
UT 2

FUNDAMENTOS DE ESTABILIDAD

Catedra de Sistemas de Ingeniería

Profesores:

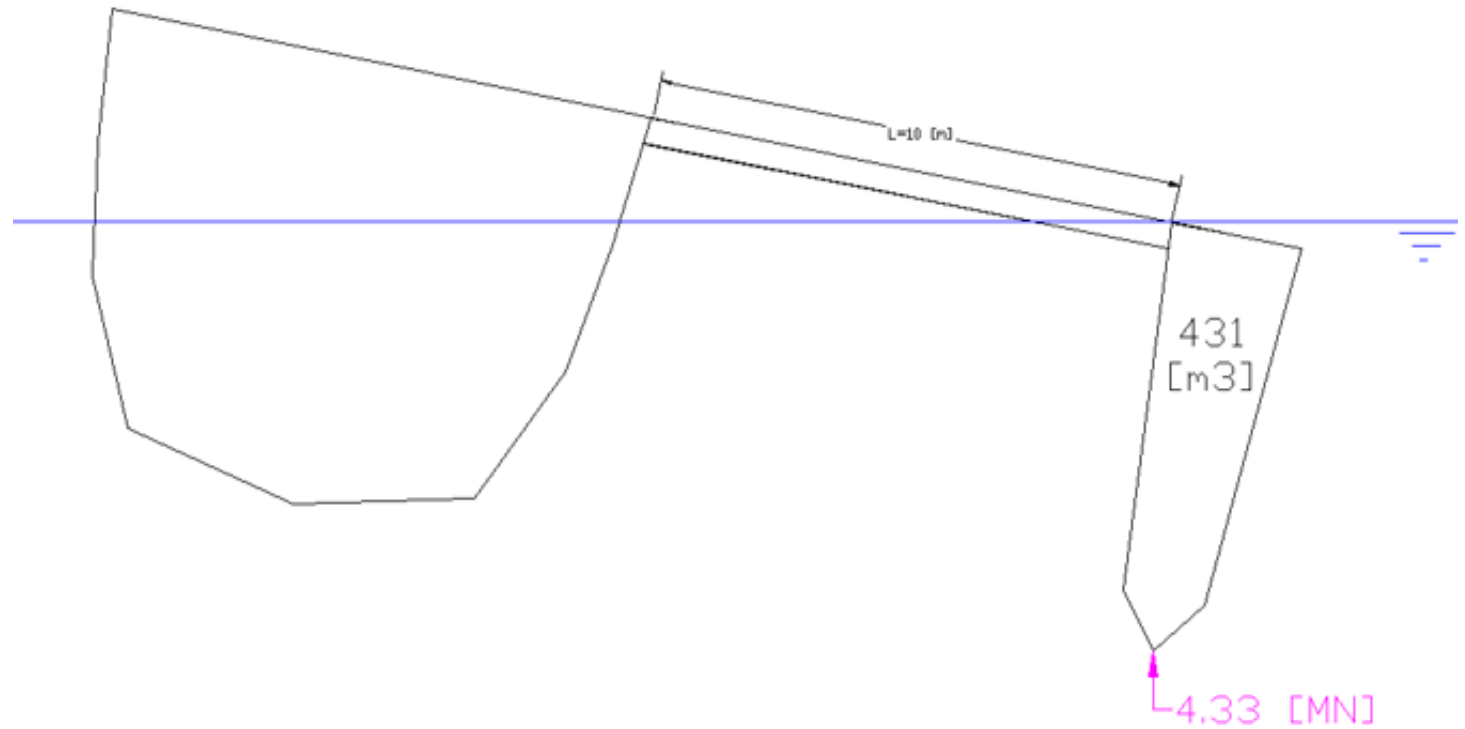
CC Sr. Matías Fisher Silva (4A, 3C y 3D)

PC Alberto García Covacevich (4B, 4C, 3A y 3B)

Tercero y Cuarto Ejecutivo Escuela Naval - Primer semestre 2024

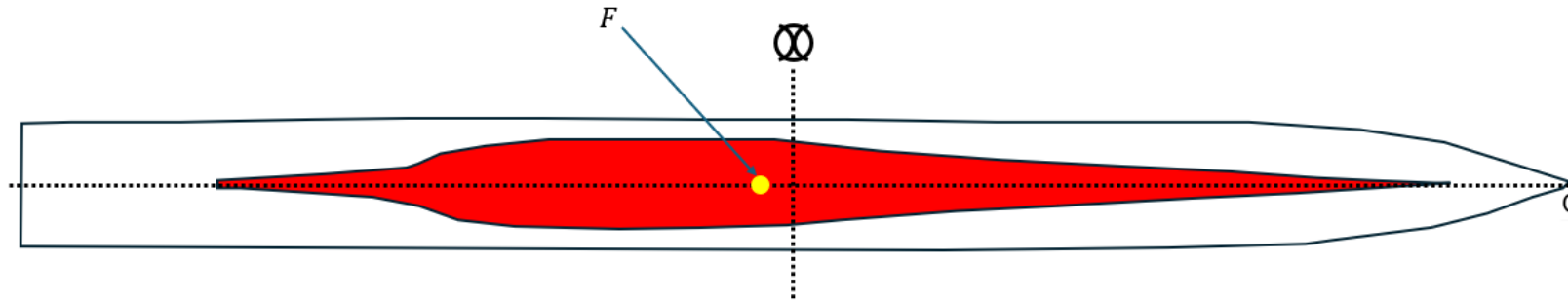


VARIACIÓN Y MOVIMIENTO DE PESOS



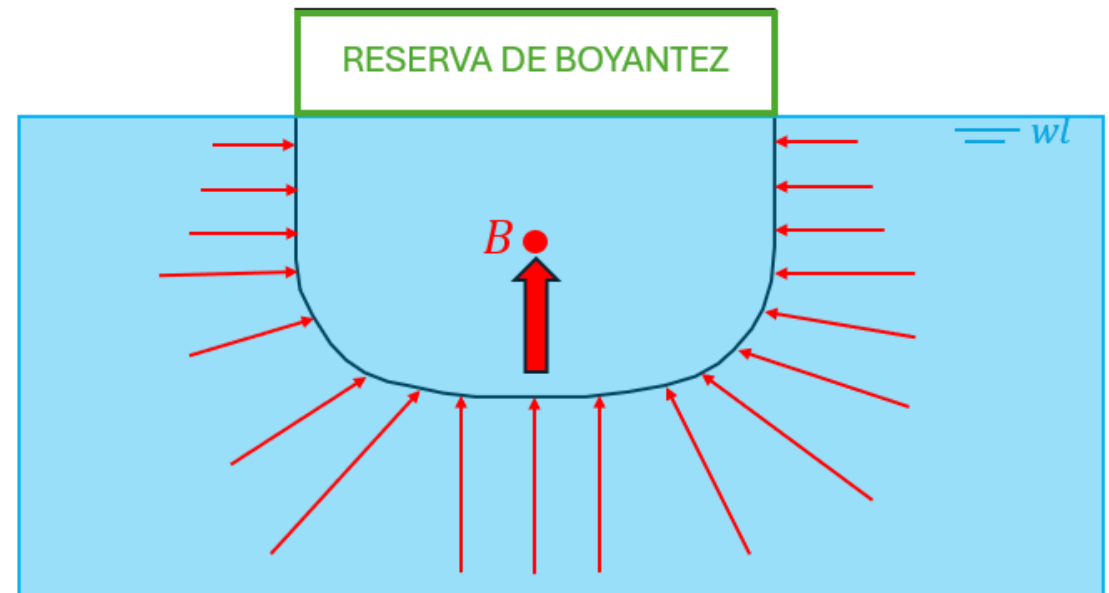
CENTRO DE FLOTACIÓN (F)

- Centroide del plano de agua o plano de flotación (A_w , en rojo).
- Es el punto pivote de escora y cambio de asiento de un buque.
- Varía con los cambios de asiento, escoras y calados, debido a que cambia el plano de flotación
- LCF puede medirse desde A_p , F_p o la cuaderna maestra
- En la figura, que representa a un buque adrizado:
 - F está a popa de la cuaderna maestra, en la línea de crujía.

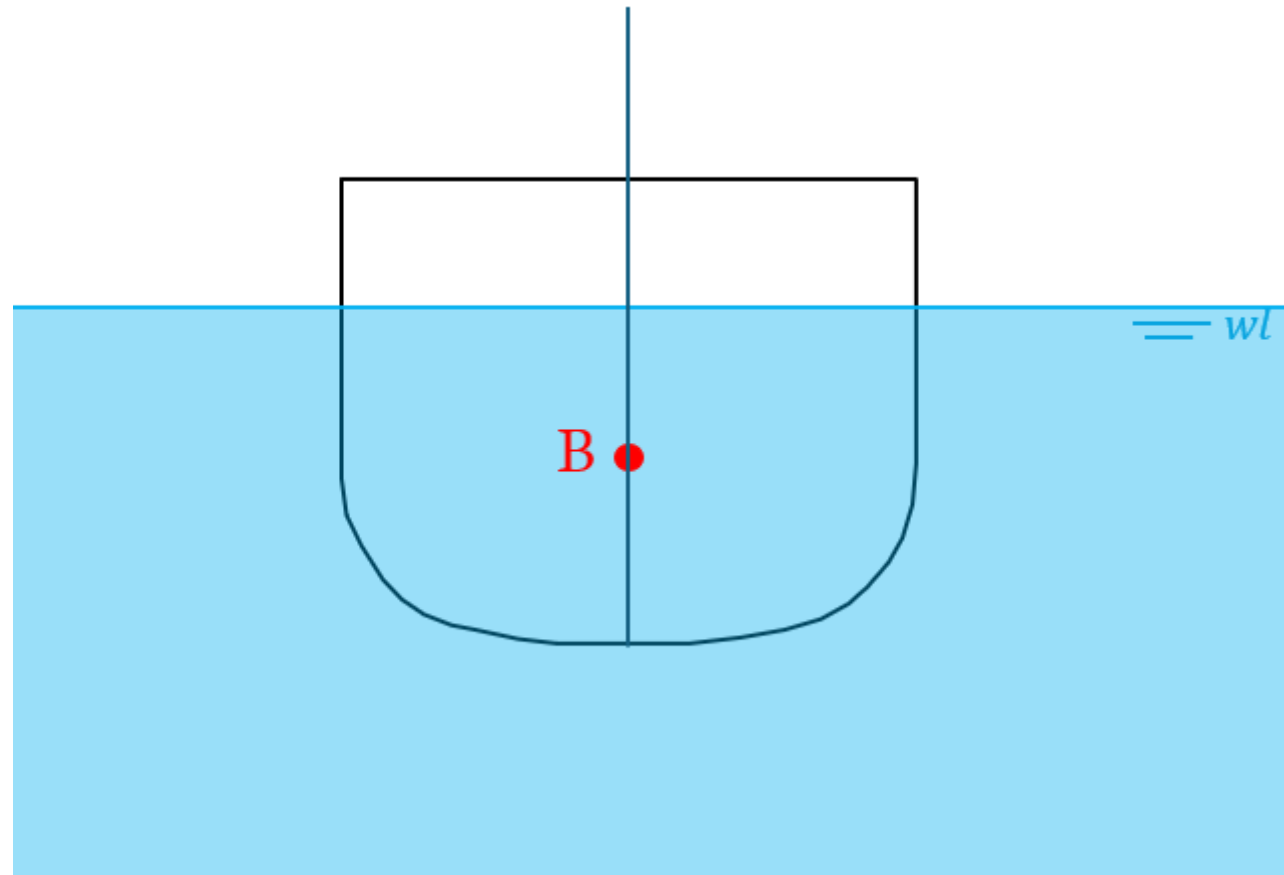


CENTRO DE BOYANTEZ (B)

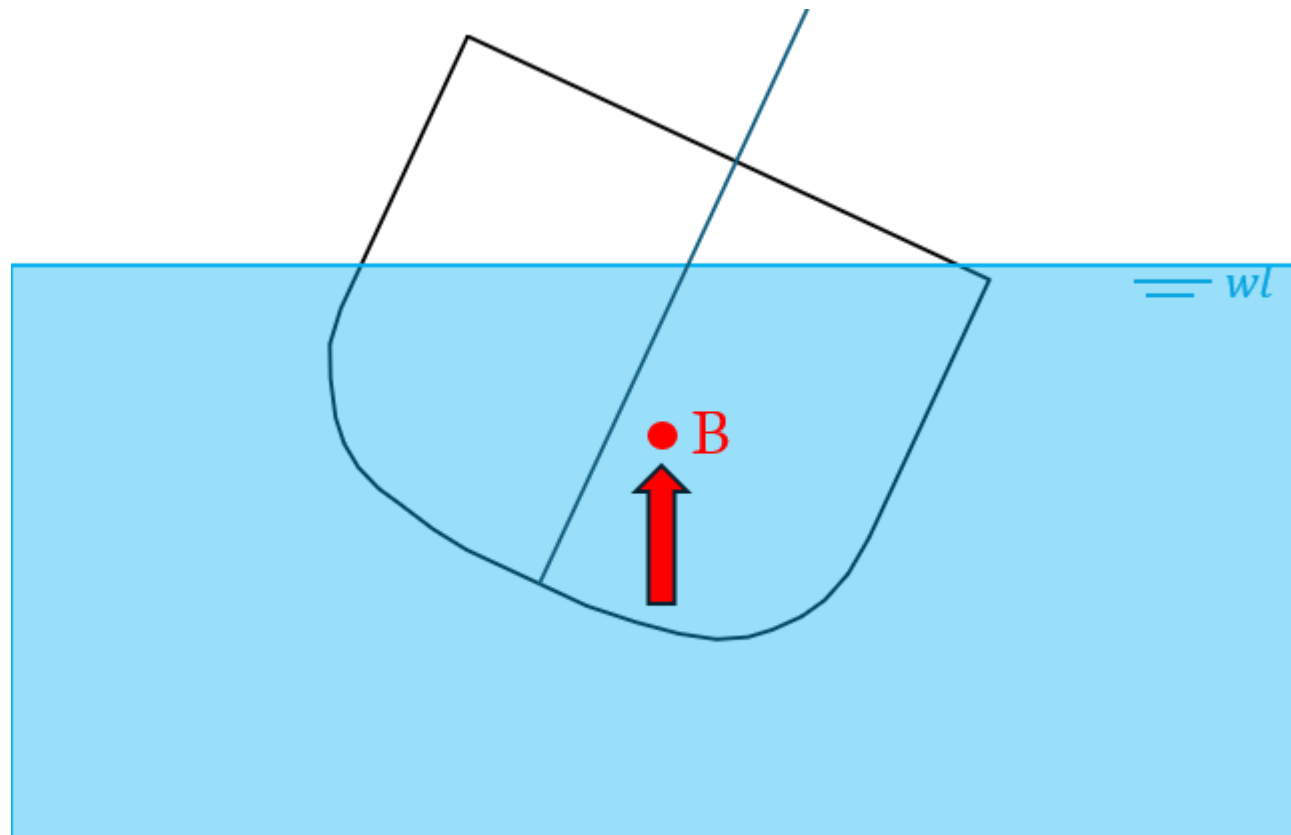
- Centroide del **Volumen de agua desplazada (∇)**
 - La Fuerza de boyantez actúa a través de este centroide
- **LCB**: Posición Longitudinal de Centro de Boyantez
- **KB (VCB)**: Posición vertical del B (desde la Quilla)
- **TCB**: Posición transversal de B (desde la Línea de crujía).
- B varía cuando el buque se escora, cambia de asiento o cambia de calado, debido a que cambia la geometría del volumen sumergido.



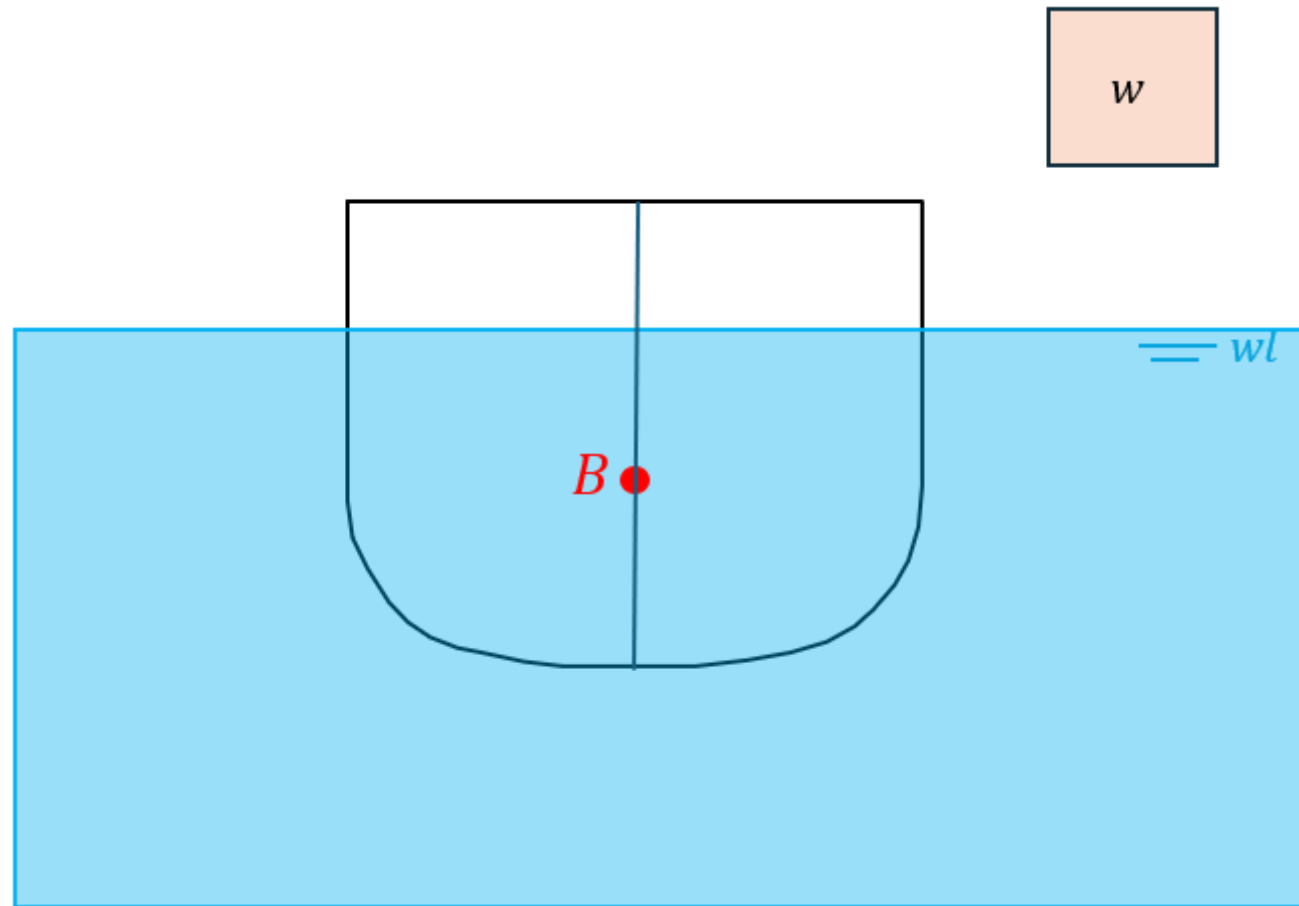
CENTRO DE BOYANTEZ (B)



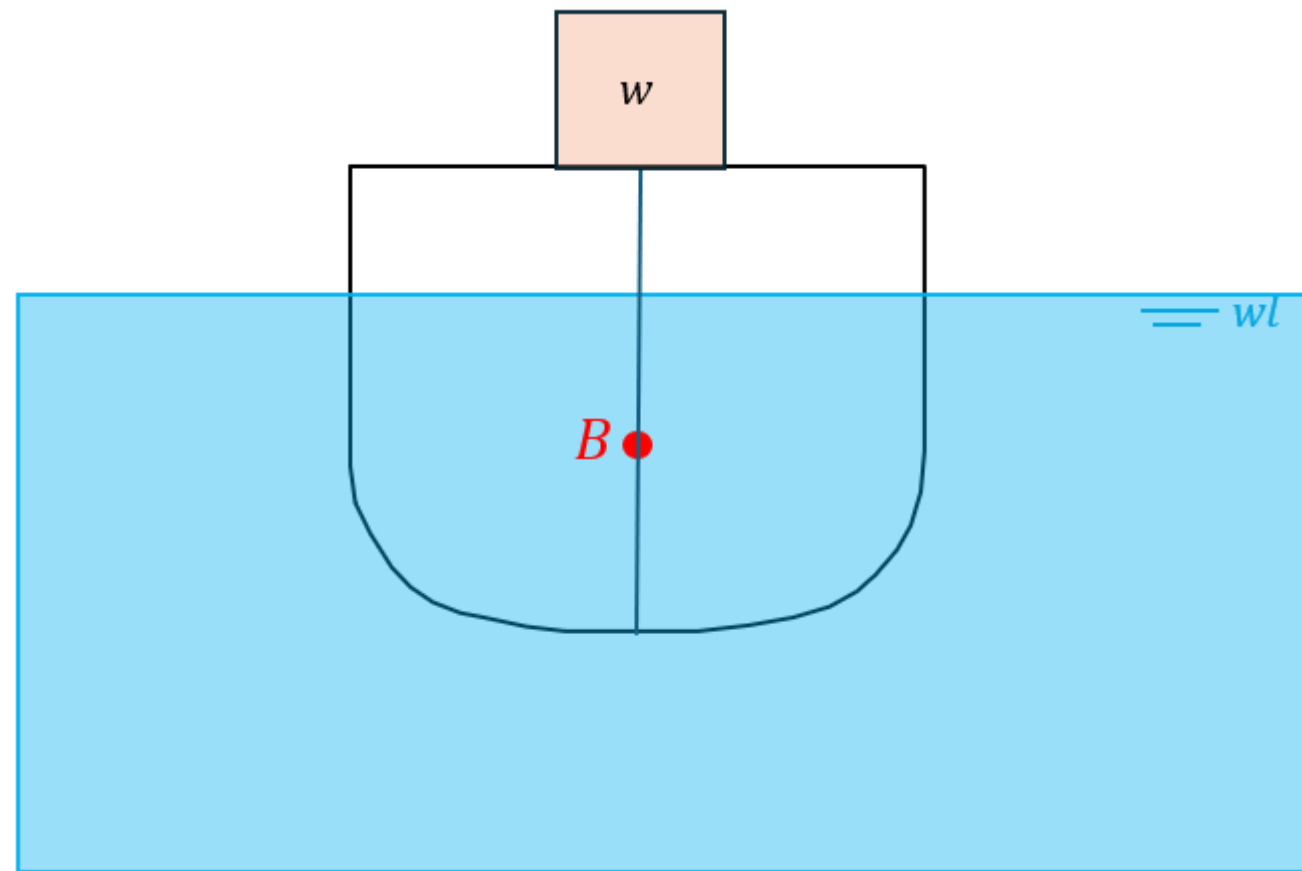
CENTRO DE BOYANTEZ (B)



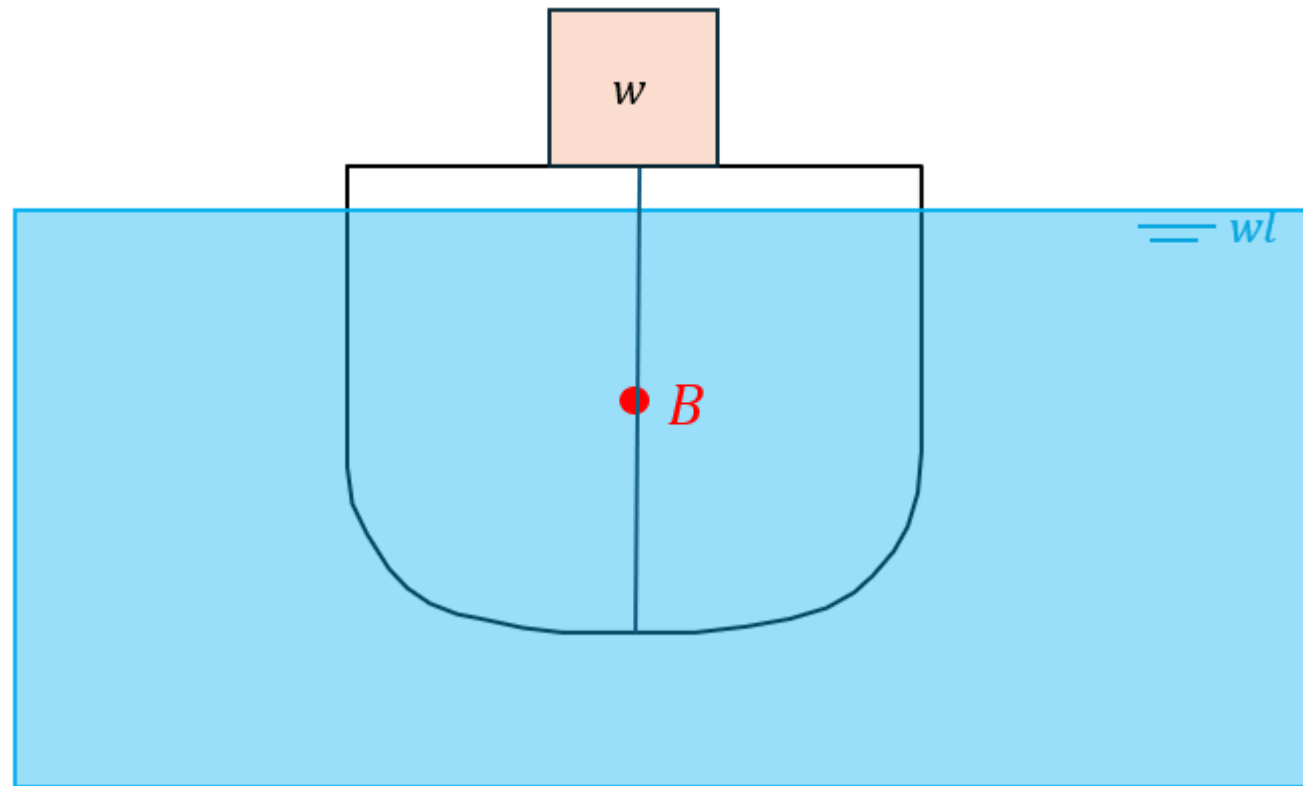
CENTRO DE BOYANTEZ (B)



CENTRO DE BOYANTEZ (B)

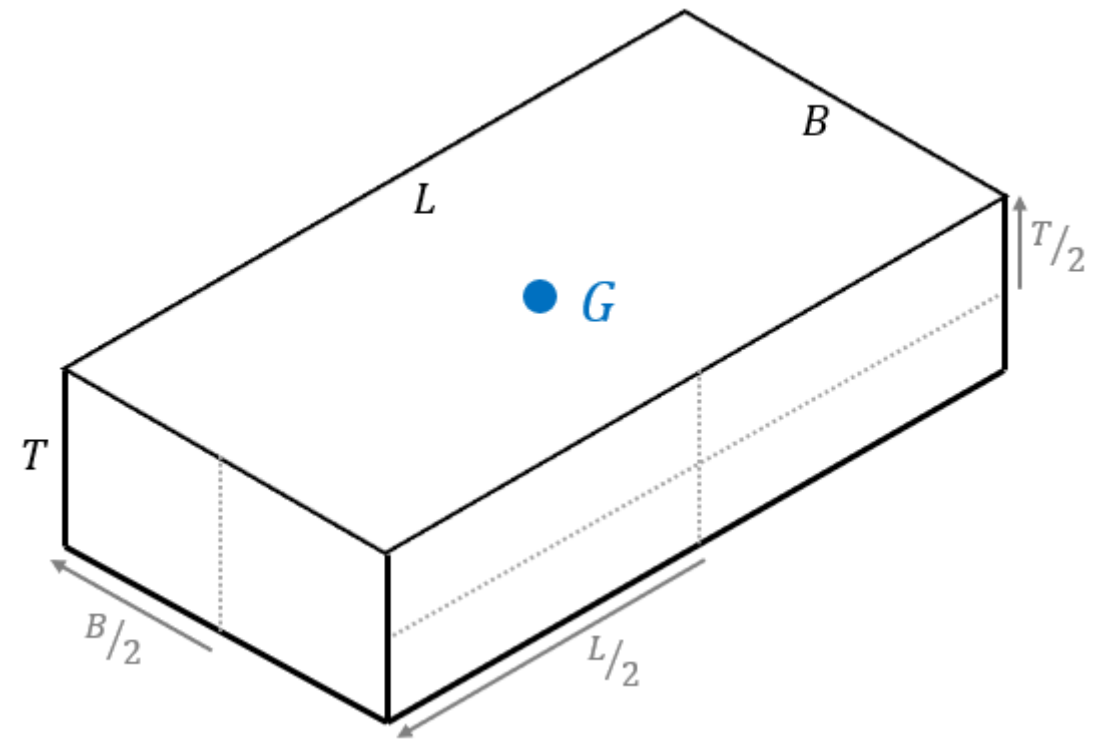


CENTRO DE BOYANTEZ (B)



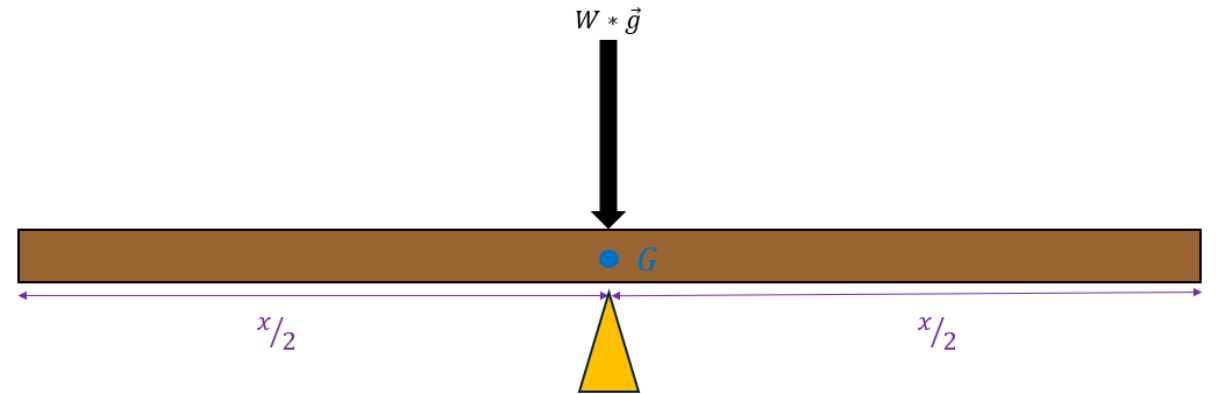
CENTRO DE GRAVEDAD (G)

- El Centro de Gravedad de un cuerpo, es el punto donde su masa se asume concentrada y donde actúa la fuerza de gravedad, con una fuerza equivalente al peso del cuerpo, verticalmente hacia abajo.
- El G de un cuerpo homogéneo estará localizado en su centroide. En un bloque rectangular homogéneo, estará ubicado a media distancia de todas sus dimensiones.



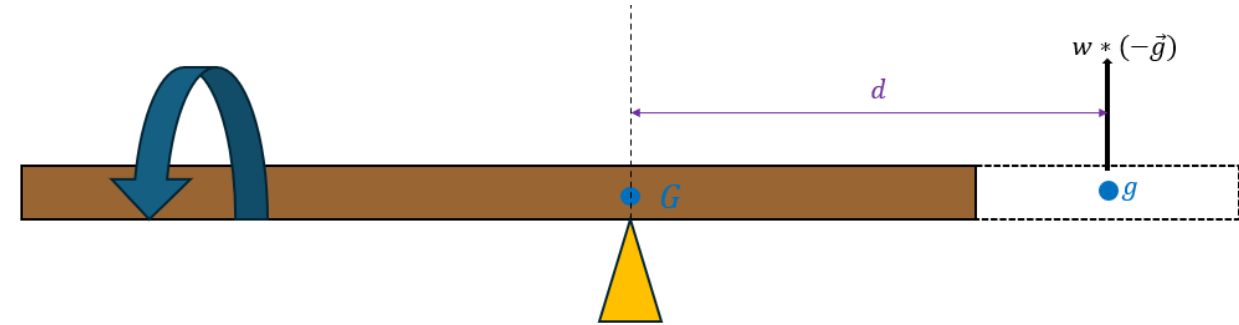
EFFECTO DE QUITAR MASA A UN CUERPO

- Considere una plancha homogénea, de madera.
- G estará en su centro geométrico – a media distancia de su largo, ancho y altura.
- Asuma que la masa de la plancha de madera sea de W [kg] y está soportada en su punto medio, como se muestra en la figura, justo bajo G .
- La plancha está entonces en equilibrio



EFFECTO DE QUITAR MASA A UN CUERPO

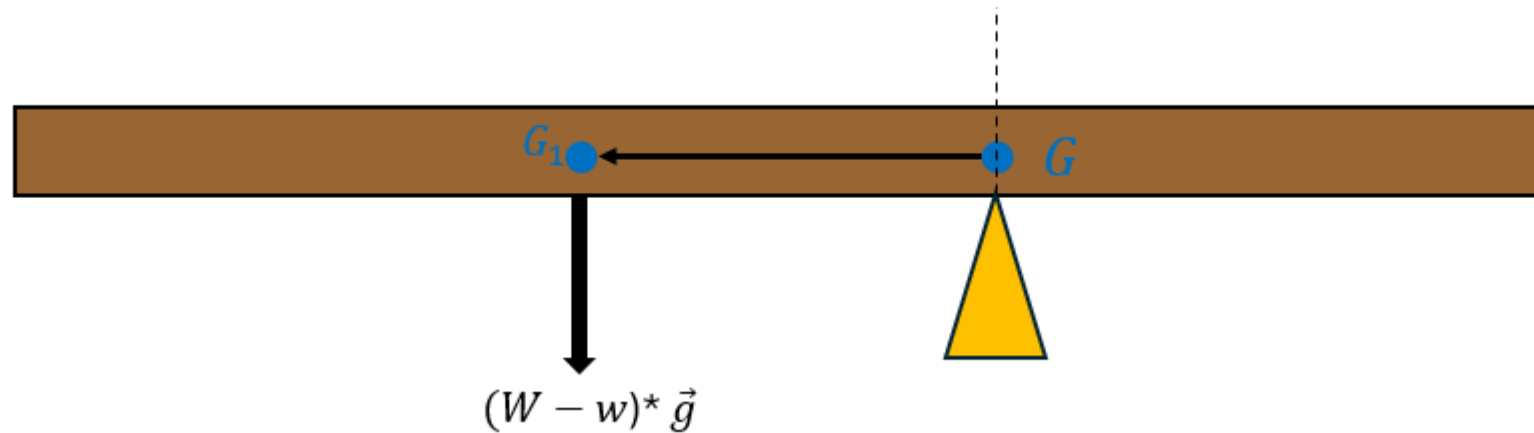
- Ahora, considere que a la plancha se le corta un trozo de masa w [kg] de uno de los extremos, cuyo centro de gravedad se encuentra a una distancia d del G de la plancha original.
- En el otro extremo de la plancha, habrá mayor masa, lo que empujará dicho extremo hacia abajo.
- Luego de que el trozo de plancha ha sido retirado, el momento resultante de $(w * \vec{g}) * d$ empuja la plancha en levógiro, provocando un desequilibrio respecto de G



EFFECTO DE QUITAR MASA A UN CUERPO

- El Centro de Gravedad de la plancha se movió hacia la izquierda, hacia el nuevo centro geométrico; es decir, desde G a G_1
- El nuevo peso de la plancha será $(W - w)$ [kg]
- El momento generado respecto a G es:

$$\vec{g} * (W - w) * \overline{GG_1} [N * m]$$



EFFECTO DE QUITAR MASA A UN CUERPO

Existen dos formas para mostrar efecto causado por el retiro de la masa:

$$(W - w) * \overline{GG_1} = w * d$$

ó

$$\overline{GG_1} = \frac{w * d}{(W - w)}$$

EFFECTO DE QUITAR MASA A UN CUERPO

- Se puede concluir que, cuando se quita masa de un cuerpo, su Centro de Gravedad se mueve, alejándose del Centro de Gravedad de la masa removida. La distancia que se mueve puede calcularse por la siguiente ecuación:

$$\overline{GG_1} = \frac{w*d}{m_f} \text{ (unidad de longitud)}$$

Donde:

$\overline{GG_1}$: Movimiento del Centro de Gravedad a su nueva posición

w : Masa removida

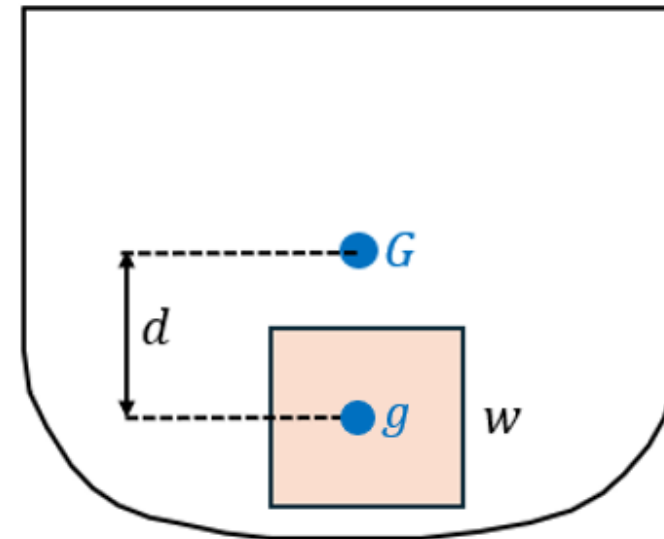
d : Distancia entre el Centro de Gravedad de la masa removida (g) y el Centro de Gravedad del cuerpo (G)

m_f : Masa final

EFECTO DE QUITAR MASA A UN CUERPO

APLICACIONES A BUQUES

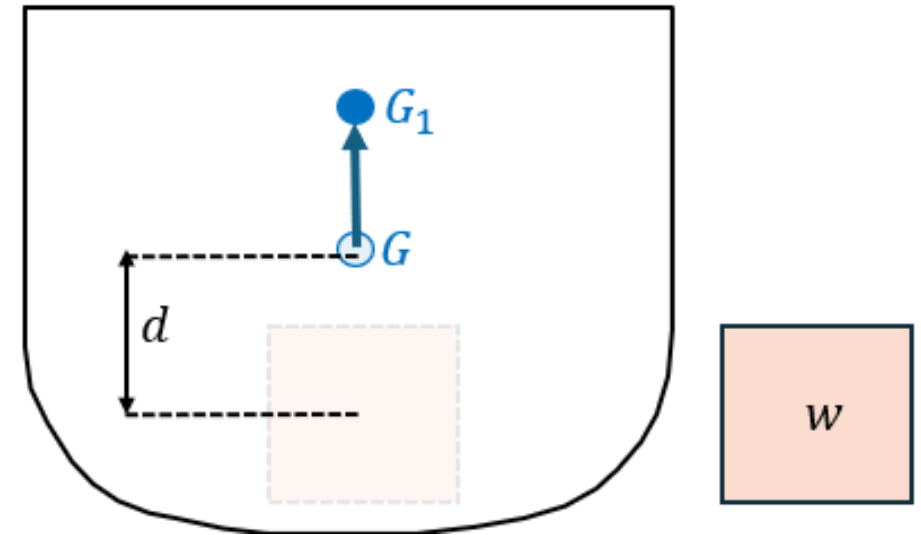
- En la figura adyacente G representa el Centro de Gravedad del buque al que se le retira un cuerpo de masa w y Centro de Gravedad g , que se encontraba más abajo y a una distancia d de G .
- G a G_1 representa el movimiento del centro de gravedad del buque, debido a la masa que se quitó de a bordo.
- Como la masa que se quitó estaba bajo G , el nuevo Centro de Gravedad se moverá verticalmente hacia arriba



EFECTO DE QUITAR MASA A UN CUERPO

APLICACIONES A BUQUES

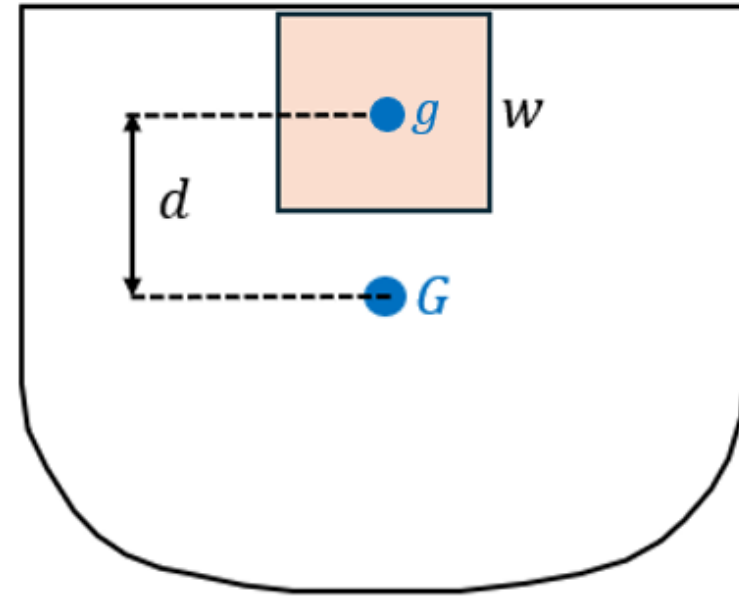
- En la figura adyacente G representa el Centro de Gravedad del buque al que se le retira un cuerpo de masa w , que se encontraba más abajo y a una distancia d de G .
- G a G_1 representa el movimiento del centro de gravedad del buque, debido a la masa que se quitó de a bordo.
- Como la masa se quitó estaba bajo G , el nuevo centro de gravedad se moverá verticalmente hacia arriba



EFECTO DE QUITAR MASA A UN CUERPO

APLICACIONES A BUQUES

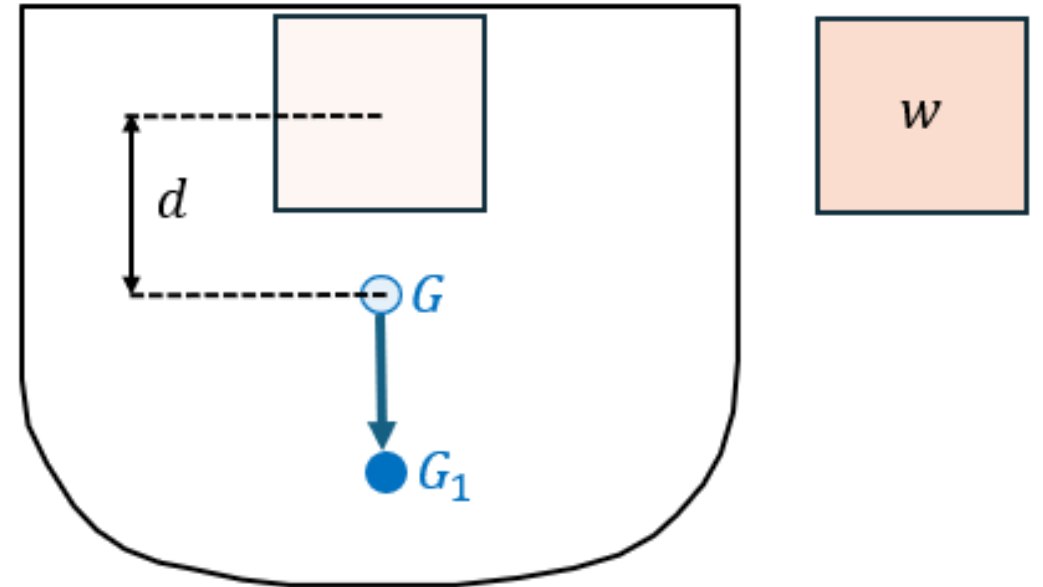
- Ahora, la figura muestra el efecto de retirar un cuerpo que se encuentra sobre el Centro de Gravedad del buque.
- En este caso, se desplazará verticalmente hacia abajo, debido a que se concentró mayor masa en la parte baja del buque.
- G a G_1 representa el movimiento del Centro de Gravedad del buque, debido a la masa que se quitó de a bordo.



EFECTO DE QUITAR MASA A UN CUERPO

APLICACIONES A BUQUES

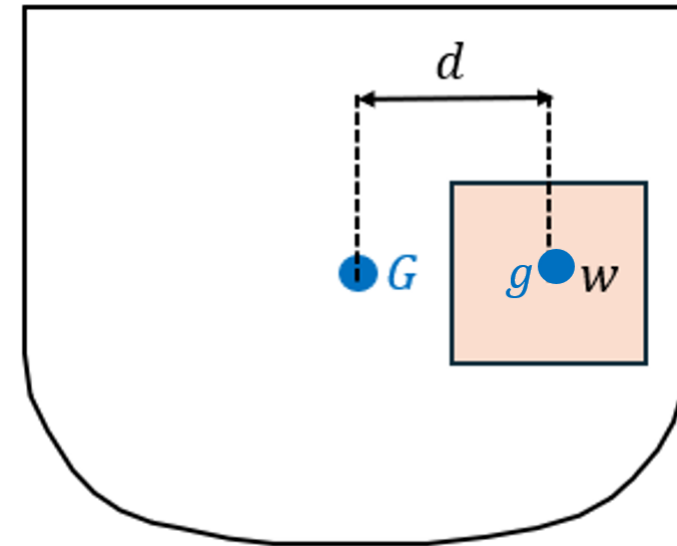
- Ahora, la figura muestra el efecto de retirar un cuerpo que se encuentra sobre el Centro de Gravedad del buque.
- En este caso, se desplazará verticalmente hacia abajo, debido a que se concentró mayor masa en la parte baja del buque.
- G a G_1 representa el movimiento del Centro de Gravedad del buque, debido a la masa que se quitó de a bordo.



EFECTO DE QUITAR MASA A UN CUERPO

APLICACIONES A BUQUES

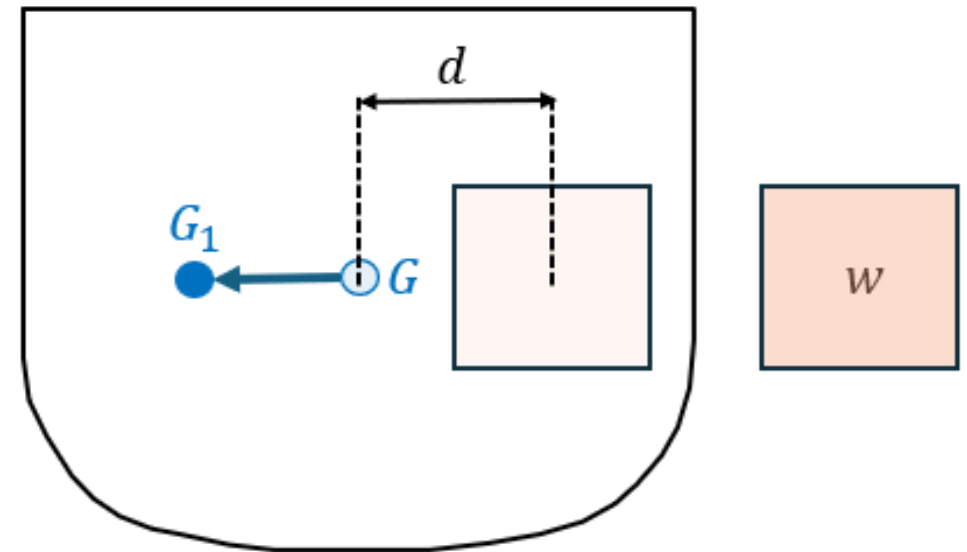
- Si se retira un cuerpo que se encuentra a la derecha del Centro de Gravedad del buque, el movimiento de este será lateralmente hacia la izquierda, como lo muestra el movimiento de G a G_1 en la figura.
- G a G_1 representa el movimiento del centro de gravedad del buque debido a la masa que se quitó de a bordo.



EFECTO DE QUITAR MASA A UN CUERPO

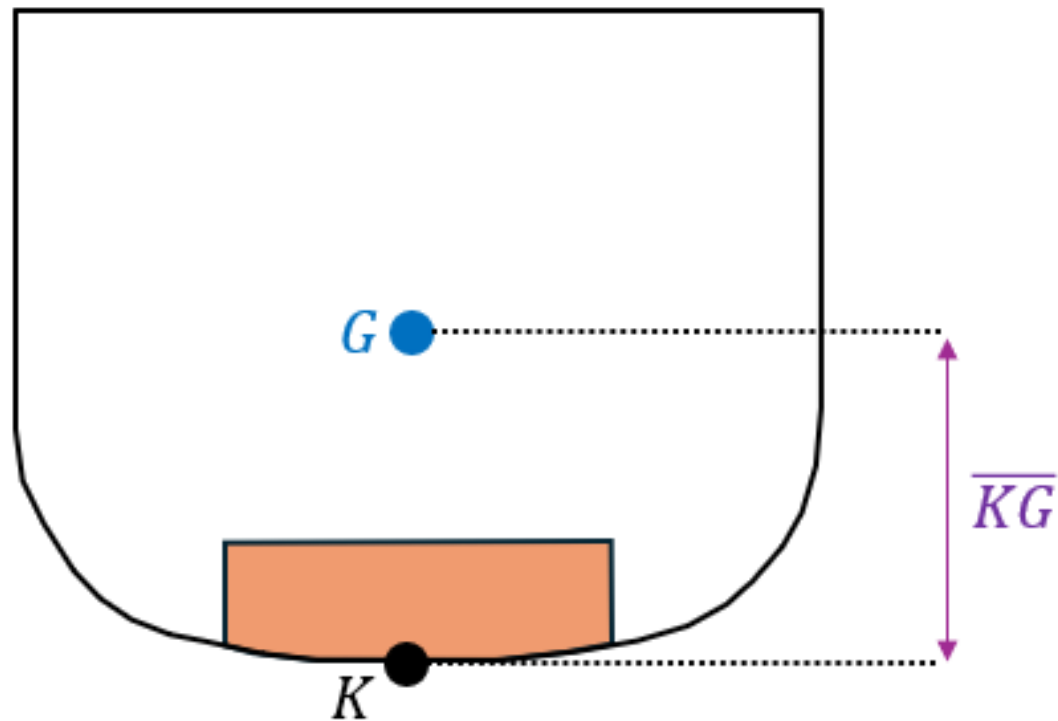
APLICACIONES A BUQUES

- Si se retira un cuerpo que se encuentra a la derecha del Centro de Gravedad del buque, el movimiento de este será lateralmente hacia la izquierda, como lo muestra el movimiento de G a G_1 en la figura.
- G a G_1 representa el movimiento del centro de gravedad del buque debido a la masa que se quitó de a bordo.



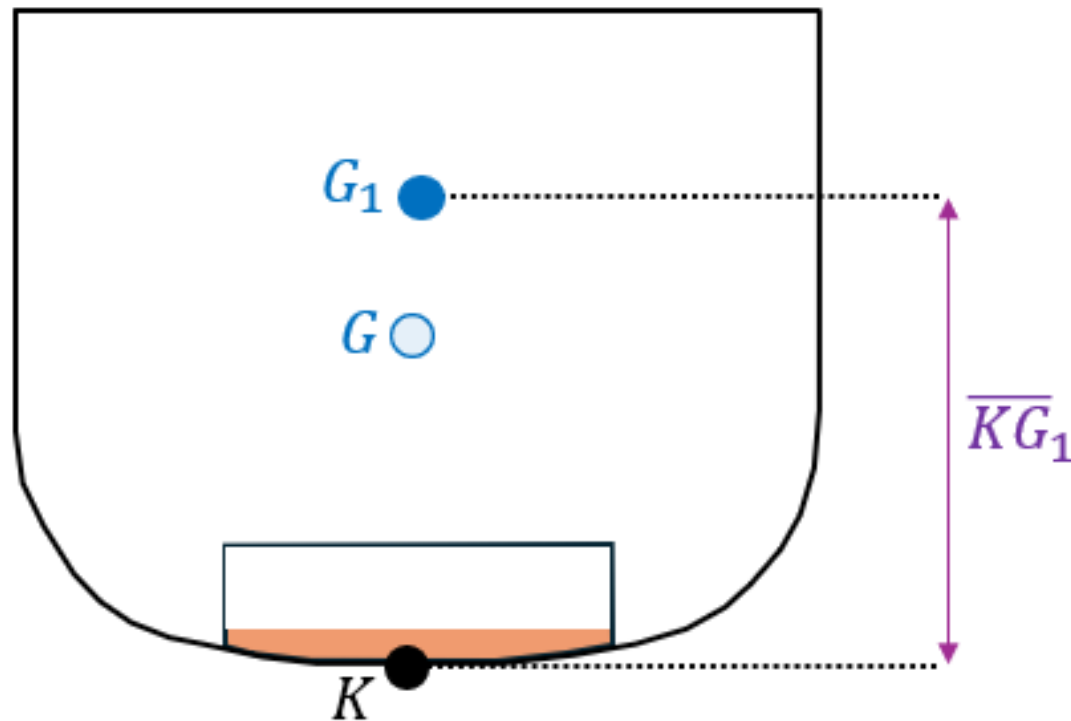
EFFECTO DE QUITAR MASA A UN CUERPO

APLICACIONES A BUQUES – CASO PRÁCTICO



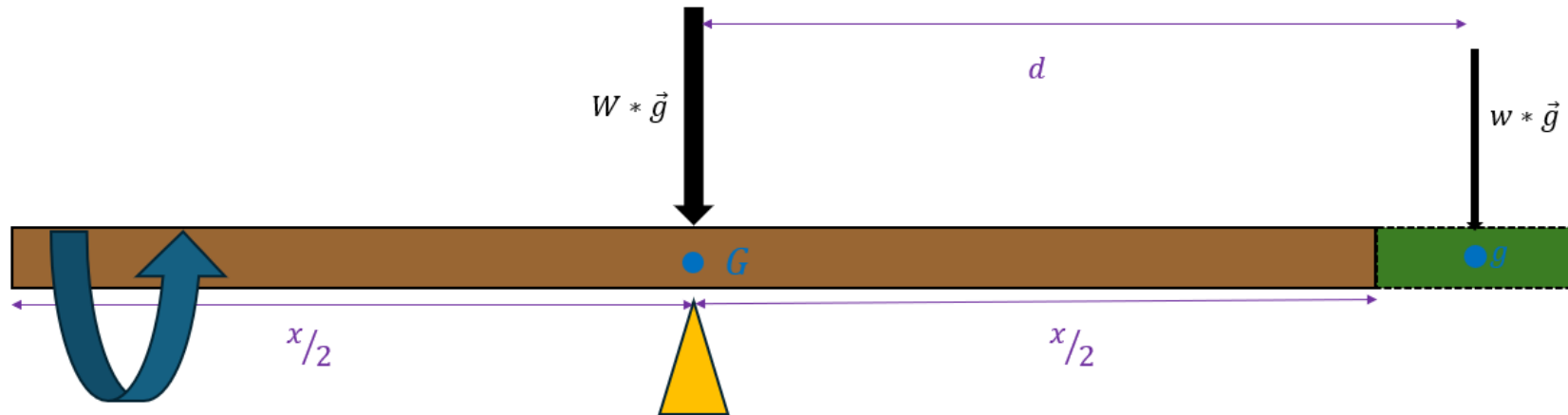
EFFECTO DE QUITAR MASA A UN CUERPO

APLICACIONES A BUQUES – CASO PRÁCTICO



EFFECTO DE AGREGAR MASA A UN CUERPO

- Nuevamente considere la plancha homogénea analizada anteriormente, a la que ahora se le agregará un trozo de plancha de masa w [kg] a una distancia d [m] de G , tal como lo muestra la figura.
- Ahora, el lado con mayor masa moverá el extremo derecho hacia abajo. Esto se debe a que, al agregar la masa w a la distancia d de G , se generó un momento respecto a G igual a
$$(w * \vec{g}) * d \text{ [N * m]}$$



EFFECTO DE AGREGAR MASA A UN CUERPO

- El Centro de Gravedad ahora estará en el “nuevo” centroide de la plancha y su masa será:

$$m_f = (W + w) [kg]$$

- El momento generado respecto a G será:

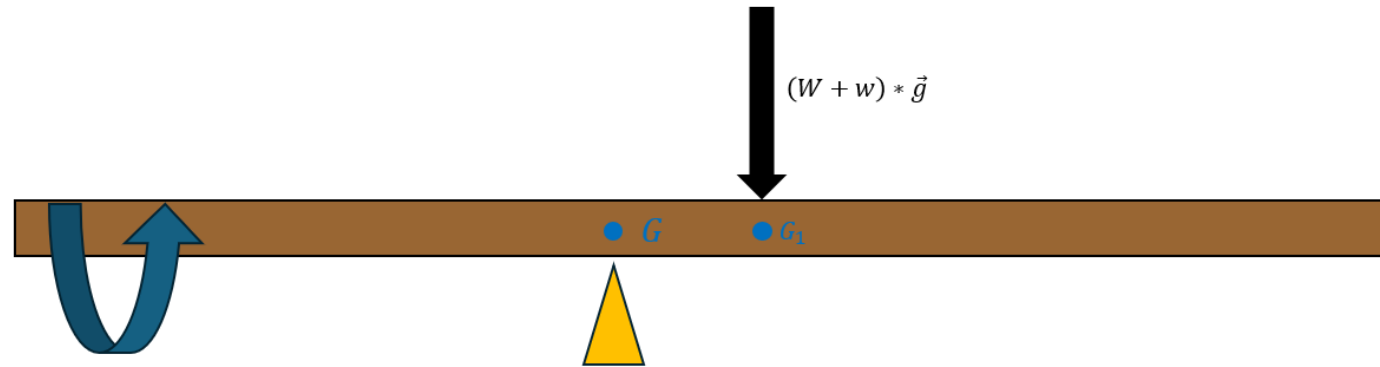
$$((W + w) * \vec{g}) * \overline{GG_1} [N * m]$$

- El cambio de posición del Centro de Gravedad se puede expresar como:

$$(W + w) * \overline{GG_1} = w * d$$

ó

$$\overline{GG_1} = \frac{w * d}{m_f} [m]$$

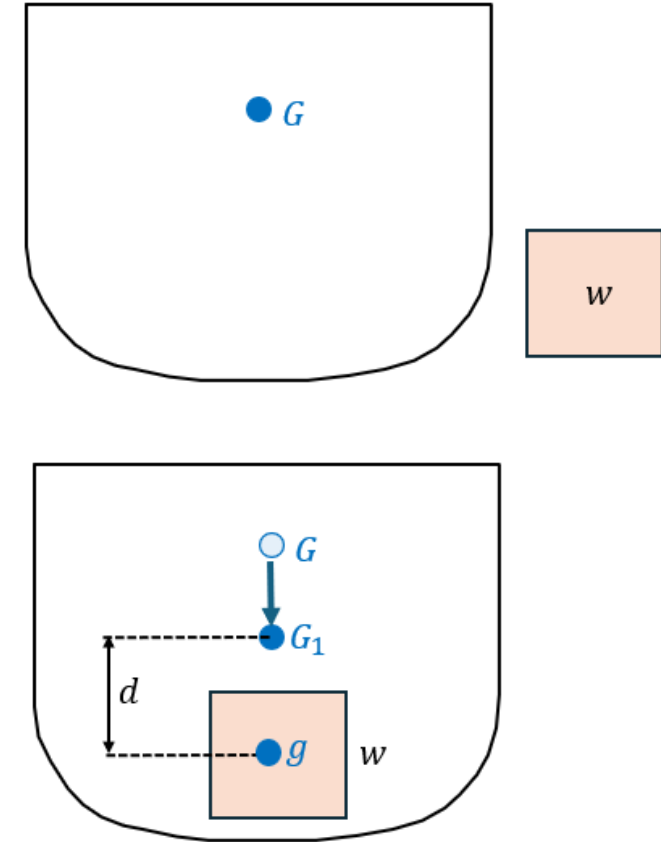


EFECTO DE AGREGAR MASA A UN CUERPO

APLICACIONES A BUQUES

- En los siguientes ejemplos, G representa el Centro de Gravedad de un buque, antes de agregarse una masa de w [t]
- Después, se muestra como G se moverá hacia su nueva posición G_1 , directamente en la dirección del Centro de Gravedad de la masa agregada (g)
- En cada caso se cumple que:

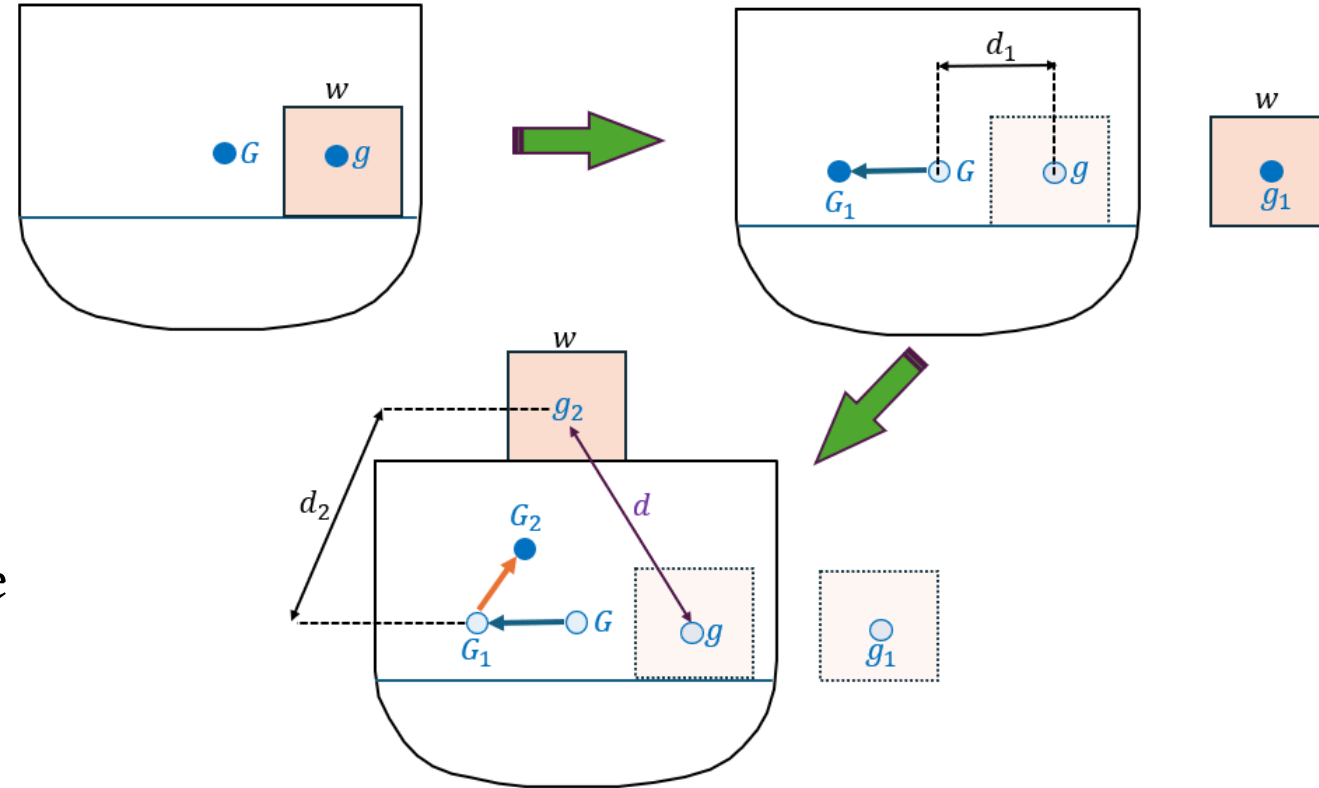
$$\overline{GG_1} = \frac{w * d}{\Delta_f} [m]$$



EFECTO DE MOVER MASAS

APLICACIONES A BUQUES

- En la figura adyacente, G representa el Centro de Gravedad de un buque, con una masa de w [t] de Centro de Gravedad g , localizada en una cubierta inferior, por la banda de estribor
- Si la masa w es descargada, el G del buque se moverá de G a G_1 , alejándose de g
- Si la misma masa se vuelve a embarcar y se deja sobre la cubierta, con su centro de gravedad en g_2 , el Centro de Gravedad del buque se moverá desde G_1 a G_2



EFFECTO DE MOVER MASAS

APLICACIONES A BUQUES

- Del ejercicio anterior, se puede visualizar que, si la masa se ha movido desde g a g_2 , el Centro de Gravedad del buque se moverá proporcionalmente desde G hacia G_2
- Además, se puede ver que el movimiento de GG_2 es paralelo al de g y g_2 , y que:

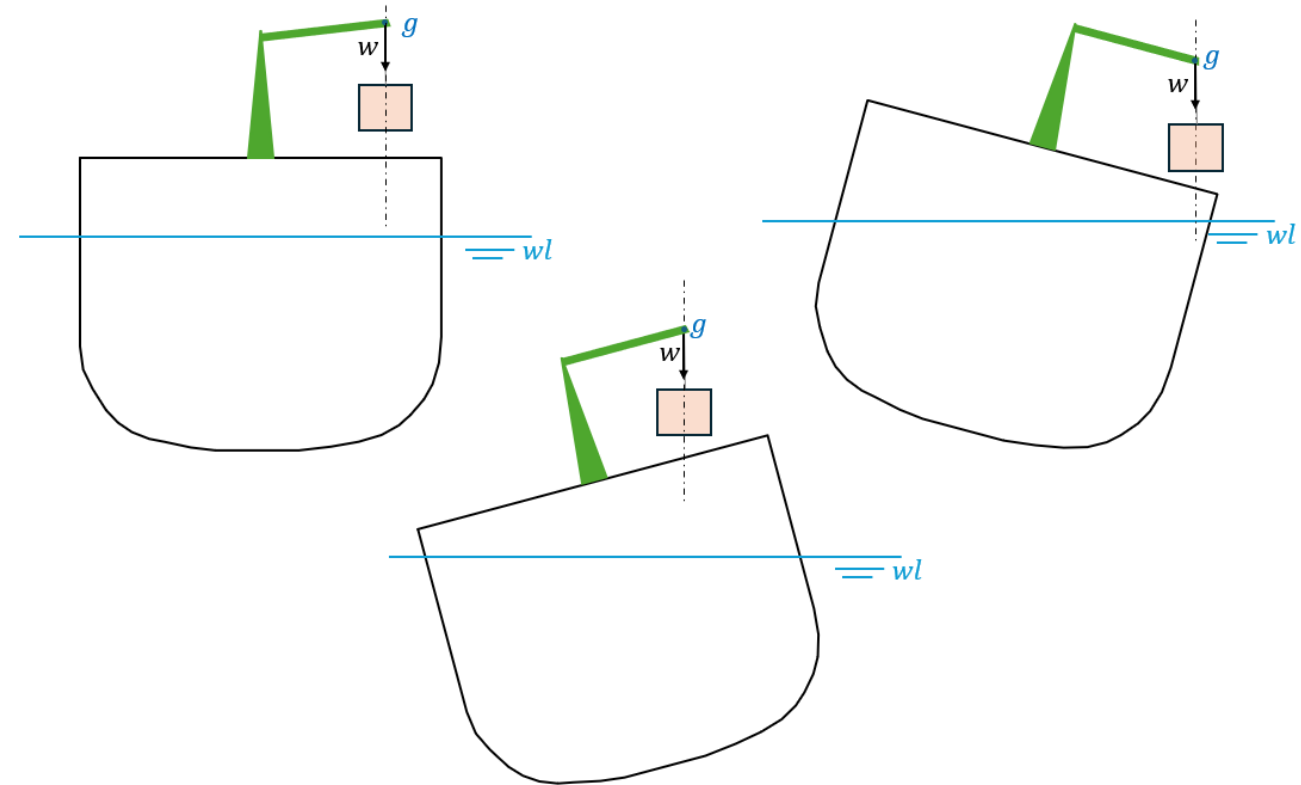
$$\overline{GG_2} = \frac{w * d}{\Delta} [m]$$

Donde w es la masa del cuerpo que se movió una distancia d y Δ el desplazamiento del buque (que, para fines prácticos, permaneció constante, ya que podemos asumir que el cuerpo se mantuvo a bordo del buque)

EFECTO DE SUSPENDER PESOS EN ALTURA

APLICACIONES A BUQUES

- El Centro de Gravedad de un cuerpo es el punto en el que se considera que la fuerza de gravedad actúa (verticalmente hacia el centro de la tierra)
- En las figuras adyacentes, se muestra el Centro de Gravedad de una masa, suspendida por la pluma de un buque.
- Se puede apreciar que, cualquiera que sea la inclinación del buque, la fuerza de gravedad se considera siempre actuando verticalmente hacia abajo y que el Centro de Gravedad de la masa está en el punto de suspensión.



CONCLUSIONES

1. El Centro de Gravedad de un cuerpo se moverá hacia el Centro de Gravedad de cualquier peso que se le agregue
2. El Centro de Gravedad de un cuerpo se alejará del Centro de Gravedad de cualquier peso que se le quite
3. El Centro de Gravedad de un cuerpo siempre se moverá paralelo al movimiento del Centro de Gravedad de cualquier masa que se mueva dentro del cuerpo
4. Cuando se suspende una masa, su Centro de Gravedad se considera en el punto de suspensión
5. El movimiento del Centro de Gravedad del cuerpo será en todos los casos igual a:

$$\overline{GG_1} = \frac{w * d}{\Delta} [m] (u \text{ otra unidad de longitud})$$

Donde:

w : Masa agregada, retirada o movida

Δ : Masa del buque (W)

d : Distancia entre los centros de gravedad en la distancia que el peso se ha movido

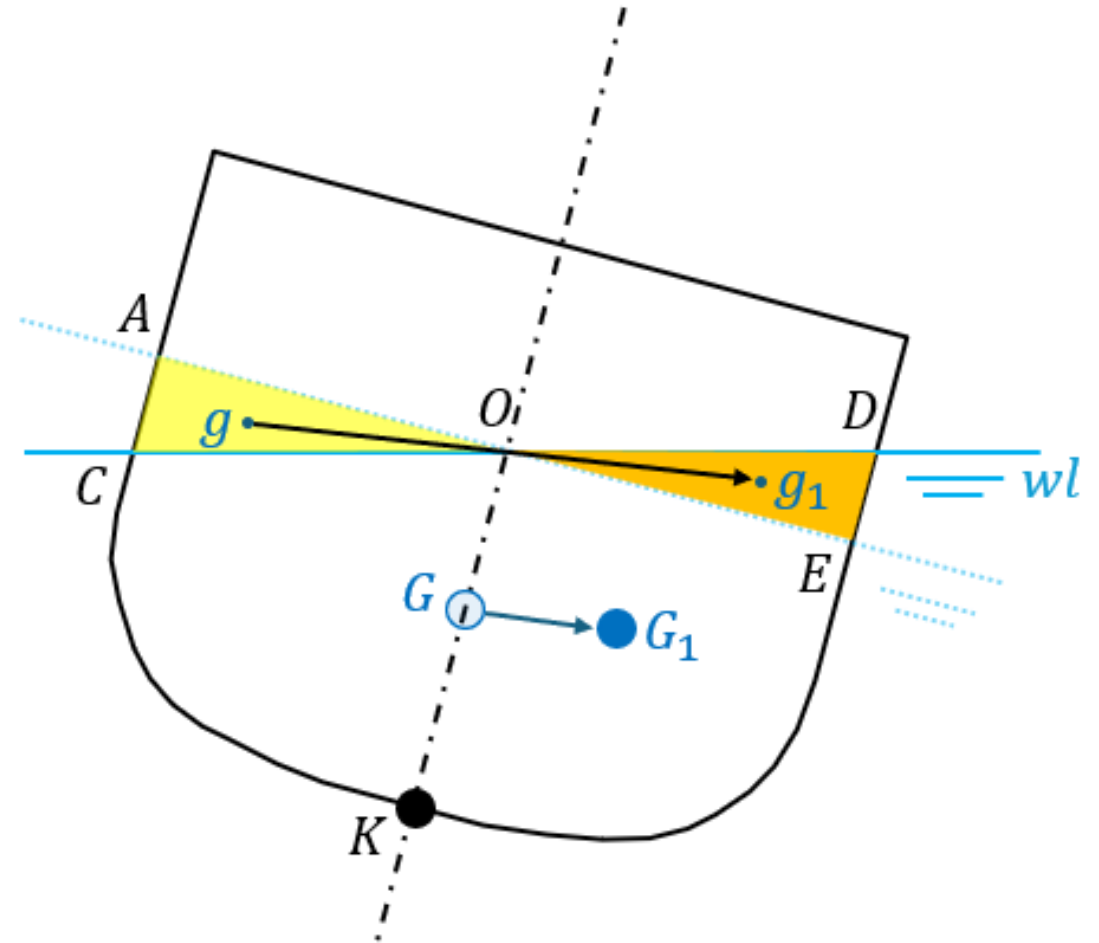
EJEMPLO 1

- La bodega de un buque se llena parcialmente con grano. Durante el proceso de carga, el buque experimenta una escora y parte de la carga se desplaza en el sentido de la escora, de manera tal que la superficie de los granos permanece paralela a la línea de agua.
 - Mostrar el efecto mencionado en el Centro de Gravedad del buque

EJEMPLO 1 - SOLUCIÓN

- La figura representa la posición original del Centro de Gravedad del buque, cuando está adrizado.
- $\overline{AE}$ representa la línea de agua del buque adrizado y $\overline{CD}$ la del mismo, pero escorado.
- La cuña de grano AOC , con Centro de Gravedad en g , se desplazó hacia DOE , con su nuevo centro de gravedad en g_1
- El Centro de Gravedad del buque, se desplazó desde G a G_1 , de tal manera que el movimiento fue paralelo a $\overline{gg_1}$ y la distancia que se movió será:

$$\overline{GG_1} = \frac{w * d}{\Delta} (\text{unidad de longitud})$$

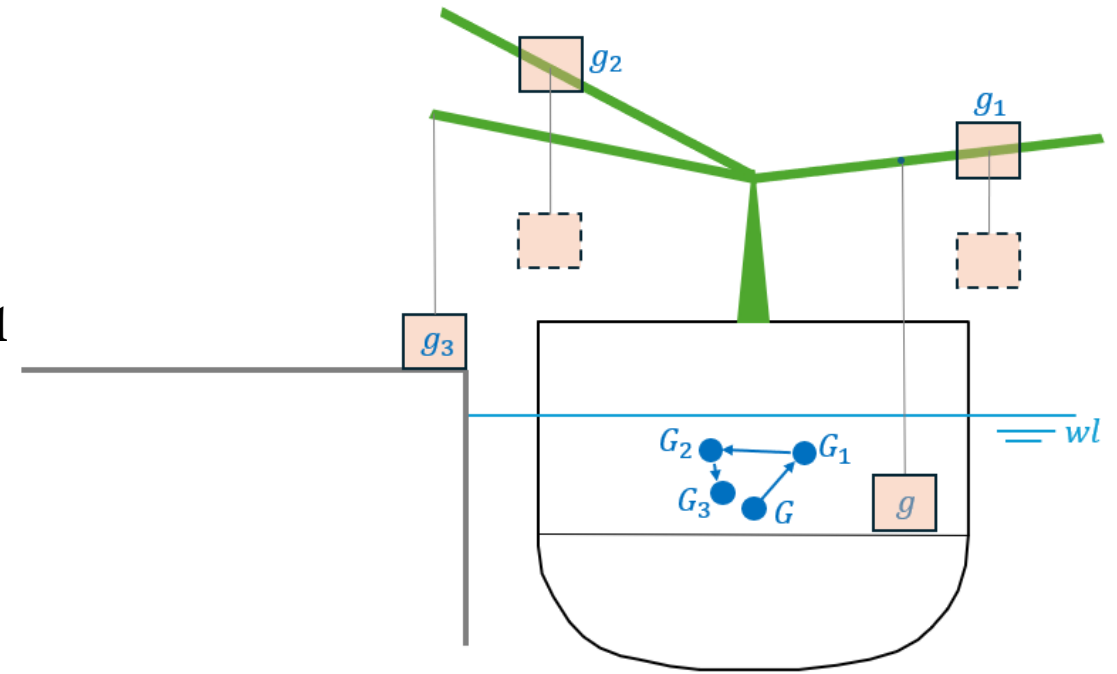


EJEMPLO 2

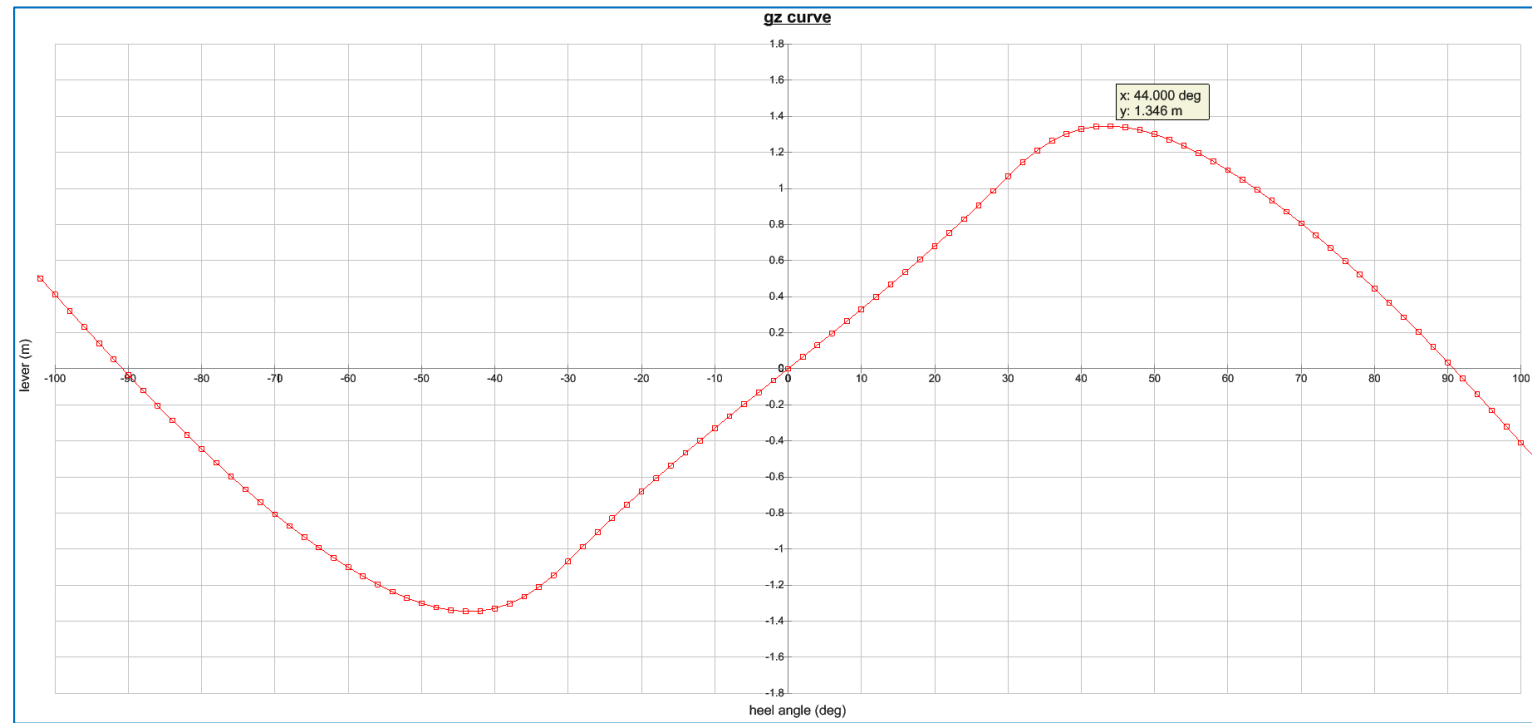
- Un buque está atracado por su banda de babor a un muelle. Utilizando su propia pluma, debe descargar una masa, que se encuentra en una cubierta inferior por la banda de estribor. Describir el efecto en la posición del Centro de Gravedad durante toda la operación.
- Nota: Cuando la masa es suspendida desde un punto, su Centro de Gravedad estará en el punto de suspensión, independiente de la distancia entre el punto de suspensión y el cuerpo.
 - Es decir; tan pronto la masa es levantada por la pluma (cuando deja de estar en contacto con la cubierta), se asume que su Centro de Gravedad está en el punto donde la pluma la está levantando, y no importa si es la masa está a 0,6 [m] de la cabeza de la pluma o a 6 metros sobre la cubierta, o si está siendo levantada o arriada. Su Centro de Gravedad estará en el punto de suspensión, como lo muestra la figura de la diapositiva siguiente

EJEMPLO 2 - SOLUCIÓN

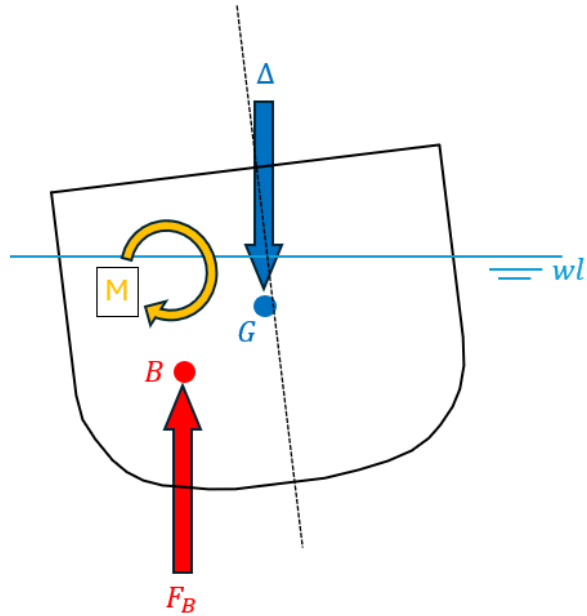
- La figura adyacente muestra la posición G , Centro de Gravedad inicial del buque y g , Centro de Gravedad inicial de la masa, que se encuentra en una cubierta inferior
- Tan pronto como la masa es izada, su Centro de Gravedad g_1 se mueve a su nueva posición el punto de suspensión. Esto provocará que el Centro de Gravedad del buque se mueva hacia su nueva posición G_1 , paralelo al movimiento $\overline{gg_1}$. **Los Centros de Gravedad permanecerán en G_1 y g_1 durante todo el tiempo en que el peso esté siendo izado**
- Cuando la masa sea traspasada a la otra banda, su Centro de gravedad se moverá de g_1 a g_2 , lo que causará que el Centro de Gravedad del buque se mueva desde G_1 , nuevamente en forma paralela al movimiento $\overline{g_1g_2}$



ESTABILIDAD ESTÁTICA



REPASO EQUILIBRIO ESTÁTICO

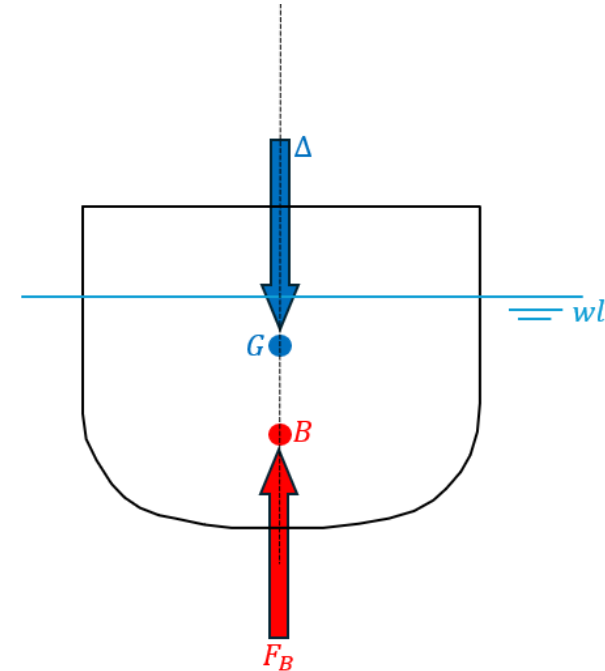


$$\sum \vec{F} = 0$$

$$\sum M \neq 0$$

Verticalmente desalineados

$$F_B = \Delta$$



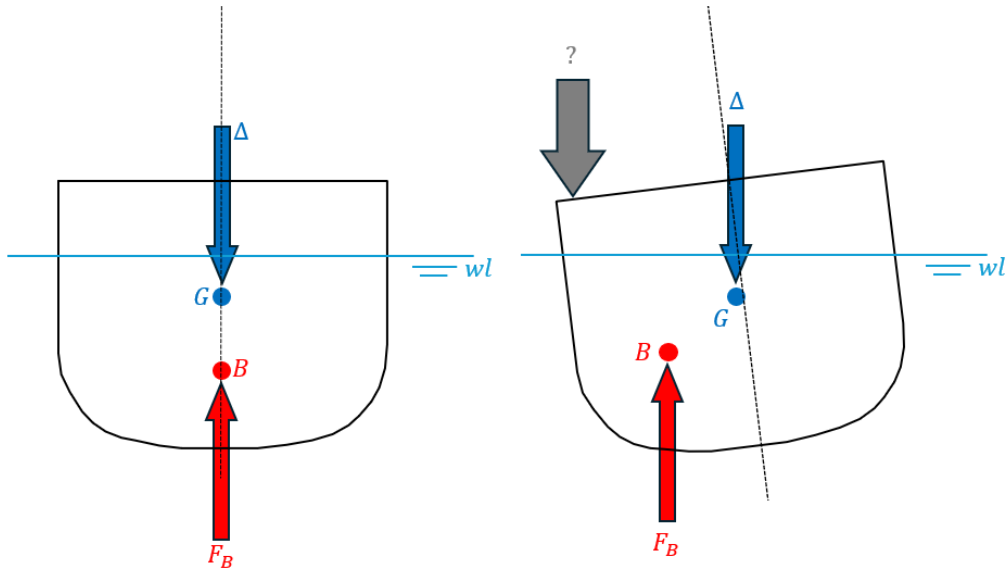
$$\sum \vec{F} = 0$$

$$\sum M = 0$$

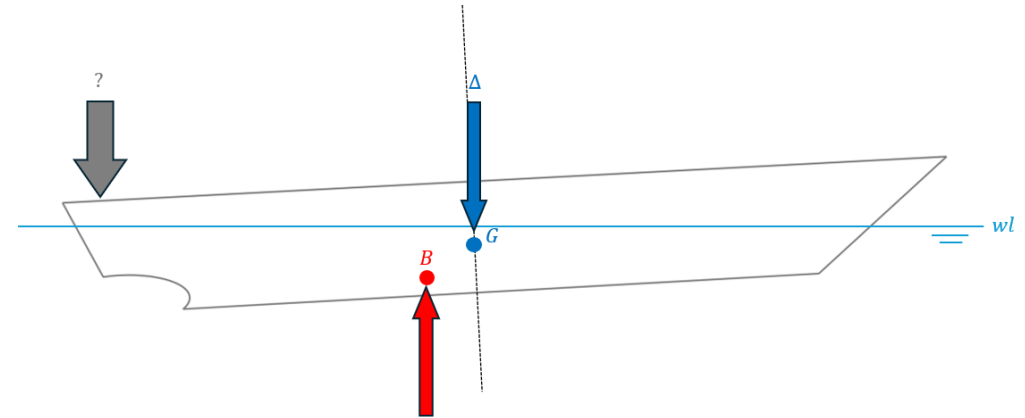
Verticalmente alineado

APLICACIÓN A BUQUES

- El equilibrio estático no es suficiente para evaluar la estabilidad de un buque
- ¿Qué ocurre cuando un buque es inclinado por una fuerza externa?



Estabilidad Transversal

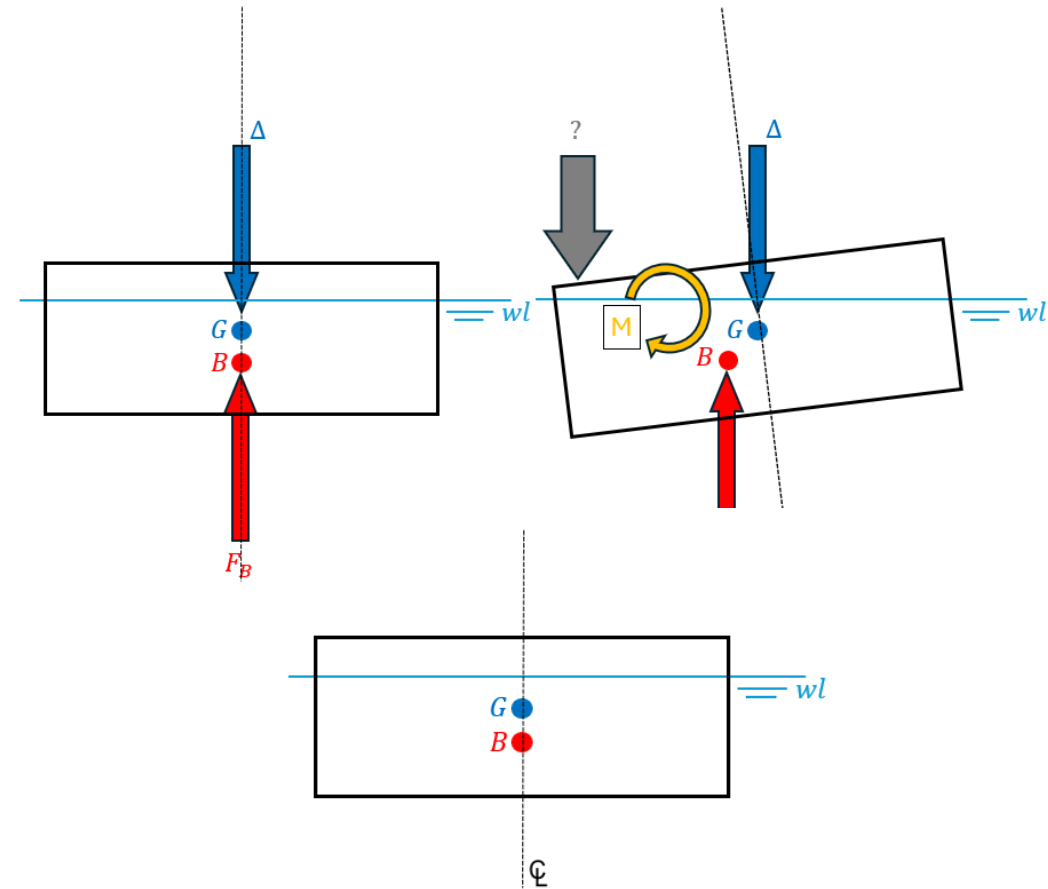


Estabilidad Longitudinal

ESTABILIDAD TRANSVERSAL

- Analicemos primero un bloque de volumen rectangular:

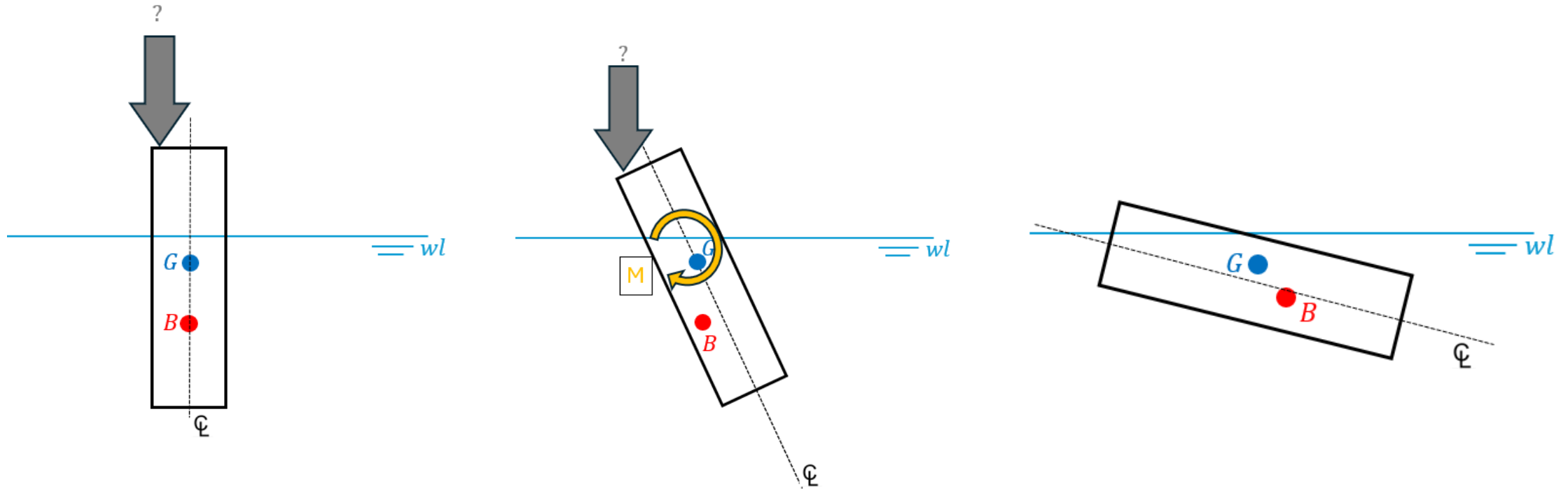
¡Es estable!



ESTABILIDAD TRANSVERSAL

- Comparémoslo con un bloque de volumen rectangular alargado:

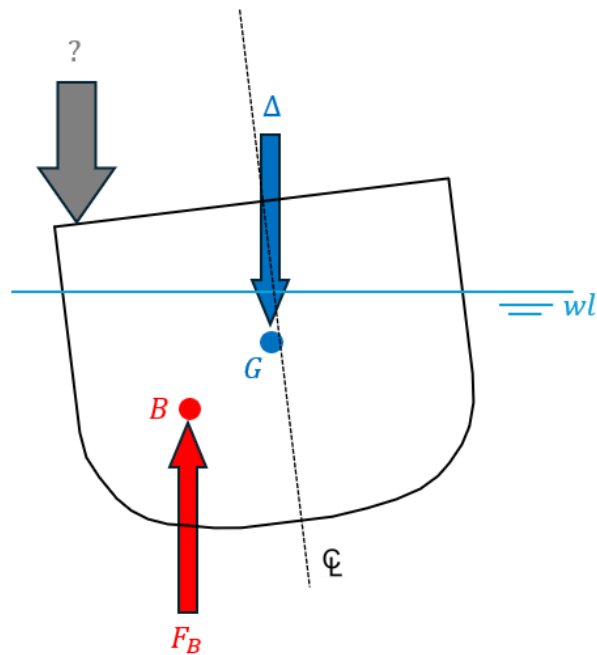
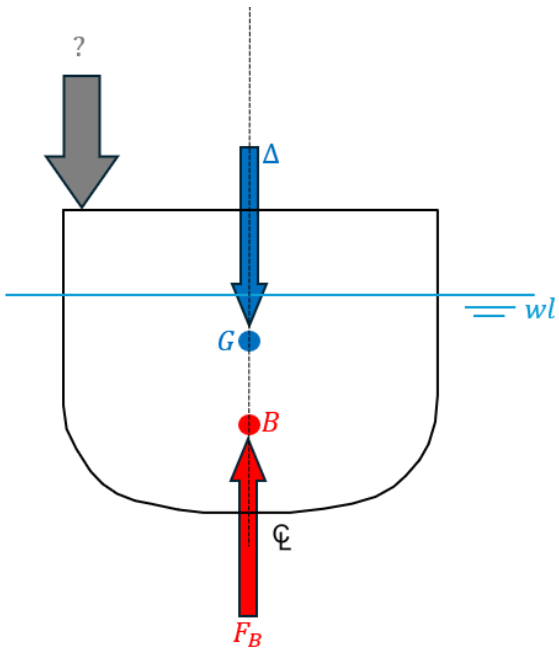
¡Es inestable!



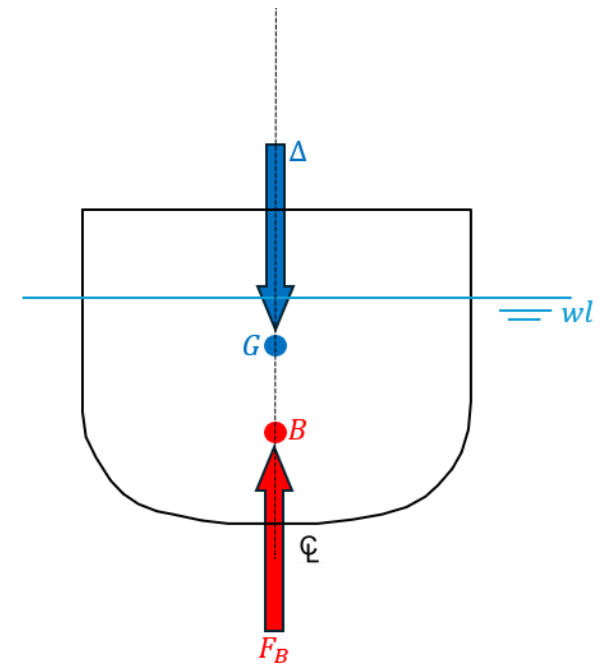
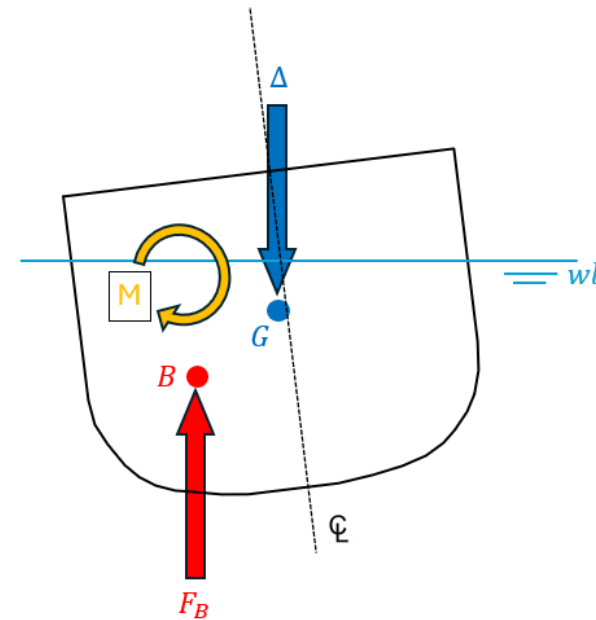
ESTABILIDAD TRANSVERSAL

- Lo mismo ocurre con un buque

¡Es estable!

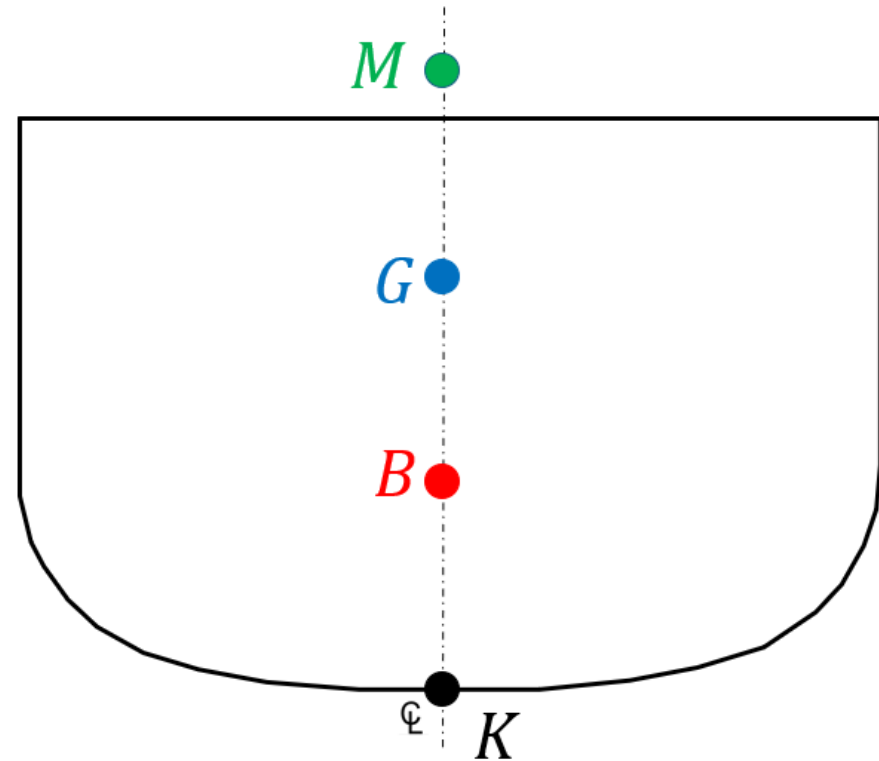


Pero no es suficiente para conocer su estabilidad



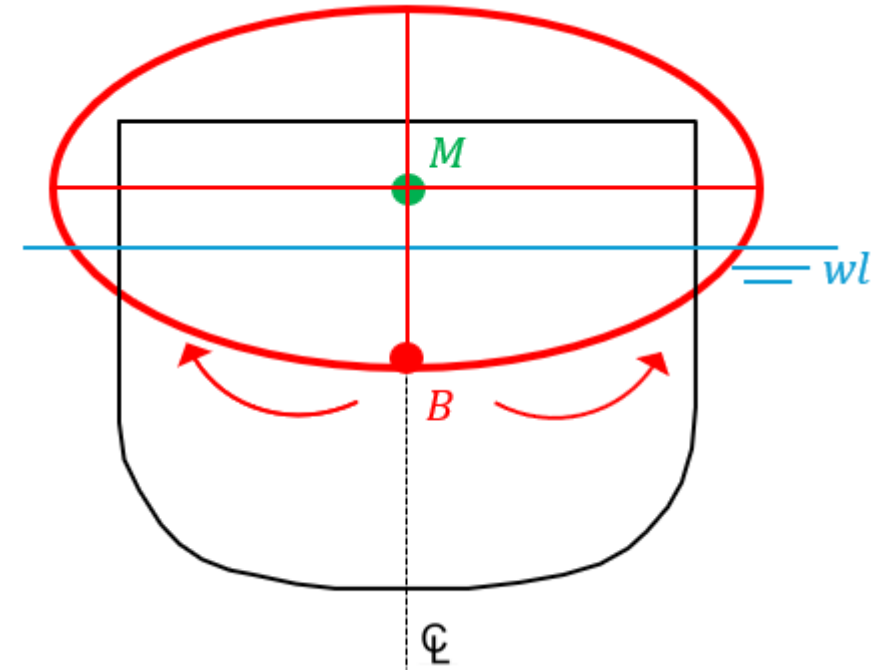
EL METACENTRO (TRANSVERSAL)

- En la UT 1 Vimos los conceptos de
 - Centro de Gravedad (G)
 - Centro de Boyantez (B)
 - Todos medidos desde la Línea de Base (K)
- Ahora veremos el Metacentro (M)



EL METACENTRO (TRANSVERSAL)

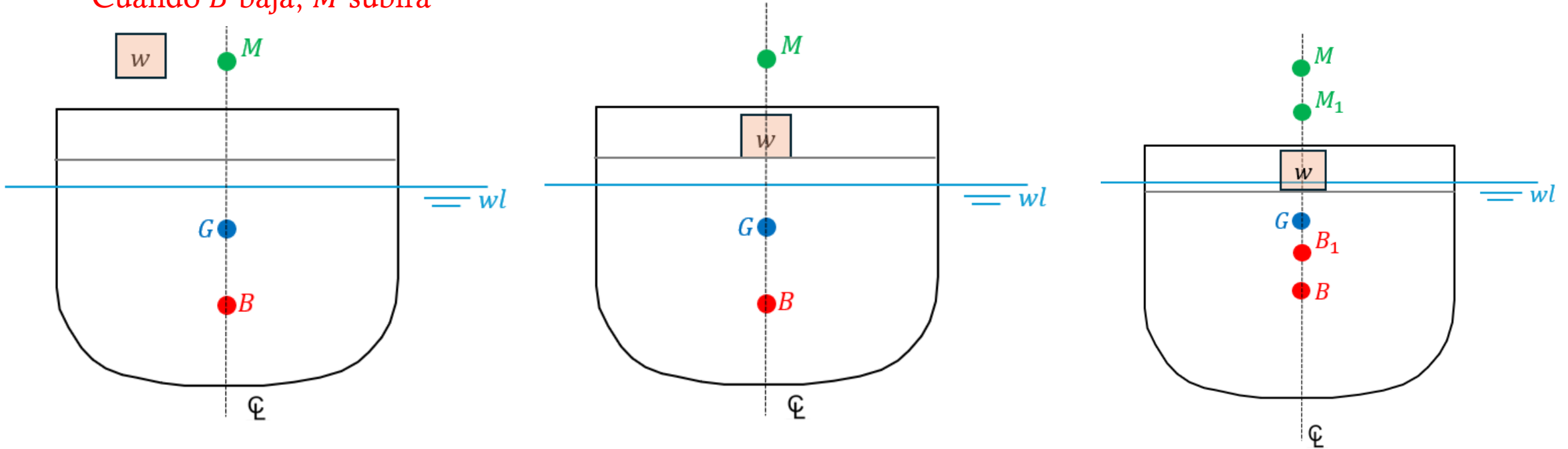
- El lugar geométrico del Metacentro es el centro de los infinitos círculos que se forman al proyectar la curvatura descrita por el Centro de Boyantez al rotar el buque



EL METACENTRO (TRANSVERSAL)

La posición del Metacentro cambiará en el plano vertical con los cambios de desplazamiento del buque, de acuerdo a las siguientes reglas:

- Cuando B sube, M bajará
- Cuando B baja, M subirá

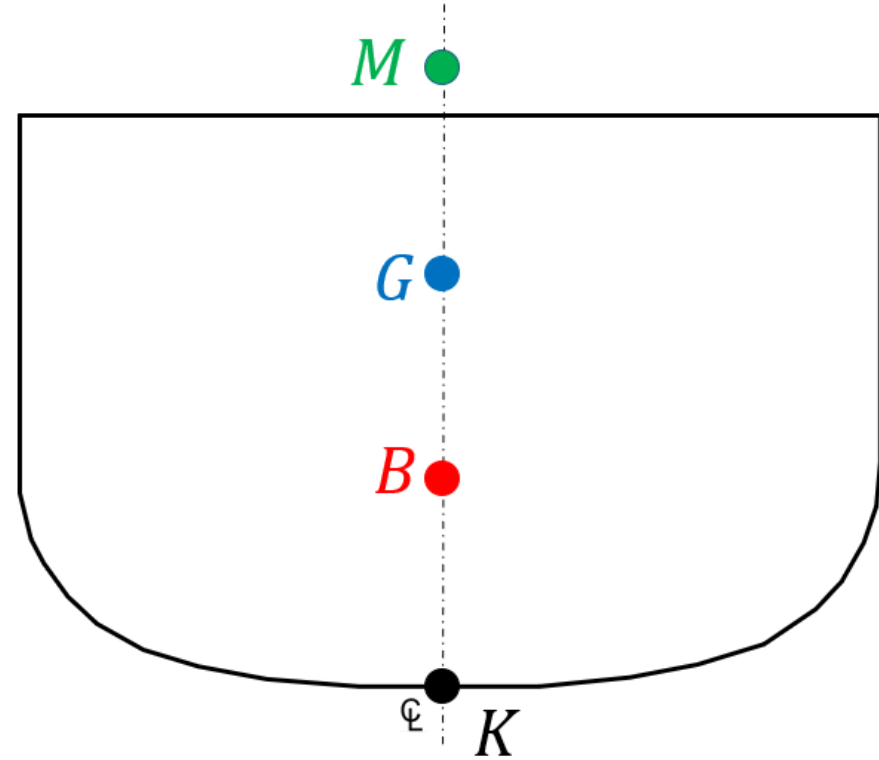


EL METACENTRO (TRANSVERSAL)

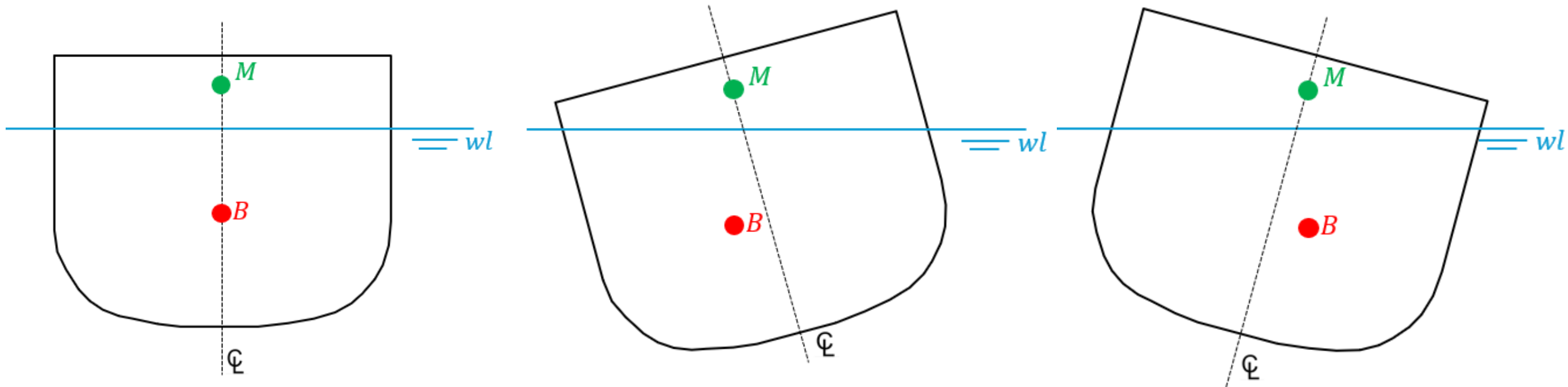
Es el punto hasta donde puede subir G y el buque sigue manteniendo una estabilidad positiva

El Metacentro se considera inmóvil para pequeños ángulos de escora, siendo el Índice de Estabilidad Inicial la distancia $\overline{GM}$

Representa un punto conveniente de referencia, para ángulos de inclinación menores a 10° (pequeños), asumiéndose que sobre este punto el buque “rota”



EL METACENTRO (TRANSVERSAL)



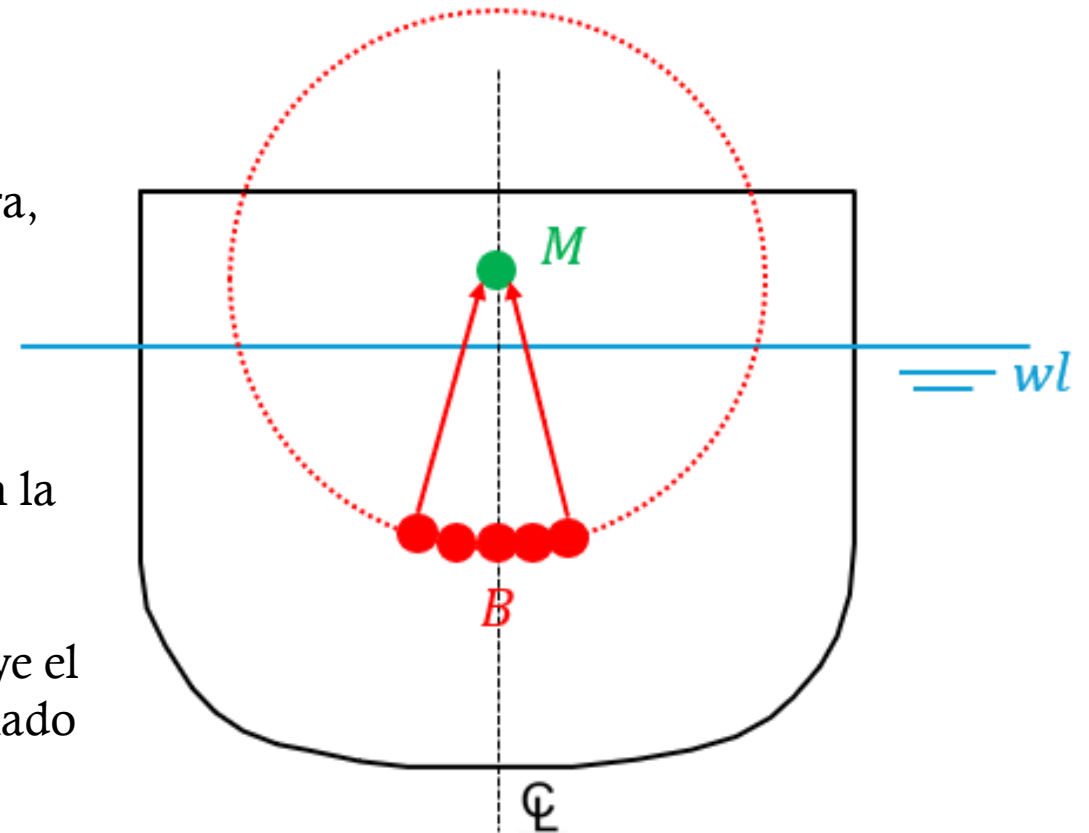
EL METACENTRO (TRANSVERSAL)

Para ángulos de escora pequeños (hasta 10°),
Se asume que el área de flotación (A_w) no varía con la escora,
por lo tanto, en estos casos $\overline{KB}$ se mantiene constante
Para un buque de superficie:

$$\overline{KG} > \overline{KB}$$

Se puede asumir también que el Metacentro se mantiene en la misma posición

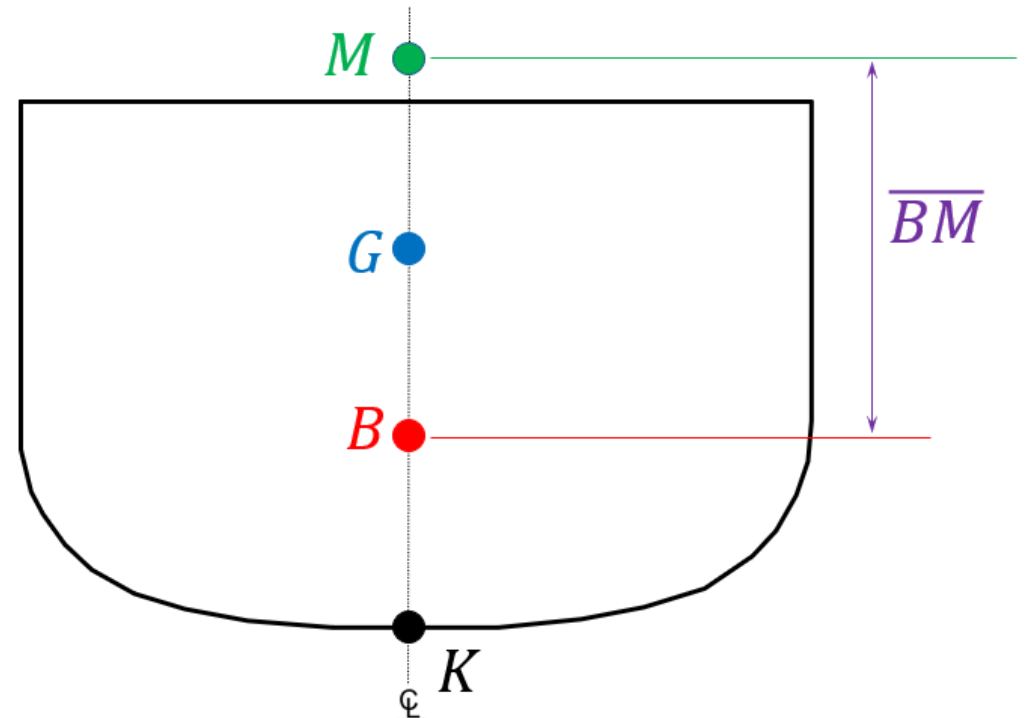
La distancia $\overline{BM}$ para pequeños ángulos de escora constituye el radio de un círculo con centro en M y con un arco conformado por la posición de B para pequeños ángulos de escora



ESTABILIDAD TRANSVERSAL INICIAL

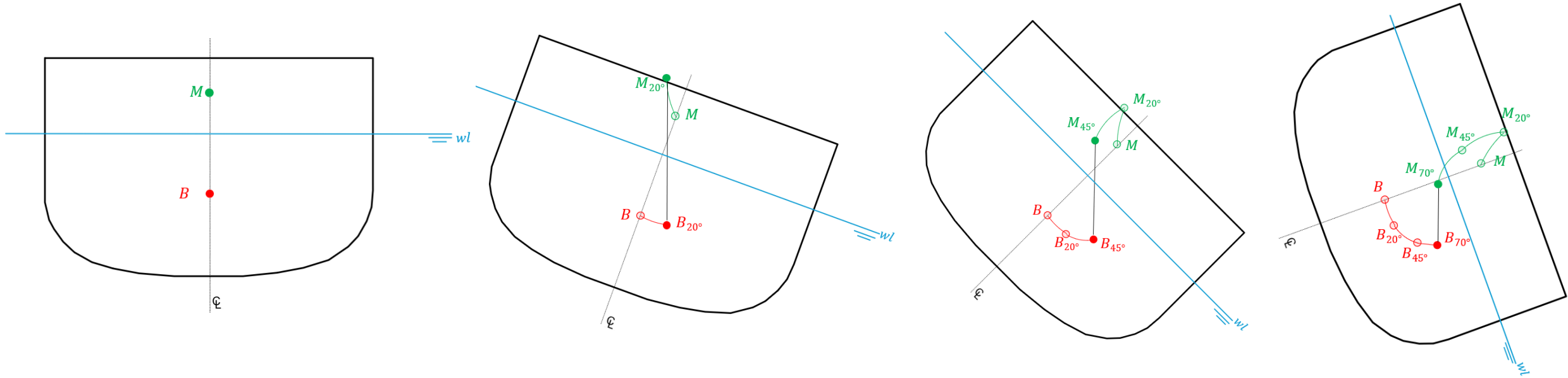
Cálculo de $\overline{BM}$ (Radio Metacéntrico) para ángulos pequeños de escora:

- $\overline{BM}_T = \frac{I_{xx} [m^4]}{\nabla [m^3]}$
- I_{xx} : Segundo Momento de Inercia del Plano de Flotación.
- ∇ : Volumen Sumergido



EL METACENTRO (TRANSVERSAL)

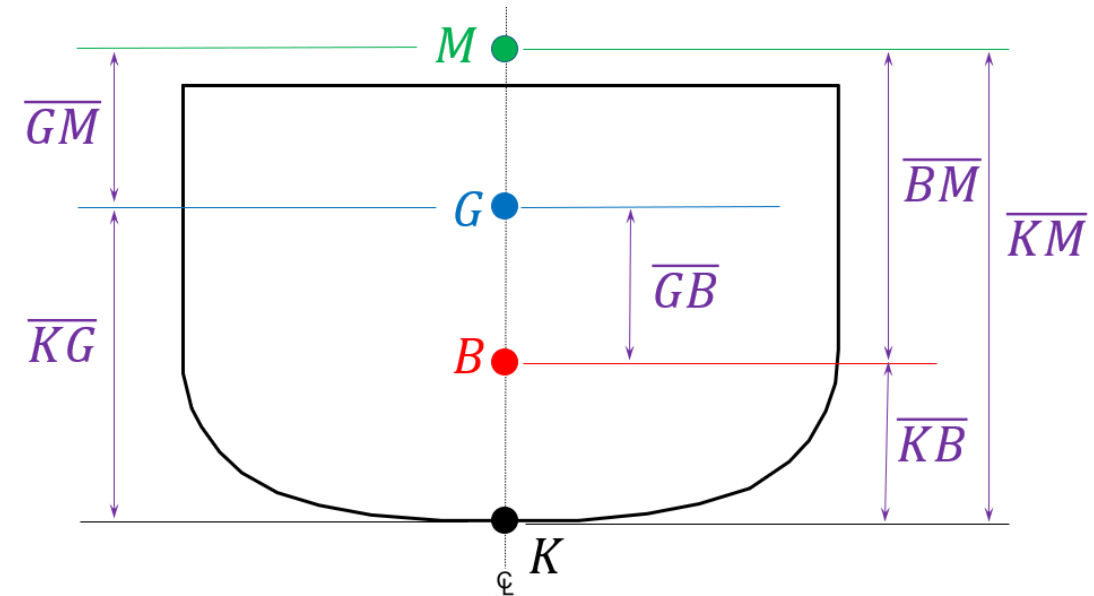
Para ángulos de escora $> 10^\circ$, Al cambiar la forma del Volumen de agua desplazada (∇), se genera un nuevo Centro de Boyantez (B_n), cuya proyección en la línea del empuje se intercepta con la proyección de la Línea de Crujía en el Metacentro.



MEDIDAS DE ESTABILIDAD INICIAL

- $\overline{GM}$: Altura Metacéntrica (Metacentric Height)
- $\overline{BM}$: Radio Metacéntrico (Metacentric Radius)
- $\overline{KG} = VCG$: Centro de Gravedad Vertical (Vertical Centre of Gravity)
- $\overline{KB} = VCB$: Centro de Boyantez Vertical (Vertical Centre of Buoyancy)

Estos valores son para estabilidad Transversal.
Cambiarán para Estabilidad Longitudinal



$$\overline{KG} + \overline{GM} = \overline{KM} = \overline{KB} + \overline{BM}$$

*Para valores de escora inferiores a 6°

ESTABILIDAD TRANSVERSAL INICIAL

Cálculo de $\overline{GM}$:

- $\overline{KB}$ y $\overline{KM}$ dependen de la forma del casco (varían con A_w y ∇)
- $\overline{KB}$ y $\overline{KM}$ se entregan en las curvas de forma del buque
- $\overline{KG}$ y $\overline{GM}$ dependen de la condición de carga del buque
- $\overline{KG}$ se determina por el cálculo de pesos y momentos

$\overline{GM} > 0 \rightarrow Estable$

$\overline{GM} = 0 \rightarrow Neutro$

$\overline{GM} < 0 \rightarrow Inestable$

$$\overline{GM} = \overline{KM} - \overline{KG}$$

ESTABILIDAD TRANSVERSAL INICIAL

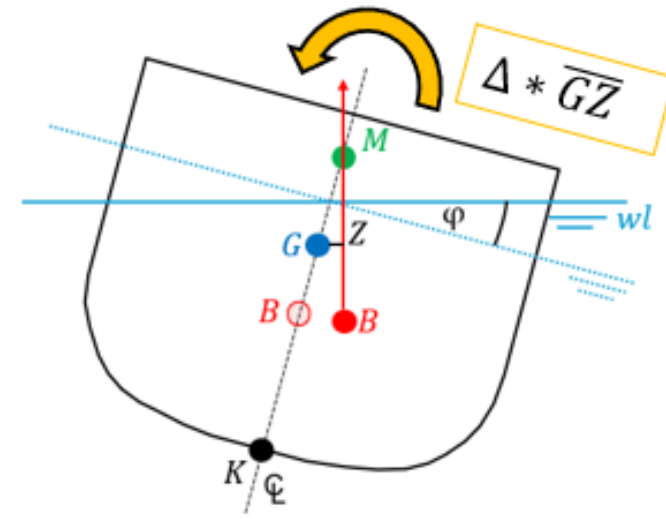
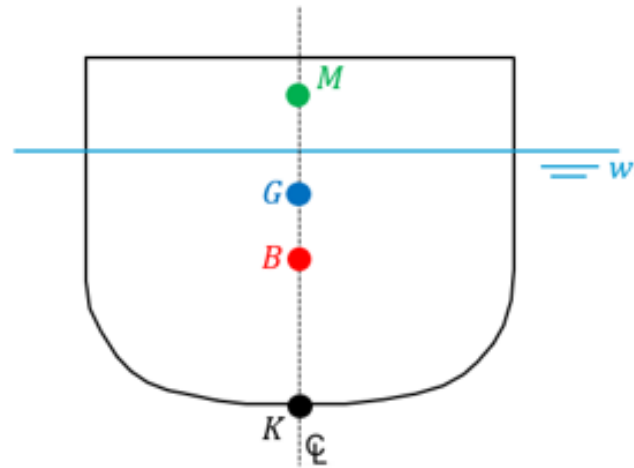
- Es importante que B y G estén casi en la misma línea, objeto prevenir ángulos de escora (desalineamiento vertical) o trimado (desalineamiento longitudinal)
- ¿Qué ocurre al escorarse, sentarse un buque?
- El Centro de Gravedad no cambia.
- El peso del buque no cambia y continúa actuando en G
- La geometría de ∇ varía y por lo tanto B se desplaza y pierde la simetría respecto a la línea de crujía.
- Las fuerzas siguen siendo iguales, pero se forma un momento cuya magnitud es igual al producto de esas fuerzas por la distancia que las separa, conocido como **Momento Adrizante** (Righting Moment)
- Se genera un par de adrizamiento $\overline{GZ}$, que es la distancia entre la fuerza de gravedad y el empuje (Z se define como el punto más cercano a G dentro de la línea de acción a través de B)

$$\overline{GZ} = \overline{GM} * \sin \varphi$$
$$RM = \Delta * \overline{GZ} = \Delta * \overline{GM} * \sin \varphi$$

ESTABILIDAD TRANSVERSAL INICIAL

¿Cómo cuantificar la estabilidad?

- $\overline{GZ}$: Brazo de Adrizamiento (Righting Arm). Es la distancia que separa ambas fuerzas
- $\Delta * \overline{GZ}$: Momento de Adrizamiento (Righting Moment). Es el momento resultante de la “separación de G y B ”
- $\overline{KG}$ es también un indicador de la estabilidad de un buque
- A menor $\overline{KG}$, el buque será más estable
- Es por esta razón que usualmente se utiliza Ballast para hacer el buque más estable, dado que es una cantidad de peso importante, cercana a la quilla (por lo tanto acerca G a K).



$$\text{Para } \varphi < 6^\circ, \overline{GZ} \cong \overline{GM} * \sin(\varphi)$$

ESTABILIDAD TRANSVERSAL INICIAL

- A mayor $\overline{GM}_T$, más estable será el buque
- Pero:
 - Un $\overline{GM}_T$ grande implica que el roll restoring moment será también alto
 - Esto implica cortos períodos de roll y alta aceleración
 - Por lo tanto, un $\overline{GM}_T$ alto está también asociado a mal Seakeeping
 - Además de indicar si un buque tiene estabilidad positiva ($\overline{GM}_T > 0$), la fórmula del Metacentro nos indica como podemos mejorar nuestra estabilidad

$$\overline{GM}_T = \overline{KB} + \overline{BM}_T - \overline{KG}$$

Que este valor sea más grande

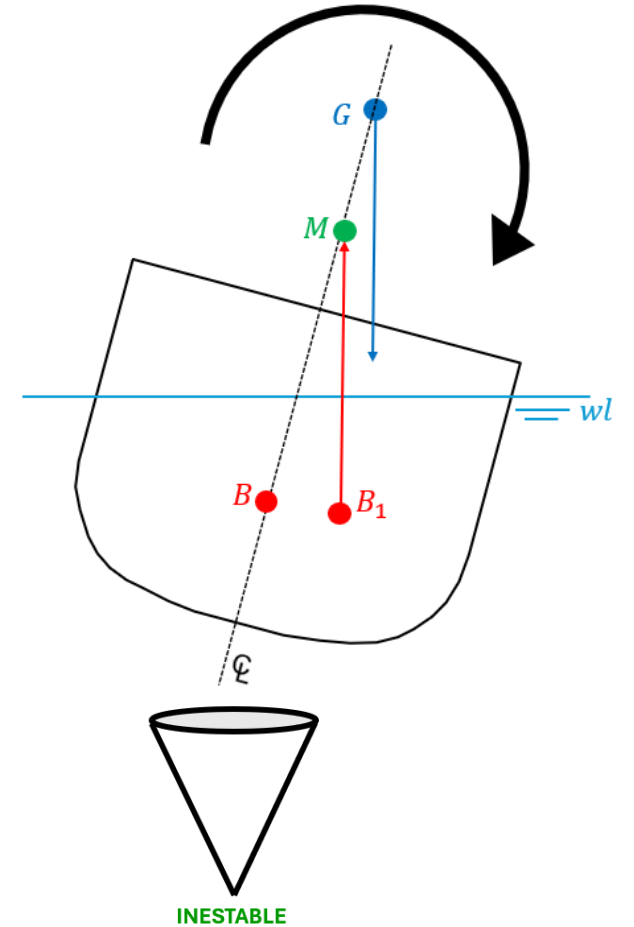
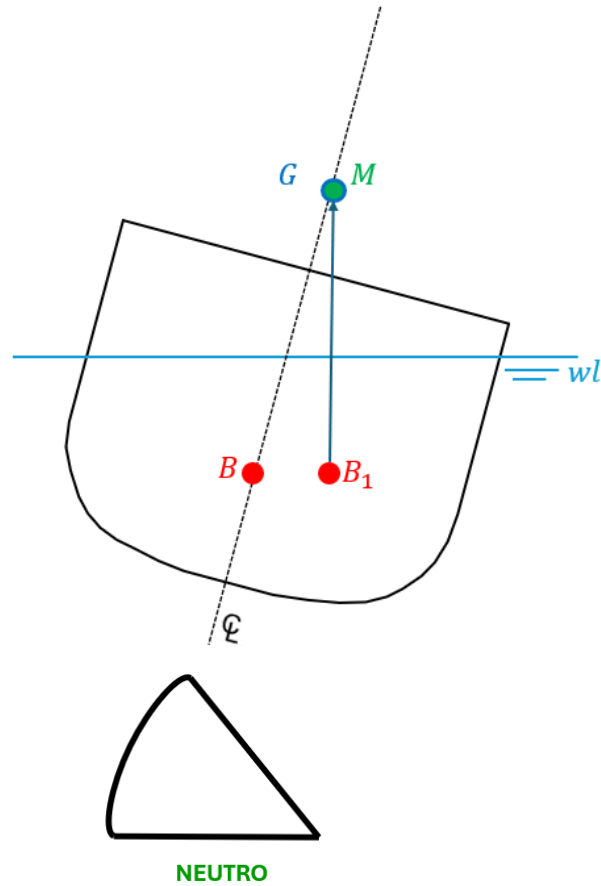
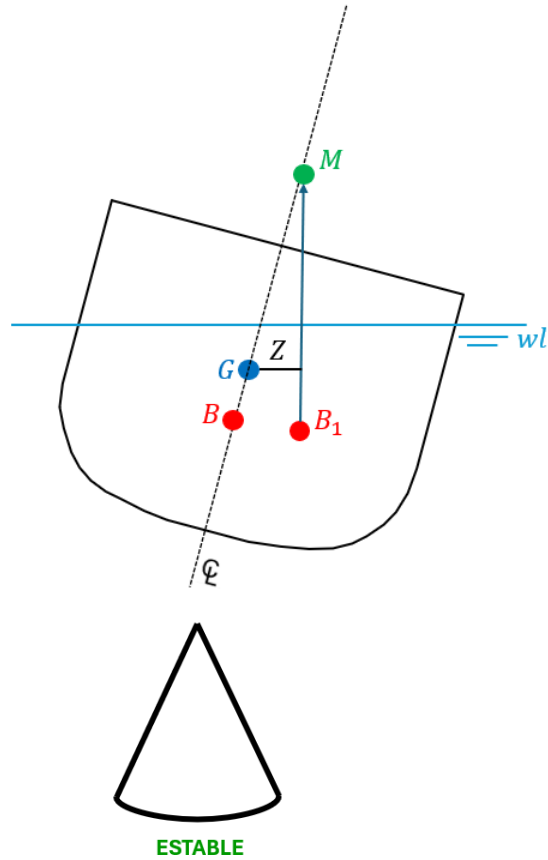
Que este valor sea más pequeño

ESTABILIDAD TRANSVERSAL INICIAL

Índice de estabilidad inicial ($\overline{GM}$):

- Es la distancia vertical medida entre G y M , y es un indicador de estabilidad inicial de un buque
 - Si G está bajo M , tendremos un Índice de Estabilidad **positivo** (el buque se escora y vuelve a su posición original)
 - Si G está sobre M , tendremos un Índice de Estabilidad **negativo** (si el buque se escora, no es capaz de recuperarse y seguirá escorándose hasta darse vuelta de campana)
 - Si G coincide con M , tendremos un Índice de Estabilidad **neutro** (si se produce una pequeña escora, buque se mantiene en dicha posición)

CONDICIONES BÁSICAS DE EQUILIBRIO



ESTABILIDAD TRANSVERSAL INICIAL

La estabilidad de un buque puede variar sustancialmente dependiendo de su condición de carga

Deathweight (Máxima Carga):

- Cargo
- Pasajeros
- Combustible
- Agua de Bebida
- Ballast
- Otros Fluidos
- Munición

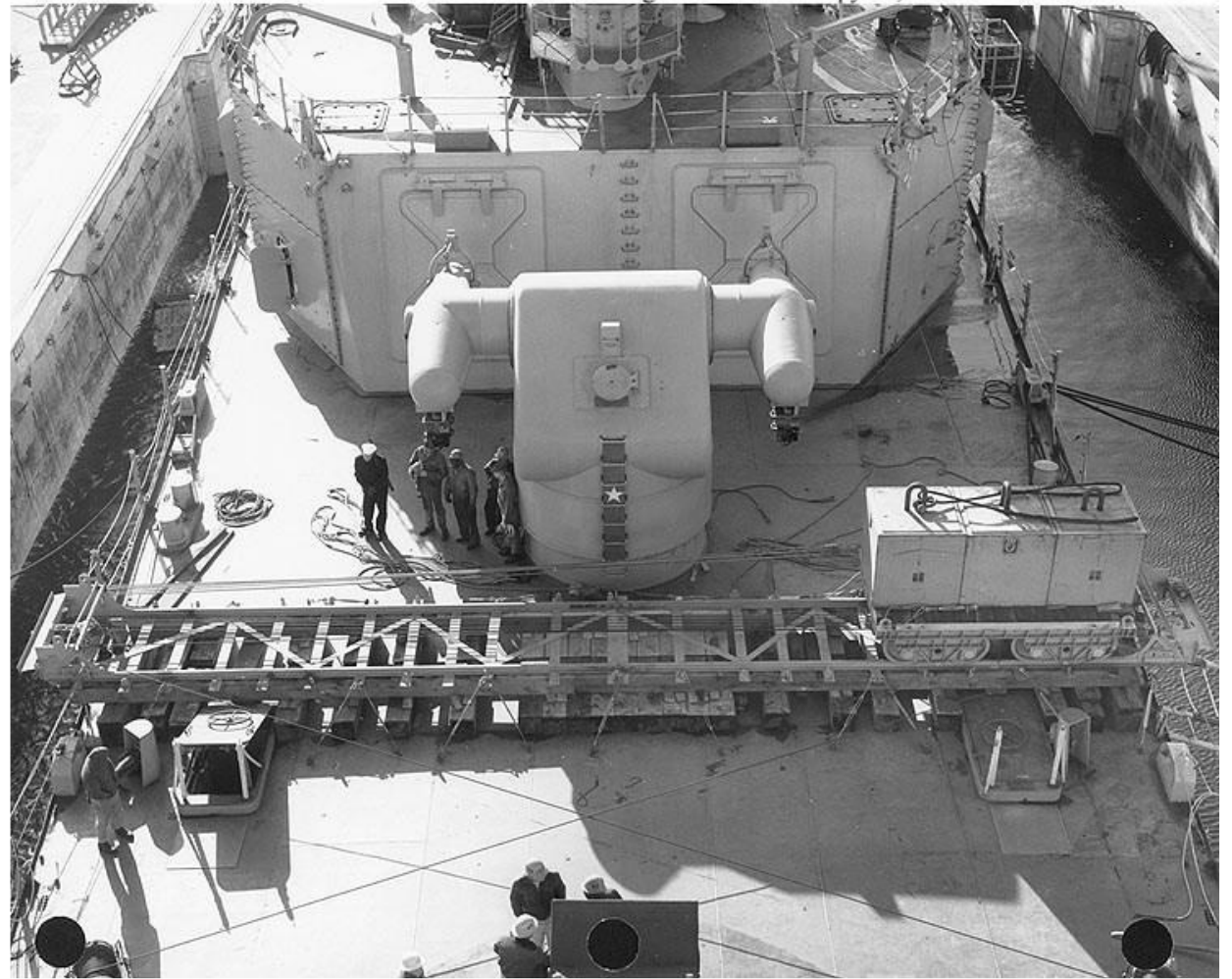
Lightship (Desplazamiento liviano):

- Casco (estructura)
- Planta propulsora
- Planta generadora
- Comunicaciones, monitoreo
- Habitabilidad
- Sistemas auxiliares
- Armamento mayor

$$\text{Condición Carga} = \text{Lightship} + \text{Deadweight}$$

EXPERIMENTO DE INCLINACIÓN

Determinación precisa de la posición de G de un buque



EXPERIMENTO DE INCLINACIÓN

- El $\overline{KG}$ de un buque en condición de carga liviana es difícil de calcular de manera teórica
 - Incertidumbres respecto al proceso de construcción
 - A lo largo de su vida útil, se realizan alteraciones que modifican la distribución de las masas en dicha condición.
 - Muchas veces se efectúan cambios en la distribución de masas a bordo, los cuales no son registrados (incluso en el proceso de construcción)
- La posición del Centro de Gravedad de un buque se determina mediante el Experimento de Inclinação
- Se realiza en la etapa final de la construcción de un buque, después de una modificación importante de su masa o transcurrido un tiempo determinado
- Se lleva a cabo con el buque en su condición de carga liviana, o lo más cercano a ella posible
- Conocido $\overline{KG}$ en condición de carga liviana, puede determinarse cualquier modificación por cambio de carga.

EXPERIMENTO DE INCLINACIÓN

- El procedimiento consiste en inclinar el buque con masas conocidas (normalmente bloques de concreto)
 - Se lee la inclinación lograda mediante plomadas largas dispuestas a lo largo del buque (entre dos y tres plomadas)
 - Luego, se resuelve el triángulo de la inclinación y se determina la posición de G
 - Consideraciones iniciales:
 - No debe haber viento (o despreciable)
 - El buque debe estar flotando libremente
 - Todos los pesos que se encuentren a bordo deben ser conocidos y estar trincados
 - No debe haber superficies libres. Los estanques deben estar llenos, o vacíos
 - Todas las personas que participan deben estar fuera del buque
 - El buque debe estar adrizado antes de iniciar el experimento
 - Se debe tener un listado de todas las masas existentes a bordo
-

EXPERIMENTO DE INCLINACIÓN

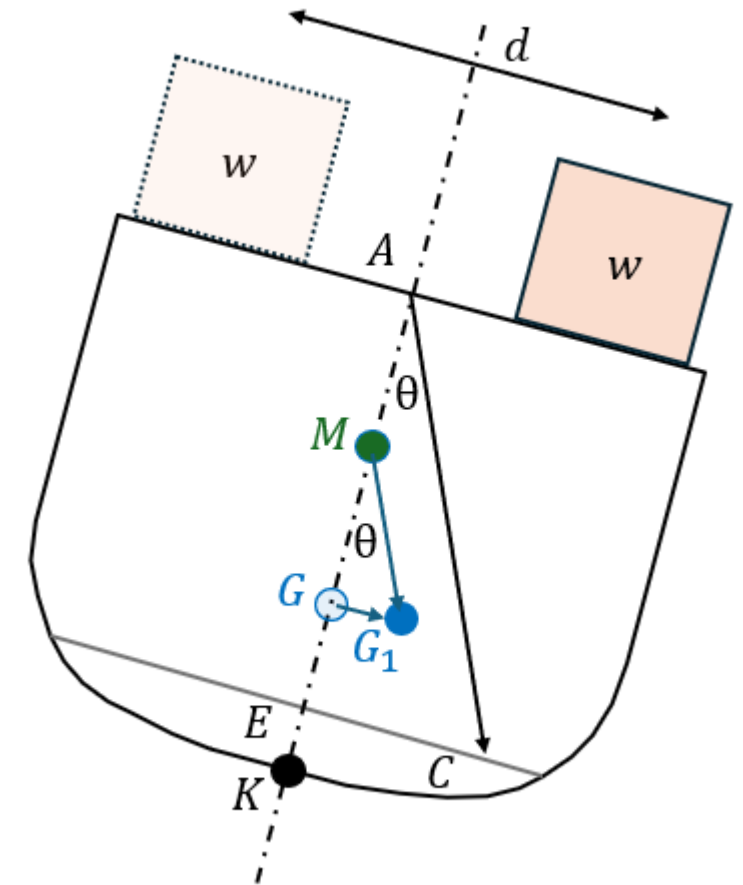
Procedimiento:

- Se inicia moviendo una masa conocida, una distancia predeterminada.
- Una vez escurado el buque unos 2 o 3 grados, se toman lecturas de las plomadas (considerar el tiempo necesario para que el buque se estabilice)
- Se regresa la masa a su posición original y se verifica que el buque regrese a su posición inicial (si esto no ocurre es necesario verificar la causa, ya que el experimento no servirá)
- Luego la (las) masas se mueven hacia la otra banda, generando una escora contraria a la originalmente lograda y se miden las plomadas nuevamente.
- Se centran las masas y se verifica que el buque regrese a su posición adrizado

EXPERIMENTO DE INCLINACIÓN

Determinación de G :

- Una masa w se mueve de una banda a la otra una distancia d
- El Centro de Gravedad del Buque se mueve desde G a G_1
- G_1 estará verticalmente bajo M y el grado de escora será θ .
- La plomada se moverá de E hacia C y se formará el ángulo $EAC = \theta$



DETERMINACIÓN DE $\overline{G}$

- En el triángulo EAC :

$$\cot \theta = \frac{\overline{AE}}{\overline{EC}}$$

- En el triángulo GG_1M

$$\tan \theta = \frac{\overline{GG_1}}{\overline{GM}}$$

- Luego:

$$\overline{GM} = \overline{GG_1} * \frac{\overline{AE}}{\overline{EC}}$$

- Pero:

$$\overline{GG_1} = \frac{w * d}{\Delta}$$

Luego:

$$\overline{GM} = \frac{w * d}{\Delta} * \frac{\overline{AE}}{\overline{EC}}$$

Por lo tanto:

$$\overline{GM} = \frac{w*d}{\Delta*\tan \theta}$$

De esta ecuación son conocidos:

- La masa w a mover
 - La distancia d
 - El desplazamiento Δ del buque
 - El ángulo de escora θ provocado
-

RESUMEN

- Cada buque nuevo tiene su Experimento de inclinación.
- Cuando existen muchos buques de una misma clase, se puede asumir el mismo Experimento de inclinación.
- Si el buque ha sido sometido a una modificación mayor, debe realizársele un nuevo Experimento de inclinación.

EJERCICIOS

- Cuando una masa de 25 [t] se mueve 15 [m] transversalmente a través de la cubierta de un buque de 8000 [t] de desplazamiento, genera una deflexión de 0,2 [m] en la plomada, que es de 4 [m] de longitud. Si el $\overline{KM}$ es de 7 [m], calcular $\overline{KG}$
- Resolución:
- $\overline{GM} = \frac{25 [t] * 15 [m]}{8000 [t]} * \frac{4 [m]}{0,2 [m]}$
- $\overline{GM} = 0.937 [m]$
- $\overline{KM} = 7 [m]$
- $\overline{KG} = 6,062 [m]$

EJERCICIOS

- Un buque de 8000 [t] tiene un $\overline{KM}$ de 7,3 [m] y un $\overline{KG}$ de 6,1 [m]. Una masa de 25 [t] en cubierta es movida en forma transversal, a una distancia de 15 [m]. Encontrar la deflexión de la plomada si esta mide 4 [m] de largo
- Como resultado del experimento de inclinación, se encontró que la altura metacéntrica del mismo era de 1 [m]. Se utilizó una masa de 10 [t], que se movió 12 [m] en forma transversal y escoró el buque 3,5 grados, con una deflexión de la plomada de 0,25 [m]. Encontrar el desplazamiento del buque y el largo de la plomada