

# **ESTABILIDAD DE UN CUERPO FLOTANTE**

## **mod. F-FM-4/EV**

TEORIA Y EJERCICIOS  
Manual del PROFESOR / ESTUDIANTE



## CONTENIDOS

1. NOCIONES TEÓRICAS	01
2. DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO	07
3. EJERCICIO	10

## 1. NOCIONES TEÓRICAS

El equipo mod. F-FM-4 / EV permite estudiar los factores que determinan la estabilidad de un cuerpo flotante y calcular su centro de

masa y altura metacéntrica

Este tipo de estudio es esencial, en arquitectura naval, durante la fase de diseño.

### 1.1 Equilibrio de un cuerpo sumergido

El principio de Arquímedes establece que el empuje ( $F_B$ ) aplicado a un cuerpo, total o parcialmente sumergido en un fluido, es proporcional a la densidad del líquido ( $\rho$ ) en el cual este cuerpo está sumergido y al volumen ( $V$ ) de la parte del cuerpo sumergido en el fluido.

$$F_B = \rho V$$

Este empuje se denomina flotabilidad o fuerza boyante y, en el caso de un cuerpo totalmente sumergido, se aplica al centroide o centro de masa (B) del volumen de agua desplazada que coincide con el volumen del cuerpo.

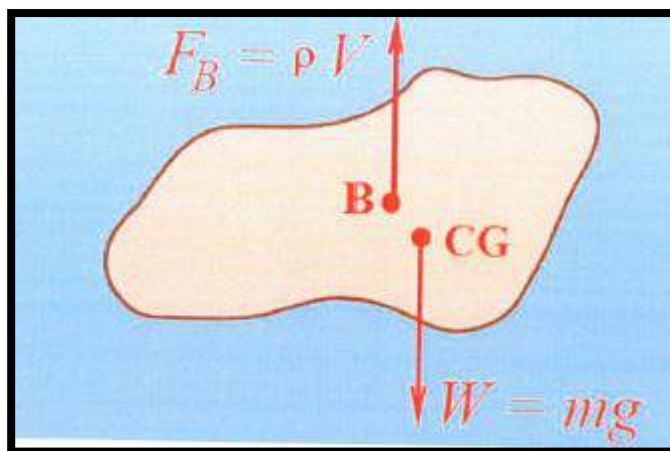


Fig. 2.1.1

En el caso de un cuerpo parcialmente sumergido, la flotabilidad se aplica a la centroide o centro de masa del volumen de agua desplazada ( $V'$ ).

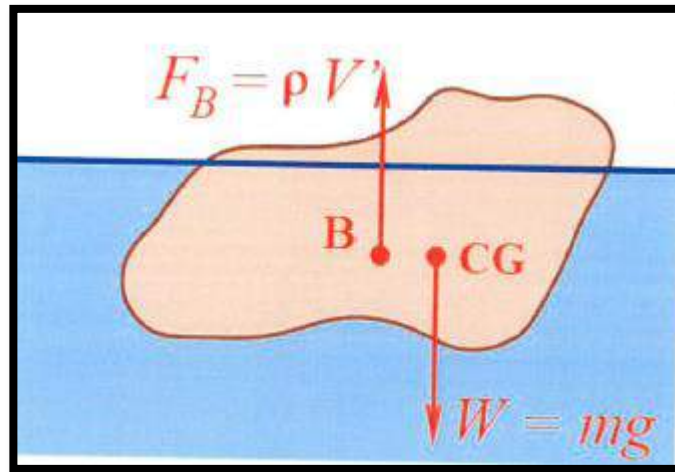
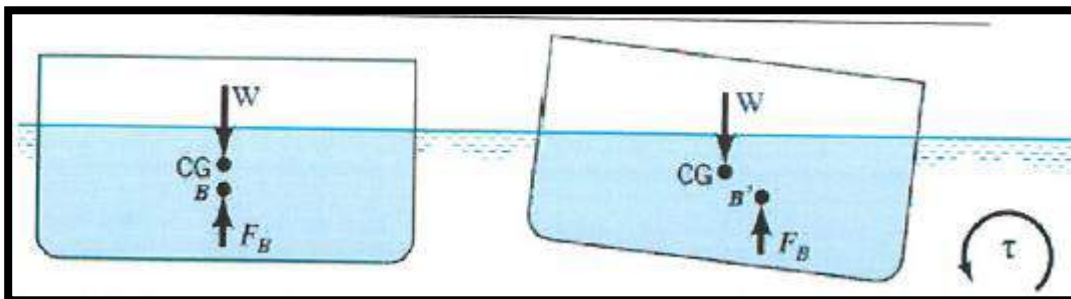


Fig. 2.1.2

Ahora considere un cuerpo parcialmente sumergido en un fluido:



B = centroide del volumen de agua desplazada – B' = centroide del nuevo volumen de agua desplazada - = Par

Fig. 2.1.3: Equilibrio estable

El cuerpo puede flotar y se mantiene en equilibrio sólo si la intensidad de flotabilidad (módulo) es igual a la fuerza de peso, además de tener la misma dirección y sentido opuesto.

Entonces, si el cuerpo está ligeramente inclinado, el centroide será desplazado hacia la derecha, pero el par resultante de las dos fuerzas tiende a mover el cuerpo de nuevo a su propia posición de equilibrio. Este tipo de equilibrio es definido como estable.

Por el contrario, el ejemplo de la figura 2.1.4. muestra que la pareja no tiende a llevar el cuerpo de vuelta a su condición de equilibrio. Este es el caso del equilibrio inestable.

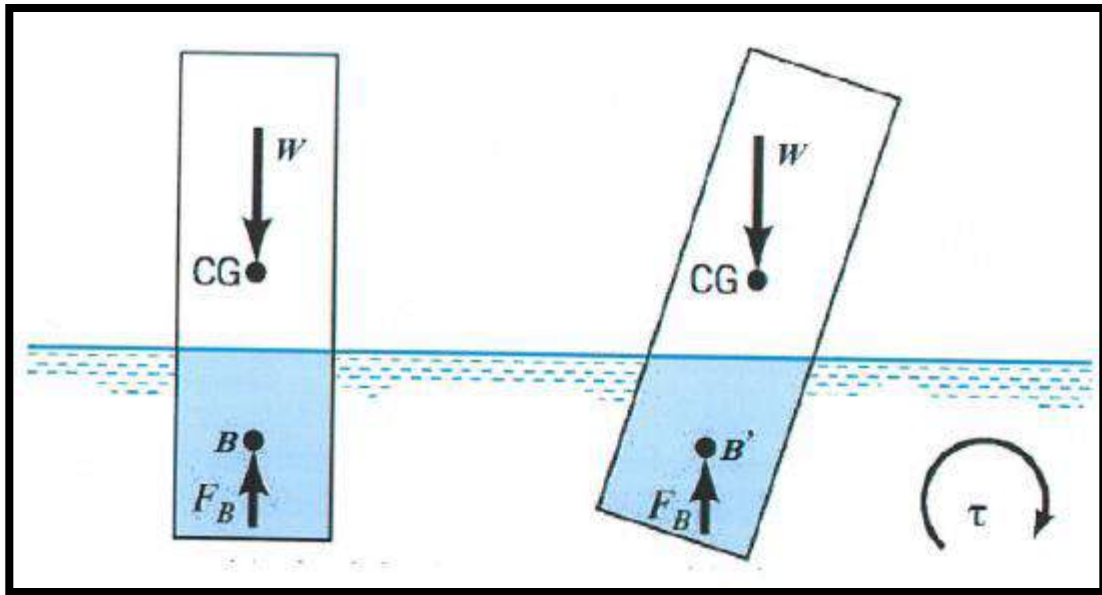


Fig. 2.1.4: Equilibrio inestable

A continuación, analice este problema más profundamente teniendo en cuenta un cuerpo flotante ligeramente inclinado.

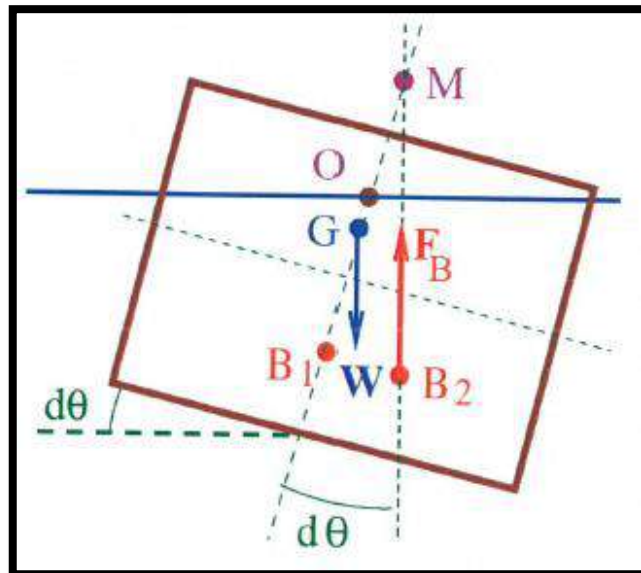


Fig. 2.1.5

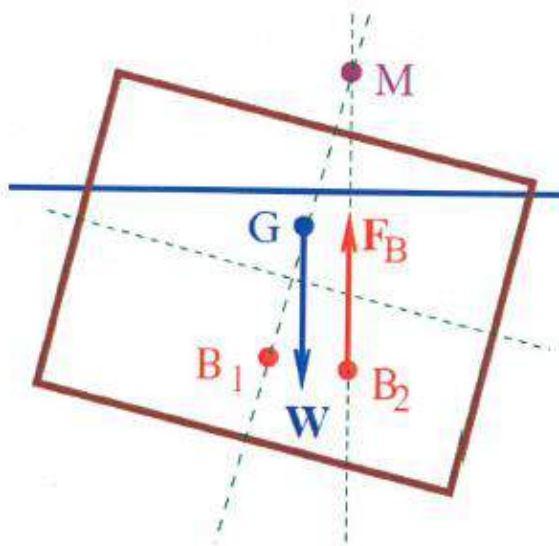
La cantidad de flotabilidad no varía porque el peso corporal no varía, pero el punto de aplicación, es decir, el centroide, cambia su posición (de B1 a B2).

La línea de operación de la flotabilidad original (cruzando el centro de gravedad G) interseca la de la flotabilidad actual en un punto llamado "metacentro" (M).

La distancia entre G y M se denomina "altura metacéntrica".

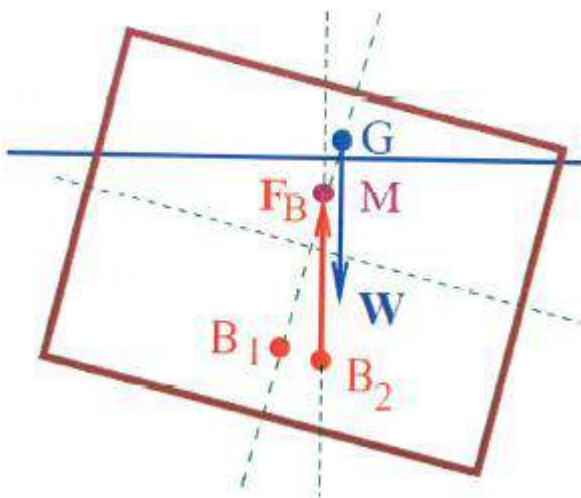
Si  $GM > 0$ , el cuerpo está en condiciones de equilibrio estable.

El equilibrio es inestable si  $GM < 0$ ; mientras que, si  $GM=0$ , el equilibrio es Indiferente.



$GM > 0$

El par aplicado lleva el cuerpo de vuelta a su posición.



$GM < 0$

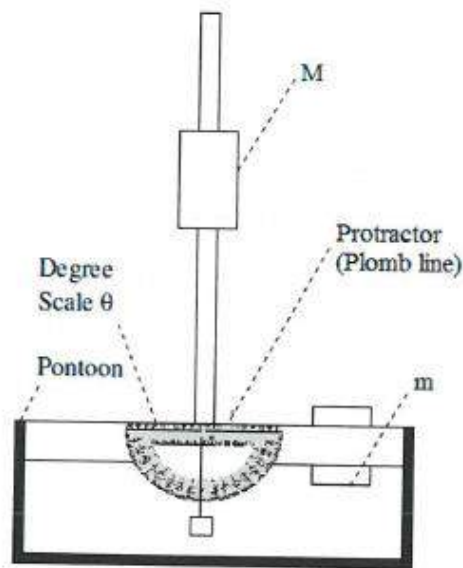
El par aplicado tiende a girar el cuerpo

## 2. DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO

El equipo consiste en un pontón con un mástil: un transportador permite medir su inclinación en una escala graduada.

La posición vertical del centro de gravedad ( $G$ ) está controlada por un peso ( $M$ ) que se puede fijar a diferentes alturas de este mástil.

La posición horizontal del centro de gravedad está controlada por otro peso ( $m$ ) que se puede fijar en diferentes posiciones horizontales del Pontón.



**Fig. 2.1**

Las características técnicas del equipo se indican a continuación:

- Longitud del pontón  $L = 350$  mm
- Ancho del pontón  $b = 200$  mm
- Altura del pontón  $d = 100$  mm
- Peso vertical  $M = 280$  g
- Peso horizontal  $m = 300$  g
- Peso total del pontón  $W = 2169$  g

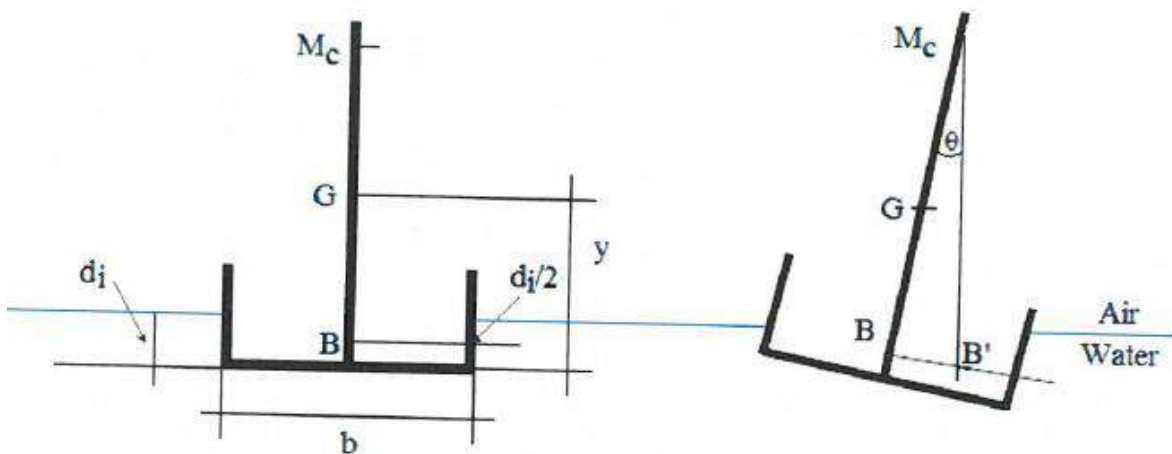


Fig. 2.2

Cuando el pontón se inclina en un ángulo  $\Theta$ , el metacentro  $M_c$  corresponderá al punto de intersección entre la línea de operación (vertical) de flotabilidad y el mástil. El pontón flotará cuando la altura del metacentro M sea mayor que la del centro de gravedad G.

La altura metacéntrica se determinará mediante la siguiente fórmula:

$$GM_c = \frac{m \cdot x}{W \cdot \text{tg}\Theta}$$

Donde m = masa de peso cruzado;

x = posición del peso cruzado;

W = masa de pontón con pesas.

Pero como:

$$y - W = m \cdot x$$

donde  $y = GM_c \cdot \text{tg}\Theta$ ;

El radio metacéntrico  $BM_c$  se puede definir como:

$$BM_c = 1/V$$



donde  $I = Lb^3/12$  es el segundo momento del área del plano del flotador alrededor de un eje a través del centroide perpendicular al plano de rotación.

L es la longitud del pontón, b es su anchura y V es el volumen sumergido.

Sabiendo que la flotabilidad es igual al peso total del pontón W permitirá calcular el volumen sumergido V:

$$V \cdot \rho = W$$

$$V = W / \rho$$

La altura de la parte sumergida  $d_i$  puede ser determinado por la siguiente fórmula:

$$V = L \cdot b \cdot d_i;$$

$$d_i = \frac{V}{L \cdot b}$$

El punto B es el centroide de la parte sumergida y está a una distancia de  $d_i/2$  de la base del pontón.

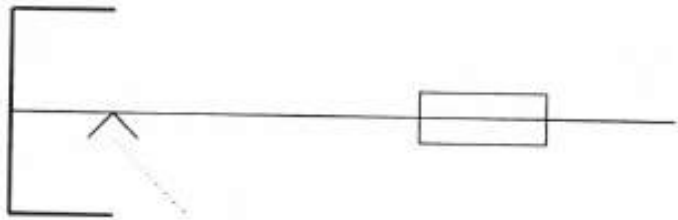
El centro de gravedad G está a una distancia y de la base del pontón.

Pero, como  $GM_C = BM - BG$ , el uso de la siguiente fórmula conducirá al resultado:

$$GM_C = \frac{b^2}{12d_i} - \left( y - \frac{d_i}{2} \right)$$

### 3. EJERCICIO

- Determinar el peso total  $W$  usando una báscula.
- Coloque el peso deslizante del mástil de modo que el centro de gravedad  $G$  de todo el equipo esté al nivel del extremo del pontón. La posición de  $G$  se puede determinar atada al cable eléctrico suministrado alrededor del mosto y ajustar el peso  $M$  para que el equipo se mantenga en equilibrio.



- Mida la distancia  $d$  de  $G$  desde la parte inferior del pontón.
- Llene el tanque volumétrico del modelo de banco HB1/EV y coloque el pontón flotante en el interior.
- Mida la profundidad de inmersión  $d_i$  y compare con el valor calculado.
- Fijar el peso cruzado en el centro del pontón.
- Si es necesario, ajuste el pequeño peso recortado en la parte inferior del puente para que el ángulo de inclinación sea igual a cero.
- Mueva el peso cruzado hacia la derecha por pasos de 5 mm y registre el valor del ángulo de inclinación cada vez hasta  $15^\circ$
- Repita las operaciones mencionadas anteriormente moviendo el peso cruzado hacia la izquierda.
- Cambie la posición del centro de gravedad moviendo el peso deslizante del mástil. Las posiciones sugeridas son la primera posición y la intermedia entre la posición superior y la utilizada en la primera prueba.
- Repita la prueba descrita anteriormente para cada una de las nuevas posiciones y calcule la altura metacéntrica  $GMc$ ; a continuación, calcule la posición de metacentro  $M (= y + GM)$  desde la base del pontón utilizando los resultados de las tres pruebas.

	Longitud del pontón L (m)	Ancho del pontón b (m)	Altura del pontón D (m)	Peso total W (kg)	Posición del centro de gravedad (m)	Profundidad de inmersión (m)	Atura Metacéntrica $GM_C$ (m)	Posición de peso X (m)	Ángulo de inclinación	Atura Metacéntrica $GM_C$ (m)
1										
2										
3										
4										
5										
6										
7										
8										
9										
10										
11										
12										

1. Observación sobre el efecto de cambiar la posición de G en la posición del metacentro
2. Observación sobre la razón por la que el valor de GM es menos preciso para los valores bajos de  $\Theta$
3. Explicar cómo se puede lograr el equilibrio inestable.

## Ejemplo de cálculo

Con  $x = 30 \text{ mm}$  el ángulo  $\Theta = 10^\circ$

$W = 2196 \text{ g}$  correspondiente a  $2.196 \text{ l}$  de agua desplazada.

$$d_i = \frac{V}{L \cdot b} = \frac{2196 * 10^3}{350 * 200} = 31.4 \text{ mm}$$

$$GM_c = \frac{m \cdot x}{W \cdot \text{tg}\Theta} = \frac{0.3 * 30}{2.146 * \text{tg}10^\circ} = 23.8 \text{ mm}$$

$$GM_c = \frac{b^2}{12d_i} - \left( y - \frac{d_i}{2} \right) = \frac{200^2}{12 * 31.4} - \left( 100 - \frac{31.4}{2} \right) = 21.8 \text{ mm}$$

NOTA :

Con la finalidad de ampliar los conocimientos de los estudiantes; este equipo se entrega con el modelo F-DIEL/EV (Constante Dieléctrica del Condensador) cuyos temas a tratar son:

- Determinación de la capacidad de un condensador de placas midiendo la carga
- Medición de la capacidad en función del Área de las placas
- Medición de la capacidad en función de la Distancia entre las placas
- Determinación de la Constante Dieléctrica de diferentes materiales