



ESTABILIDAD Y ESTIBA

Equipamiento del laboratorio

Para la realización de este laboratorio, se usará un estanque metálico con un modelo de buque como cuerpo flotante. El modelo será inclinado a babor y Estribor mediante la adición de peso equivalente de 200 gramos en tres ubicaciones diferentes sobre la cubierta del modelo. Los momentos resultantes inclinarán al modelo y los ángulos de inclinación para cada movimiento de peso se medirán con el péndulo. (Tener presente que es probable que exista superficie libre durante el ensayo, por lo que la rapidez en su realización es fundamental).

Antes de iniciar el experimento y se agreguen los pesos, el modelo tiene que estar en condición liviana; es decir, con el lastre interior del estanque central debe estar lo más abajo posible y sin pesos dentro de los compartimientos de proa y popa.

Teoría

El principal logro del Experimento de Inclinación es encontrar un valor preciso de la posición vertical del Centro de Gravedad del buque sobre la quilla (KG). Éste se realiza cuando el buque ha sido recién construido, después de que ha sido sometido a un proceso de modernización con cambios importantes en sus pesos internos y por una alteración significativa en la posición de KG.

El experimento se realiza atracado en puerto, en aguas calmas y con el buque adrizado. Los siguientes son los pasos principales para llevar a cabo su realización:

Condición de Carga Liviana

Normalmente se realiza el Experimento en condición de carga liviana. El desplazamiento en esta condición $\Delta_{Liviano}$ se define como:

El peso del buque tal como lo entrega el astillero; sin combustible, pertrechos, víveres ni tripulantes.

Es necesario primero determinar el peso del buque en condición liviana $\Delta_{liviano}$. Esto se logra entrando a las "Curvas de Forma" del buque con los calados medios y obteniendo el desplazamiento para esa condición. También es importante verificar la densidad del agua en el que está flotando.

1. ¿Por qué es importante determinar la densidad del agua? _____

_____ porque la densidad afecta en la flotabilidad del buque a través del calado

2. Escriba la ecuación que relaciona el **desplazamiento** del buque con la **densidad** del agua en el que flota.

$$\text{desplazamiento} = \text{densidad} * \text{Vol}$$

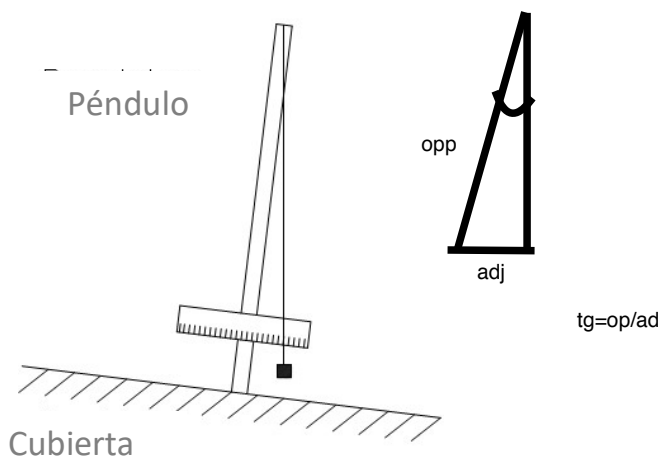


ESTABILIDAD Y ESTIBA

Incorporación de pesos y sistema de péndulo

Los elementos y pesos que se utilizarán durante el experimento se embarcan a bordo del buque. Normalmente los pesos que se utilizan en un experimento equivalen al 2% del desplazamiento del buque en condición de desplazamiento liviano ($\Delta_{Liviano}$). Cuando se instala a bordo el equipamiento y pesos necesarios para el experimento, se dice que el buque está en condición de "Inclinación". Todas las cantidades que se dan refieren a esta condición, llevarán el sufijo de *incl*. Por ejemplo: Δ_{Incl} , KG *Incl*.

El equipo de inclinación consiste en un péndulo montado en un mástil ubicado de tal manera que el péndulo esté libre para moverse en dirección transversal. La figura N°1 muestra un péndulo típico. El péndulo se utiliza para determinar la tangente del ángulo de inclinación.



3. La figura adyacente, muestra el ángulo de inclinación (ϕ) y los catetos opuestos y adyacentes (d_{adj} y d_{opp}) del triángulo que permite el cálculo de la tangente ϕ

Utilizando trigonometría, escriba la ecuación para la $Tg \phi$ con los datos del párrafo anterior.

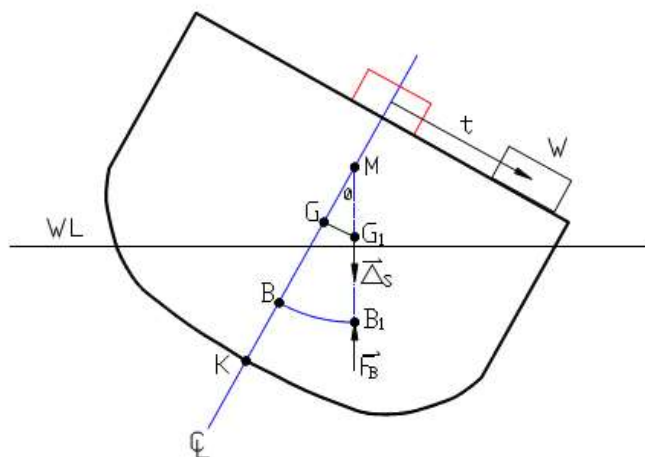
$$\text{angulo} = \text{tg}^{-1} (d_{adj}/d_{opp})$$

Para el caso del modelo, es importante conocer ubicación del cg del péndulo y el de los pesos. En buques reales el peso del péndulo es despreciable, pero en este modelo es significativo.

Éstas distancias normalmente serán Kg péndulo y Kg pesos de inclinación respectivamente.



Una vez completados los pasos previos, se puede realizar el experimento de inclinación. La teoría involucrada en su ejecución fácil de entender cuando se analiza el siguiente esquema:



- $$GG1 = GM * Tg (\bullet)$$

$$CGT_{nuevo} = \frac{CGT_{inicial} \cdot \Delta_{inicial} + w_i cgt_i}{\Delta_{nuevo}}$$

Como $cgt = t$, cuando $CGT_{\text{inicial}} = 0 \text{ cm}$, entonces $GG_1 = CGT$

$$GG_1 = \frac{w \cdot t}{A}$$

- GM Tan()=tw/volumen sumegido

Para cada ángulo de inclinación, se registra la tangente de inclinación correspondiente ($\text{tg}\phi$). Una vez realizado, se hace un gráfico del momento inclinante (wt) versus la $\text{tg}\phi$. Estos datos debieran resultar en una línea recta. Para ello es conveniente trazar una línea recta que represente mejor a todos los puntos obtenidos. Una vez lograda esta línea, se puede obtener la pendiente de esta recta.



ESTABILIDAD Y ESTIBA

6. Escriba la ecuación de la pendiente de la recta en términos de las cantidades obtenidas.

$$\text{pendiente recta} = (\text{wtf} - \text{wti} / \text{tg}(\text{f}) - \text{tg}(\text{i}))$$

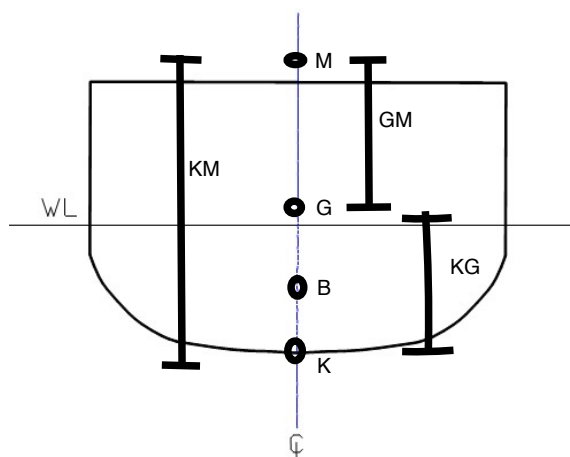
7. Combine lo anterior con la expresión previa para encontrar $GM_{\text{incl.}}$ en términos de la pendiente de la recta graficada.

$$GM_{\text{incl.}} = \text{pendiente recta} / D_{\text{indicado}}$$

Cálculo del $KG_{\text{incl.}}$

Con el valor de $GM_{\text{incl.}}$ calculado, la determinación de la distancia $KG_{\text{incl.}}$ es prácticamente directo.

8. En la siguiente figura marque la posición de los siguientes puntos: Quilla (K), Centro de Boyantéz (B), Centro de Gravedad (G) y Metacentro Transversal (M). Asuma todos los centroides en línea de crujía. Marque las distancias KM, GM y KG.



9. Utilizando la figura anterior determine una expresión para $KG_{\text{incl.}}$ en términos de $GM_{\text{incl.}}$ y de KM.

$$KM = GM + KG \quad \longrightarrow \quad KG = KM - GM$$

10. ¿De dónde se puede obtener el valor de KM? Por el grafico de las curvas



ESTABILIDAD Y ESTIBA

Retiro de los pesos de Inclinación, Pesos, Péndulo y determinación de KG liviano

La parte final del experimento es corregir el valor de KG Inclinado removiendo los pesos y el péndulo para así obtener el KG Liviano.

11. Escriba la expresión general para el nuevo KG de un buque después de agregar, quitar o mover un peso.

$$KG_{\text{liviano}} = \frac{Kg_{\text{inc}} \cdot vol_{\text{inc}} - kg_{\text{equip de inclinacion}} \cdot We_{\text{equip incl}}}{vol_{\text{inc}} - we_{\text{equip incl}}}$$

Esta ecuación puede ser utilizada para el retiro de equipamiento de inclinación dado lo siguiente:

W_{wt}	: Peso de los pesos de inclinación.
KG_{wt}	: Altura del centro de gravedad de los pesos sobre la quilla.
$W_{\text{péndulo}}$	: Peso del péndulo completo.
$KG_{\text{péndulo}}$	: Altura del centro de gravedad del péndulo sobre la quilla.

12. Utilizando los términos anteriores en la expresión general, escriba la expresión matemática para encontrar KG liviano.

$$KG_{\text{liviano}} = (KG_{wt} \cdot w_{wt} - kg_{\text{pendulo}} \cdot w_{\text{pendulo}}) / (w_{wt} - w_{\text{pendulo}})$$

El cálculo de KG liviano es el **Objetivo Final** del experimento de inclinación.

La altura de G sobre la quilla es de vital importancia para determinar las características de estabilidad del buque, que será utilizada en laboratorios futuros.