
- Franco bordo = Puntal – Calado = $4,88 \text{ m} - 3,30 \text{ m} = 1,58 \text{ m}$
- Reserva Flot = $25,64 \text{ m} \times 8,78 \text{ m} \times 1,58 \text{ m} = 355,69 \text{ m}^3 = 364,58 \text{ TM}$

- $TPC = 25,64 \text{ m} \times 8,78 \text{ m} \times 1 \text{ m} \times 1,025 \text{ TM/m}^3 / 100 = 2,31 \text{ TPC}$
- $KB = \text{Calado} / 2 = 3,30 \text{ m} = 1,65 \text{ m}$
- $BM = I / V = 25,64 \text{ m} \times (8,78 \text{ m})^3 / 12 / 742,89 \text{ m}^3 = 1,95 \text{ m}$
- $KM = KB + BM = 1,65 \text{ m} + 1,95 \text{ m} = 3,60 \text{ m}$
- $GM = KM - KG = 3,60 \text{ m} - 3,00 \text{ m} = 0,60 \text{ m}$

PROBLEMA

- Para la barcaza del problema anterior, ¿cuál debería ser la nueva manga para que el radio metacéntrico BM aumente en un 20%?
- Calcular W, Reserva Flotabilidad, TPC, BM, y GM, considerando que mantenga el calado y la misma posición vertical de "G".

- **SOLUCIÓN**

- El nuevo BM debería ser $1,95 \times 1,2 = 2,34 \text{ m}$
- Nueva manga = 9,63 m
- Vol Sumerg = 814,5 m³
- W = 834,8 TM
- Rva Flot = 390 m³
- = 399,7 TM
- BM = 2,34 m
- GM = 0,99 m
- TPC = 2,53

PROBLEMA

- Una barcaza tiene 83,3 m de eslora, 22,45 m de manga, 12,38 m de puntal y 5,55 m de calado. g.e. agua mar 1,011
- Se determina que su GM es de 2,12 m.
- Calcular la posición de su centro de gravedad (KG)

SOLUCIÓN

$$\text{Volumen Sumerg.} = 10.379 \text{ m}^3 \quad W = 10.493,1 \text{ TM}$$

$$\text{BM} = 7,57 \text{ m} \quad \text{KM} = 10,35 \text{ m}$$

$$\text{KG} = 8,22 \text{ m}$$

Metacentro Longitudinal “ M’ ” en una Barcaza

- En general, la posición vertical de “M’ ” puede encontrarse mediante la expresión
- $\text{BM}' =$
- En que “ I’ ” es el Momento de Inercia del Plano de Flotación con respecto a su sección media y “V” es el volumen sumergido del casco

En la expresión algebraica del momento de inercia I’ tendremos que es la eslora la que estará elevada a la tercera potencia, lo que dará un alto valor de ella y por lo tanto la altura (KM’) del metacentro longitudinal tendrá también un alto valor. Ello nos indica que la estabilidad longitudinal tendrá también un alto valor, a tal punto que el encargado de la estabilidad no se preocupa mayormente de ella. Los conceptos de estabilidad longitudinal se usan principalmente para calcular los calados de las naves.

Problema

- Para la misma Barcaza de un problema anterior:
- Eslora 25,64 m
- Manga 8,78 m
- Puntal 4,88 m
- Calado 3,30 m
- KG 3,00 m
- Flota en agua de mar g.e. 1,025
- Calcular la altura metacéntrica longitudinal GM'

SOLUCIÓN

- Para un plano de flotación de forma rectangular, el Momento de Inercia 'Longitudinal' puede calcularse con la siguiente expresión
- $I = 1/12 \text{ Eslora}^3 \times \text{Manga}$
- $BM' = 1/12 \times 25,64^3 \times 8,78 / (25,64 \times 8,78 \times 3,3)$
- $= 16,60 \text{ m}$
- $KM' = KB + BM' = 1,65 + 16,60 = 18,25 \text{ m}$
- $GM' = KM' - KG = 18,25 - 3,00 = \underline{15,25 \text{ m}}$

Nota:

¿Cambia algunos de estos valores si la nave pasa a flotar en agua dulce?

Sí, cambian, ya que variaría el volumen sumergido y por lo tanto cambiaría el valor del radio metacéntrico BM y BM'.

PROBLEMA

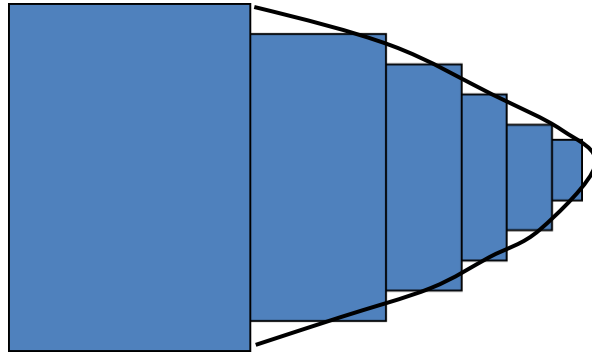
- Para la M.N. "ANTONIA", determinar el momento de inercia transversal y longitudinal del plano de flotación, si su calado es de 7,33 m. Obtener la información necesaria de las tablas hidrostáticas.

SOLUCIÓN

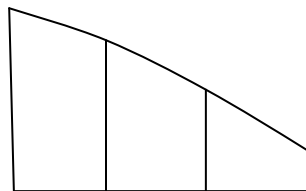
- $TKM = 12,57 \text{ m}$
- $BM = TKM - KB$
- $= 12,57 \text{ m} - 3,77 \text{ m}$
- $= 8,80 \text{ m}$
- $BM = I / V$
- $I = V \times BM$
- $= 28.828 \text{ m}^3 \times 8,8 \text{ m}$
- $= 253.686,4 \text{ m}^4$

Momento de Inercia del Plano de Flotación

Las áreas de los planos de flotación de las naves NO son rectángulos como en el caso de las barcas con forma de caja, por lo que el cálculo de los correspondientes momentos de inercia no son tan sencillos de realizar. Si no se dispone de un software apropiado se puede recurrir a un cálculo aproximado, dividiendo el área en una serie de rectángulos y sumando los correspondientes momentos de inercia de ellos. Cuantos más rectángulos usemos en la división del área, mayor exactitud conseguiremos.

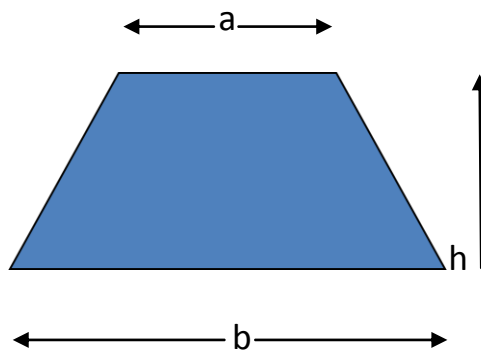


Mejor resultado obtendremos si en vez de dividir el área en rectángulos lo hacemos dividiendo el área en trapecios.



Fórmulas para Trapecios

- Si los lados paralelos miden “a” y “b” y la distancia entre los lados paralelos es “h”:
- $\text{Area} = \frac{1}{2} (a + b) h$
- El Mto de Inercia “I” con respecto a la simetral será
- $I = \text{Area} (a^2 + b^2) / 24$
-



Conclusiones

- 1.- Es muy importante en el valor de KM (y de BM) la manga de la nave, ya que en el momento de inercia (I) la manga está elevada a la tercera potencia.
- 2.- La eslora no tiene mayor influencia, ya que si operamos con la fórmula obtendremos:

$$BM = (\text{manga})^2 / 12 / \text{calado}$$

- 3.- A mayor calado disminuye BM y KM, ya que en el denominador de la fracción del cálculo de BM se encuentra el volumen sumergido 'V'.