

TEMA 1. FLOTABILIDAD

1.1. Equilibrio de cuerpos flotantes: Principio de Arquímedes.

1.1.1. Principio de Arquímedes.

Todo cuerpo sumergido en un líquido recibe de este un empuje de abajo hacia arriba igual al peso del volumen de líquido desalojado.

$$\text{Peso del cuerpo} = \text{Volumen} \cdot \text{Densidad} \quad ()$$

$$\text{Empuje} = \text{Volumen del líquido desalojado} \times \text{Densidad del líquido}$$

1.2. Equilibrio estable de un cuerpo flotante.

Se produce cuando el **centro de carena** está:

- En la vertical del centro de gravedad.
- Centro de gravedad por debajo del metacentro.

1.2.1. Centro de carena.

Centro del volumen sumergido o bien punto de aplicación de la fuerza ascendente.

1.2.2. Metacentro.

Punto de intersección de las líneas de fuerzas ascendentes sobre la línea de equilibrio normal al escorarse el barco un ángulo pequeño ($< 15^\circ$).

1.3. Flotabilidad.

Es la presión ascendente que ejerce el agua sobre el barco.

$$\text{Flotabilidad} = \text{Peso del agua desplazada}$$

1.3.1. Desplazamiento.

Es el peso del barco.

$$\text{Desplazamiento} = \text{Volumen de carena} \cdot \text{densidad}$$

1.3.2. Centro de carena (C).

Centro del empuje ascendente o centro de la fuerza de flotación.

Punto de aplicación de la fuerza ascendente.

1.3.3. Centro de gravedad (G)

Punto de aplicación de la resultante de todas las fuerzas de la gravedad.

Generalmente el centro de gravedad no coincide con el centro geométrico.

1.3.4. Altura del centro de gravedad sobre la quilla (GK).

Distancia vertical desde el canto bajo de la quilla (K) al centro de gravedad (G).

1.4. Francobordo.

Distancia vertical desde el costado del buque y en la medianía de su eslora entre la línea de flotación a máxima carga y la línea de cubierta principal.

1.4.1. Cubierta principal.

Es la que posee medios permanentes de cierre.

1.5. Reserva de flotabilidad.

Volumen comprendido entre la cubierta estanca superior y la superficie de flotación a máxima carga.

El disco Plimsoll y la línea horizontal que lo atraviesa es la base para trazar las demás líneas de máxima carga según el tipo de aguas y la estación del año.

1.6. Carena.

Parte sumergida del casco.

1.6.1. Volumen de carena.

Volumen del líquido desalojado.

1.6.2. Centro de carena.

Centro de gravedad del volumen sumergido. Punto de aplicación de la resultante de las fuerzas ascendentes.

1.6.3. Empuje.

Fuerza ascendente aplicada al centro de carena.

1.6.4. Centro de empuje o centro de presión.

Coincide con el centro de carena.

1.7. Desplazamiento.

Es el peso del buque. Se expresa en toneladas métricas.

1.7.1. Desplazamiento en rosca.

Peso del buque totalmente descargado (al terminar su construcción).

1.7.2. Desplazamiento en lastre.

Peso del buque con su dotación, sin carga pero listo para navegar.

1.7.3. Desplazamiento máximo o total.

Peso del buque a máxima carga y listo para navegar.

1.7.4. Desplazamiento estandar.

Para los buques de guerra.

1.7.5. Desplazamiento en superficie e inmersión.

Para los submarinos.

1.8. Centro de gravedad (G).

Punto de aplicación de todos los pesos. Generalmente *no* coincide con el centro geométrico.

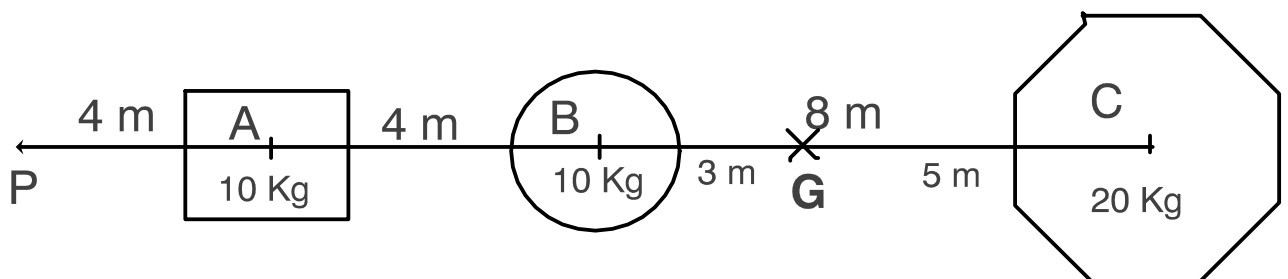
1.8.1. Momento de un punto respecto al centro de gravedad.

Es el producto del peso aplicado en el punto por la distancia al centro de gravedad.

Si el cuerpo está en equilibrio la suma algebraica de momentos respecto al centro de gravedad es cero.

Ejemplo.

Hallar el punto de aplicación del centro de gravedad con los datos de la figura.



$$M_{AP} = 10 \cdot 4 = 40 \text{ Kg-m}$$

$$M_{BP} = 10 \cdot 8 = 80 \text{ Kg-m}$$

$$M_{CP} = 20 \cdot 16 = 320 \text{ Kg-m}$$

$$\underline{\quad 40}$$

$$\underline{\quad 440}$$

$$440 \text{ Kg-m} / 40 \text{ m} = 11 \text{ m} \quad \square$$

$$\square \text{ PG} = 11 \text{ m}$$

Comprobación:

$$M_{AG} = 10 \cdot 7 = 70$$

$$M_{CG} = 20 \cdot 5 = 100$$

$$M_{BG} = 10 \cdot 3 = 30$$

$$\text{Momento resultante} = 100 - 100 = 0$$

$$\underline{\quad 100}$$

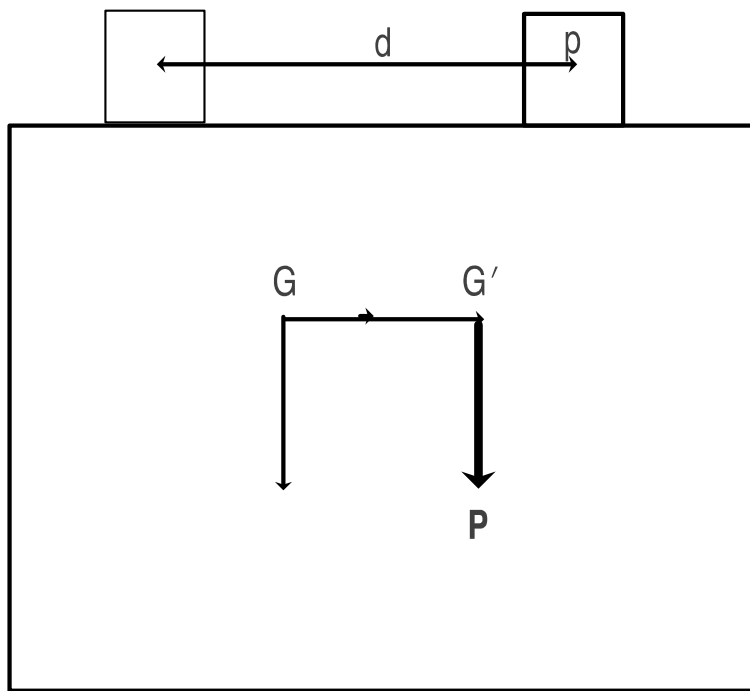
1.8.2. Variación del Centro de Gravedad.

Al cambiar de sitio cualquier elemento de un sistema de pesos, cambia el centro de gravedad del sistema.

La variación del centro de gravedad es directamente proporcional al peso y a la distancia a que se traslada e inversamente proporcional al peso total del sistema.

1.8.2.1. Variación por desplazamiento paralelo de un peso.

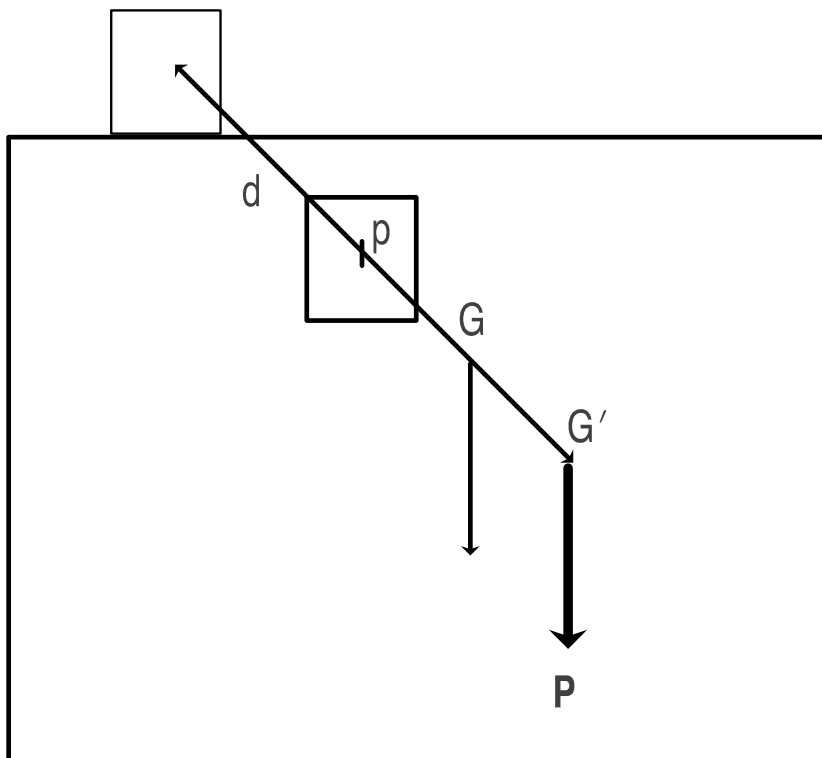
La variación del centro de gravedad será directamente proporcional al producto del peso por la distancia a que se ha desplazado e inversamente proporcional al peso total del sistema.



$$GG' = p * d / P$$

1.8.2.2. Variación por desplazamiento oblicuo de un peso.

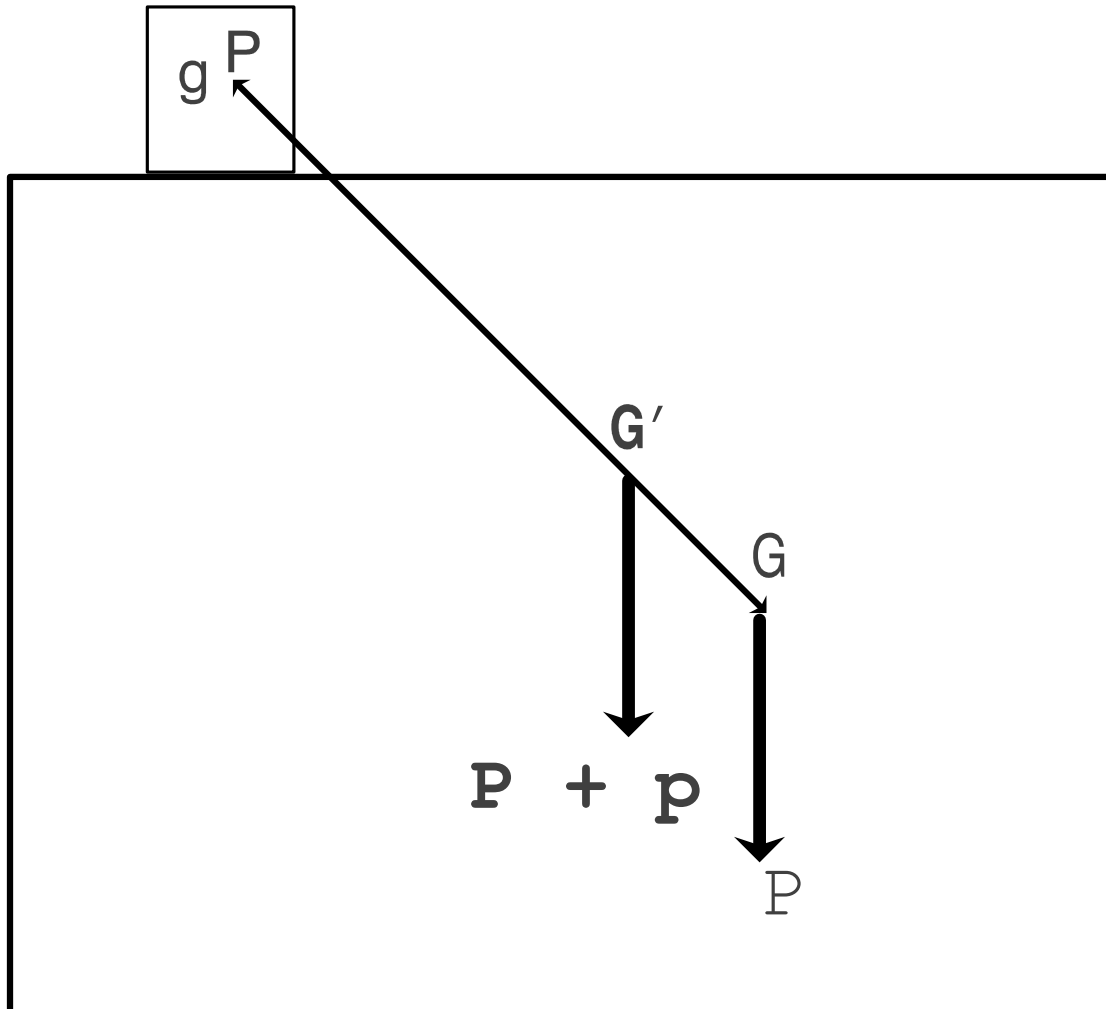
La variación del centro de gravedad será directamente proporcional al producto del peso por la distancia a que se ha desplazado e inversamente proporcional al peso total del sistema.



$$GG' = p \cdot d / P$$

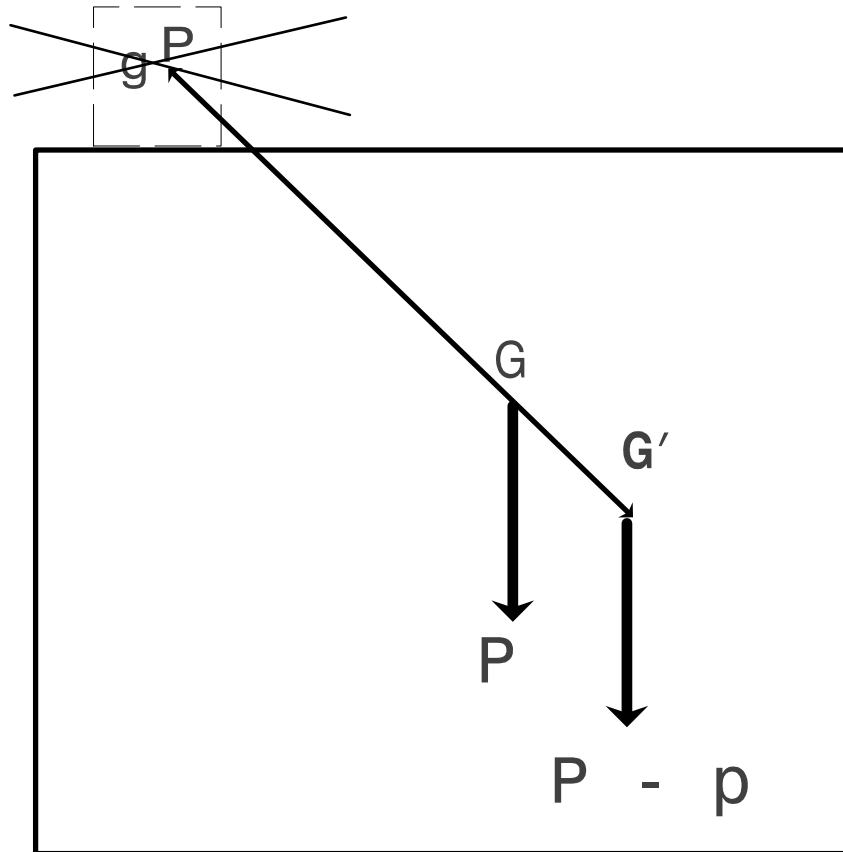
1.8.2.3. Variación del centro de gravedad al cargar un peso.

Es lo mismo que si inicialmente lo cargáramos en G, con lo que varía el peso total del sistema (P+p) pero no el centro de gravedad, y posteriormente lo trasladáramos al lugar que ocupa.



$$GG' = p * gG / P+p$$

1.8.2.4. Variación del centro de gravedad al descargar un peso.



$$GG' = p * gG / P - p$$

1.9. Arqueo: Definición y clases.

Arqueo o registro es el volumen o capacidad de un buque.

Se expresa en **Toneladas Moorson**

$$(1 \text{ T. Moorson} = 2,83 \text{ m}^3 = 100 \text{ pies}^3)$$

$$\text{Arqueo} = E \cdot M \cdot P \cdot Ca / 2,83 \text{ m}^3$$

- **E** = Eslora (m)
- **M** = Manga (m)
- **P** = Puntal (m)
- **Ca** = Coeficiente de afinamiento.

1.9.1. Arqueo Bruto.

Arqueo Bruto o Registro Total (R.T.) o Registro Bruto (R.B.) es el volumen total de los espacios del buque.

1.9.2. Arqueo Neto.

Volumen de los espacios cerrados que pueden aprovecharse comercialmente.

1.10. Equilibrio de los cuerpos total o parcialmente sumergidos.

- **Centro de gravedad (G).**

Punto donde se concentran las fuerzas descendentes de un cuerpo (peso).

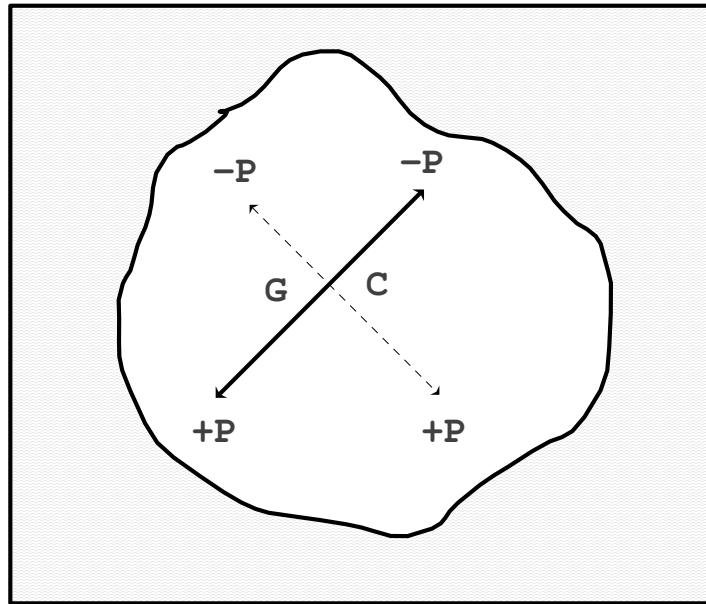
- **Centro de carena (C).**

Punto donde se concentra el empuje o fuerzas ascendentes.

1.10.1. Cuerpo totalmente sumergido.

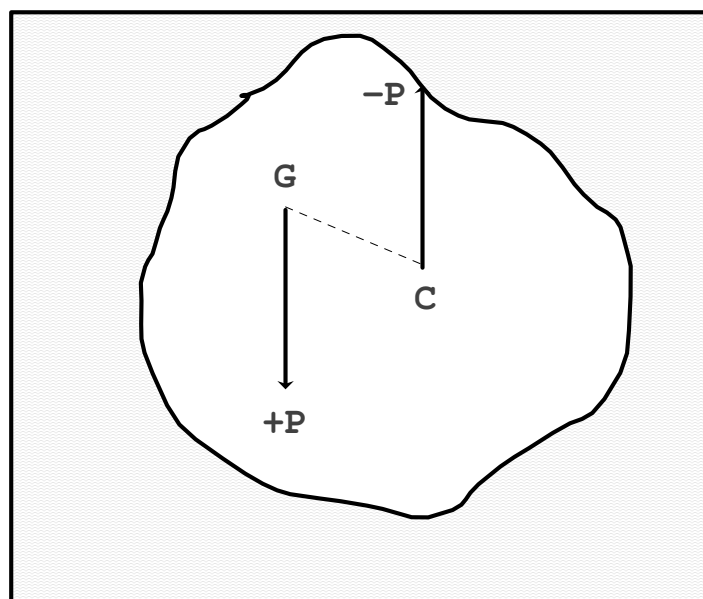
Si G coincide con C : Equilibrio indiferente.

Al desviar el cuerpo de su posición inicial permanecen invariables las condiciones de equilibrio.

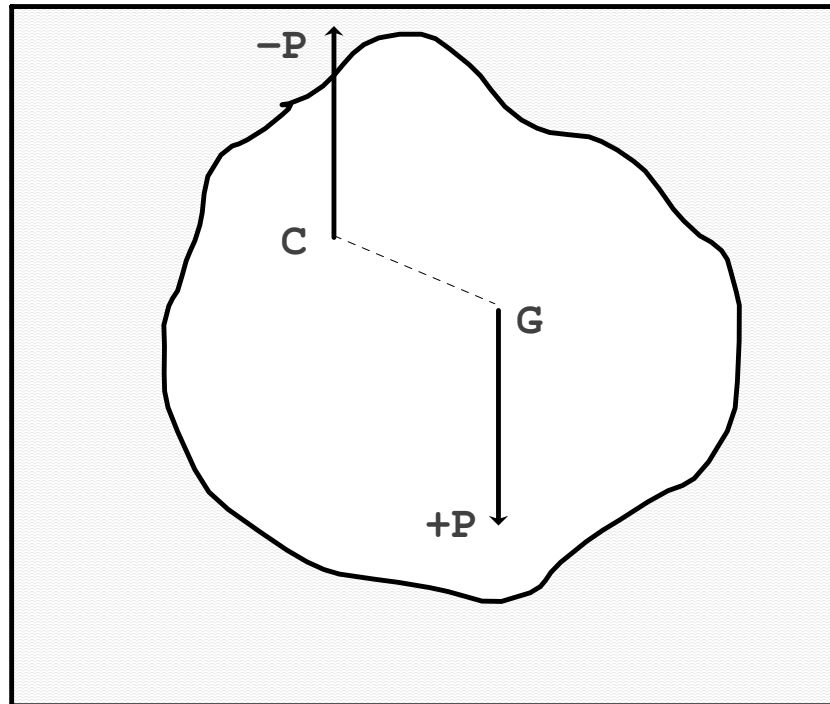


Si G está por encima de C : Equilibrio inestable.

Al desviar el cuerpo de su posición inicial se forman un par de fuerzas ($+P$, $-P$) que tenderán a provocar un movimiento de rotación.



Si G está por debajo de C: Equilibrio estable.



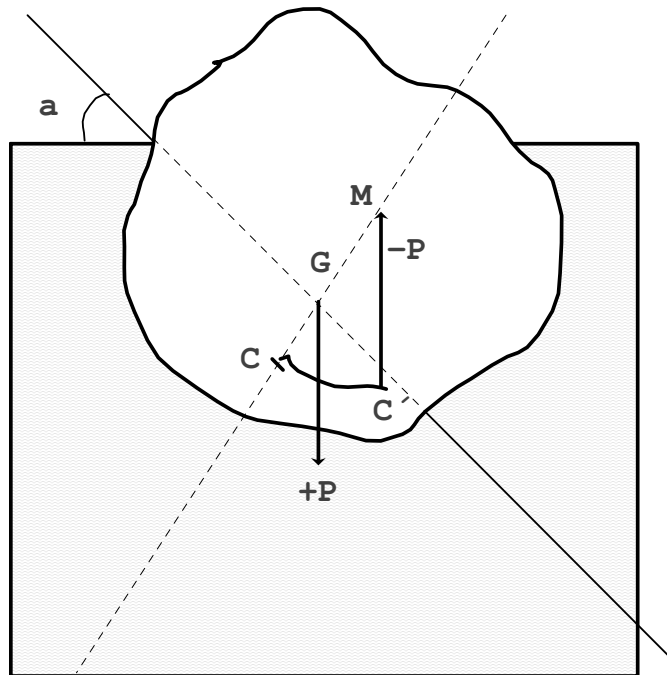
Al desviar el cuerpo de su posición inicial se forman un par de fuerzas (+P, -P) que tiende a regresar al cuerpo a la posición primitiva. El equilibrio estable en un cuerpo totalmente sumergido requiere que el peso sea igual al empuje, que G y C estén en la misma vertical y que C esté por encima de G.

1.10.2. Cuerpo parcialmente sumergido.

En un cuerpo parcialmente sumergido las posiciones relativas de G y C no nos definen la situación de equilibrio.

Es el **metacentro (M)** y su situación respecto a G la que define el equilibrio cualquiera que sea la posición de G respecto a C. Metacentro es el punto de corte de la vertical de la nueva fuerza de empuje (originada al variar C) con la línea de empuje inicial.

Si M está por encima de G: **Equilibrio estable.**

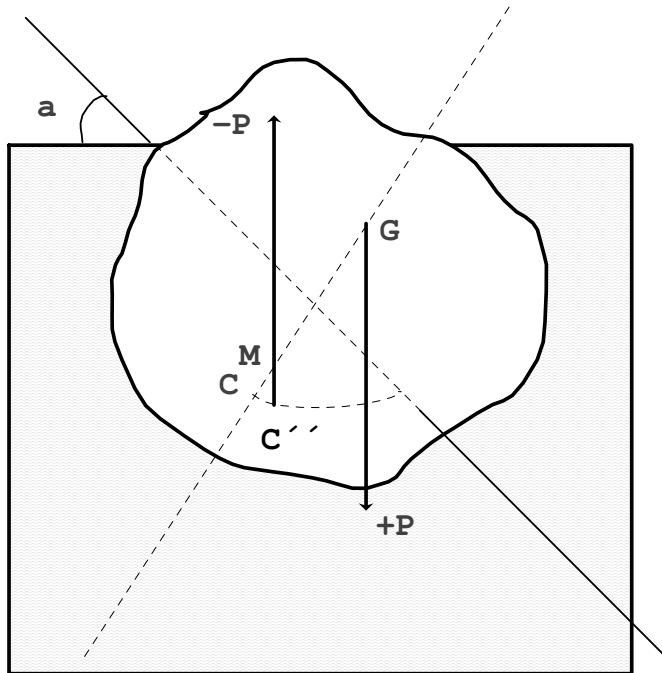


Al desplazar el centro de carena C sobre la curva CC' se forman un par de fuerzas $(+P, -P)$ que tienden a devolver el cuerpo a su posición inicial. El metacentro M queda por encima de G .

Si M está por debajo de G : **Equilibrio inestable.**

Al desplazar C sobre la curva CC'' se forman un par de fuerzas $(+P, -P)$ que tienden a separar el cuerpo, aún más, de su posición inicial.

El metacentro M queda por debajo de G .



Si M está coincide con G : **Equilibrio indiferente.**

En principio el equilibrio es estable en dicha posición, pero al desplazar C se modificará la posición de M creando fuerzas que harán que el equilibrio sea estable o inestable según la posición a la que M pasara.

TEMA 2. ESTABILIDAD

2.1. Estabilidad.

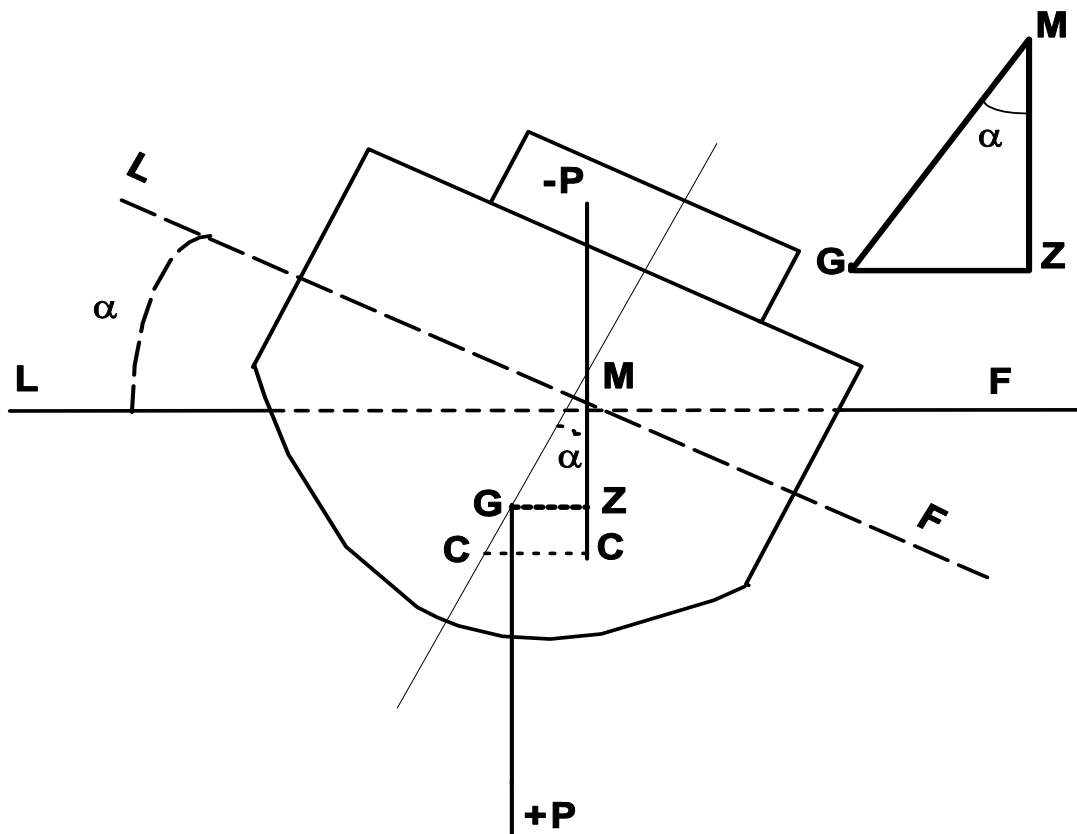
Propiedad de un cuerpo de recuperar su posición inicial de equilibrio si la pierde por causas externas.

2.2. Estabilidad inicial.

Tendencia del buque a adrizarse por si mismo cuando los ángulos de escora son pequeños (hasta unos 15 °).

2.2.1. Altura metacéntrica (GM).

Distancia entre el centro de gravedad (G) y el metacentro (M).



GZ = Brazo de adrizamiento.

GM = Altura metacéntrica.

Las trayectorias de C y M según la escora no son correctas más que para **estabilidad inicial** (escora < 15°). Para mayores inclinaciones las trayectorias son curvas.

2.2.2. Momento de adrizamiento.

Momento de adrizamiento = $P \cdot GZ = P \cdot GM \cdot \text{sen } \alpha$

GM puede aumentar bajando G (cargando pesos por debajo de G).

2.2.3. Brazo de adrizamiento (GZ).

Brazo de adrizamiento es la altura metacéntrica por el seno del ángulo de escora.

Brazo de adrizamiento = GZ

$GZ = GM \cdot \text{sen } \alpha$ · Momento de adrizamiento = $P \cdot GM \cdot \text{sen } \alpha$

- Si GM es grande, el momento de adrizamiento es grande, lo que implica gran estabilidad inicial con resistencia al balance y recuperación brusca o rígida.
- Si GM es pequeña, el momento es pequeño con tendencia al balanceo de recuperación lenta (se dice que duerme).

2.2.4. Par de estabilidad.

Par de fuerzas constituido por el peso del buque y el empuje del agua.

Si existe escora, el centro de gravedad continuará en G si no ha habido traslado de pesos; pero el centro de carena C se trasladará a C' originando el brazo de adrizamiento GZ. El ángulo GMZ (α) será el de escora.

Momento de adrizamiento (M) = $\text{Peso} \cdot GZ$ (brazo de adrizamiento)

$M = \text{Peso} \cdot GM$ (altura metacéntrica) · $\text{seno } \alpha$.

$\text{Peso} \cdot GM = \text{Coeficiente de estabilidad}$

Se mide en tonelámetros o toneladas-pie (según GM se exprese en

metros o
pies).

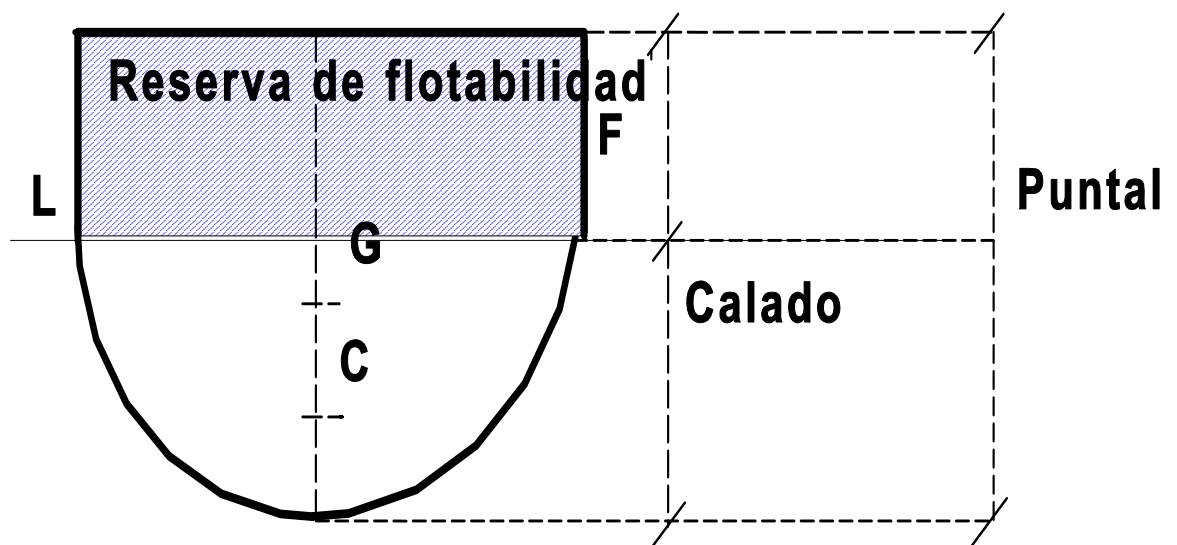
2.3. Estabilidad transversal.

Es el momento de estabilidad visto en los puntos anteriores.

Depende de:

- Altura metacéntrica.
- Forma del casco.
- Francobordo.
- Manga.

2.3.1. Reserva de flotabilidad.



Francobordo

La reserva de flotabilidad es el volumen de la obra muerta.

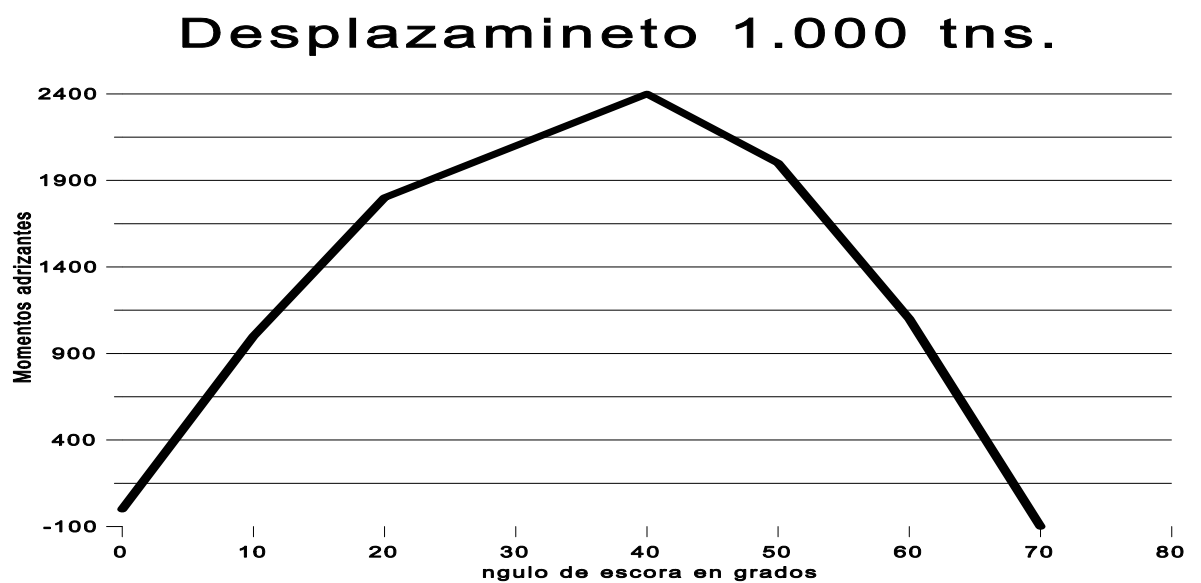
- Puntal: Distancia entre la quilla y la cubierta principal estanca.
- Francobordo: Distancia desde la línea de flotación en máxima carga hasta la cubierta principal en la parte central del buque.

$$\text{Puntal} = \text{Calado_máximo} + \text{Francobordo}$$

- Obra muerta es la parte estanca no sumergida.

2.3.2. Curva de estabilidad transversal.

Es la definida poniendo en abscisas en ángulo de escora y en ordenadas el valor del momento de adrizamiento.



2.3.3. Escora.

Es la inclinación transversal. Se mide en grados respecto a la vertical.

2.3.4. Asiento.

Es la inclinación longitudinal. Se mide por la diferencia de calados entre proa y popa.

Si calado de popa > calado de proa : Barco apopado

Si calado de popa < calado de proa : Barco aproado

Cambio de asiento: es la diferencia entre los calados de proa y de popa.

2.4. Estabilidad longitudinal.

Tendencia del buque a oponerse a los cambios de asiento, es decir, a la inclinación en el sentido longitudinal.

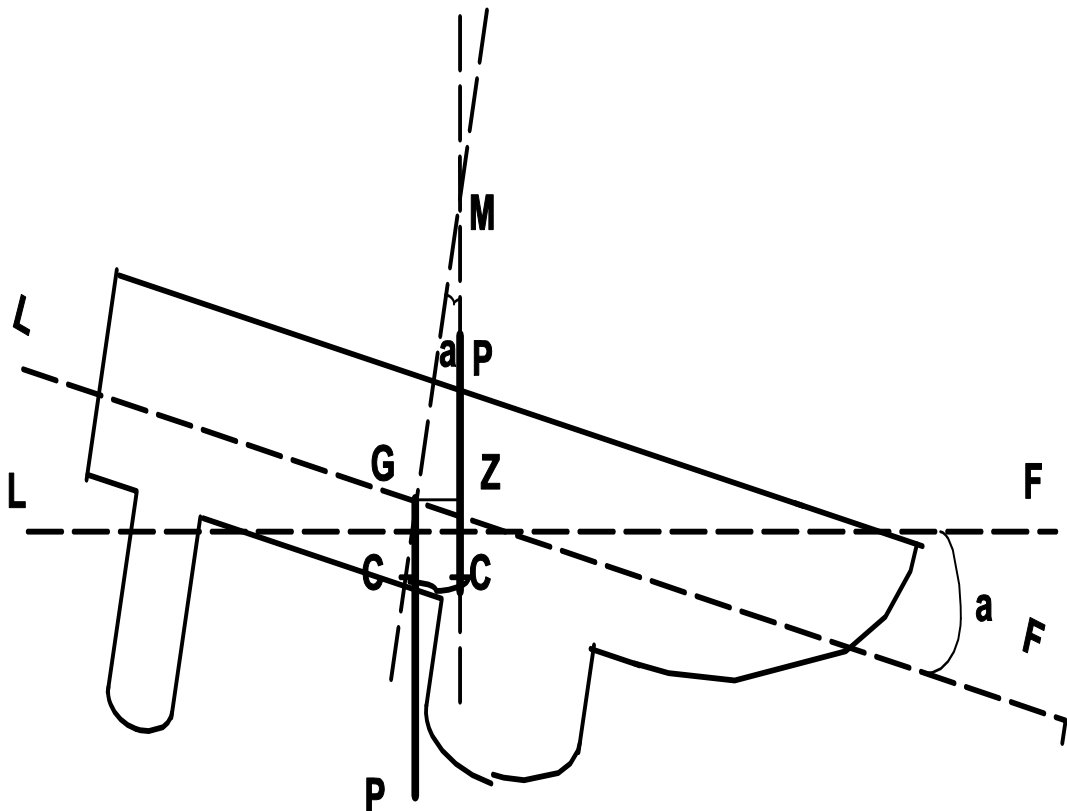
2.4.1. Centro de flotación.

Centro del plano de flotación sobre el que se producen las inclinaciones longitudinales. No suele coincidir con la vertical del centro de gravedad.

Cuando se carga un peso sobre el centro de flotación no se altera la diferencia de calados o asiento.

2.4.2. Estabilidad longitudinal inicial.

Tendencia a oponerse al cambio de asiento cuando los ángulos de inclinación son pequeños.



Su valor es función de la altura metacéntrica longitudinal (GM').

M' = Metacentro longitudinal.

$$\text{Momento_estabilidad_longitudinal} = \text{Peso} \cdot GZ$$

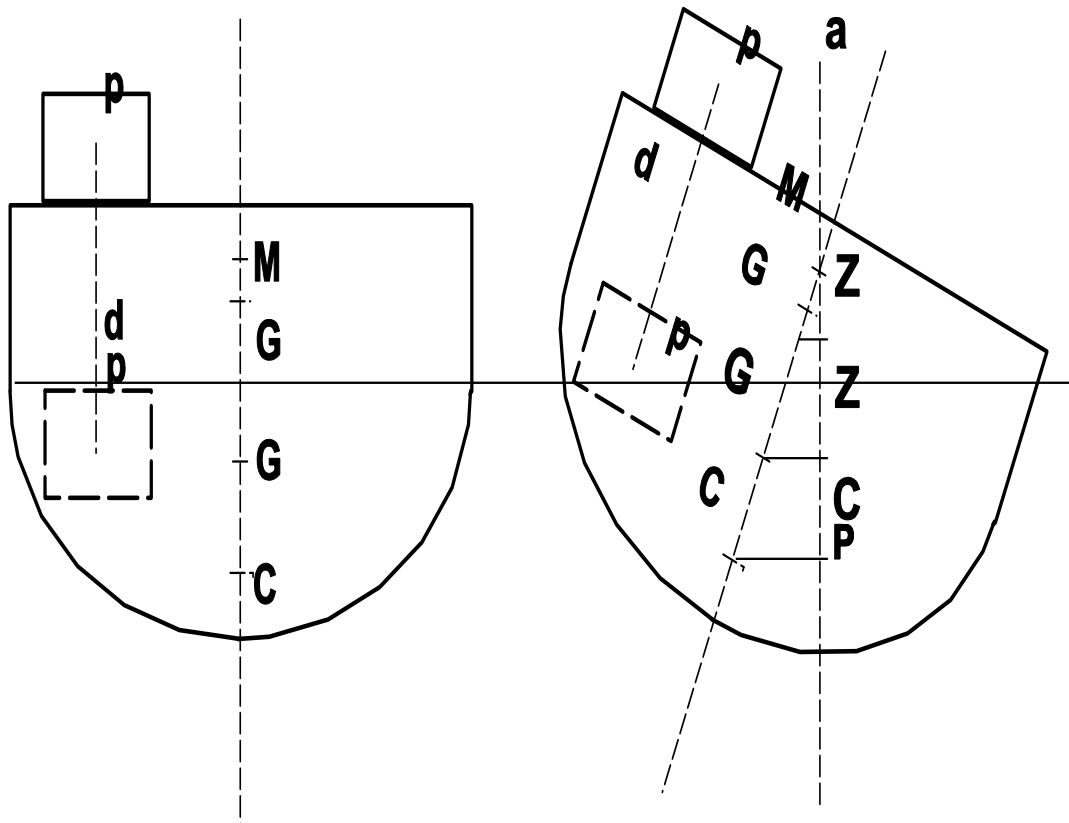
$$GZ = GM' \cdot \text{sen } a$$

$$\text{Momento_estabilidad_longitudinal} = P \cdot GM' \cdot \text{sen } a$$

El momento de estabilidad longitudinal es muy superior al de estabilidad transversal porque GM' es mucho mayor que GM .

Depende fundamentalmente de la *eslora*.

2.5. Movimientos de pesos a bordo y su influencia en la estabilidad y en asiento.



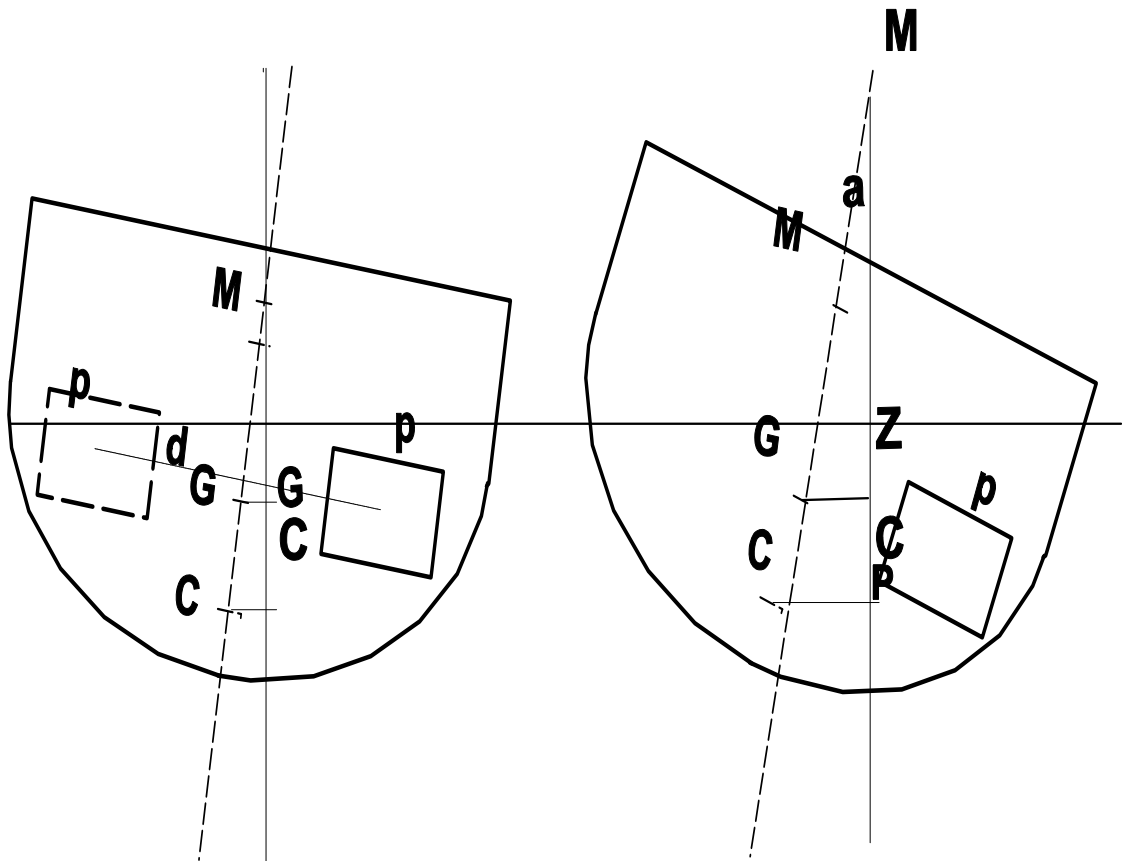
2.5.1. Traslado vertical de pesos.

- No hay variación de asiento ni calados.
- No hay variación de la escora inicial.
- Se altera la altura metacéntrica (GM pasa a ser $G'M$).
- Al escorar se altera el brazo de adrizamiento (GZ pasa a ser $G'Z'$).
- Si el peso se sube disminuye el momento de adrizamiento:

$$P \cdot GM \cdot \sin a = P \cdot GZ$$

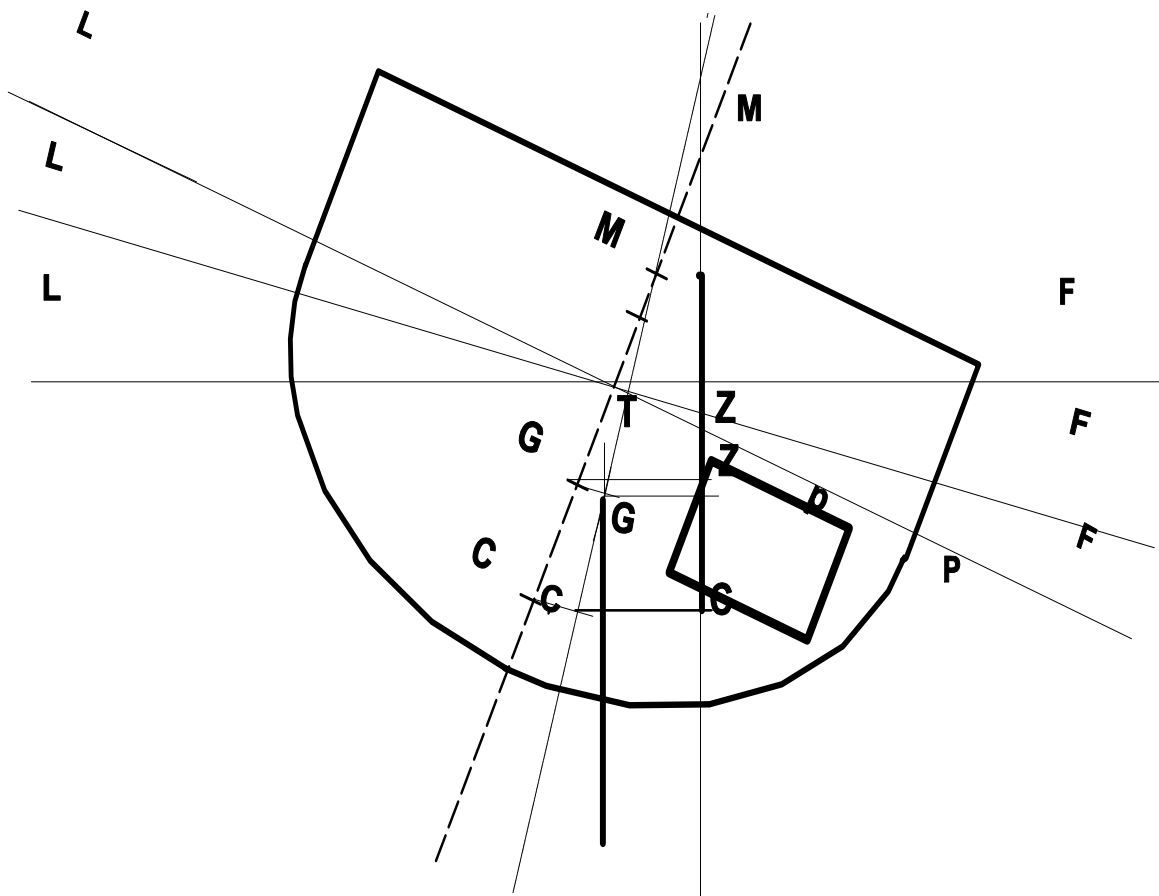
- Si el peso se baja aumenta el momento de adrizamiento.
- $GG' = p \cdot d / P$

2.5.2. Traslado horizontal de pesos.



- No se altera el asiento.
- Se alterará la escora inicial y la escora adquirida quedará como permanente quedando el nuevo centro de carena (C') y el nuevo centro de gravedad (G') en la misma vertical.
- Partiendo de la nueva posición si se escora el buque (por una ola por ejemplo), G' sigue donde estaba pero C' pasa a C'' apareciendo un brazo de adrizamiento $G'Z'$ que es menor que el brazo GZ que el que hubiera tenido de permanecer G en el plano diametral (como estaba antes del traslado de pesos); luego la nueva estabilidad inicial es menor que la que el barco tenía cuando

estaba adrizado.



En el triángulo GTG' podemos resolver sus valores por trigonometría sabiendo que el ángulo TGG' es el de la última escora.

2.5.3. Traslado diagonal de pesos.

Se calcularán los efectos sobre el brazo de adrizamiento con el traslado vertical y con los nuevos datos calcular la escora según el traslado horizontal.

2.5.4. Traslado horizontal-longitudinal. Cambio de asiento.

Se calcularán los efectos sobre GM al trasladar el peso verticalmente y con los nuevos datos se determinarán los efectos del traslado horizontal. Se trata de una mezcla de los dos movimientos vistos: vertical y transversal.

- Cambio de asiento.

Si trasladamos un peso sabemos que su momento es igual a este peso por la distancia trasladado, luego dividiendo ese momento por el momento necesario para que el asiento varíe una pulgada (o un centímetro) nos dará la variación de asiento para dicho traslado.

$$\mathbf{Cambio\ de\ asiento} = p \cdot d / \text{Momento_para_variar_1_pulgada}$$

$$\mathbf{Cambio\ de\ asiento} = p \cdot d / \text{Momento_para_variar_1_cm}$$

- Ver ejemplos.

TEMA 3. BALANCE Y CABEZADA

3.1. Balance.

Movimiento alternativo que hace el buque inclinándose hacia uno y otro costado.

El balance sería continuo si no lo amortiguara la resistencia de los elementos: agua, aire y olas.

Depende de:

- Movimiento propio de oscilación del buque.
- Movimiento ondulatorio de la mar.

Los principales componentes del balance son:

- Período.
- Amplitud.
- Eje de giro longitudinal o eje tranquilo.
- **Balance absoluto** es el referido a la vertical verdadera.
- **Balance relativo** es el referido a la perpendicular a la pendiente media de la ola.

3.1.1. Período de balance.

Tiempo entre la inclinación a una banda e inclinación a la otra el mismo número de grados.

3.1.1.1. Período de balance doble o completo.

Tiempo entre la inclinación a un costado y el regreso a esa misma inclinación.

3.1.2. Amplitud de la oscilación.

Ángulo descrito en una oscilación simple (doble del ángulo de escora a una banda).

3.1.3. Eje de giro longitudinal o eje tranquilo.

Eje longitudinal según el cual un barco oscila en aguas tranquilas.

Se considera a efectos prácticos el que pasa por el centro de gravedad.

3.2. Sincronismo.

Es la sumación de los períodos de balance del buque y de la ola.

Si se produce este fenómeno aumenta el balance absoluto con peligroso aumento de la inclinación.

3.2.1. Factores que se oponen al sincronismo.

- Irregularidad del oleaje y de su período.
- Que el barco no permanezca completamente atravesado al oleaje durante bastante tiempo.
- La resistencia de los medios y su variación en dirección e intensidad.

El sincronismo se evita actuando con el timón cambiando el rumbo.

3.3. Cabezada.

Oscilación longitudinal.

Acción de cabecear o bajar la proa.

Se producen siempre que se recibe la mar por cualquier punto que no sea la de través.

3.3.1. Factores que originan las cabezadas.

- Mayores cuanto menor sea el ángulo con que se recibe el oleaje.
- Altura de las olas.
- Longitud del barco.

3.3.2. Consecuencias de las cabezadas.

- Alteran la resistencia estructural del barco.
- Son mas molestos que los balanceos longitudinales.
- Pueden producir corrimiento de cargas aunque menos que los balanceos transversales.

3.4. Sincronismo transversal y sincronismo longitudinal.

El ***sincronismo transversal*** consiste en la coincidencia del período de balance del barco con el de la ola. Puede hacerse muy peligroso cuando el barco esté completamente atravesado. Se corrige cambiando el rumbo.

El ***sincronismo longitudinal*** se produce cuando el período de cabezada coincide con el de las olas. Si se produce, el efecto es mayor que en el del transversal porque coincidirían cresta y seno de la ola con el fin de la cabezada en la subida y en la caída de la proa, aumentándose la amplitud del movimiento pudiendo el barco llegar a pasarse por ojo (hundirse clavando la proa).

Con mar de proa, si el buque aumenta la velocidad, el período disminuye y los cabeceos serán rápidos y cortos, el barco no tiene tiempo de reaccionar al encontrarse en un seno, encapillará la cresta de la ola siguiente o bien dará fuertes pantocazos. Por eso *cuando se capea un temporal se ha de hacer a poca velocidad.*

Con mar de popa, el sincronismo longitudinal puede hacer que el barco quede en la cresta de la ola con hélice y timón fuera del agua y, por tanto, sin gobierno y al estar en el seno la cresta de la ola siguiente montarían la popa hundiendo el barco. La mar de popa es mucho más traicionera que la de proa.

3.5. Pantocazos.

Son los golpes de la proa que se producen cuando las ondulaciones del agua hacen que el barco quede al aire de proa a popa, en rumbos con proa a la mar, y la velocidad no está acompasada a la de las olas.

Los pantocazos pueden producirse también en la popa, si bien los de proa son más tenidos en cuenta por producir peores efectos.

El ir popa a la mar reduce los pantocazos y si se acompasa a la velocidad de las olas desaparecen, pero no es recomendable en caso de tiempo duro.

3.5.1. Forma de reducir los pantocazos.

- Poner popa a la mar (no recomendable en tiempo duro).
- Reducir la velocidad en caso de proa a la mar.
- Aumentar la velocidad en caso de popa a la mar.
- Serán menores cuánto menos plano sea el fondo del barco en sus

extremidades.

3.6. Inercia.

Todo cuerpo al recibir la acción de una fuerza, conserva el estado mecánico (reposo o movimiento) en que quedó si no actúan otras fuerzas.

Si en aguas tranquilas se provoca una cabezada o un balance desapareciendo la causa, la inercia mantendrá el movimiento indefinidamente.

La fricción con el agua amortiguaría la inercia.

La acción del viento, de la mar y la resistencia a la propulsión provocan el movimiento y hacen que se mantenga con igual, mayor o menor intensidad.

Si aumenta el valor del par de estabilidad (transversal o longitudinal), los balances y/o cabezadas son bruscos y duros provocando sufrimiento de estructuras y corrimientos de cargas.

Para disminuir el momento del par de estabilidad transversal es necesario el "a" de la fórmula

$$\mathbf{M_e = p (r-a) \text{ sen } \alpha}$$

es decir aumentar la altura GC (subir el centro de gravedad) sin que se anule el valor del momento y el barco quede sin estabilidad.

Al igual ocurriría para reducir el momento del par de estabilidad longitudinal, habría que subir el centro de gravedad.

3.7. Influencia del centrado de pesos.

3.7.1. En oscilaciones transversales.

El barco oscila alrededor del eje tranquilo que pasa próximo al centro de gravedad G.

El barco se comporta como un péndulo (péndulo invertido) con eje de oscilación que pasa por el metacentro. Su período es:

$$T = \pi \sqrt{\frac{I}{p \cdot a}}$$

I = Momento de inercia.

p= Peso.

a = Distancia del centro de gravedad del péndulo (G) al centro de giro.

La fórmula trasladada al barco sería:

$$T = \pi \sqrt{\frac{IG}{p \cdot IG}} = \pi \sqrt{\frac{IG}{p \cdot (r - a)}}$$

P = Desplazamiento.

MG = Altura metacéntrica [(G - C) = (r - a)].

IG = Momento de inercia del buque con su carga.

I_G es, por tanto, la suma de los productos de las masas elementales del buque y carga por la distancia que los separa del centro de gravedad elevada al cuadrado.

$$I_G = p \cdot d_1^2 + p \cdot d_2^2 \dots\dots\dots$$

Si *centramos los pesos* disminuyen las distancias y por tanto disminuiría I_G y el período T.

Si aumentamos la distancia MG (r - a) *bajando los pesos* también disminuiría el período.

- El período de balance se reduce por:

- Centrando los pesos.

- Bajando los pesos.

- El valor del período transversal está comprendido entre 4 y 20 seg.

Períodos de menos de 5 seg. son inaguantables.

- Para aumentar el período de balance alejaremos pesos del plano longitudinal-vertical que contiene G o subiremos el centro de gravedad. Esta

estabilidad de balances lentos y prolongados se llama *estabilidad de plataforma*.

3.7.2. En oscilaciones longitudinales.

El comportamiento sería similar y el período de cabeceo se reduce por:

- Centrado de pesos.
- Bajando los pesos.

En barcos pequeños el centrado de pesos longitudinal disminuye el período y favorece el levantamiento de la proa y que se embarque menos agua pero aumenta la incomodidad.

El momento de cabezada depende de:

- período longitudinal.
- eslora.

TEMA 4. RESISTENCIA AL MOVIMIENTO

4.1. Propiedades de los fluidos.

- Viscosidad.
- Cohesión.
- Rozamiento entre moléculas.

4.2. Elementos en los que se mueve el barco.

- Agua.
- Aire.

4.3. Tipos más importantes de resistencias al movimiento.

4.3.1. Resistencia aerodinámica.

- Resistencia por el aire.

4.3.2. Resistencia hidrodinámica.

- Resistencia de fricción o rozamiento.
- Resistencia directa o resistencia de formación de remolinos.
- Resistencia por formación de olas.

4.3.3. Otras resistencias.

- Resistencia por la propulsión.
- Resistencias accidentales (estado de la mar, suciedad del casco, corrientes, etc.).
-

4.4. Resistencia de fricción o rozamiento.

Es la que oponen los filetes o moléculas de agua a la carena del buque en movimiento.

Es la resistencia más importante al movimiento (80 % de la resistencia total).

Proporcional a la superficie de la carena y a la velocidad del buque.

La fricción aumenta proporcionalmente al cuadrado de la velocidad.

El consumo aumenta en proporción al cubo de la velocidad.

4.5. Resistencia directa o "resistencia de formación remolinos".

Originada por masas de aguas que, al paso del buque, pasan de reposo a movimiento originando remolinos con gasto de cierta cantidad de energía.

Para reducir los remolinos se dan al casco líneas de agua eliminando irregularidades y curvaturas bruscas y afinando las salidas de los filetes de agua (tanto en el casco como a timón, arbotantes de hélices, quillas de balance y en general a todos los elementos bajo el agua).

La resistencia directa tiene un valor de $1/10$ a $1/20$ de la resistencia de fricción.

Aumenta su valor proporcionalmente al cuadrado de la velocidad.

4.6. Resistencia por formación de olas.

La formación de olas se debe a la velocidad y forma de la carena.

Las olas más notorias son las divergentes y las transversales.

- Olas divergentes o "bigotes".

Se forman en proa al alcanzar cierta velocidad.

Tienen un ángulo de unos 40° con el plano diametral.

A popa, por la depresión al avanzar la carena, se forman olas divergentes menores.

- Olas transversales.

Se forman al paso de la carena al romper la estabilidad de la presión del agua en sus diferentes capas.

Son proporcionales a la velocidad del buque.

Suponen gasto de energía.

Se propagan en dirección contraria al movimiento del buque.

4.7. Resistencia por el aire.

Resistencia en proporción con la obra muerta, la velocidad del buque y la dirección y velocidad del viento.

4.8. Resistencia por la propulsión.

Es la originada al rellenarse la depresión que originan las hélices por aguas próximas que rozan la carena.

Además las hélices perturban la dirección de los filetes líquidos, forman olas y remolinos.

Esta resistencia depende del número de hélices, de su posición y de su forma.

4.9. Resistencias accidentales.

- Estado de la mar.
- Suciedad del casco (puede reducir hasta un 10 % la velocidad del buque)..
- Corrientes de agua.
- Aguas poco profundas.
- Diferentes densidades del agua.
- Canales estrechos.
- Orillas, etc.

4.10. Resistencia aerodinámica.

Resistencia que ofrece el aire al paso de la obra muerta del buque.

Es proporcional a la obra muerta y velocidad del buque.

Si el aire se convierte en viento, entraría en función su dirección y velocidad respecto a la dirección y velocidad del buque.

4.11. Resistencia hidrodinámica.

Resistencia al paso del buque debida al agua. Representa un 90 % de la resistencia total al movimiento.

- Resistencia por fricción o rozamiento (80 % del total de la resistencia al movimiento).
- Resistencia directa o de formación de remolinos.
 - Resistencia por formación de olas.

4.12. Elementos de la carena que influyen en la resistencia a la marcha.

- Eslora.
- Coeficiente de afinamiento.
- Formas de proa y de popa.

4.13. Influencia de la escora y del asiento en el gobierno.

4.13.1. Influencia de la escora en el gobierno.

La escora permanente origina en la banda escorada mayor resistencia al movimiento que la emergida.

El barco tiende a caer a la banda escorada, tendencia que se corregirá con el timón o adrizando el barco por traslado de pesos.

En algunos veleros debido a sus formas aerodinámicas el efecto puede ser el contrario y el barco tendería a caer a la banda contraria a la escorada (tendencia a orzar).

4.13. 2. Influencia del asiento en el gobierno.

- Buque aproado.

Un buque aproado gobierna mal porque los filetes de agua que inciden en el timón lo hacen con formación de turbulencias y remolinos.

Un buque a aproado pierde velocidad por presentar mayor pantalla de carena.

- Buque apopado.

Mejor gobierno que en el buque aproado porque le entra al timón más cantidad de aguas vivas.

Pérdida de velocidad por presentar más pantalla de carena al agua que si no tuviera diferencia de calados.

Un buen gobierno sin pérdida de velocidad se consigue con el barco apopado unos 3º.

En barcos pequeños hay que tener en cuenta que la mar de popa o aleta aproa el barco, y que la mar de proa o amura apopa el barco.