INTRODUCCIÓN AL TRABAJO FIN DE GRADO:

Presento este trabajo para la obtención del título de Grado en Náutica y Transporte Marítimo por la Escuela Técnica Superior de Náutica de Santander, perteneciente a la Universidad de Cantabria, donde he cursado estos estudios.

Una vez superadas todas las asignaturas de la carrera y cuando ya me encuentro haciendo prácticas académicas, he optado por escoger la materia de este trabajo, inclinándome por el transporte de grano dentro de la asignatura de Teoría del Buque, de la que he cursado tres asignaturas.

Una vez puesta en contacto con el profesor de la asignatura, entre los dos vimos la posibilidad de trabajar sobre los momentos escorantes de las bodegas de grano que están dispensadas de enrasar sus extremos por ser compartimentos espacialmente adecuados.

En los cuadernillos de estabilidad que se usan en las prácticas de las asignaturas de Teoría del Buque en la Escuela, no se dispone de información para este tipo de bodegas, quedando reducida a solo los momentos escorantes para bodegas convencionales de un buque multipropósito como es la motonave “Medusa”.

De esta manera, consiguiendo tener las tablas de momentos escorantes volumétricos para este tipo especial de bodegas mencionado más arriba, se completa la información sobre grano para las prácticas y uso por parte de los alumnos de la Escuela.

CONTENIDO DE LOS CAPÍTULOS

INTRODUCCION

En la teoría del buque, éste, es analizado como un flotador que se mueve parcialmente sumergido en un líquido, que para nuestro caso, será agua salada o dulce, para deducir las formas y dimensiones más apropiadas.

También estudia el equilibrio y la estabilidad. que es la propiedad de recobrar la posición de equilibrio si la pierde por algún motivo.

DEFINICIONES

Para poder situar y entender algunos puntos y líneas más importantes de un buque nos hace falta saber primero algunos conceptos.

Plano de flotación:

Superficie del agua donde flota el barco

Línea de flotación:

Separa la parte seca de la que está en contacto con el agua. Es la intersección del casco con el plano de flotación

Área de flotación:

Superficie común al plano de flotación y al casco

Obra viva, carena o volumen sumergido:

Parte del buque que está por debajo de la línea de flotación

Obra muerta:

Parte del buque que está por encima de la línea de flotación

Perpendicular de proa:

Vertical trazada por la intersección de la cara de proa de la roda con la flotación en carga de verano.

Perpendicular de popa:

Si el timón es compensado, pasa por el eje del timón y si no pasa por la arista de popa del codaste popel.

Perpendicular media:

Es la línea que se encuentra en la mitad de la distancia de las perpendiculares de proa y popa. Determina la **cuaderna maestra**

Eslora entre perpendiculares:

Es la distancia entre las perpendiculares de proa y popa

Eslora total o máxima:

La distancia longitudinal comprendida entre los planos transversales trazados por los extremos más salientes de proa y popa

Línea de base o trazado:

Línea paralela a la línea de máxima carga trazada por la parte inferior de la cuaderna maestra.

Manga de trazado:

Mayor distancia transversal medida en la cuaderna de ka parte más ancha del barco sin contar forros.

Manga en el fuerte o fuera de forros:

Mayor distancia transversal medida en la cuaderna de la parte más ancha del barco contando el espesor de las chapas..

Puntal de construcción:

Medida entre la cara exterior de la quilla y la intersección del canto alto del bao con el costado de acuerdo a la cubierta de que se trate.

Puntal de trazado:

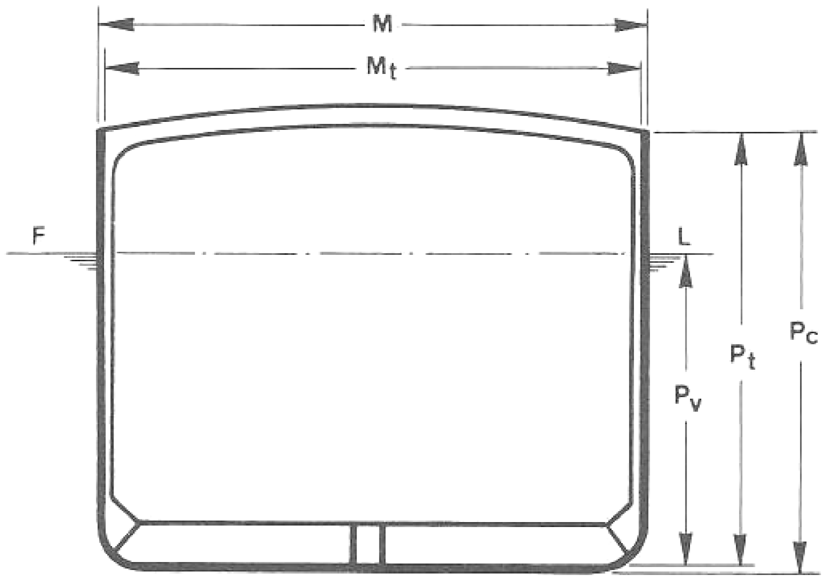
Se descuenta el espesor de la quilla

Puntal de bodega:

Distancia del canto superior de esa bodega a la cara exterior del forro del plan de bodega.

Puntal de obra viva o Calado teórico (Pv),

distancia vertical comprendida entre la línea de agua cero y la flotación en carga en verano. La línea de agua cero o línea base, es la línea horizontal trazada por el canto interior de la quilla.



Planos y líneas de formas:

Se proyecta el caso exterior en tres planos coordenados..

Horizontal o de base: Paralelo al plano de flotación. Pasa por la línea de la quilla. Nos sirve de referencia para las coordenadas verticales

Longitudinal o diametral: Plano de simetría del barco .Nos indica la línea central Lc , en un corte transversal.

Transversal: Pasa por la perpendicular de popa y por la sección maestra. Sirve de referencia para distancias horizontal longitudinal.

Se obtiene la caja de cuadernas, a un lado del eje se representan las de popa y a otro las de proa.

Centro de gravedad de un buque (G)

Es el punto en el que puede suponerse concentrado el peso del barco o también el punto de aplicación del vector representativo de su peso.

Las condiciones de estabilidad de un buque van a depender de dos puntos: el centro de gravedad y el metacentro. Es importante determinar la posición exacta para saber las condiciones de estabilidad en diferentes condiciones.

La ordenada vertical, **KG** es la altura del centro de gravedad sobre la quilla y nos dice como se encuentra el barco de estabilidad para un desplazamiento dado.

La abscisa **XG**, nos da la distancia a la cuaderna maestra, nos dirá el asiento del barco, es decir si G está a pro

Si existe coordenada transversal, **LcG** es la distancia de G al plano transversal, nos indicará la escora del buque.

Depende de la distribución de los pesos.

Centro de carena (C)

Es el centro de gravedad del volumen sumergido, su centro geométrico. Es el punto en el que se aplica la fuerza del empuje.

Cuando varía el calado, varía el volumen de carena

Metacentro (M)

Punto de intersección del empuje que ejerce el agua, sobre el casco del barco adrizado y en aguas iguales, con la dirección del nuevo empuje del agua en caso de escorar el buque.

Se llama inicial cuando el buque parte de su posición de adrizado

Se llama transversal cuando el movimiento de rotación del buque se considera sobre el eje longitudinal (movimiento de inclinado es hacia babor o estribor)

Se llama metacentro longitudinal cuando el movimiento de rotación es sobre el eje transversal (movimiento de inclinado es hacia proa o popa).

Radio metacéntrico. (CM)

Distancia comprendida entre el centro de carena y el metacentro. Puede variar para cada ángulo de escora debido a que corresponde al radio de curvatura en cada inclinación de la curva que describe el centro de carena, C al escorar el buque

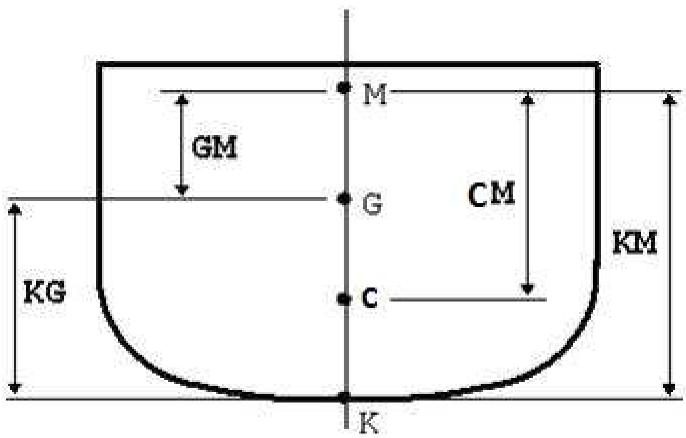
$$\boldsymbol{CM = \frac{I}{V}}$$

Donde I es el momento de inercia y V el volumen

Altura metacéntrica. (GM)

Es la distancia que separa al centro de gravedad del buque del metacentro. De ella va a depender la estabilidad del buque

Si consideramos **K** el punto más bajo, la referencia para medir las distancias, en un corte transversal y en **posición** de adrizado ,los diferentes puntos se representarían:



GM = KC + CM – KG

CM = KM - KC

COMPORTAMIENTO DE G AL CARGAR O DESCARGAR O TRASLADAR UN PESO

Descarga

En el siguiente dibujo se puede apreciar el movimiento del centro de gravedad de un buque, de, G a G´, cuando se descarga un peso (en toneladas). La dirección hacia la que se mueva, dependerá de donde esté colocado el peso.

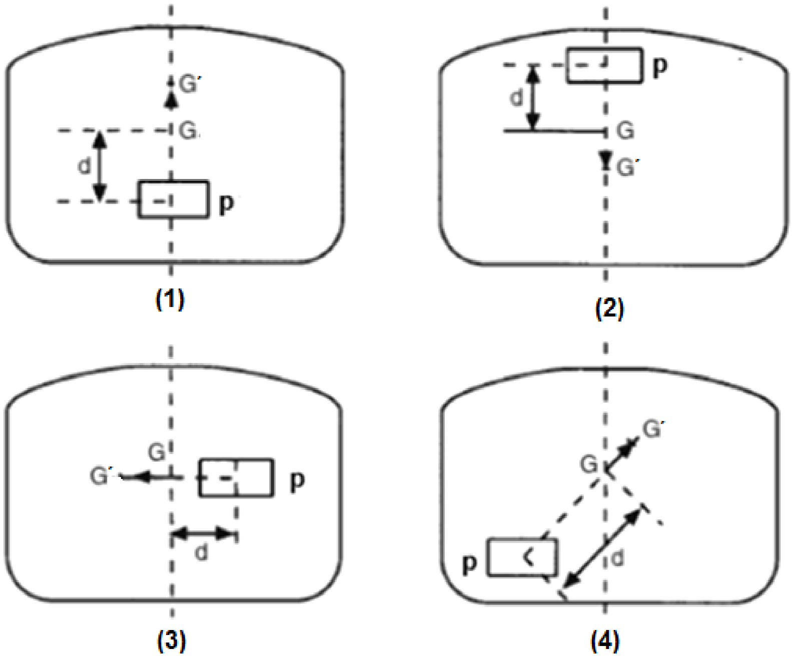


Figura (1), el peso(p) está colocado verticalmente debajo del centro de gravedad, el G sube

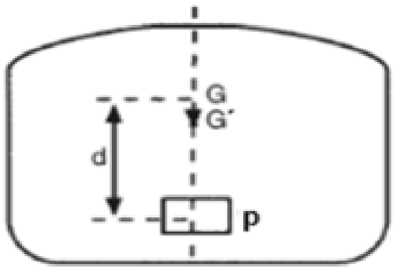
Figura (2), el peso(p) está colocado verticalmente sobre el centro de gravedad, el G baja

Figura (3), el peso(p) está colocado a estribor del centro de gravedad ,el G se va a babor

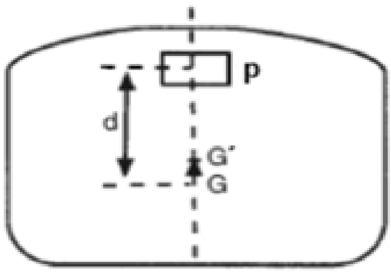
Figura (4), el peso(p) está colocado debajo del centro de gravedad, y a babor , el G se mueve hacia arriba y a estribor

Carga

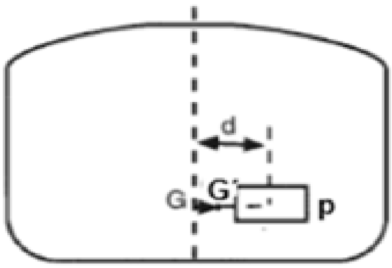
También aquí podemos observar, gráficamente , el movimiento que experimenta el centro de gravedad del buque de G a G, cuando se descarga un peso.



(1)

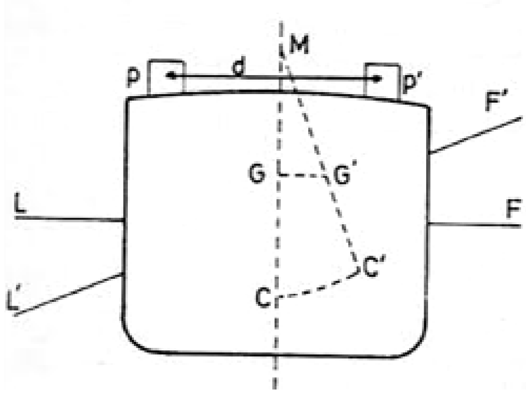


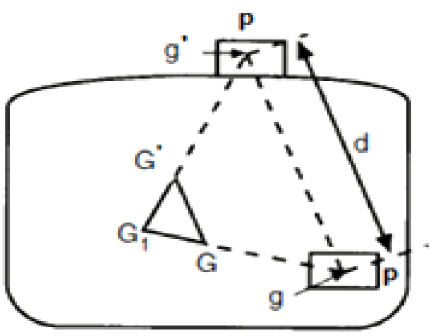
(2)



(3)

Y el último caso que nos queda por ver es un traslado de pesos, longitudinalmente, como en la figura o si fuera una serie de movimientos, se considerará la distancia total





Que puede ser vertical, longitudinal o transversal , el centro de gravedad del buque G , se traslada paralelamente , en una distancia que viene da por el.

$$\boldsymbol{p * d = D * GG´}$$

$$\boldsymbol{GG´ = \frac{p * d}{D}}$$

Siendo D el desplazamiento final total del buque, teniendo en cuenta lo que hemos hecho con el peso.

Y esta misma es la distancia que va a disminuir o aumentar el KG del buque

$$\boldsymbol{KGf = KG \pm GG´}$$

Además nos indica distancia del centro de gravedad a la línea central en una vista transversal, es decir, LcG

$$\boldsymbol{LcG = GG´}$$

En cuanto a la componente longitudinal (XG), distancia del centro de gravedad a la línea central entre perpendiculares en una vista longitudinal, se comporta de la misma manera:

$$\boldsymbol{XGf = XG \pm GG´}$$

Gracias al ***TEOREMA DE VARIGNON: "***El momento respecto de un punto dado O de la resultante de varias fuerzas concurrentes es igual a la suma de los momentos de cada una de las fuerzas respecto al mismo punto O",

Si cada una de estas componentes, brazos, los multiplicamos por el peso correspondiente, obtenemos los momentos y podremos saber la posición de

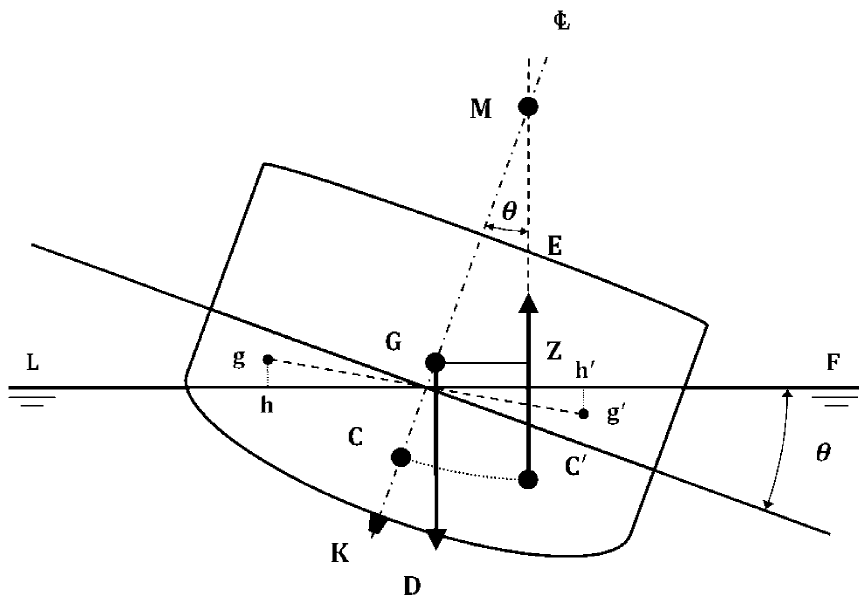
G., cuando hemos terminado con las operaciones de pesos y tenemos un desplazamiento final calculado

Se elabora una tabla, incluido el buque antes de la carga, con sus tres coordenadas, y debajo se van poniendo el resto de los pesos con sus respectivas coordenadas; se suman los momentos de igual nombre y el peso total. Si dividimos el momento entre el desplazamiento tendremos la coordenada correspondiente, y obtendremos la posición para la situación final del buque.

MOVIMIENTO DE C AL PRODUCIRSE UNA ESCORA

Ante un movimiento de pesos a bordo o por la acción del viento y las olas, un buque puede escorar y producir estos cambios en la posición del centro de gravedad y de su centro de carena que veremos ahora:

Al escorar el buque, es decir al girar alrededor del eje de inclinación transversal, un ángulo θ, sin variar su desplazamiento total



Se crean entre las dos flotaciones, una cuña de inmersión y otra de emersión exactamente iguales, el empuje de la cuña se ha trasladado de g a g´, y al hacer este traslado, el centro de carena C, se mueve en dirección al empuje trasladado y paralelamente a la línea que une los puntos de gravedad

$$gg' = d$$

Y de la misma forma que antes podemos calcular el movimiento de C:

$$CC' = \frac{p * d}{D}$$

o en función de su volumen, considerando la densidad del agua de mar:

CC´= $V_{cuña*}1{,}025*d/V_{sumergido}*1{,}025$ = $\mathbf{(V_{cuña}*d)/\ V_{sumergido}}$

En buques de costados verticales y para pequeñas inclinaciones y teniendo en cuenta que las cuñas son prismas triangulares y por tanto su sección un triángulo, la distancia transversal entre los centros de gravedad es igual a 2/3 de la manga (M), ya que la distancia de g y g´ a la línea central

$$\boldsymbol{Lcg = \frac{2}{3} * \frac{M}{2}}$$

$$\boldsymbol{CC' = \frac{2}{3} * \frac{p * M}{D}}$$

ESTABILIDAD

La estabilidad depende de las formas del buque y del reparto de pesos; hay que tener presente que las formas para un buque determinado son invariables, mientras que los pesos son variables y el lugar donde se colocan también, luego para un buque dado la estabilidad depende del valor del peso o desplazamiento y de su estiba

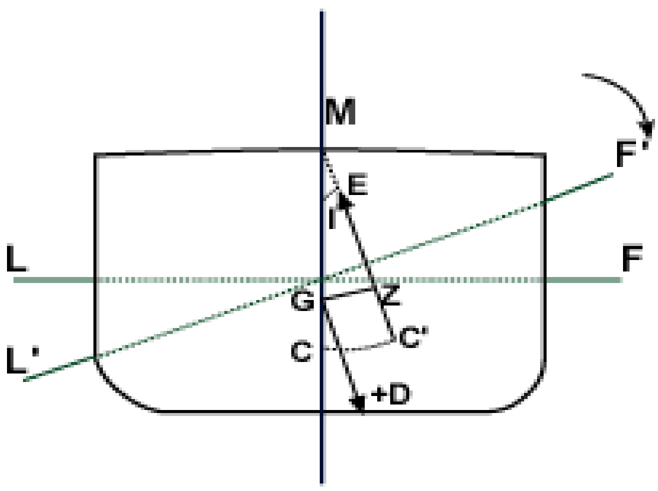
Un cuerpo cuando se encuentra parcialmente sumergido en un líquido en reposo está sometido , como hemos visto, a la acción de dos fuerzas verticales de sentido contrario: el peso o desplazamiento, aplicado en el centro de gravedad (G) y el empuje aplicado en el centro del volumen sumergido (carena)(C).

La condición necesaria de equilibrio exige que ambas fuerzas sean opuestas y de igual magnitud y que se encuentren sobre la misma vertical.

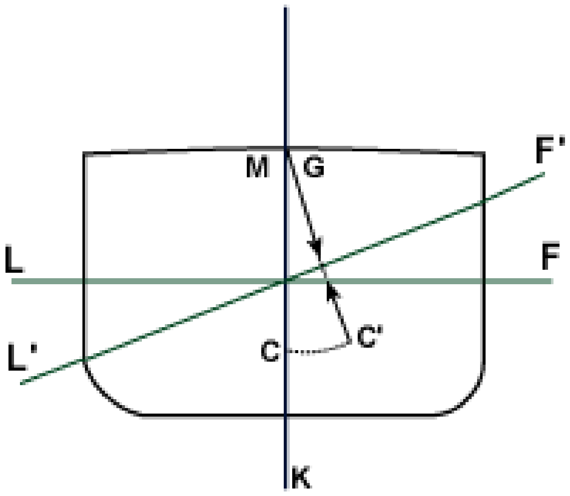
Si no están en la misma vertical se forma un par de fuerzas que hace girar al cuerpo hasta que se encuentren nuevamente en la misma vertical

TIPOS DE EQUILIBRIOS

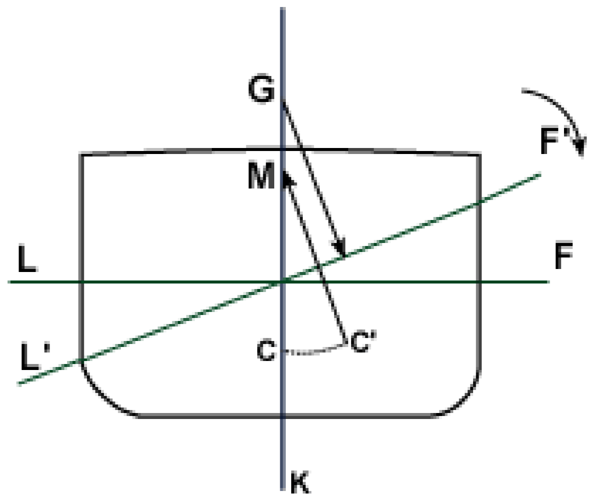
1.-Equilibrio estable o estabilidad positiva
Cuando al escorar un buque, a causa de una fuerza exterior, M se encuentra situado por encima de G, el brazo del par generado (GZ) hace adrizar al buque. **GM +KM > KG**



2.-Equilibrio indiferente o estabilidad nula
En el caso de que coincidan G y M no se genera ningún par de fuerzas por lo que el buque quedará en la posición escorada.. GM nulo **KM=KG**



.3- Equilibrio inestable o estabilidad negativa.
Cuando el centro de gravedad se halle más alto que el metacentro, el par de estabilidad hará girar el barco en el sentido de la flecha y por tanto aumentaría su escora.GM -KM < KG.

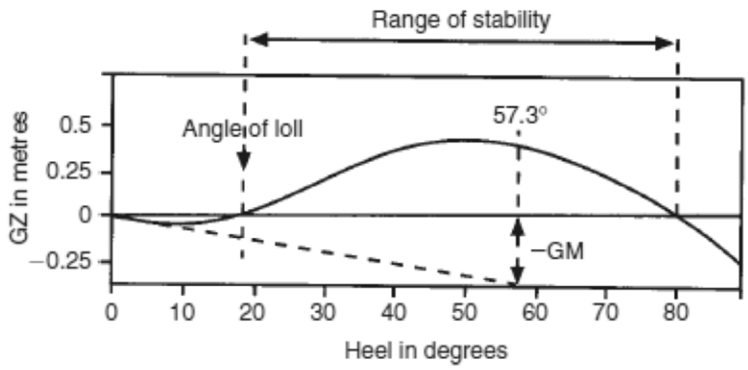


Si un buque tiene este tipo de equilibrio, es decir, la altura metacéntrica GM, es negativa, su brazo adrizante, y por tanto también su momento, será cero.

Al ángulo de escora al cual ocurre esto es el llamado **ángulo de tumba (**en inglés **loll)** y permanecerá así en aguas tranquilas.

Si el buque se inclina más, el brazo adrizante aparecerá par hacerlo volver al ángulo de tumba y oscilará el mismo ángulo a una y otra banda en lugar de adrizarse.

En la curva de estabilidad se observa que GZ ,para el ángulo de tumba es cero.



El ángulo de tumba en buques de costados rectos, puede hallarse mediante la fórmula:

$$GZ = sen\theta * (GM + \frac{1}{2} * CM * tg\theta)$$

Y considerando que GZ se hace cero

$$\boldsymbol{GZ = 0}$$

Quiere decir que uno de los dos miembros de la ecuación debe ser cero

$$\boldsymbol{sen\theta = 0;\ \ \theta = 0}$$

Sustituyendo estos valores en la primera ecuación, llegamos a:

$$\boldsymbol{tg\theta = \sqrt{\frac{2 * GM}{CM}}}$$

Esta situación se puede llegar a dar cuando, al final del viaje los tanques bajos, de combustible, se van vaciando, el buque pierde peso en su parte más baja y hace subir el centro de gravedad G. A esto se puede sumar, en ciertas latitudes la formación de hielo en la cubierta, es decir, se está cargando un peso en la parte alta del buque, que también hace que G suba.

Para mejorar esta situación se pueden mover pesos hacia la quilla,(si hay grúas subidas, se bajan) o añadir agua en los tanques de lastre, de doble fondo.

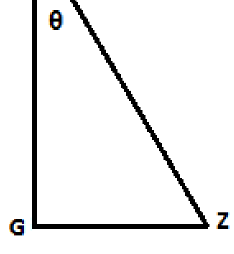
Hay que tener mucho cuidado con el efecto de superficies libres cuando se mueven, cargan o descargan líquidos.

Si se opta por rellenar tanques de lastre, se rellenarán los más bajo (los de la parte de la escora) y los más pequeños y si están subdivididos mejor y hacerlo uno por uno, ya que al principio , el G subirá por el efecto de las superficies libres.

ESTABILIDAD TRANSVERSAL

Es la propiedad por la cual , un buque separado de su posición de equilibrio, por la acción del viento o de las olas, tiende a recobrar la posición de adrizado.

Como D sigue actuando en G, si el ángulo de escora no excede de 10º, hacia abajo y el empuje (E) actuando ahora en C´, se forma un par de fuerzas conocido como par de estabilidad transversal estática, por considerar al agua en reposo, cuyo brazo es GZ y es perpendicular al empuje C´M.



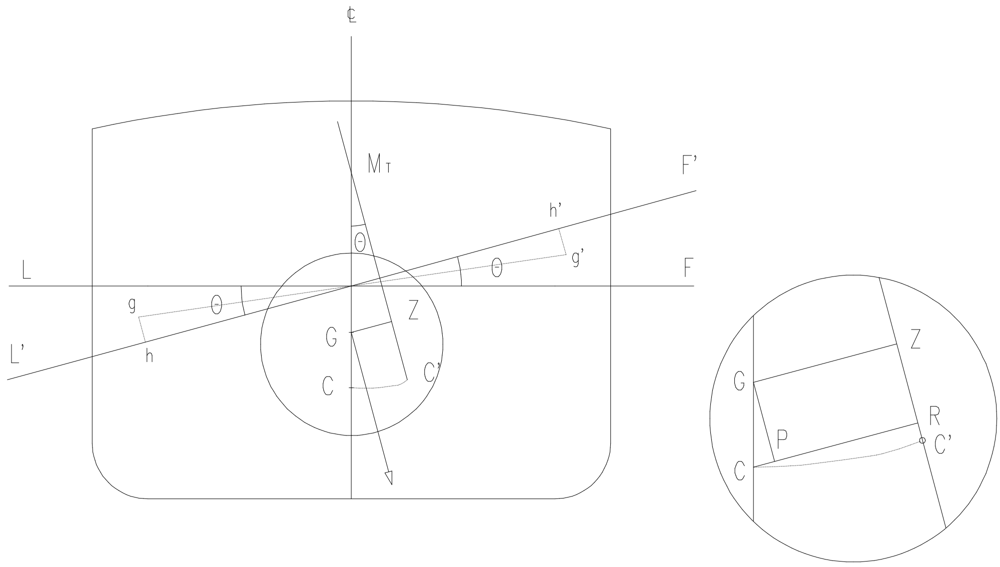
Del triángulo que se forma podemos hallar el valor del brazo GZ para pequeñas inclinaciones:

$$\boldsymbol{GZ = GM * sen\theta}$$

Y su momento:

$$\boldsymbol{D * GZ = D * GM * sen\theta}$$

Para ángulos de escora mayores de 10º la estabilidad no se juzga por el valor del GM ya que el metacentro se encuentra situado sobre la vertical del empuje C ´pero fuera de la diametral en un falso metacentro. En este caso el valor del brazo del par se mide por la perpendicular GZ trazada desde G a la vertical del empuje, obteniéndose dicho valor por la FORMULA DE ATWOOD



$$\boldsymbol{GZ = CR - CP}$$

$$\boldsymbol{CC' = \frac{Vc * gg'}{D}}$$

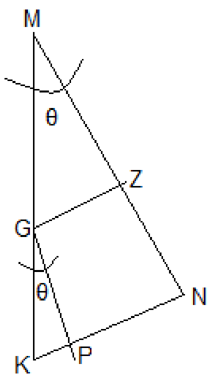
$$\boldsymbol{CR = \frac{Vc * h1h2}{D}}$$

El producto $V_c \times h_1 h_2$, es el llamado momento de transferencia.

$$CP = CG * sen\theta$$

$$\boxed{GZ = \left(\frac{Vc * h1h2}{D}\right) - CG * sen\theta}$$

También podemos hallar GZ, el brazo del par, a partir de KN,



$$GZ = PN = KN - KP$$

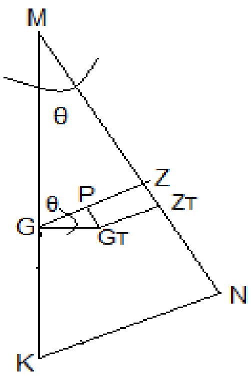
$$KP = KG * sen\theta$$

$$GZ = KN - KG * sen\theta$$

Si calculamos los diferentes valores del brazo para diferentes escoras, obtendremos la curva de brazos del par de estabilidad GZ, cuyas características son:(Los buques disponen de tablas KN)

1. La curva parte del origen
2. La curva hasta los 10º de escora aproximadamente es casi una línea por ser GZ = GM*senθ y el seno crece proporcionalmente al ángulo.
3. La curva continúa aumentando hasta llegar a un GZ máximo que debe corresponder a escoras superiores a 30º o 35º
4. A partir del máximo valor la curva disminuye hasta un punto donde llega a anularse, es el ANGULO LIMITE O CRITICO
5. Si el ángulo de escora sigue aumentando, el par pasa a ser escorante y tiende a dar la vuelta
6. Si existen correcciones al KG, para el cálculo de GZ se empleará el KG corregido.

Cuando existe una escora permanente debido a pesos asimétricos



G_TZ_T = GZ – GP (GZ = KN - KG*senθ)

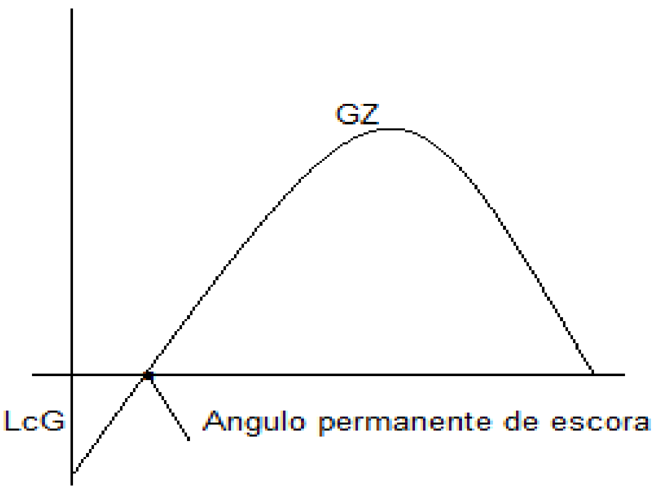
GP = GG_T*cosθ

GG_T = LcG

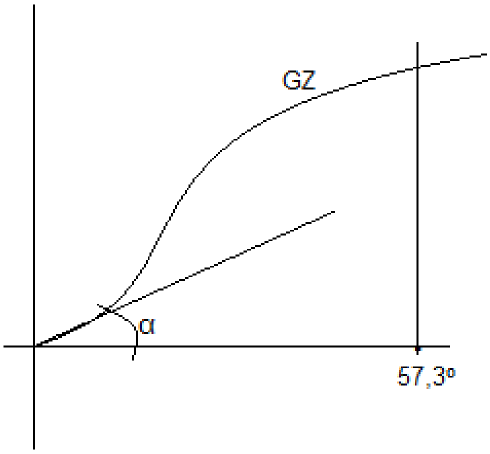
G_TZ_T = KN - KG*senθ - LcG*cosθ

Que nos dará como resultado una curva GZ que comienza en los valores negativos

Inclinación en el origen de la curva GZ



La importancia de la inclinación de la curva en el origen es debido a que la tangente a la curva forma con el eje de las abscisas un ángulo α que nos dice el valor de la altura metacéntrica GM**.**



La derivada de la función de la curva mide la pendiente de la tangente a la curva, es la tangente trigonométrica del ángulo que forman las abscisas con la tangente en dicho punto

Sabemos que para pequeños ángulos de escora el brazo adrizante está determinado por GZ = GM*sen θ = GM * $\theta_{radianes,}$, por lo tanto el primer tramo de la curva es una recta ya que las ordenadas GZ son proporcionales a las abscisas θ, entonces la pendiente de la recta será

$$tg\alpha = \frac{\mathbf{GZ}}{\mathbf{\theta radianes}} = \mathbf{GM}$$

Por lo tanto si llevamos a las abscisas el valor de θ = 1radián = 57,3º, obtendremos sobre la tangente en el origen el valor de GM.

Criterio de estabilidad de Rahola

Tomando como base la estabilidad de algunos barcos hundidos, hay casos famosos como el buque británico PRINCESS VICTORIA en 1953 que por mal tiempo y habiéndose roto una escotilla de carga se escoró hasta hundirse. Y uno de los más desastrosos fue el italiana ANDREA DORIA, a pocas millas de USA que al ser abordado por el carguero STOCKOLM. entró agua y escoró 20º cuando su escora máxima de seguridad era de 15º. el finlandés Rahola, dedujo unos valores mínimos que deben tener los brazos del par de estabilidad estática y dinámica para considerar que la estabilidad de un buque es aceptable criterio basado en los brazos adrizantes (corregido por superficies libres), y el ángulo de inundación.

La curva de estabilidad estática nos da la medida del comportamiento de un buque escorándose en aguas tranquilas y por ello este criterio exige unos valores mínimos para GZ en determinadas escoras.

Escora de 20º = GZ = 14 cm

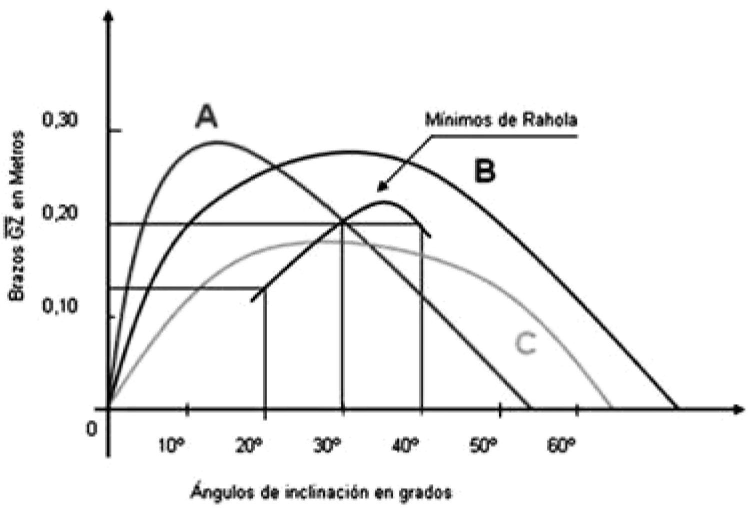
Escora de 30º = GZ = 20 cm

Escora de 40º = GZ = 20 cm

El máximo de la curva de brazos GZ deberá estar comprendido entre los ángulos 30º y 40º

El brazo dinámico para 40º debe ser como mínimo 8 cm/radián. Si el ángulo de inundación es menor a 40º.

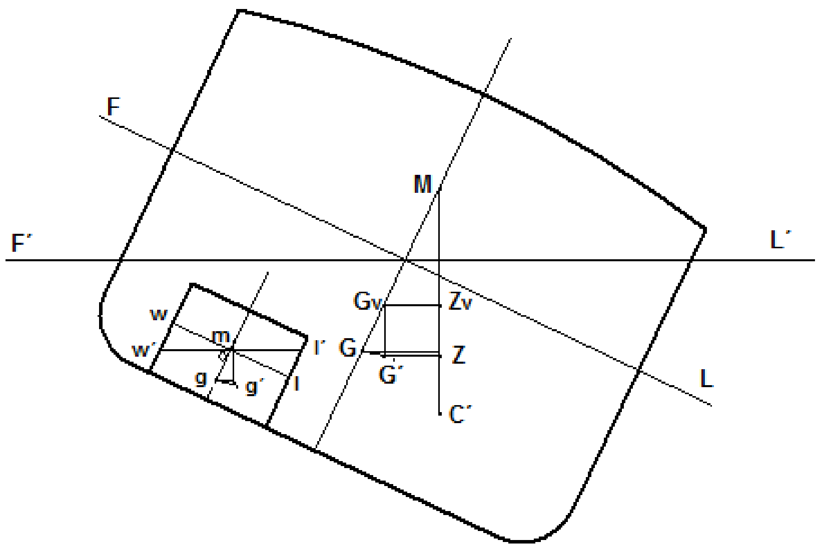
En la siguiente figura se muestran tres curvas correspondientes a tres buques, A y C cumplen parcialmente con los criterios de Rahola mientras que solo B satisface todos los requisitos.



SUPERFICIES LIBRES

Cuando un tanque está parcialmente lleno, de un líquido, moviéndose en su interior, de densidad cualquiera ρ_1 , la superficie libre de este, se inclina en los balances poniéndose su nivel paralelo a las flotaciones del buque. Estos movimientos traen como consecuencia una subida del centro de gravedad del barco que se conoce como "efecto de superficies libres o carenas líquidas" y que nos provocará una disminución del GM, (pérdida de estabilidad.)

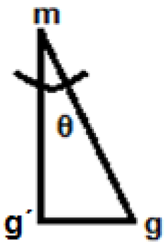
Al escorarse el barco , hay un traslado de pesos y el movimiento de C y G se puede estudiar de la manera mostrada anteriormente



El centro de gravedad del tanque en el interior del buque(**g**) se desplaza a (**g'**), por lo que a los fines del análisis es como si se tratara de una traslación trasversal de pesos, por esta razón el centro de gravedad del buque también experimenta un corrimiento hacia la banda de escora representado en la figura por el segmento (**GG'**). Se observa que este desplazamiento lateral puede visualizarse como si fuese una elevación del centro de gravedad del buque a una nueva posición (**Gv**), el brazo adrizante es ahora (**G'Z'**) o (**GvZ**).

Entonces se ve claramente que acción o efecto de una superficie libre genera la elevación virtual del centro de gravedad con la consiguiente pérdida de estabilidad..

Recordando: **GG´ = P*dt /D**,



siendo **dt = gg´** y teniendo en cuenta el triángulo:

donde podemos ver la relación **gg´ = gm* senθ**

y sabiendo por Bouguer que **gm = i/v,**

ya que g coincide con el centro de carena del tanque y

cm= i/v

donde **i = (1/12)*eslora*manga**^{3} es el momento de inercia de la flotación del tanque y v el volumen del líquido del tanque.

Podemos escribir la fórmula del movimiento del centro de gravedad en función de su volumen (Peso = Volumen*densidad)

$$\mathrm{GG´} = \frac{\mathrm{P} * \mathrm{dt}}{\mathrm{D}} = \frac{\mathrm{v} * \rho 1 * \mathrm{dt}}{\mathrm{V} * \rho 2} = \frac{\mathrm{v} * \rho 1 * \mathrm{gm} * \mathrm{sen}\theta}{\mathrm{V} * \rho 2} = \frac{\mathrm{i}}{\mathrm{v}} * \frac{\mathrm{v} * \rho 1 * \mathrm{sen}\theta}{\mathrm{V} * \rho 2} =$$

$$\mathbf{GG´} = \frac{\mathbf{i} * \boldsymbol{\rho}\mathbf{1} * \mathbf{sen}\boldsymbol{\theta}}{\mathbf{V} * \boldsymbol{\rho}\mathbf{2}}$$

El nuevo par adrizante GZ:

el GM ha disminuido $GG_{V:}$

$$\boldsymbol{GvZv} = GvM * sen\ \theta = (GM - GGv) * sen\ \theta)$$

$$\boldsymbol{GGv} = GG´ * \frac{1}{sen\theta} = \frac{\frac{\mathrm{i} * \rho 1 * \mathrm{sen}\theta}{\mathrm{V} * \rho 2}}{\mathrm{sen}\theta} = \frac{\mathrm{i} * \rho 1}{\mathrm{V} * \rho 2}$$

$$\mathbf{GGv} = \frac{\mathbf{i} * \boldsymbol{\rho}\mathbf{1}}{\mathbf{D}}$$

$$\boldsymbol{GvZv} = \left(GM - \frac{\mathrm{i} * \rho 1}{\mathrm{D}}\right) * sen\ \theta = (GM * sen\ \theta) - \left(\frac{\mathrm{i} * \rho 1}{\mathrm{D}} * sen\ \theta\right)$$

$$\boldsymbol{GvZv = GZ - \left(\frac{\mathbf{i} * \boldsymbol{\rho}\mathbf{1}}{\mathbf{D}} * sen\ \theta\right)}$$

Y para un tanque paralelepípedo y grandes inclinaciones:

$$\boldsymbol{GZcsl} = GZ - \left(\frac{\mathrm{i} * \mathrm{\rho 1}}{\mathrm{D}} * sen\ \theta\right) * \left(1 + \frac{tg\theta}{2}\right)$$

Normalmente los valores de I*ρ que vienen en las curvas de estabilidad, aportan los máximos que se puedan presentar para las distintas superficies libres, para que no se cometa error por defecto si no por exceso y así nunca tengamos menos estabilidad de la calculada, garantizándonos una reserva de estabilidad.

Este efecto será máximo en los tanques de doble fondo para pequeñas inclinaciones y disminuirá con las grandes puesto que el líquido llegará al techo del tanque, disminuyendo como consecuencia la superficie libre.

Como el valor que más afecta al cálculo para la corrección por superficies libres es la manga que está al cubo, en el momento de inercia, a fin de disminuirlo, se divide el tanque longitudinalmente en “n” partes:

$$I = \frac{1}{12} * E * M^3 = \frac{1}{12} * E * \left(\frac{M}{n}\right)^3 * n = \frac{1}{12} * E * \frac{M^3}{n^2}$$

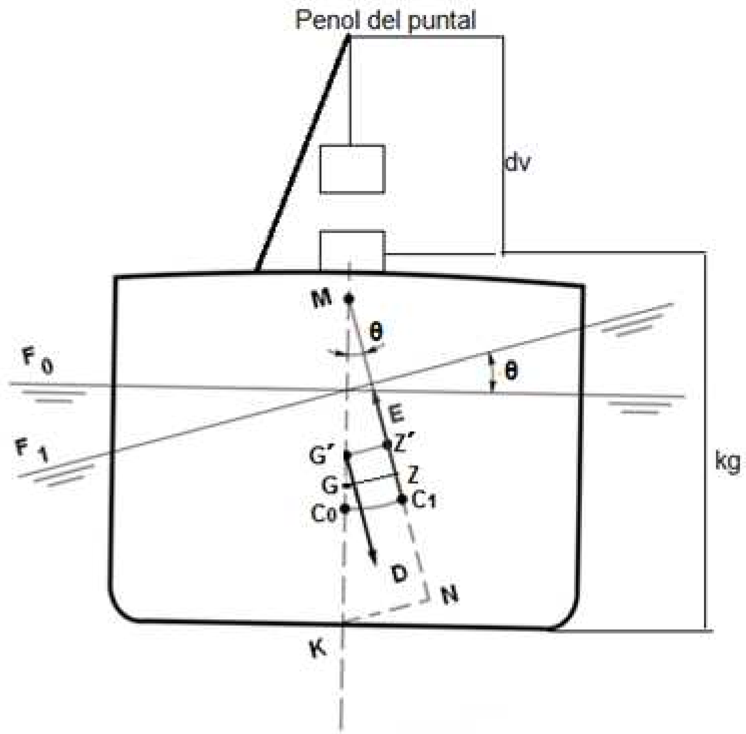
Por lo que el momento de inercia total del tanque:

$$It = \frac{I}{n^2}$$

De haber varios tanques, se suman todos los momentos de inercia.

PESOS SUSPENDIDOS

Considerando el barco en una sección transversal, estando adrizado según la flotación F_0 y en equilibrio con peso y empuje en la misma vertical dentro del plano diametral, y por la acción de una fuerza exterior toma la flotación F_1, lo que sucede si suspendemos un peso, en estas condiciones, que estaba en cubierta y lo elevamos:



$$\boldsymbol{G´Z = GZ - GG´ * sen\theta}$$

$$GG´ = \frac{p * dv}{D}$$

$$GZ = KN - KG * sen\theta$$

$$G´Z´ = KN - KG * sen\theta - \frac{p * dv}{D} * sen\theta$$

$$G'Z' = KN - \left(KG + \frac{p * dv}{D}\right) * sen\theta$$

$$dv = kgpenol - kg$$

$$G'Z' = KN - \left(KG + \frac{p * (kgpenol - kg)}{D}\right) * sen\theta$$

El efecto es el mismo al de un traslado vertical, sólo que el efecto está acentuado debido a que la distancia vertical se cuenta hasta el punto de suspensión del peso (penol), y como estos sulelen ser altos, la pérdida de estabilidad suele ser grande.

Estos fenómenos sucederán durante la carga y la descarga en puerto y por tanto dentro de la estabilidad inicial

Si se trata de un peso retirado del muelle para cargarlo a bordo, se deberá tener en cuenta añadir el peso para hallar el desplazamiento total, y se tratará como si fuera una composición de movimientos, uno vertical y otro transversal, resultando:

$$G'Z' = KN - \left(KG + \frac{p * (kgpenol - kg)}{D}\right) * sen\theta - \left(\frac{p * dt}{Dt}\right) * cos\theta$$

GRANO A GRANEL

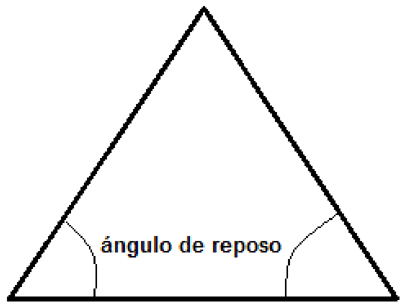
El término «**grano**» abarca el trigo, el maíz, la avena, el centeno, la cebada, el arroz, las legumbres secas, las semillas y el grano elaborado cuyo comportamiento sea análogo al del grano en estado natural.

Son muchos los buques que se han hundido por falta de estabilidad. En la marina española hay casos, como el CASTILLO DE MONJUIT, que desapareció a la salida de USA. por una supuesta mala estiba de la carga de grano y el corrimiento de este a un costado, hizo que se escorara el barco hasta desaparecer.

El comportamiento del grano a granel en una bodega, tiene cierta similitud con el comportamiento de un líquido dentro de un tanque parcialmente lleno, por lo que a veces, a estas cargas se las llama semilíquidas. La diferencia está en que mientras un líquido se adapta casi inmediatamente a la nueva horizontal, dependiendo de su viscosidad, el grano inicialmente no se mueve hasta que no se sobrepasan determinadas inclinaciones, relacionadas con el talud natural. Además los líquidos, vuelven a su posición inicial después de disminuir la inclinación, pero el grano después de un corrimiento no lo hace.

. En ambos casos el peso trasferido está determinado por las dimensiones del espacio vacío por encima de la carga. Sin embargo, al contrario de un líquido, el cual se mueve libre y continuamente con el cambio de inclinación, la carga sólida no se vuelve inestable hasta que la inclinación no supera al ángulo de reposo, incluso se necesita una fuerza activadora adicional para que realmente se provoque el corrimiento. La carga puede soportar un sobre-apilado sin moverse pues la fricción estática entre las partículas es mayor que la fricción dinámica. Una vez ocurre el corrimiento, el mismo argumento indica que no volverá atrás siendo esto más acusado en cargas con un gran ángulo de reposo, La activación más posible para mover una caga inestable, se produce al final de un balance, al cambiar el giro, esto reduce el peso efectivo de las partículas así la fricción entre ellas disminuye, sobre todo en las zonas más al costado de las bodegas que son las más alejadas del eje de giro.

Cuando el grano se deja caer sobre una superficie horizontal plan, el producto forma un montículo, similar a un cono invertido. El ángulo formado por la horizontal y el talud es **el ángulo de reposo,** cuando el grano se estabiliza por sí mismo



Éste, depende del tamaño, forma volumen, superficie del grano, contenido de humedad y orientación que conforman la masa del grano.

Se verá disminuido a menor tamaño de la partícula, menor rugosidad de la superficie de la partícula, menor esfericidad de la partícula, menor humedad de la pila, mayor

Es un indicador útil para saber la fluidez del material, a menor ángulo de reposo, más fluidez.

Estos son los ángulos de algunos granos:

Trigo: 23

Maíz: 21

Cebada: 46

Centeno: 32

Soja: 22

Arroz:20

RESOLUCIÓN MSC 23(59)

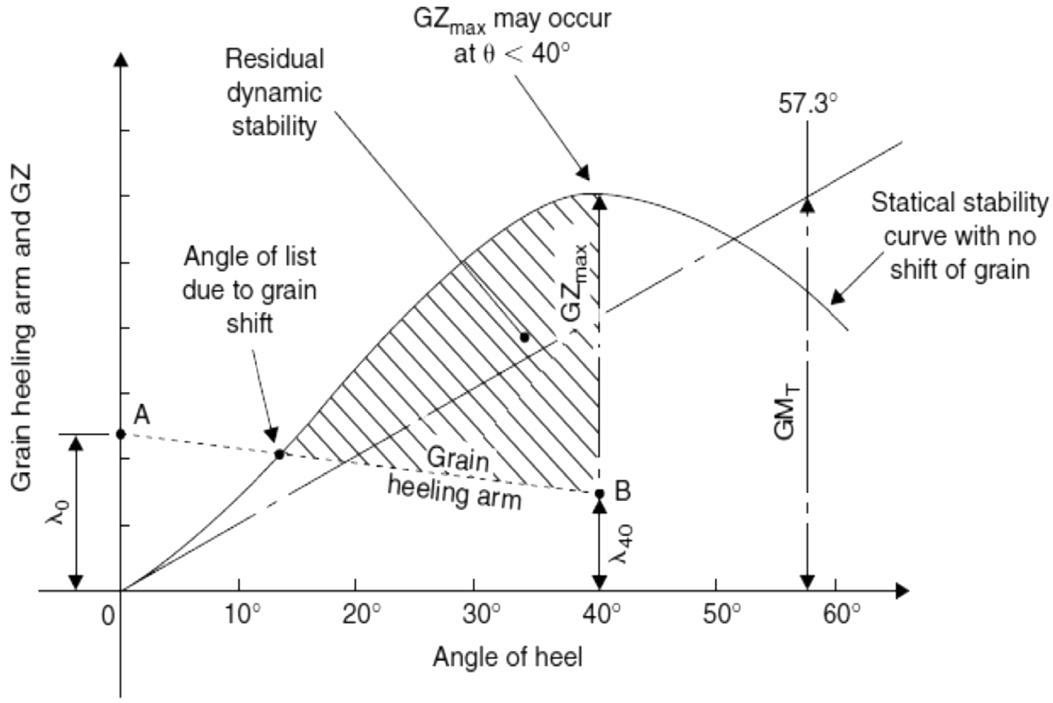
Este comportamiento entraña riesgos y pérdida de buques y vidas; por ello el gobierno español lleva a cabo la APROBACIÓN DEL CÓDIGO INTERNACIONAL PARA EL TRANSPORTE SIN RIESGOS DE GRANO A GRANEL El Comité de Seguridad Marítima, *Recordando* el articulo 28 b) del Convenio constitutivo de la Organización Marítima Internacional, artículo que trata de las funciones del Comité *Tomando nota* de la parte C del capítulo VI revisado del Convenio internacional para la seguridad de la vida humana en el mar 1974 (SOLAS 1974), aprobado mediante la resolución MSC. 22(59), el cual. entre otras cosas, hace obligatorias con arreglo a dicho Convenio las disposiciones del Código internacional para el transporte sin riesgos de grano a granel, Habiendo examinado el texto del Código propuesto,

1. Aprueba el Código internacional para el transporte sin riesgos de grano a granel, cuyo texto constituye el anexo de la presente resolución;

2. Decide que el Código entrará en vigor el 1 de enero de 1994, del que a continuación se mencionan las definiciones y normas, para el transporte de grano, más importantes

“**Antes de cargar grano a granel. el capitán deberá demostrar. si así lo exige· el Gobierno Contratante del país en que se halle el puerto de carga. que el buque puede cumplir en todas las etapas del viaje los criterios de estabilidad prescritos”**

Momentos escorantes o momentos volumétricos escorantes



Una norma fundamental para el transporte de grano establece que después de un posible corrimiento en la bodega, el ángulo de **escora permanente no puede superar los 12º** (o **ángulo de equilibrio estático**) o el ángulo de inmersión del borde de la cubierta si este fuera menor que el anterior.

En el diagrama de estabilidad estática. el área neta o residual comprendida entre la curva de brazos escorantes y la de brazos adrizantes hasta el ángulo de escora en que sea máxima la diferencia entre las ordenadas de ambas curvas. o un ángulo de 40°. o el ángulo de inundación , el que de éstos sea menor ,no será inferior en ninguna condición de carga a **0.075metros rad**

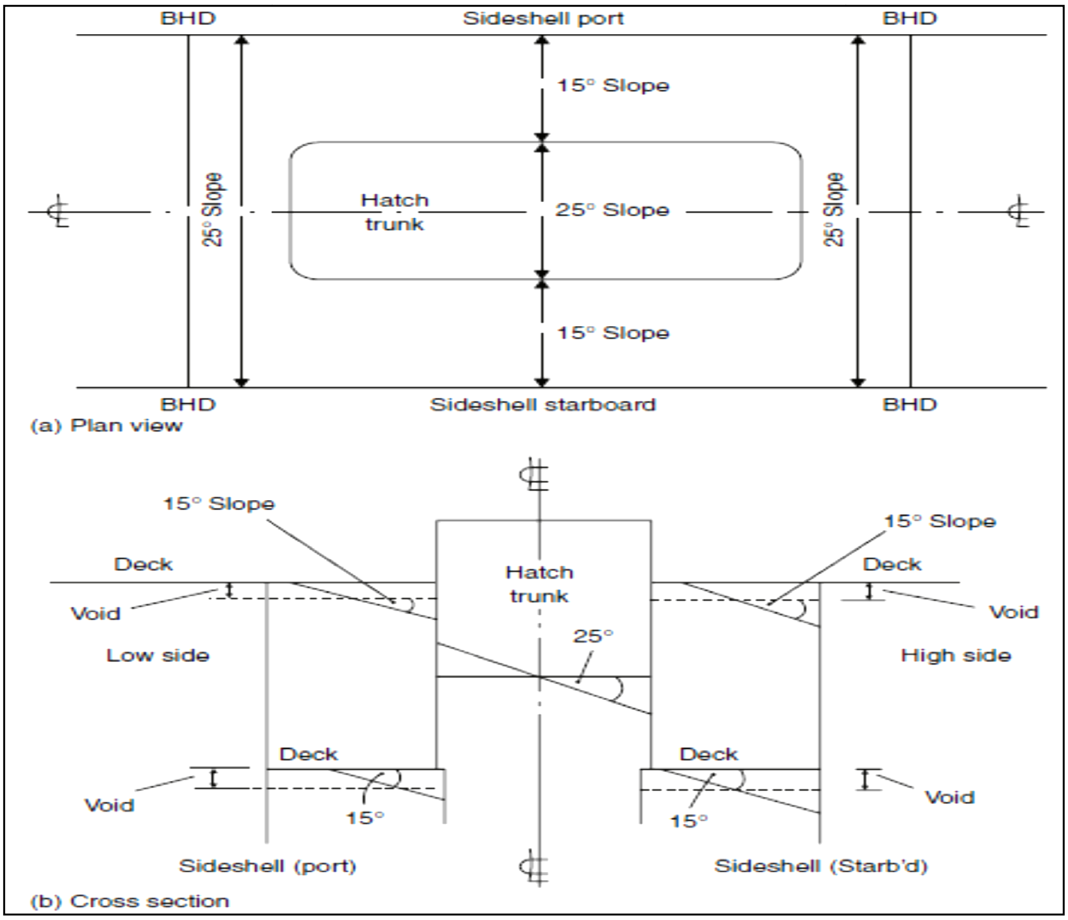
La altura metacéntrica inicial, después de tener en cuenta los efectos de superficie libre de los líquidos contenidos en los tanques, **no será inferior a 0,30 metros**

La curva de brazos adrizantes se deducirá de un número de curvas transversales de estabilidad suficiente para definirla con precisión. incluidas las correspondientes a 12° y 40°.

Los momentos volumétricos se han calculado para después de un corrimiento de grano, se ha decidido asumir los siguientes valores de la pendiente (α) formada por el grano:

α = 25º, con la horizontal para bodegas parcialmente llenas. y superficies de grano no enrasado en las bandas, y a proa y popa de las escotillas

α = 15º con la horizontal para compartimentos llenos hasta la escotilla.



En las especificaciones del buque se nos indican los momentos volumétricos y su uso no persigue otro objetivo que hallar los momentos escorantes siguiendo las reglas de la administración.. A estos momentos hay que aplicarles unas correcciones: "

A fin de demostrar que se cumplen las condiciones de estabilidad estipuladas, los cálculos de estabilidad del buque se basarán normalmente en la hipótesis de que el centro de gravedad de la carga en «un compartimiento lleno enrasado» coincide con el centro volumétrico de la totalidad del espacio de carga. En los casos en que la Administración autorice a tener en cuenta el efecto de los espacios vacíos bajo cubierta hipotéticos sobre la altura del centro de gravedad de la carga en «compartimientos llenos enrasados»,. Será preciso compensar el efecto desfavorable del corrimiento vertical de la superficie del grano aumentando el momento escorante supuesto debido al corrimiento transversal del grano, del modo siguiente:

Momento escorante total = 1,06 x momento escorante transversal calculado.

En todos los casos el peso de la carga de un «compartimiento lleno enrasado» será igual al volumen de la totalidad del espacio de carga dividido por el factor de estiba:

$$\mathbf{p} = \frac{\mathbf{Vt}}{\mathbf{Fe}}$$

Se supondrá que en los "compartimientos llenos sin enrasan", el centro de gravedad de la carga coincide con el centro volumétrico de la totalidad del compartimiento de carga. sin tener en cuenta para ello los espacios que quedan vacíos.

En todos los casos el **peso de la carga será igual al volumen de la carga dividido por el factor de estiba.**

En compartimientos parcialmente llenos el efecto desfavorable del corrimiento vertical de la superficie del grano se tendrá en cuenta como sigue:

Momento escorante total = 1,12 x momento escorante transversal calculado.

Un dato importante para hallar los momentos volumétricos es el factor de estiba: El término «**factor de estiba**» significa, a efectos de calcular el momento escorante producido por un corrimiento de grano, el volumen por unidad de, peso de la carga que se haya certificado en las instalaciones de carga, es decir, que no se tendrá en cuenta ningún espacio perdido cuando se considera 'que el espacio de carga está teóricamente lleno.

Las unidades más comunes son pies cúbicos/ton larga

Tonelada larga (LT) = 1,16 toneladas métricas)

Pie cúbico = 0,0283 m^3

Es decir**:1m^3/tonelada métrica = 35,88 $pies^3$/tonelada larga**

El código de grano de la OMI estipula que los valores de λ_0 y λ_{40} (valores de los brazos escorantes para ese ángulo) determinan gráficamente el ángulo de escora en caso de un corrimiento de grano: La línea AB, se considera una línea recta.

λ_0 = momento volumétrico escorante supuesto debido al corrimiento transversal / Factor estiba*Desplazamiento

λ_{40} = 0,80* λ_0

Para calcular el ángulo de escora permanente ,de nuestro barco, para saber si no supera los 12º, procedemos de la siguiente forma:

Hallamos el total de los momentos volumétricos de todas las bodegas(**ΣMv)**

Calculamos el factor de estiba en **m^3/ton=Fe**

Vamos a la tabla de momentos escorantes máximos permitidos y tomamos el que corresponde a nuestro desplazamiento y KG (memp)

Angulo aproximado de escora permanente = [ΣMv / (memp*Fe)]*12

El brazo escorante producido por el movimiento transversal de un peso, dentro de la estabilidad inicial vale:

$$LcGi = GMc * tg\theta$$

Siendo θ, la escora del buque en un instante determinado.

Si en ese mismo instante, se mueve el grano, tendríamos que el brazo escorante producido por esa carga valdrá:

$$\lambda 0 = \frac{\Sigma Mv}{D * Fe}$$

Siendo Mv el momento volumétrico, brazo resultante será igual a la suma de los dos:

$$LcGf = GMc * tg\theta + \frac{\Sigma Mv}{D * Fe}$$

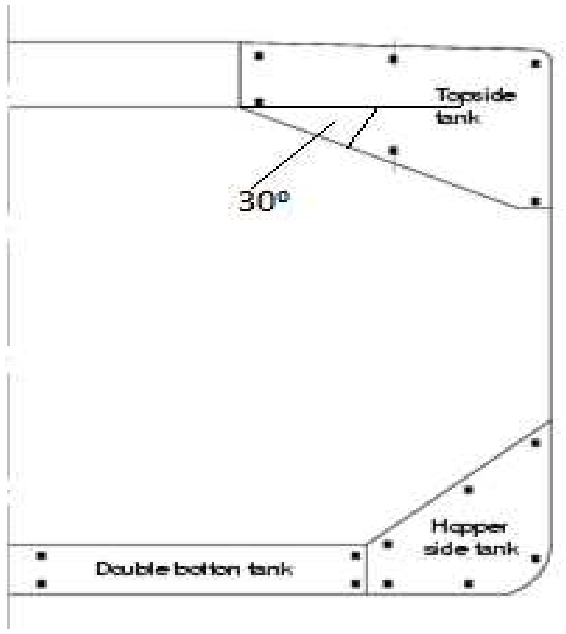
Siempre se hará el cálculo para la situación más desfavorable, cuando el grano se corra a la misma banda de la escora.

El término «**ángulo de inundación**» (θ) significa el ángulo de escora a partir del cual quedan sumergidas las aberturas del casco, las superestructuras o las casetas que no pueden quedar cerradas de forma estanca a la intemperie. En la aplicación de esta definición no será necesario tener en cuenta las pequeñas aberturas a través de las cuales no puede producirse inundación progresiva.

Si las bodegas no son enrasadas, es decir, se deja el grano con el talud provocado durante la carga (la montaña que se forma en la bodega) para el grano es mucho más fácil moverse hacia la banda más baja, debido a las inclinaciones del buque. Aparte que durante la navegación se va asentando y los espacios vacíos van aumentando. Por todo esto la carga del grano debe finalizar con un enrasado de las bodegas.

Este enrasado puede ser difícil en las zonas por debajo de la escotilla, particularmente a proa y popa de ésta.

En las zonas laterales no existe este problema pues se dispone de tanques altos laterales. Se llama a estos compartimentos: "particularmente adecuados"



La expresión «**compartimiento particularmente adecuado**» se refiere a un espacio de carga construido como mínimo con dos divisiones longitudinales, verticales o inclinadas, estancas al grano y que coinciden con las esloras de refuerzo de la escotilla o colocadas de manera que contrarresten el efecto del movimiento transversal del grano. Si son inclinadas, las divisiones deberán tener una pendiente no inferior a 30° con respecto a la horizontal.

1.-**Compartimento lleno enrasado**: indica cualquier espacio de carga en el que el grano a granel. después de cargado y enrasado, alcance el nivel más alto posible. En todo «compartimiento lleno enrasado» el grano a granel se enrasará .de forma que. en la mayor medida posible. queden llenos todos los espacios situados bajo las cubiertas y las tapas de escotilla.

2.-Compartimiento lleno sin enrasar: se refiere a un espacio de carga que se ha llenado a la altura de la escotilla todo lo posible, pero que , no se ha enrasado más allá de la periferia de la escotilla.

En todo «compartimiento lleno sin enrasar, el grano a granel se enrasará en la mayor medida posible a la altura de la escotilla, si bien podrá conservar su ángulo natural de reposo en la periferia de la escotilla

3.-Compartimento parcialmente lleno: se refiere a cualquier espacio de carga en que el grano a granel no se ha cargado de la manera que correspondería a un compartimento lleno sin enrasar ni como uno lleno enrasado.

DESPUÉS DE EMBARCAR LA CARGA, EL CAPITÁN SE CERCIORARÁ DE QUE EL BUQUE ESTÁ ADRIZADO ANTES DE HACERSE A LA MAR

Información sobre la estabilidad del buque y la carga de grano

6 ..1 Se facilitará al capitán un folleto impreso con información que le permita cerciorarse de que el buque cumple con lo prescrito en el presente Código cuando realice viajes internacionales con grano a granel.

6.2 La información, que deberá ser aceptada a juicio de la Administración o de un Gobierno Contratante en nombre de la Administración, incluirá:

1. las características del buque;

2. el desplazamiento en rosca y la distancia vertical desde la intersección de la línea base de trazado y la sección media al centro de gravedad (altura KG);

3. tabla de correcciones por superficie libre de los líquidos;

4. las capacidades y los centros de gravedad;

5. curva o tabla de ángulos de inundación, cuando son inferiores a 40°, para todos los desplazamiento permisibles;

6. curvas o tablas de las características hidrostáticas, adecuadas para la gama de calados operacionales.

7. las curvas transversales de estabilidad que se-precisan para cumplir con lo prescrito en A 7, incluidas las correspondientes a 12° y a 40°.

6.3 La información, que deberá ser aprobada por la Administración o por un Gobierno Contratante en nombre de la Administración incluirá:

1. curvas o tablas de volúmenes, ordenadas de los centros de volumen y momentos volumétricos escorantes

supuestos para cada compartimiento lleno o parcialmente lleno, o combinación de éstos, incluidos los efectos de accesorios temporales;

2. tablas o curvas de los momentos escorantes máximos admisibles correspondientes a distintos desplazamientos y ordenadas oe los centros de gravedad que permitan al capitán demostrar que se cumple con lo prescrito

en A 7.1; esta prescripción se aplicará únicamente a los buques cuya quilla haya sido colocada en la fecha de entrada en vigor del presente Código posteriormente;

3. detalles de los escantillones de todos los accesorios temporales y, cuando sea preciso, de las medidas necesarias para cumplir con lo prescrito en A 7, A 8 yA9;

4. instrucciones de carga en forma de notas que resuman las prescripciones del presente capítulo;

5. un ejemplo resuelto que sirva de modelo al capitán,

6. condiciones típicas de carga de salida y de llegada

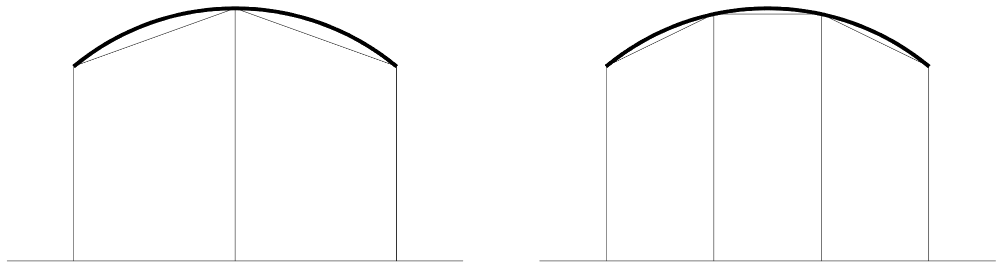
y, cuando sea preciso, condiciones intermedias de servicio más desfavorables.

El corrimiento de grano y sus efectos sobre el KG del barco, es mayor en barcos parcialmente cargados. Las superficies de grano de algunas cargas se extienden a lo largo de la manga, de tal manera que el grano tiene una gran posibilidad de correrse y el peso del corrimiento es grande con respecto al desplazamiento del barco. Sin embargo, el francobordo y por tanto la reserva de flotabilidad, son mayores a la vez que el valor del KG es bajo y estos dos elementos generarán un barco “duro” con una mayor amplitud de estabilidad positiva.

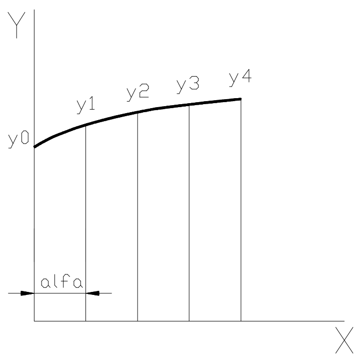
El corrimiento de grano puede generar una escora grande, próxima al máximo permitido de 12º, pero la aumentada “dureza” del barco a grandes ángulos de escora permitirá a la estabilidad dinámica residual cumplir con el valor máximo de 0,075 m.rad. La situación se invierte cuando el barco está completamente cargado. Su amplitud de estabilidad positiva será menor que en el barco parcialmente cargado debido a su reducido francobordo y a su mayor KG. Sin embargo, el corrimiento de carga será menor y menos significativo comparado con el desplazamiento del barco, así la escora resultante será menor que en el barco parcialmente cargado. Un barco bien diseñado deberá cumplir el reglamento de grano para una variedad de situaciones de carga.

MÉTODOS DE INTEGRACIÓN APROXIMADA

El método más simple e intuitivo de integración aproximada es el **método de los trapecios**, en el que se sustituye la función o la curva por varias cuerdas que unen los extremos de las ordenadas (también se puede decir que se sustituye en cada tramo por un polinomio de primer grado). Es evidente que se conseguirá mayor precisión en la medida en que se tenga un número mayor de ordenadas y por consiguiente de cuerdas, pues la adaptación de las cuerdas a la función mejora, tal y como se puede ver en las figuras siguientes.



El procedimiento de cálculo consiste en hallar el área de los distintos trapecios entre ordenadas consecutivas y sumarlos todos. Aquí se parte de que la separación entre ordenadas consecutivas es siempre la misma, o sea, igual a alfa



El trapecio entre y_0 e y_1 tendrá el área:

$$\acute{A}rea_0 = alfa \times \frac{y_0 + y_1}{2}$$

y el siguiente trapecio:

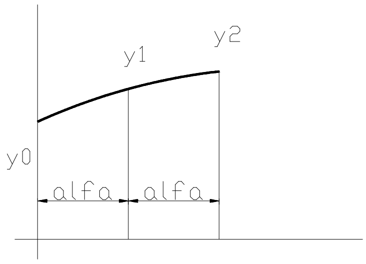
$$\acute{A}rea_1 = alfa \times \frac{y_1 + y_2}{2}$$

Y así sucesivamente, con lo que sacando factor común y arreglando los coeficientes queda:

$$\acute{A}rea_T = alfa \times \left(\frac{y_0}{2} + y_1 + y_2 + y_3 + \frac{y_4}{2} \right)$$

Otro método es el de Simpson. Aquí en vez de cuerdas, se sustituye la función por un polinomio de segundo grado (función cuadrática). Al ser una curva suave su adaptación será mejor que en el método anterior. Puesto que se aplica una función de segundo grado, se puede integrar esta función y buscar un sistema para que partiendo de las ordenadas y del intervalo de separación, se pueda calcular el área.

Primera regla de Simpson.



La función es

$$y = ax^2 + bx + c$$

Integrando para determinar el área:

$$Área = \int_0^{2\alpha} f(x)dx$$

$$Área = \int_0^{2\alpha} y dx$$

$$Área = \int_0^{2\alpha} \left(ax^2 + bx + c\right)dx$$

$$Área = \left[\frac{ax^3}{3} + \frac{bx^2}{2} + cx\right]_0^{2\alpha}$$

$$Área = \frac{a(2\alpha)^3}{3} + \frac{b(2\alpha)^2}{2} + c2\alpha$$

$$Área = \frac{8a\alpha^3}{3} + \frac{4b\alpha^2}{2} + 2c\alpha$$

Sacando factor común $\alpha / 3$

$$Área = \frac{\alpha}{3}\left(8a\alpha^2 + 6b\alpha + 6c\right)$$

Pero también se puede poner:

$y_0 = ax_0^2 + bx_0 + c$ que al ser $x_0 = 0$

$y_0 = c$

$y_1 = ax_1^2 + bx_1 + c$ que al ser $x_1 = \alpha$

$y_1 = a\alpha^2 + b\alpha + c$

$y_2 = ax_2^2 + bx_2 + c$ que al ser $x_2 = 2\alpha$

$y_2 = a(2\alpha)^2 + b2\alpha + c$

$y_2 = 4a\alpha^2 + 2b\alpha + c$

Si se toma $(1y_0 + 4y_1 + 1y_2)$ se obtiene:

$c + 4a\alpha^2 + 4b\alpha + 4c + 4a\alpha^2 + 2b\alpha + c$

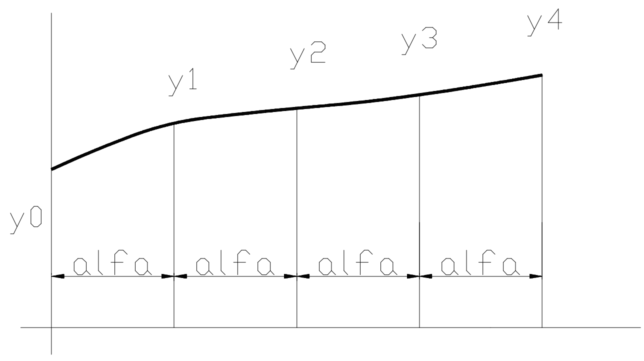
Que equivale a:

$(1y_0 + 4y_1 + 1y_2) = 8a\alpha^2 + 6b\alpha + 6c$

Se puede sustituir:

$$Área = \frac{\alpha}{3}(1y_0 + 4y_1 + 1y_2)$$

Ahora se pueden poner ordenadas de un área anexa



Si se aplica lo anterior a las ordenadas siguientes, al sumar todo se tiene:

$$Área_{TOTAL} = \frac{\alpha}{3}\left(y_0 + 4y_1 + y_2\right) + \frac{\alpha}{3}\left(y_2 + 4y_3 + y_4\right)$$

$$\boxed{Área_{TOTAL} = \frac{\alpha}{3}\left(1y_0 + 4y_1 + 2y_2 + 4y_3 + 1y_4\right)}$$

De aquí se puede sacar la secuencia de coeficientes para las distintas ordenadas. La única limitación es, la de que el número de ordenadas debe ser impar (atención al subíndice 0) y por lo tanto el número de intervalos deberá ser par. Los coeficientes serán:

1 4 1

1 4 2 4 1

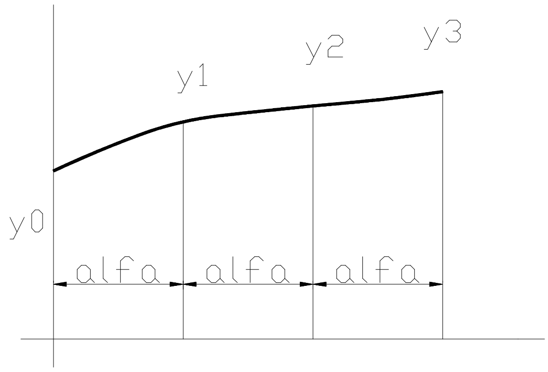
1 4 2 4 2 4 1

1 4 2 4 2 4 2 4 1

1 4 2 4 2 4 2 4 2 4 1

Y así sucesivamente.

En el caso de tener un número de intervalos múltiplo de 3, se podrá aplicar la **segunda regla de Simpson**, en la que se sustituye la curva por una parábola cúbica, tal y como se ve en el siguiente gráfico preparado para el caso inicial de cuatro ordenadas y tres intervalos iguales, necesarios para la función de tercer grado:



Procediendo de una manera similar a la anterior

$$y = ax^3 + bx^2 + cx + d$$

$$A = \int_0^{3\alpha} y\,dx$$

$$A = \left[\frac{ax^4}{4} + \frac{bx^3}{3} + \frac{cx^2}{2} + dx \right]_0^{3\alpha}$$

$$A = \frac{a(3\alpha)^4}{4} + \frac{b(3\alpha)^3}{3} + \frac{c(3\alpha)^2}{2} + d3\alpha$$

$$A = \frac{81a\alpha^4}{4} + \frac{27b\alpha^3}{3} + \frac{9c\alpha^2}{2} + 3d\alpha$$

$$A = \frac{3\alpha}{8}\left(54a\alpha^3 + 24b\alpha^2 + 12c\alpha + 8d\right)$$

$y_0 = ax_0^3 + bx_0^2 + cx_0 + d$ al ser $x_0 = 0$

$$y_0 = d$$

$$y_1 = ax_1^3 + bx_1^2 + cx_1 + d$$

$$y_1 = a\alpha^3 + b\alpha^2 + c\alpha + d$$

$$y_2 = ax_2^3 + bx_2^2 + cx_2 + d$$

$$y_2 = a(2\alpha)^3 + b(2\alpha)^2 + c(2\alpha) + d$$

$$y_2 = 8a\alpha^3 + 4b\alpha^2 + 2c\alpha + d$$

$$y_3 = ax_3^3 + bx_3^2 + cx_3 + d$$

$$y_3 = a(3\alpha)^3 + b(3\alpha)^2 + c(3\alpha) + d$$

$$y_3 = 27a\alpha^3 + 9b\alpha^2 + 3c\alpha + d$$

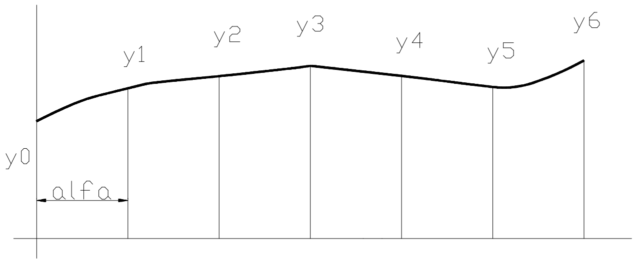
Si se toman $(1y_0 + 3y_1 + 3y_2 + 1y_3)$ resultará:

$$(54a\alpha^3 + 24b\alpha^2 + 12c\alpha + 8d)$$

Sustituyendo

$$A = \frac{3\alpha}{8}(1y_0 + 3y_1 + 3y_2 + 1y_3)$$

Poniendo ordenadas de un área anexa



$$Área_{TOTAL} = \frac{3\alpha}{8}(y_0 + 3y_1 + 3y_2 + y_3) + \frac{3\alpha}{8}(y_3 + 3y_4 + 3y_5 + y_6)$$

$$\boxed{Área_{TOTAL} = \frac{3\alpha}{8}\left(1y_0 + 3y_1 + 3y_2 + 2y_3 + 3y_4 + 3y_5 + 1y_6\right)}$$

La secuencia de coeficientes será:

1 3 3 1

1 3 3 2 3 3 1

1 3 3 2 3 3 2 3 3 1

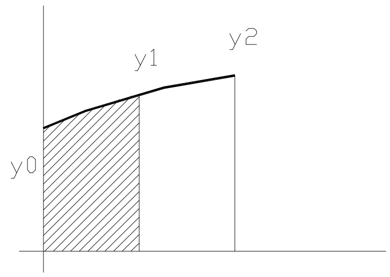
1 3 3 2 3 3 2 3 3 2 3 3 1

Y así sucesivamente.

Al igual que en la primera regla, el coeficiente 2 aparece, pues las ordenadas que separan los grupos pertenecen a ambos, pues termina en ellos una secuencia y empieza la siguiente.

Regla de 5, 8 y -1

Esta regla es una **variante de la primera regla de Simpson**, que sirve para calcular solamente una de las dos áreas, o bien la comprendida entre las ordenadas $\mathbf{y_0}$ e $\mathbf{y_1}$ ó entre $\mathbf{y_1}$ e $\mathbf{y_2}$. En un principio, si solo se toman dos ordenadas, no quedará más remedio que aplicar la regla de los trapecios, pues por los extremos de estas ordenadas podrán pasar infinitas parábolas, pero al usar la tercera ordenada, aunque el área que ella está tocando no se cuente, se podrá definir una única parábola y así obtener la precisión del método de Simpson, que es mayor que la del método de los trapecios. El siguiente dibujo muestra el área que se busca (zona sombreada).



$$\acute{A}rea = \int_0^{\alpha} f(x)dx$$

$$\acute{A}rea = \int_0^{\alpha} y dx$$

$$\acute{A}rea = \int_0^{\alpha} \left(ax^2 + bx + c\right) dx$$

$$\acute{A}rea = \left[\frac{ax^3}{3} + \frac{bx^2}{2} + cx\right]_0^{\alpha}$$

$$\acute{A}rea = \frac{a(\alpha)^3}{3} + \frac{b(\alpha)^2}{2} + c\alpha$$

$$\acute{A}rea = \frac{a\alpha^3}{3} + \frac{b\alpha^2}{2} + c\alpha$$

$$\acute{A}rea = \alpha\left(\frac{a\alpha^2}{3} + \frac{b\alpha}{2} + c\right)$$

Pero se sabe por la regla 1ª que:

$$y_0 = c$$

$$y_1 = a\alpha^2 + b\alpha + c$$

$$y_2 = 4a\alpha^2 + 2b\alpha + c$$

Queda por saber, cuantas veces hay que tomar a $\mathbf{y_0}$, a $\mathbf{y_1}$ e $\mathbf{y_2}$ (coeficientes **p**, **q** y **r**), por lo que se podrán establecer las siguientes ecuaciones, que luego se igualarán al resultado que se busca.

$p.y_0 = \qquad\qquad\qquad\qquad p.c$

$q.y_1 = \quad q.a\alpha^2 \;+\; q.b\alpha + q.c$

$\underline{r.y_2 = r.4.a\alpha^2 + \quad r.2.b\alpha + r.c}$

$a\alpha^2/3 \;+\; b\alpha 2 \;+ c$

Que sumando e igualando verticalmente:

$0.a\alpha^2 + q.a\alpha^2 + r.4.a\alpha^2 = a\alpha^2/3$

$0.b\alpha \;+ q.b\alpha \;+\; r.2.b\alpha = b\alpha 2$

$p.c + \quad q.c + \quad r.c \quad = \; c$

Simplificando

$0 + q + 4.r = 1/3$

$0 + q + 2.r = 1/2$

$p + q + \quad r = 1$

Las ecuaciones dan este producto:

$$\begin{vmatrix} 0 & 1 & 4 \\ 0 & 1 & 2 \\ 1 & 1 & 1 \end{vmatrix} \bullet \begin{vmatrix} p \\ q \\ r \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 1/3 \\ 1/2 \\ 1 \end{vmatrix}$$

Que se puede resolver por varios procedimientos o usando Matlab, con los siguientes comandos:

```
a=[0 1 4;0 1 2;1 1 1];

b=[1/3; 1/2; 1];

c=a\b
```

Dando como resultado:

c =

5/12

2/3

-1/12

Por lo tanto

p = 5/12

q = 2/3

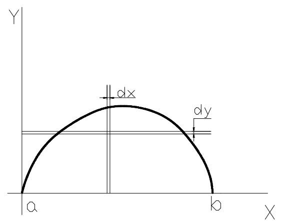
r = -1/12

Obteniendo la siguiente igualdad:

$$Área = \alpha\left(\frac{a\alpha^2}{3} + \frac{b\alpha}{2} + c\right) = \alpha\left(\frac{5.y_0}{12} + \frac{2.y_1}{3} - \frac{y_2}{12}\right) = \frac{\alpha}{12}\left(5.y_0 + 8.y_1 - 1.y_2\right)$$

APLICACIONES DE LAS REGLAS DE SIMPSON

Hasta ahora solo se han usado los métodos de integración aproximada, para el cálculo de superficies, pero también se puede aplicar este sistema al cálculo de **momentos y momentos segundos** para así obtener, por ejemplo: centroides y radios metacéntricos



Para obtener el momento de la superficie de la figura con respecto a los ejes coordenados, tenemos las siguientes integrales dobles:

Con respecto al eje x:

$$Mto_x = \int_a^b \int_0^y y\,dy\,dx$$

$$Mto_x = \frac{1}{2}\int_a^b y^2 dx$$

Aplicando la fórmula **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** y sustituyendo *y^2* por *f(x)*. Téngase en cuenta que las potencias *y^2* pasan a ser las nuevas ordenadas que se quieren integrar según el procedimiento de Simpson.

$$\boxed{Mto_x = \frac{1}{2}\cdot\frac{\alpha}{3}\left(1y_0^2 + 4y_1^2 + 2y_2^2 + 4y_3^2 + 1y_4^2\right)}$$

Con respecto al eje y:

$$Mto_y = \int_a^b \int_0^y x\,dy\,dx$$

$$Mto_y = \int_a^b x\,y\,dx$$

Aplicando la fórmula **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** y sustituyendo *xy* por *f(x)*. Téngase en cuenta que los productos *xy* pasan a ser las nuevas ordenadas que se quieren integrar según el procedimiento de Simpson.

$$Mto_y = \frac{\alpha}{3}\left(x_0 y_0 + 4x_1 y_1 + 2x_2 y_2 + 4x_3 y_3 + x_4 y_4\right)$$

$x_n =$ distancia de cada ordenada al eje

Expresando la distancia en alfas:

$x_n = Fd.\alpha$

Fd: Factor distancia = x_n / α

$$Mto_y = \frac{\alpha}{3}\left(Fd_0\alpha y_0 + Fd_1\alpha 4y_1 + Fd_2\alpha 2y_2 + Fd_3\alpha 4y_3 + Fd_4\alpha y_4\right)$$

$$\boxed{Mto_y = \frac{\alpha^2}{3}\left(1Fd_0 y_0 + Fd_1 4y_1 + Fd_2 2y_2 + Fd_3 4y_3 + 1Fd_4 y_4\right)}$$

Para obtener los **momentos segundos** de la superficie de la figura (análogos a momentos de inercia) con respecto a los ejes coordenados, se tienen las siguientes integrales dobles:

Con respecto al eje x:

$$I_x = \int_a^b \int_0^y y^2 \, dy dx$$

$$I_x = \frac{1}{3}\int_a^b y^3 dx$$

$$\boxed{I_x = \frac{\alpha}{3}\cdot\frac{1}{3}\left(1y_0^3 + 4y_1^3 + 2y_2^3 + 4y_3^3 + 1y_4^3\right)}$$

Con respecto al eje y:

$$I_y = \int_a^b \int_0^y x^2 \, dy dx$$

$$I_y = \int_a^b x^2 \, y \, dx$$

$$I_y = \frac{\alpha}{3}\left(x_0^2 y_0 + 4x_1^2 y_1 + 2x_2^2 y_2 + 4x_3^2 y_3 + x_4^2 y_4\right)$$

$$I_y = \frac{\alpha}{3}\left((Fd_0\alpha)^2 y_0 + 4(Fd_1\alpha)^2 y_1 + 2(Fd_2\alpha)^2 y_2 + 4(Fd_3\alpha)^2 y_3 + (Fd_4\alpha)^2 y_4\right)$$

$$\boxed{I_y = \frac{\alpha^3}{3}\left(1Fd_0^2 y_0 + 4Fd_1^2 y_1 + 2Fd_2^2 y_2 + 4Fd_3^2 y_3 + 1Fd_4^2 y_4\right)}$$

A los momentos segundos normalmente se les suele llamar **momentos de inercia**, aunque este término es más correcto aplicarlo a volúmenes.

Al ser el buque simétrico con respecto al plano diametral, los cálculos con referidos a un eje contenido en ese plano, corresponden a media flotación o media sección transversal, lo que deberá tenerse en cuenta y finalmente multiplicar por dos. En algunos procedimientos ya se tiene esto en cuenta desde un principio, así como unas ciertas simplificaciones que se verán más adelante.

En el cálculo de momentos segundos, es necesario un mayor cuidado con el número de ordenadas que se emplean, pues se pueden cometer errores de cierta importancia.

CÁLCULO DE ÁREAS VACÍAS. EJEMPLO PRÁCTICO

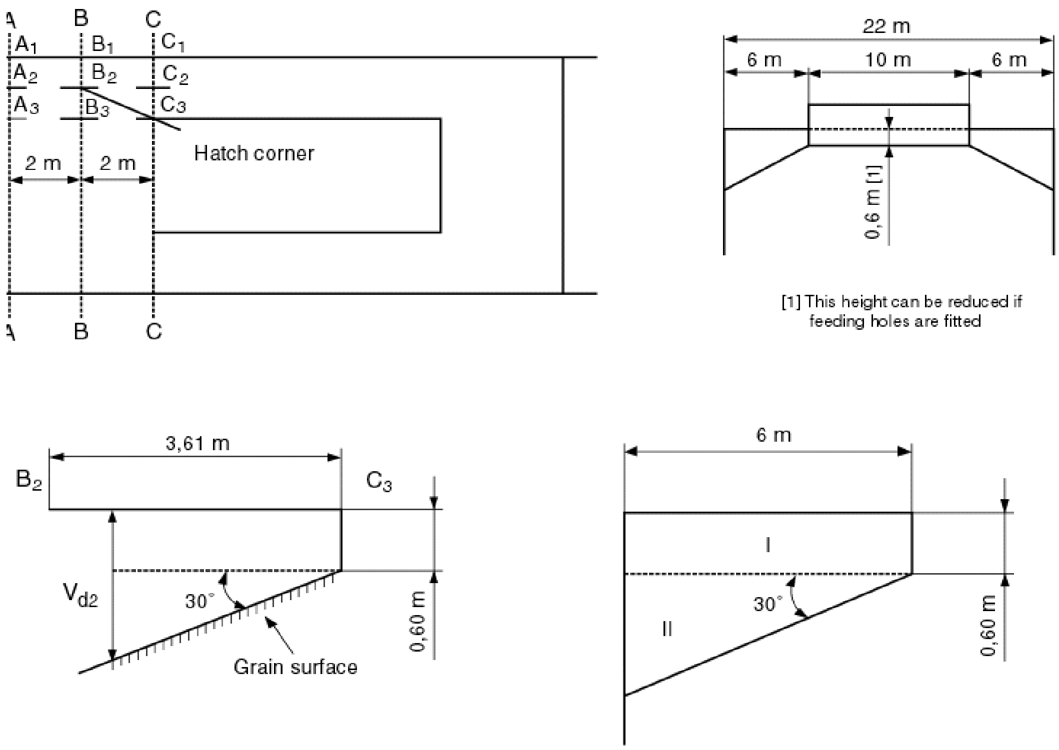
1.- Cálculo de profundidades

En los buques que tengan pendiente en los tanques altos en cada bodega, la superficie del grano se inclina contra los mamparos de tanques laterales superiores si su pendiente es igual o superior a 30 ° respecto a la horizontal; en este caso no se produce ningún vacío.(**V**)

En la zona de proa y popa de la escotilla, la superficie del grano está situado de manera que la profundidad estándar , **d**, de los V (void) aumenta con la distancia desde la escotilla.

Para el cálculo de la profundidad del vacío, tres secciones transversales diferentes, AA , BB y CC son tomadas en cuenta, y para cada una de estas secciones, tres puntos diferentes (A1, A2, A3, B1, B2, B3 y C1, C2, C3) han de ser considerado, como se ilustra en figura 1:

Figura1: Geometría para el cálculo de la profundidad vacío



La distancia entre los puntos C3 y B2, en metros, es la siguiente:

$$C_3B_2 = \sqrt{(3^2 + 2^2)} = 3{,}61$$

la profundidad (d2) del vacío, en metros, medida en B2 es:

$$V_{d2} = 3{,}61 \tan 30^{o} + 0{,}60 = 2{,}68$$

El área de tanque lateral superior AW, en metros cuadrados, (I + II) es como sigue:

$$A_W = (6 \cdot 0{,}60) + \frac{6(\tan 30^{o})6}{2} = 13{,}98$$

Los vacíos cuyas profundidades son Vd3, Vd2, Vd1, en metros, correspondiente a los puntos A3, A2, A1 de sección AA es:

$$V_{d3} = 4 \tan 30^{o} + 0{,}60 = 2{,}91$$

$$V_{d2} - (\sqrt{3^2 + 4^2}) \tan 30^{o} + 0{,}60 - 3{,}49$$

$$V_{d1} = (\sqrt{6^2 + 4^2}) \tan 30^{o} + 0{,}60 = 4{,}76$$

El área $A_{V,\ AA}$, en metros cuadrados, del vacío en la sección transversal AA (calculada de acuerdo con Simpson "regla de integración “) es el siguiente:

$$A_{V,AA} = \frac{A_3 .\ A_2}{3} \cdot (V_{d3} + 4 \cdot V_{d2} + V_{d1}) = 21{,}63$$

Con referencia a figura 2 y la 3 se calculan las siguientes áreas:

Figura 2: Geometría para el cálculo de la profundidad vacío

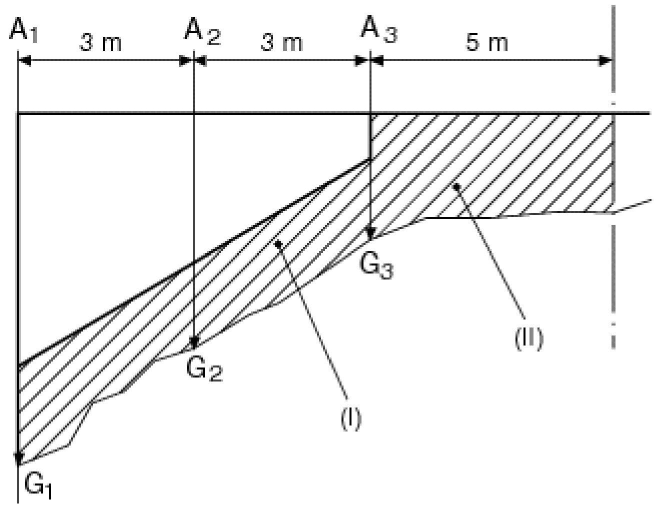
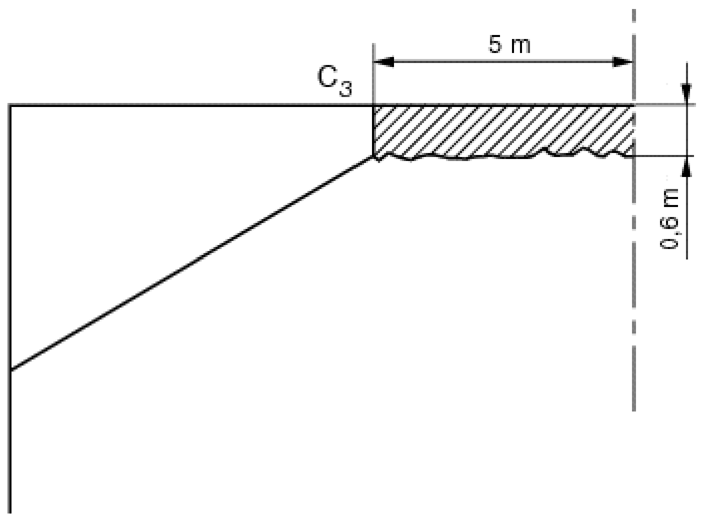


Figura 3: Geometría para el cálculo de la profundidad vacío



EL área A1A3G3G1(que es la zona $A_{V,\ AA}$ calculado anteriormente), en metros cuadrados, es igual a: 21,63

- área de tanque lateral superior A_W, en m^2, igual a: 13,98

- área $A_{V,I}$, en m^2, correspondiente al vacío I, igual a:
- $A_{V,\ I}$= 21,63 - 13,98 = 7,65
- Un área $A_{V,\ II}$, en m^2, correspondiente a void II, igual a: $A_{V,\ II}$= 5*2,91 = 14,55
- área total $A_{T,\ AA}$ de vacío, babor y estribor, en m^2, en la sección AA, igual a:
- $A_{T,\ AA}$= 2*(7,65 + 14,55) = 44,40

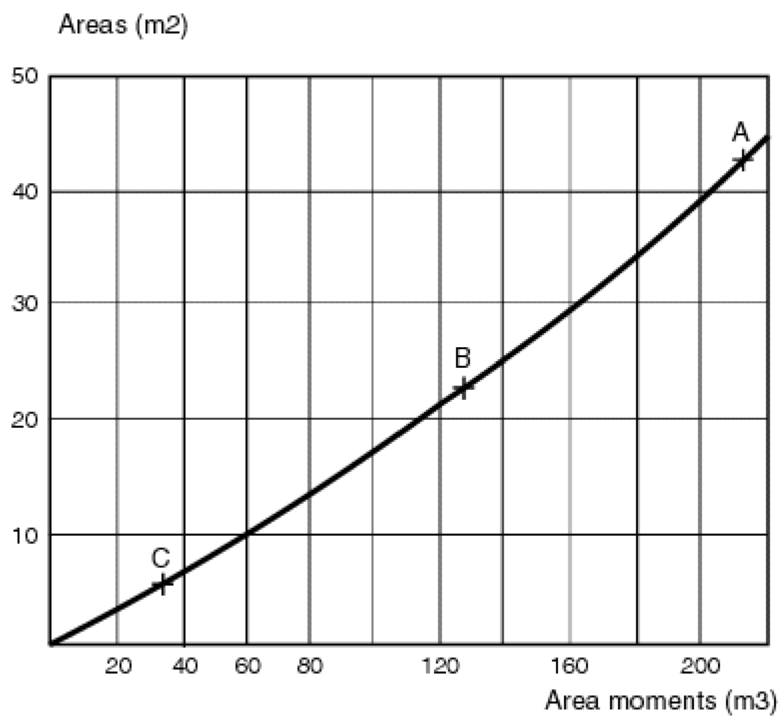
Con el mismo procedimiento se calcula el vacío correspondiente a la sección BB, como sigue:

- área total $A_{T,\ BB}$ de vacío, babor y estribor, en m , en la sección BB:
- $A_{T,\ BB}$= 22,98
- área total $A_{T,\ CC}$ de vacío, babor y estribor, en m^2, en la sección CC:
- $AT_{,\ CC}$= 2*5* 0,60 = 6,00

2.-Cálculo de áreas y momentos de área
Encontrando la superficie en cada posición después del movimiento se establece un área vacía exactamente igual a la que en la existía antes del cambio es un cálculo complicado si se hace directamente.

Sin embargo, si se calculan las áreas y momentos de área correspondientes para los cambios aleatorios de la horizontal a 25 °, y se hace una gráfica de las áreas frente a momentos de área, a continuación, mediante la introducción de los valores actuales con el área vacía en cualquier posición antes del corrimiento, un primera aproximación al área del momento después del movimiento se puede conseguir. Tal gráfica se proporciona en la figura.

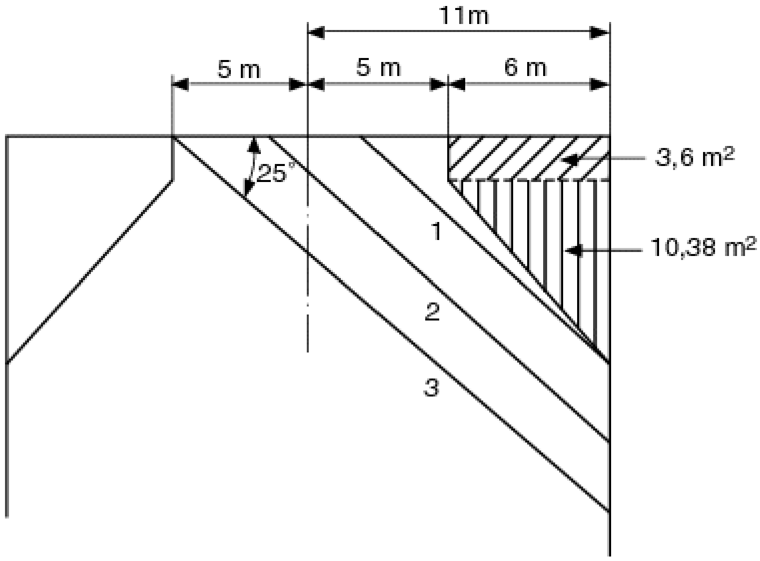
Gráfica de áreas frente a momentos de área



Otra ventaja de este método reside en el hecho de que mientras que las longitudes de las secciones extremas pueden variar, las dimensiones en sección transversal son generalmente uniforme en la mayor parte del barco.

Por lo tanto la misma cuadrícula de áreas frente a momentos de área se puede utilizar para varios lugares.

Figura 4.-Geometría para el cálculo de la profundidad vacío



- área A_1, en m^2, correspondiente a la zona 1:

$$A_1 = \frac{8{,}74(\tan 25^\circ)8{,}74}{2} - 13{,}98 = 3{,}83$$

- Un área A_2, en m^2, relevante para Zona 2:

$$A_2 = \frac{13(\tan 25^\circ)13}{2} - 13{,}98 = 25{,}41$$

- Un área A_3 , en m^2, correspondiente a la zona 3:

$$A_3 = \frac{16(\tan 25^\circ)16}{2} - 13{,}98 = 45{,}70$$

Los momentos de área M_1, M_2, M_3, en m^3, correspondientes a las zonas A_1, A_2, A_3, que se refiere a la línea central son los siguientes:

- Momento del área M_1

$$M_1 = 17{,}81\left(\frac{2}{3}.8{,}74 + 2{,}26\right) - 3{,}6(3 + 5) - 10{,}38\left(\frac{2}{3}.6 + 5\right)$$
$$= 21{,}80$$

- Momento del área M_2

$$M_2 = 39{,}39\left(\frac{2}{3}.13 - 2\right) - 3{,}6(3 + 5) - 10{,}38\left(\frac{2}{3}.6 + 5\right)$$
$$= 140{,}38$$

- Momento del área M_3

$$M_3 = 59{,}68\left(\frac{2}{3}.16 - 5\right) - 3{,}6(3 + 5) - 10{,}38\left(\frac{2}{3}.6 + 5\right)$$
$$= 215{,}97$$

Un resumen de los valores obtenidos se introduce en la tabla.

Áreas y momentos de área

Zona	**Area, en m^2**	**Momento en terreno en m^3**
1	3,83	21,80
2	25,41	140,38
3	45,70	215,97

3.-Cálculo del momento escorante volumétrico

Momento escorante volumétrico en extremo sin enrasar

La tabla 4 da los valores de las áreas y momentos de área derivados de la trama en la figura 9

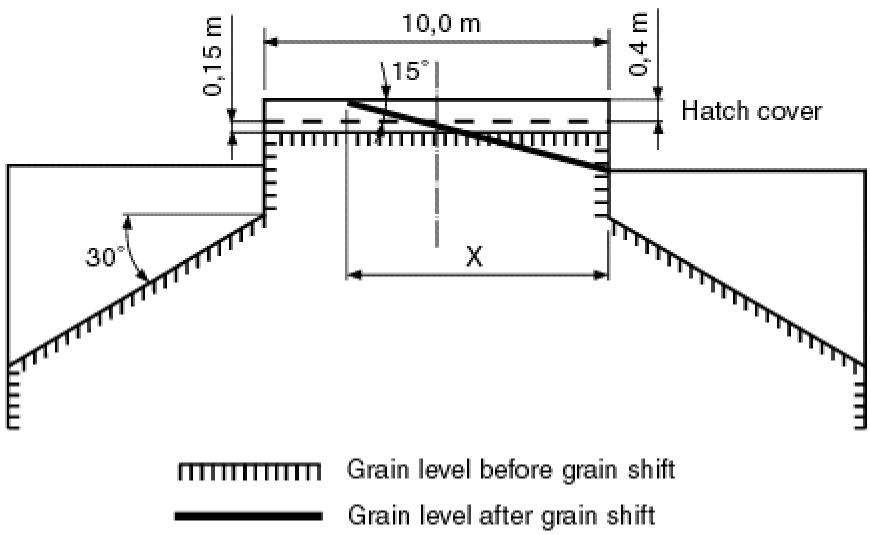
Por lo tanto, la distancia longitudinal entre los puntos A, B, C es igual a 2 m, el momento escorante volumétrico en el extremo sin enrasar M^l, en m^4, es el siguiente:

$$M^l = \frac{2}{3}[1 \cdot 34 + 4 \cdot 128 + 1 \cdot 212] = 505{,}33$$

Momento escorante volumétrico en la escotilla

El siguiente cálculo es válido para los espacios vacíos dentro de la escotilla (ver figura):

Figura 5.- Momento escorante volumétrico de escotilla



- área del vacío A_H, en m^2:

$$A_H = 10(0,4 + 0,15) = 5,5$$

- centro de gravedad x, en metros, correspondiente a A_H:

$$x = \sqrt{\frac{5,5 \cdot 2}{\tan 15^\circ}} = 6,41$$

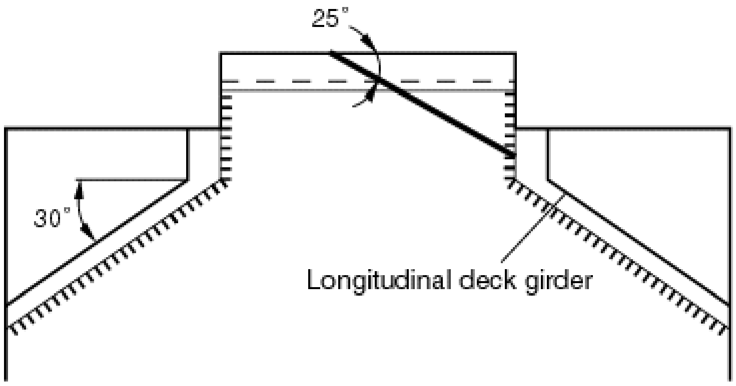
- momento en el área de M_H, en m^3:

$$M_H = 5,5\left(5 - \frac{6,41}{3}\right) = 15,75$$

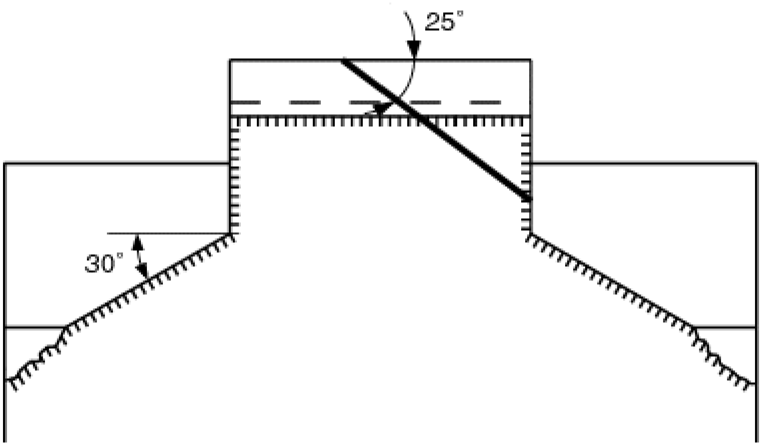
La longitud de escotilla que es igual a 15 metros, el momento escorante volumétrico en escotilla M^{II}, en m^4, es como sigue:

M^{II}= 17,75*15 = 236,25 15

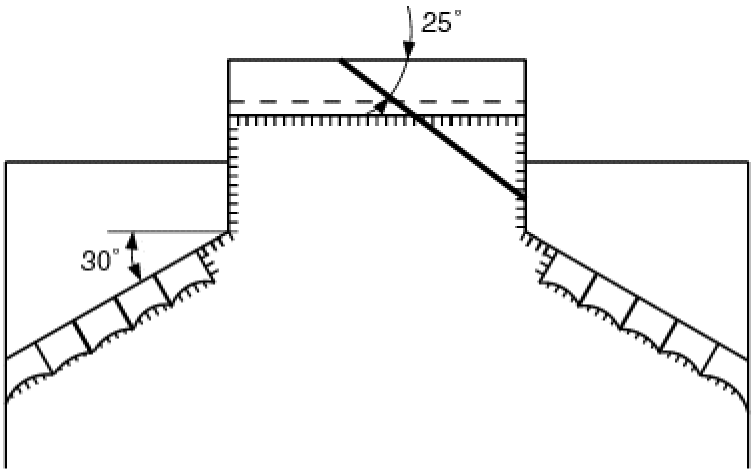
Además, el posible vacío correspondiente a una viga de cubierta longitudinal como se describe en la figura 6,



así como el posible vacío correspondiente a la geometría del tanque lateral superior como se describe en la figura 7, se han de tener en cuenta;



por el contrario, el posible vacío correspondiente para refuerzos longitudinales laterales superiores del tanque como se describe en la figura 8 puede no ser tomada en cuenta.



Momento escorante volumétrico

El momento total de escora volumétrica en una bodega, como se indica en la tabla, es la suma de los resultados de los apartados anteriores.

Momento total escorante volumétrico en una bodega, con los extremos sin enrasar

Zona Bodega	**Momento de escora, en m^4**
Extremo de proa	505,33
Escotilla	236,25
Extremo de popa	505,33
Total	1246,91

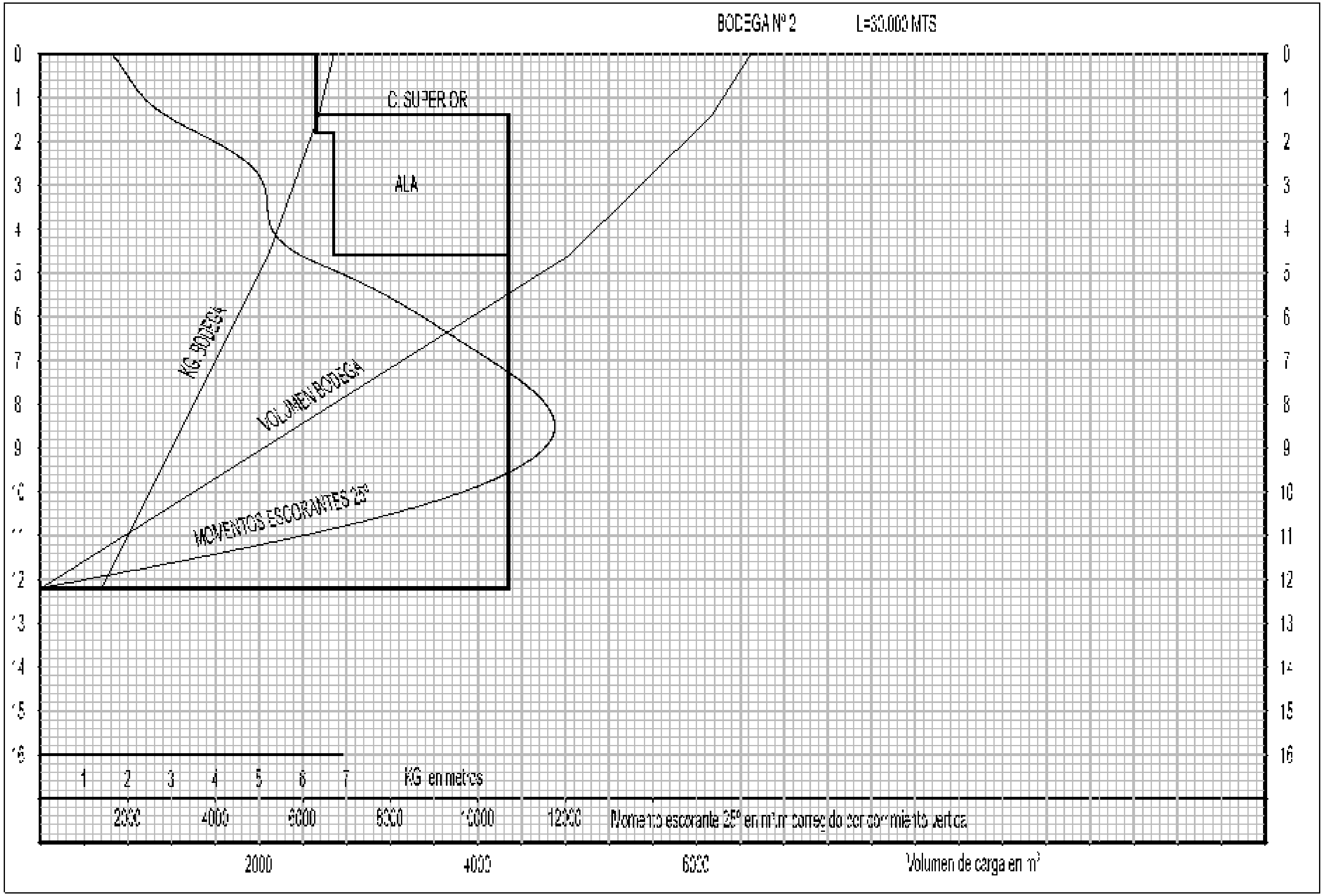
BODEGA Nº2 DEL BUQUE MEDUSA. CÁLCULO DE ÁREAS VACIAS

Ahora nos centraremos en muestro buque medusa y la bodega número dos que es para la que se van a realizar los cálculos profundidades, las áreas y los volúmenes de los espacios vacíos, para hallar los momentos volumétricos correspondientes.

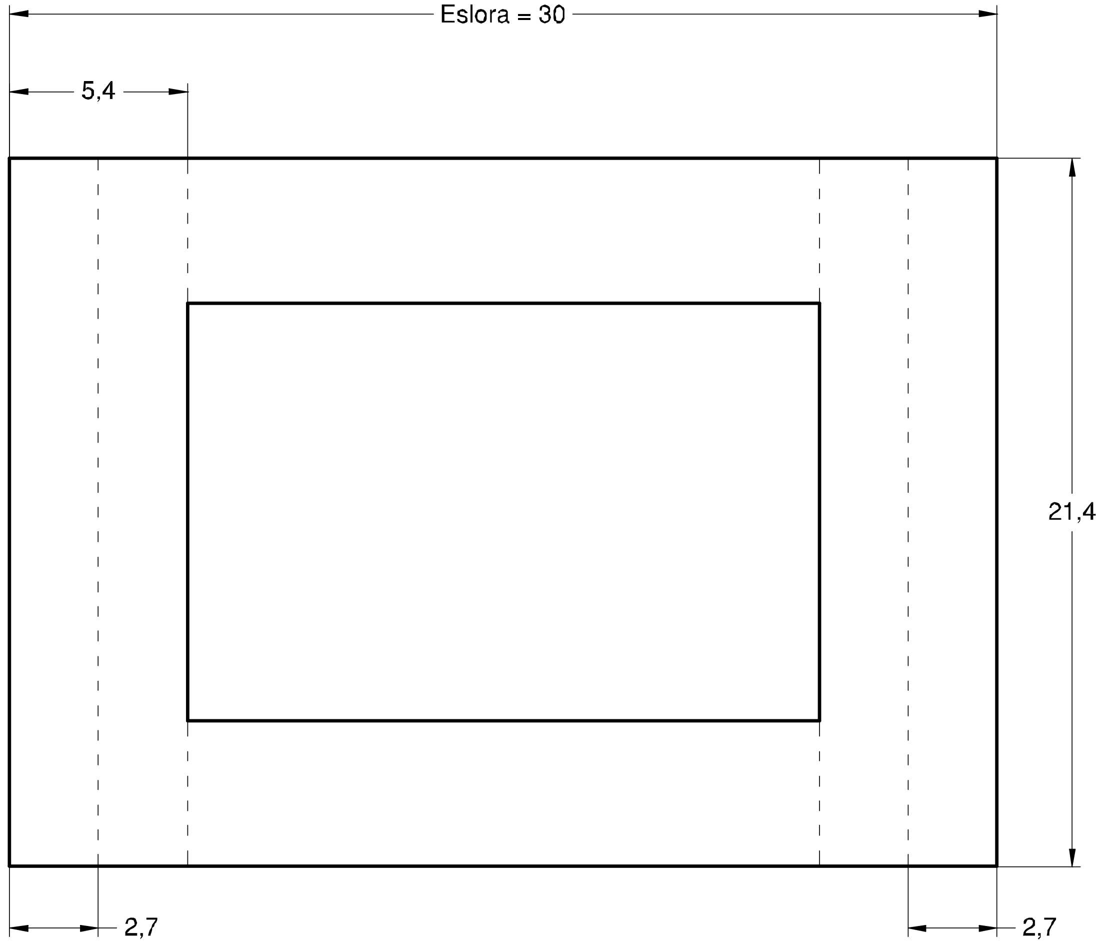
Vamos a suponer esta bodega llena hasta la escotilla pero con los espacios de proa y de popa sin rellenar y también suponiendo al buque con compartimentos particularmente adecuados.

Se muestra a continuación el plano de la bodega tal y como es para poder hacernos una idea de la geometría de ella y tomar medidas, para nuestros calcular los espacios vacíos a proa y popa de la escotilla

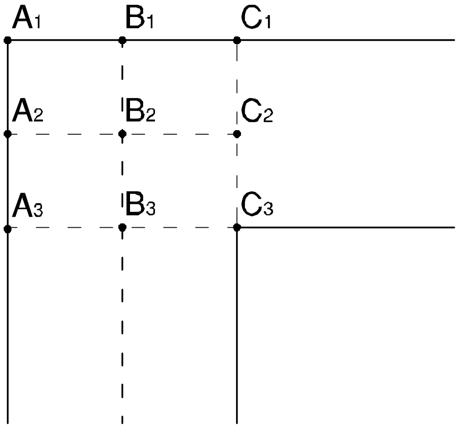
Con este plano a escala tomamos las medidas con ayuda de un compas y suponemos que la parte del ala forma un ángulo de 30º, es decir, es un compartimento particularmente adecuado y tal como se explica en el ejemplo anterior iremos diseñando los diferentes diagramas y calculando las profundidades, áreas y momentos para poder elaborar las tablas correspondientes


BODEGA Nº 2
L=30.000 MTS
C. SUPERIOR
ALA
KG. BODEGA
VOLUMEN BODEGA
MOMENTOS ESCORANTES 25º
KG en metros
Momento escorante 25º en m/m corregido por corrimiento vertical
Volumen de carga en m³

Planta bodega nº 2



En esta vista nos hacemos una idea de las dimensiones de la bodega y donde debemos colocar los puntos que necesitamos para hacer nuestros cálculos y para ello hacemos otro dibujo con el detalle de las alturas que vamos a calcular:



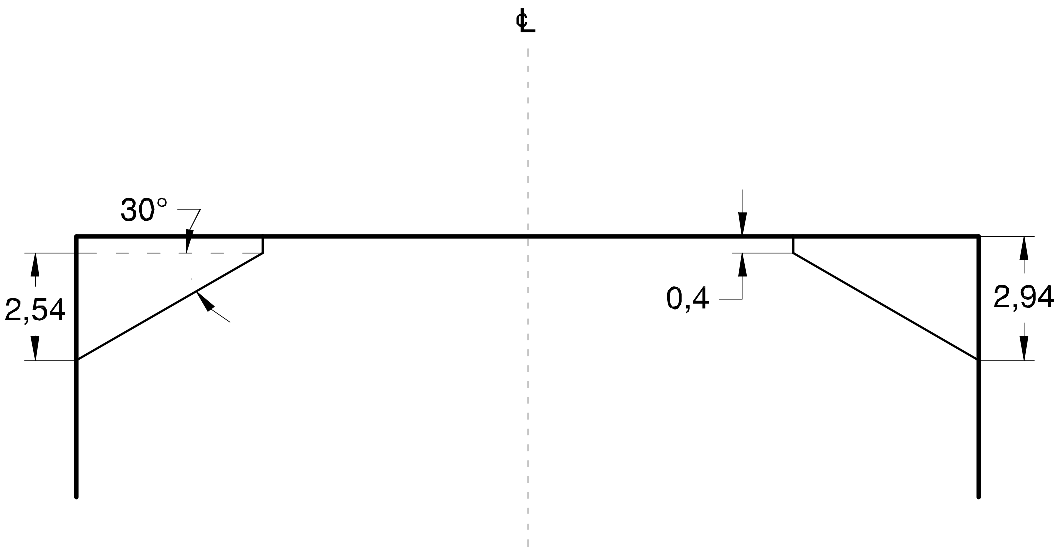
Como la distancia entre el borde la la escotilla con la cubierta es de 4,4 metros, los puntos de igual nombre (letra) distan unos de otros 2,2 metros, es la distancia vertical.

Horizontalmente, la distancia es de 2,7 metros, que podemos comprobar en la planta de la bodega.

Las medidas que necesitamos se observan en el siguiente dibujo

¿Cómo hemos hallado la distancia 2,54 metros?

Sección fuera de escotilla



Como sabemos que el refuerzo forma un ángulo de 30º:

$$x = tg30º * 4{,}4 = 2{,}54 \text{ m}$$

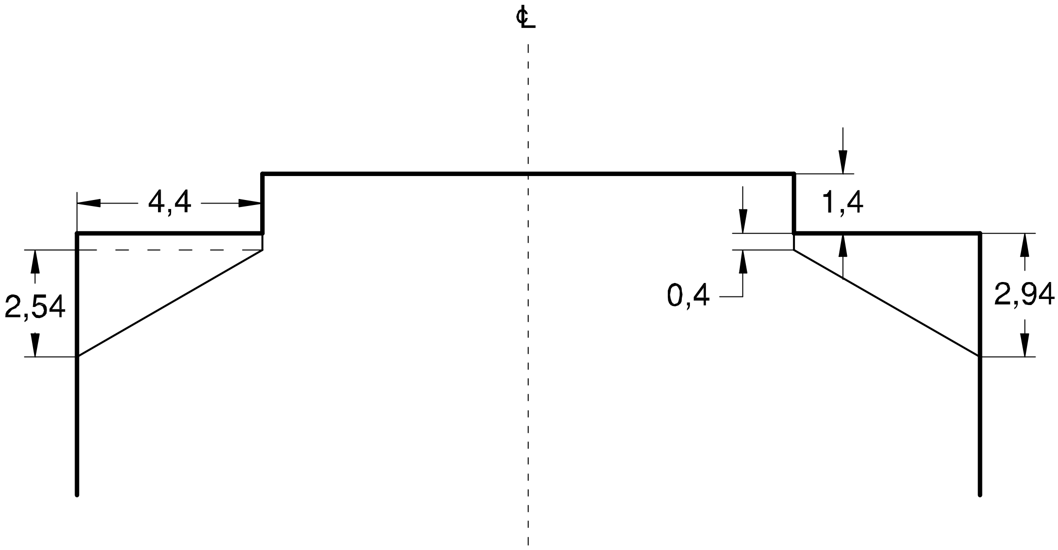
Tenemos que hallar al área de ese triángulo, más el pequeño rectángulo

$$\boldsymbol{at = \frac{2,54 * 4,4}{2} = 5,59\, m^2}$$

$$\boldsymbol{ar = 0,40 * 4,4 = 1,76\, m^2}$$

$$\boldsymbol{ar + at = As = 5,59 + 1,76 = 7,35\, m^2}$$

Sección central de la bodega



Podemos empezar a operar

$$A1 = 0{,}4 + \sqrt{4{,}4^2 + 5{,}4^2} * tg\ 30° = 4{,}42\ m$$

$$A2 = 0{,}4 + \sqrt{2{,}2 + 5{,}4^2} * tg\ 30° = 3{,}77\ m$$

$$A3 = 0{,}4 + 5{,}4 * tg\ 30° = 3{,}52\ m$$

$$B1 = 0{,}4 + \sqrt{4{,}4^2 + 2{,}7^2} * tg\ 30° = 3{,}38\ m$$

$$B2 = 0{,}4 + \sqrt{2{,}2^2 + 2{,}7^2} * tg\ 30° = 2{,}41\ m$$

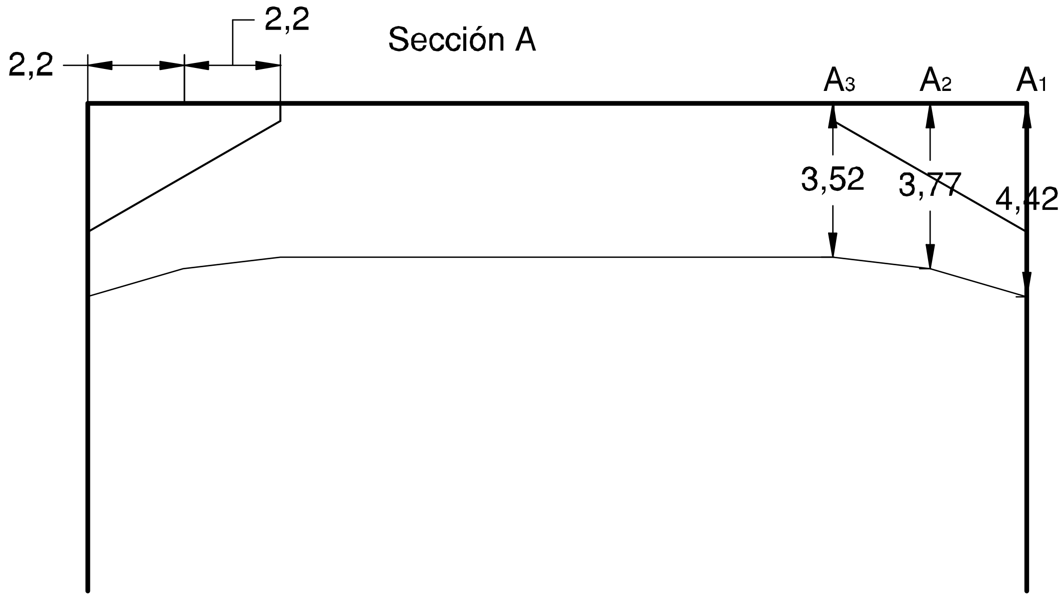
$$B3 = 0{,}4 + 2{,}7 * tg\ 30° = 4{,}42\ m$$

$$C1 = 0{,}4 + 4{,}4 * tg\ 30° = 2{,}54\ m$$

$$C2 = 0{,}4 + 2{,}2 * tg\ 30° = 4{,}42\ m$$

$$C3 = 0{,}4\ m$$

Ahora que tenemos halladas todas las alturas , vamos a calcular el área de los espacios vacíos correspondientes a ellas por el método de Simpsom y para facilitarlo nos ayudamos del siguiente dibujo con las medidas que ya tenemos:



$$AA = \frac{\alpha}{3} * (1 * \mathrm{A1} + 4 * \mathrm{A2} + 1 * \mathrm{A3}) = \frac{\alpha}{3} * (1 * 4{,}42 + 4 * 3{,}77 + 1 * 3{,}52)$$

$$\mathrm{AA} = 16{,}88\ \mathrm{m}^2$$

Siendo AA el área total **hasta la mitad de la escotilla** pero recordemos que tenemos que descontar As:

$$AAt1 = AA - As = 16{,}88 - 7{,}35 = 9{,}53\ m^2$$

Y de la parte rectangular:

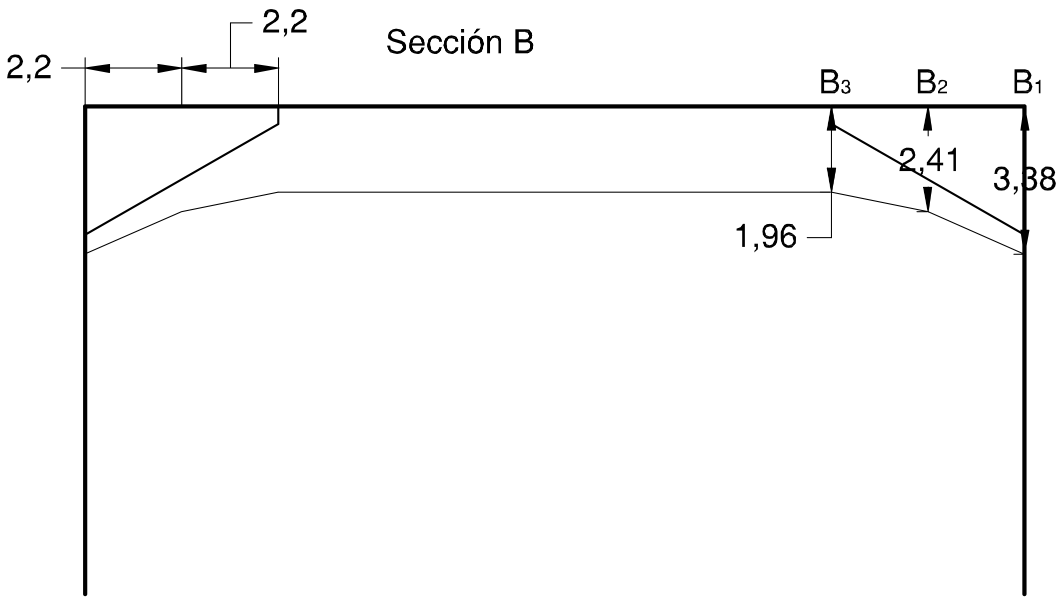
$$AAt2 = 6{,}3 * 3{,}52 = 22{,}18\ m^2$$

$$AAt = AAt1 + AAt2 = 22{,}18 + 9{,}53 = 31{,}71\ m^2$$

Esta valor lo vamos a multiplicar por dos y así tenemos el total de las dos bandas y lo llamaremos AAtf:

$$\boldsymbol{AAtf = 63{,}42\ m^2}$$

Exactamente de la misma manera procedemos con B:



$$AB = \frac{\alpha}{3} * (1 * \mathrm{B1} + 4 * \mathrm{B2} + 1 * \mathrm{B3}) = \frac{\alpha}{3} * (1 * 3{,}38 + 4 * 2{,}41 + 1 * 19{,}6)$$

$$\mathrm{AB} = 10{,}99\ \mathrm{m}^2$$

Siendo AB el área total hasta la mitad de la escotilla, con las alturas de la letra B pero recordemos que tenemos que descontar As:

$$ABt1 = BB - As = 10{,}99 - 7{,}35 = 3{,}64\ m^2$$

Y de la parte rectangular:

$$ABt2 = 6{,}3 * 1{,}93 = 12{,}35\ m^2$$

$$ABt = ABt1 + ABt2 = 12{,}35 + 3{,}64 = 15{,}99\ m^2$$

Esta valor lo vamos a multiplicar por dos y así tenemos el total de las dos bandas y lo llamaremos AAtf:

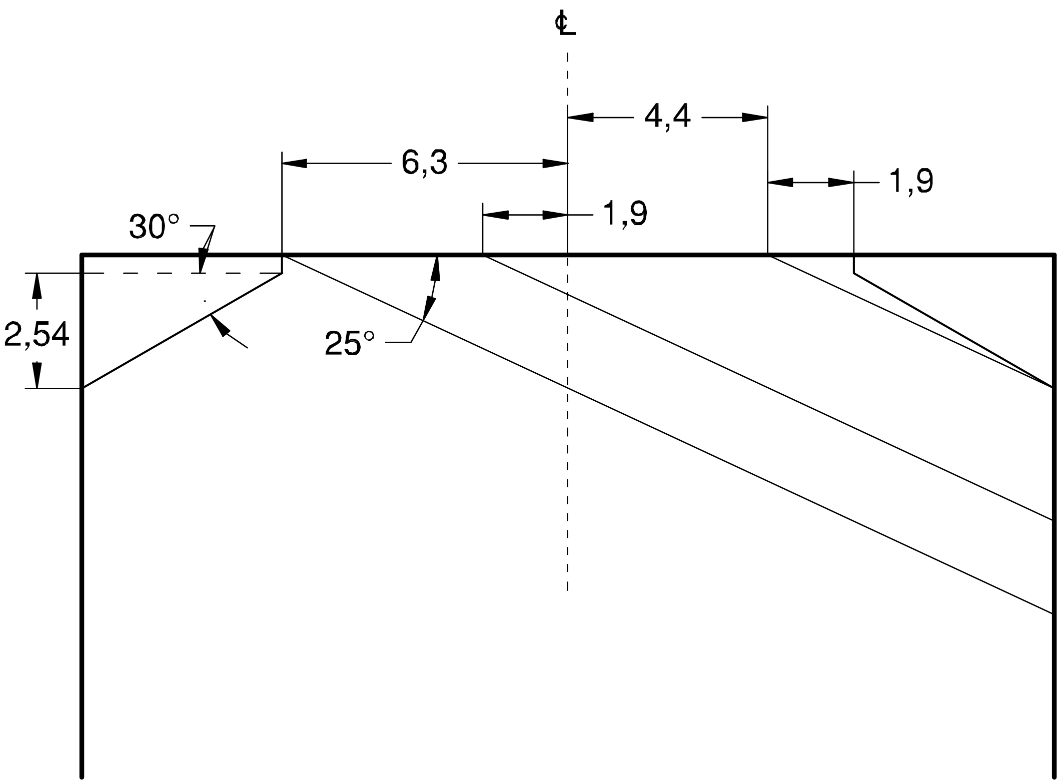
$$\boldsymbol{ABtf = 31{,}98\ m^2}$$

Sólo nos queda calcular el área de C, que si hiciéramos un diagram como los anteriores, colocando las alturas correspondientes veríamos que nos queda sólo un rectángulo debajo de la escotilla:

$$ACt = 6{,}3 * 0{,}2 = 2{,}52 m^2$$

$$\boldsymbol{ACtf = 5{,}04\ m^2}$$

Para hallar el volumen del vacío se utiliza un procedimiento indirecto: Se trazan varias superficies a 25º para cada sección transversal y se determina el momento de las áreas formadas entre la intersección de cada superficie a 25 º con cada sección transversal y los límites correspondientes de la bodega en dicha sección:



$$A1 = \frac{b * h}{2} = \frac{(4{,}4 + 1{,}9) * tg25º * (4{,}4 + 1{,}9)}{2} - 7{,}35 = 1{,}91m^2$$

$$A2 = \frac{b * h}{2} = \frac{(4{,}4 + 6{,}3 + 1{,}9)^2 * tg25º *}{2} - 7{,}35 = 29{,}70\ m^2$$

$$A3 = \frac{b * h}{2} = \frac{(12{,}6 + 4{,}4)^2 * tg25º}{2} - 7{,}35 = 60{,}06\ m^2$$

Para calcular el volumen no tenemos más que hallar su momento que nos dará en m^3 al multiplicar un área en m^2 por su brazo en metros.

$$M1 = 9{,}2 * \left(\frac{2}{3} * 6{,}28 + 4{,}39\right) - 1{,}76 * (2{,}2 + 6{,}3) - 5{,}59 * \left(\frac{2}{3} * 4{,}4 + 6{,}3\right)$$

$$\boldsymbol{M1 = 13{,}08\ m^3}$$

$$M2 = 36{,}9 * \left(\frac{2}{3} * (6{,}3 + 4{,}4) - 1{,}88\right) - 1{,}76 * (2{,}2 + 6{,}3)$$

$$-5{,}59 * \left(\frac{2}{3} * 4{,}4 + 6{,}3\right)$$

$$\boldsymbol{M2 = 174{,}20\ m^3}$$

$$M3 = 67{,}38 * \left(\frac{2}{3} * (12{,}6 + 4{,}4) - 6{,}3\right) - 1{,}76 * (2{,}2 + 6{,}3)$$

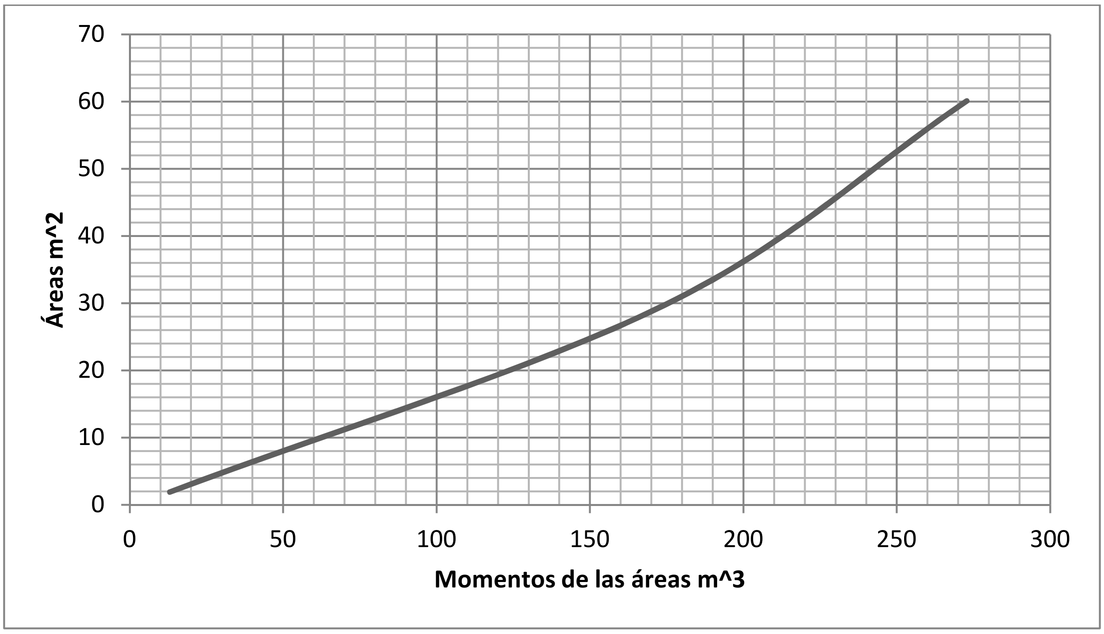
$$-5{,}59 * \left(\frac{2}{3} * 4{,}4 + 6{,}3\right)$$

$$\boldsymbol{M3 = 272{,}74\ m^3}$$

Aquí podemos elaborar una tabal con las áreas y sus momentos

Áreas en m^2	Momentos en m^3
1,91	13,08
29,70	174,20
60,06	272,74

Y hacer una gráfica con estos valores:



Aquí traeríamos los resultados de AAtf, ABtf y ACtf para encontrar los momentos en m^3 que corresponden a esas áreas y despúes hallar el momento volumétrico.

En una aproximación, ya que necesitaríamos papel milimetrado

MA= 285 m^3

MB = 185 m^3

MC = 35 m^3

Y por Simpsom:

$$Mv = \frac{2,7}{3} * (1 * 285 + 4 * 185 + 1 * 35) = 954\ m^4$$

Pero, vamos a hacerlo de otra manera y nos saldrán datos más exactos ya que hemos dispuesto de una herramienta informática para entrar en la gráfica posterior y saber el momento volumétrico que corresponde al área total

Para hallar los volúmenes sólo tenemos que multiplicar por 5,4 m como si se tratara de un paralelepípedo y lo mismo hacemos con los momentos para así tener momentos volumétricos:

$$\boldsymbol{V1 = A1 * 5,4 = 1,91 * 5,4 = 10,31\ m^3}$$

$$\boldsymbol{Mv1 = M1 * 5,4 = 13,08 * 5,4 = 70,60\ m^4}$$

$$\boldsymbol{V2 = A2 * 5,4 = 29,70 * 5,4 = 160,4\ m^3}$$

$$\boldsymbol{Mv2 = M2 * 5,4 = 174,20 * 5,4 = 940,70\ m\text{^}4}$$

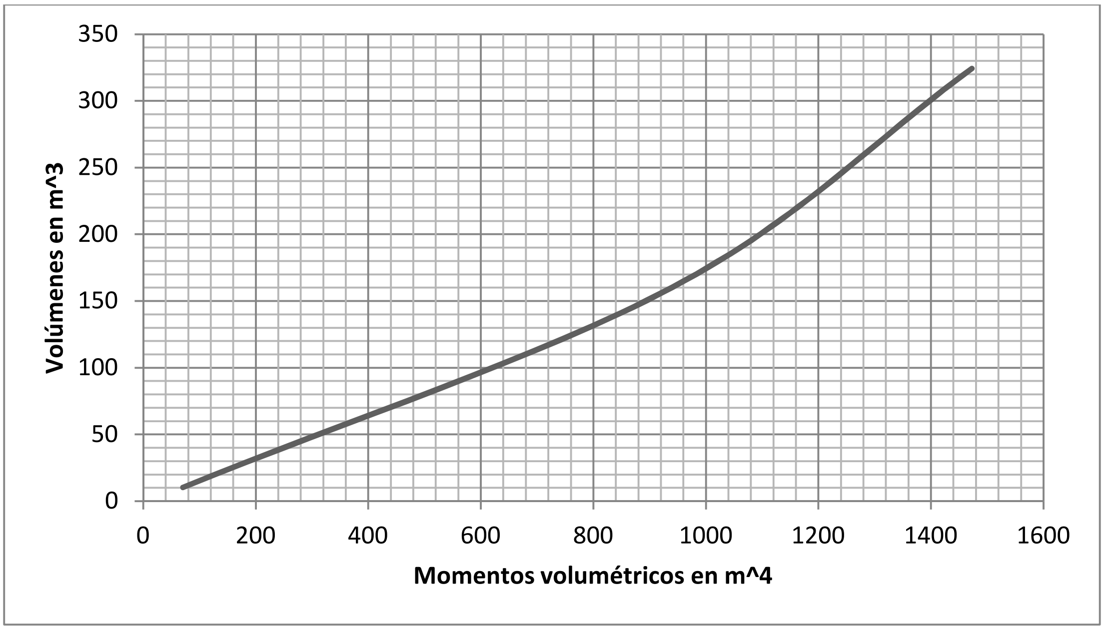
$$\boldsymbol{V3 = A3 * 5,4 = 60,6 * 5,4 = 324,32\ m^3}$$

$$\boldsymbol{Mv3 = M3 * 5,4 = 272,4 * 5,4 = 1472,80\ m^4}$$

Y ahora, elaboramos una tabla con estos valores

Áreas	Volúmenes	Momentos volum.
A1	10,31	70,60
A2	160,40	940,70
A3	324,32	1472,80

Y con esta tabla dibujamos la gráfica correspondiente (Excel, facilita este paso)



Volvemos a recurrir a Simpsom para calcular el Volumen total de proa de la escotilla

$$Vvacío = \frac{\beta}{3} * (1 * AAtf + 4 * ABtf + 1 * ACtf)$$

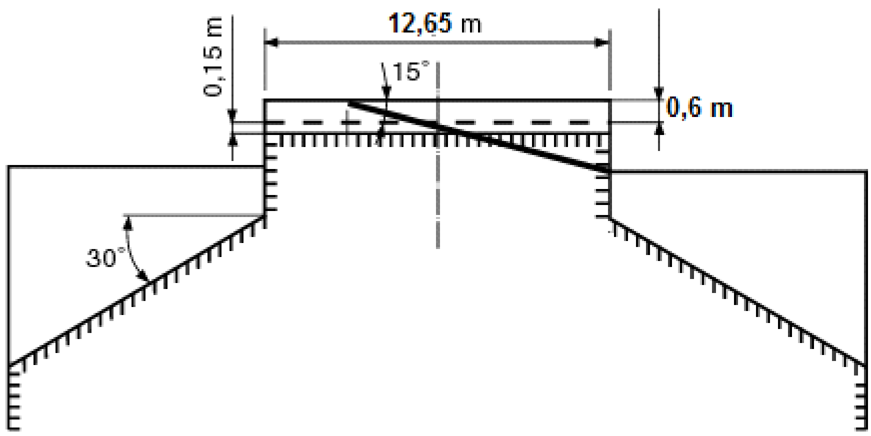
$$Vvacío = \frac{2,7}{3} * (1 * 63,42 + 4 * 31,98 + 1 * 5,04)$$

$$Vvacío = 176,74\ m^3$$

Con este valor se entra en la gráfica y se busca el momento volumétrico que corresponde a ese volumen. En este caso nos da

$$Mv = 1012\ m^4$$

Para terminar vamos a calcular la parte de la escotilla recordando que En las escotillas llenas, además de cualquier espacio abierto que quede en la tapa de las mismas, existe un espacio vacío de una profundidad media de 150 mm, medida desde la parte más baja de dicha tapa o desde la parte alta de la brazola a la superficie del grano, tomándose de estas dos distancias la menor y sirva de ayuda la siguiente figura.



El volumen vacío que tenemos que considerar es el que abarca la tapa m cuyo área como podemos ver es:

$$Atapa = 12,65 * (0,6 + 015) = 9,49\ m\text{^}2$$

Y como la tapa de la escotilla tiene 20,25 metros de eslora es muy fácil calcular el volumen

$$Vtapa = 9,49 * 20,25 = 192,1\ m^3$$

Con estos datos calcularemos los lados del triángulo formado después del corrimiento

$$A = \frac{base * altura}{2} = 9{,}49\ m^2$$

Siendo base (b) =lado mayor y altura (h) = lado menor

Y sabiendo que

$$tg\ 15° = \frac{\square}{b}$$

Despejando , obtenemos el valor de b que es el que nos interesa para hallar el momento

$$b = 8{,}41\ m$$

$$Mtapa = 9{,}49 * \left(\frac{2}{3} * 8{,}41 - 2{,}11\right) = 33{,}17\ m\text{^}3$$

*2,11metros, es la distancia que se separa el vértice del triángulo del eje central de la tapa que es nuestra referencia.

$$Mvtapa = 33{,}17 * 20{,}25 = 671{,}75\ m^4$$

Ahora sumando todos los momentos volumétricos hallados tendremos el total: y considerando que los espacios de proa y popa son iguales

Zona de escotilla = 671,84 m^4

Zona de proa escotilla = 1012 m^4

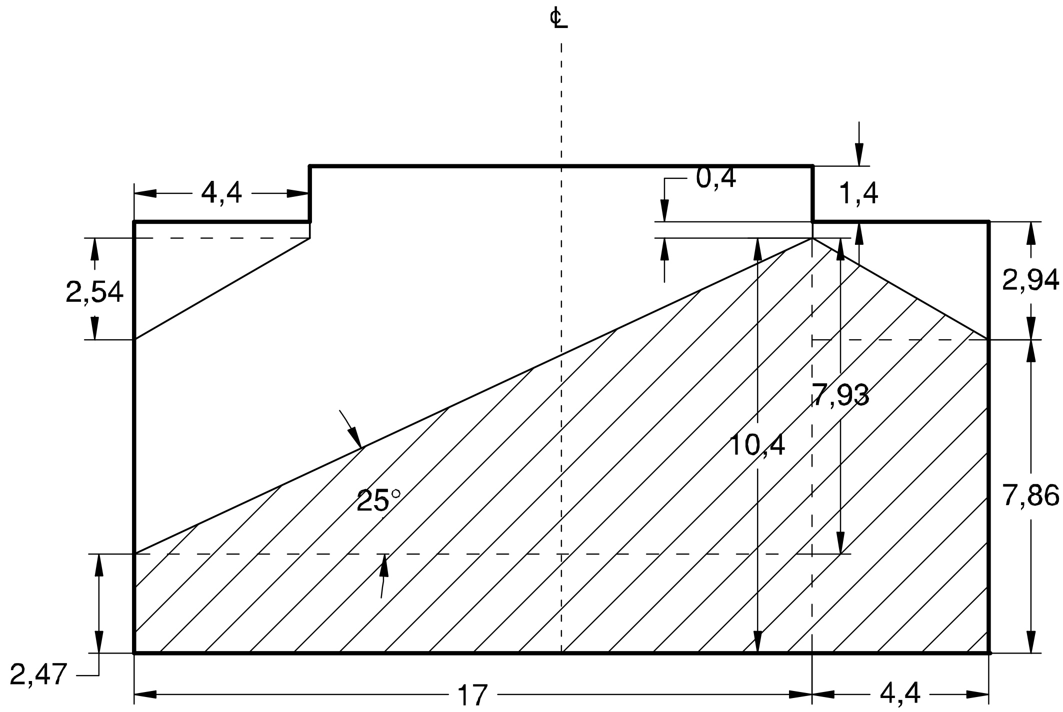
Zona de popa escotilla = 1012 m^4

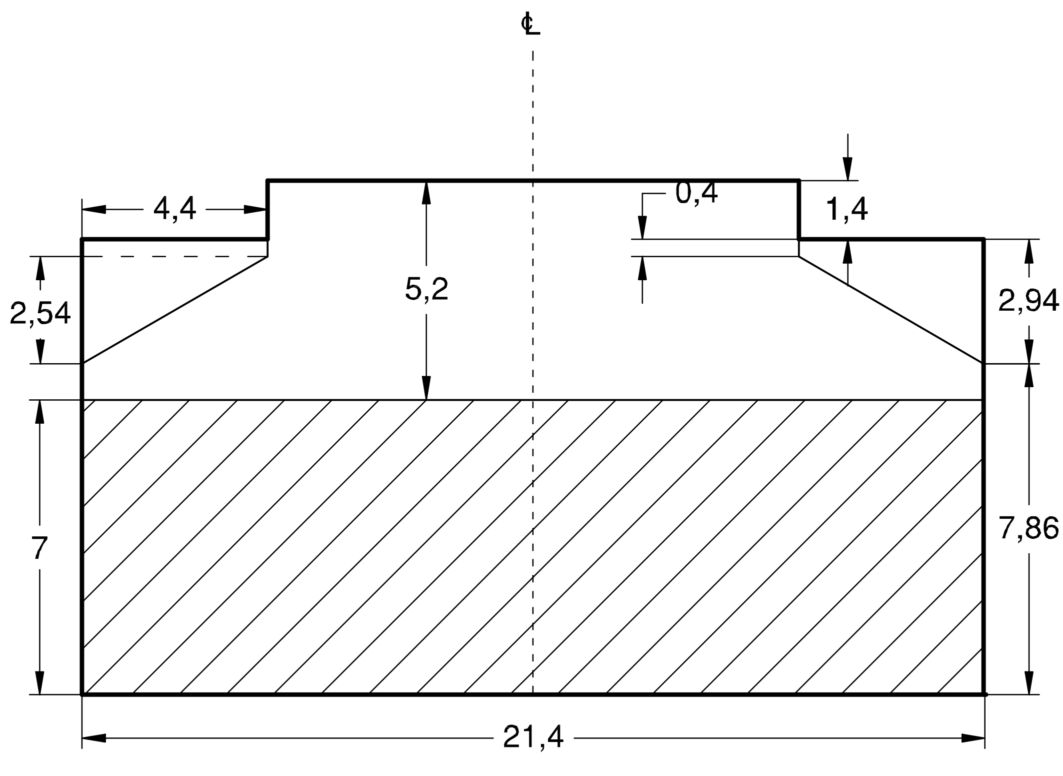
Total momentos volumétricos

$$\boldsymbol{MvT = 671{,}84 + 1012 + 1012 = 2696{,}6\ \mathrm{m}\text{^}4}$$

:

Por último, para dibujar la nueva curva de momentos volumétricos par la bodega nº 2, vamos a imaginar una situación intermedia con la bodega parcialmente llena :





$$S1 = 17 * \left(\frac{2{,}47 + 10{,}4}{2}\right) = 109{,}40\ m^2$$

$$S2 = 4{,}4 * \left(\frac{10{,}4 + 7{,}86}{2}\right) = 40{,}17\ m^2$$

$$St = S1 * S2 = 149{,}57\ m^2$$

$$H = \frac{St}{21{,}4} = 7\ m$$

$$\boldsymbol{Vacío = 12{,}2 - 7 = 5{,}2\ m}$$

Momentos con respecto al costado de babor

$$MS1b = 17 * 2{,}47 * 8{,}50 = 356{,}915\ m^3$$

$$MS1A = \frac{17 * 7{,}93}{2} * \frac{2}{3} * 17\ m^3$$

$$MS2b = 4{,}4 * 7{,}86 * \left(17 + \frac{4{,}4}{2}\right) = 664{,}01 m^3$$

$$MS2A = \frac{2{,}4 * (10{,}4 - 7{,}86)}{2} * (21{,}4 - \left(\frac{2}{3} * 4{,}4\right) = 103{,}19\ m^3$$

$$\Sigma M = 1888{,}04\ m^3$$

Siendo la superficie total ST:

$$ST = 41{,}99 + 67{,}41 + 34{,}58 + 5{,}59 = 149{,}57\ m^2$$

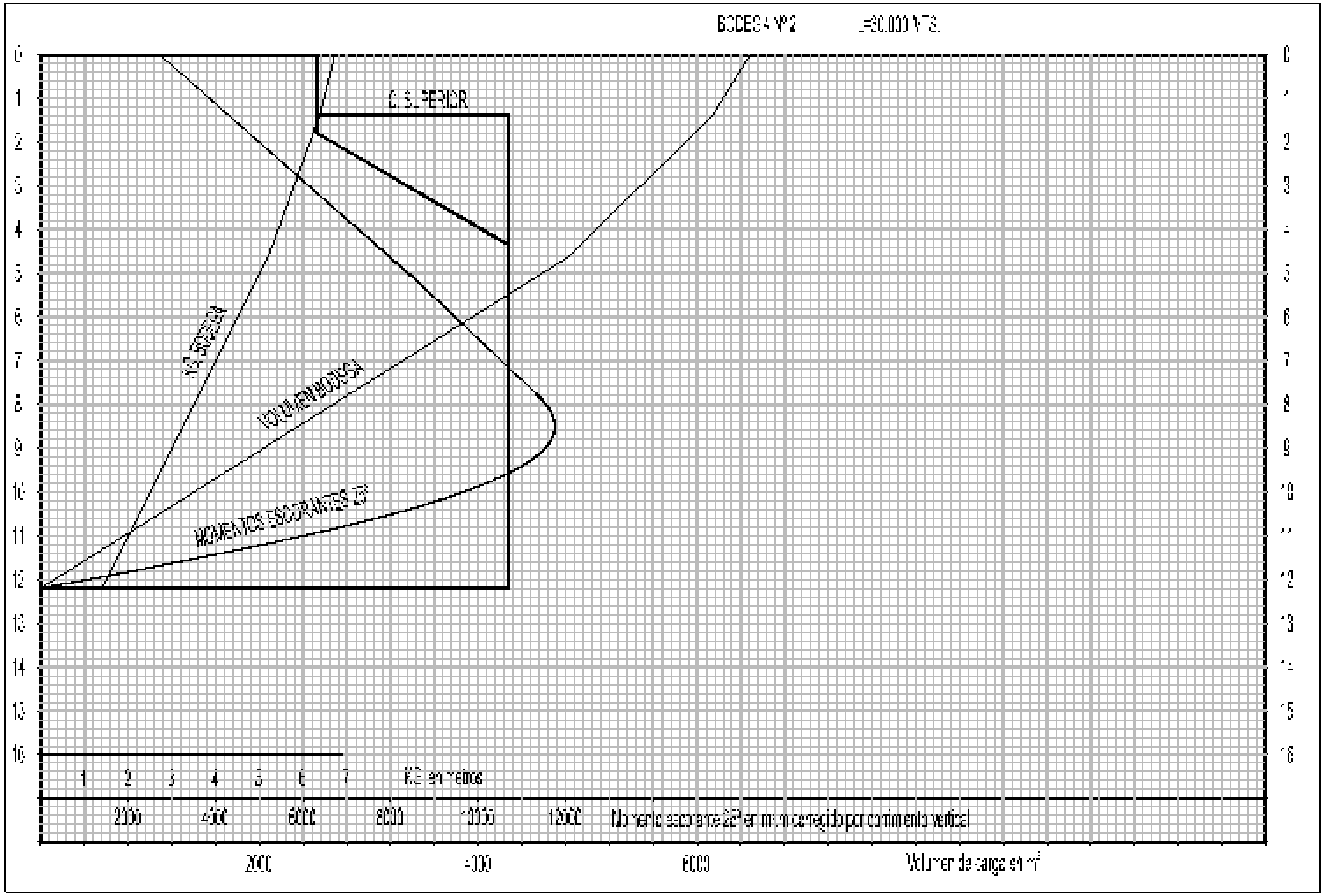
Y hallando la distancia podemos calcular el momento volumétrico escorante correspondiente a un vacío de 5,2 m: y siendo 30 metros la eslora

$$d1 = 12{,}62$$

$$d = 12{,}62 - 10{,}7 = 1{,}92\ m$$

$$\boldsymbol{Mv = 149{,}57 * 1{,}92 * 30 = 8615{,}23\ m^4}$$

Con lo que nuestro plano de la bodega nº 2 podríamos dibujarla de la manera que la hemos tratado como si fuera un espacio particularmente


BODEGA Nº2
L=30.000 MTS.
C. SUPERIOR
KG BODEGA
VOLUMEN BODEGA
MOMENTOS ESCORANTES ZF
KG en metros
Momento escorante 2ZF en m·m corregido por corrimiento vertical
Volumen de carga en m³

CONCLUSIONES

1.-El método propuesto por los gobiernos de Liberia y de los Estados Unidos de Norte América proporciona un método simple pero efectivo de cálculo de momento volumétrico escorante; tal es así que la OMI, lo acoge como propio en su ordenamiento y varias sociedades de clasificación lo desarrollan en sus reglamentos de construcción naval.

2.-El gráfico de momento volumétrico, resultante en este trabajo es válida para los cálculos de la motonave Medusa porque representa un aumento no desproporcionado de los momentos volumétricos escorantes

3.- Aunque solo se ha estudiado la bodega nº 2, estos cálculos son extrapolables a las restantes bodegas, salvo la nº1, en la que debido a la configuración de los entrepuentes frigoríficos no resulta práctica la sustitución del entrepuente por un tanque lateral alto con 30 grados de inclinación

4.- Al igual que el resto de documentación, en este trabajo solo se se trabaja con momentos volumétricos siendo necesario a posteriori la aplicación del factor de estiba correspondiente

5.-La tabla de momentos máximos admisibles no se ve afectada por todos estos cálculos al ser ésta íntimamente dependiente de la geometría de la carena

6.-El autor de este trabajo modestamente entiende que tras la proliferación de buques con bodegas que pueden ser consideradas compartimentes particularmente adecuados, los cálculos de este trabajo modernizan la documentación de la motonave Medusa de uso en la Escuela Técnica Superior de Náutica por los alumnos de Teoría del Buque y Construcción Naval

BIBLIOGRAFIA

Antonio Bonilla de la Corte; “Teoría del buque”. Librería San José

Joan Olivella Puig; “Teoría del buque. Estabilidad, varada e inundación”

Ian C. Clark. Stability, Trim and Strenght for Merchant Ships and Fishing Vessels. The nautical institute, 2008.

Cesáreo Díaz Fernández, “Teoría delbuque”, 1969

José Iván Martínez García. “Motonave Medusa”

José Iván Martínez García. Apuntes de Teoría del buque 2010

Bryan Barras y D.R. Derret. “Ship Stability for Masters and Mates. Elsevier 2012

K.J. Rawson and E.C. Tuper, “Basic ship theory”. Longman Scientific and Techical, 2001

Francisco Archanco Fernández; “Sobre los cálculos de grano con los extremos de bodegas sin rellenar”

Resolución MSC 23 (59)