



ESTABILIDAD Y ESTIBA

Equipamiento del laboratorio

Para la realización de este laboratorio, se usará un modelo a escala como cuerpo flotante dentro estanco metálico. Durante su realización, el modelo será inclinado a babor y estribor mediante el movimiento de 4 pesos de 50 gramos c/u a tres posiciones transversales diferentes. Los momentos resultantes inclinarán al modelo y los ángulos de inclinación para cada movimiento de peso se medirán con un péndulo.

Para este ensayo, asuma que el modelo está en condición liviana y asegúrese que el modelo está adrizado antes de iniciar el experimento. Corrija cualquier posible escora con las tuercas de bronce de la tapa central.

Teoría (Ver teoría en "Capítulo 3 Hidrostática – Párrafo 3.5 Experimento de inclinación")

El propósito del Experimento de Inclinación es encontrar la posición vertical del Centro de Gravedad del buque sobre la quilla (KG) y se le realiza a un buque cuando ha finalizado su construcción y equipamiento, después de un REFIT (modificación mayor realizada para actualizar sus capacidades), cuando se sospeche que el CG ha sufrido una alteración significativa de su posición inicial o se estime que ha pasado mucho tiempo y se requiera verificar la posición del CG (más de 10 años).

Para el caso de un buque de tamaño real, el experimento se realiza atracado en puerto, en aguas calmas, sin viento y con el buque adrizado. Los siguientes son los pasos principales para llevar a cabo su realización:

Condición de Carga Liviana

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

El peso del buque completo considerando todos los aspectos, del casco, de la maquinaria, equipos y líquidos en maquinaria y tuberías, pero con todos los tanques y búnkeres vacíos y sin tripulación, pasajeros, carga, provisiones, o munición a bordo.

Para determinar la condición de desplazamiento liviano ($\Delta_{Liviano}$) se toma lectura de los calados y se confirma esta condición con las "Curvas de Forma" del buque. También es importante verificar la densidad del agua en el que está flotando.

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

2/ Para corregir el desplazamiento de las curvas de forma para la densidad real del agua.

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

$$\Delta = \rho_{\text{del líquido}} \times V_{\text{sumergido}}$$

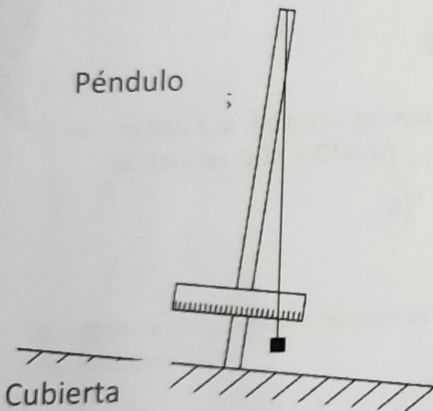


ESTABILIDAD Y ESTIBA

Instalación de los pesos y sistema de péndulo

Antes de iniciar el experimento es necesario embarcar los pesos y equipamiento asociado a bordo del buque. Normalmente los pesos que se utilizan en un experimento como éste equivaldrán al 2% del desplazamiento total del buque en condición de desplazamiento liviano (Δ_{liviano}). Con los pesos y el equipamiento a bordo, se dice que el buque está en condición de "Inclinación". Todas las cantidades que se utilicen en esta condición, llevarán el sufijo de *incl*. Por ejemplo: Δ_{incl} , KG_{incl} , etc.

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



3. La figura lateral muestra el ángulo de inclinación ($\emptyset$) y los catetos opuestos y adyacente (d_{adj} y d_{opp}) del triángulo que permite el cálculo de la tangente $\emptyset$. Utilizando trigonometría, escriba una ecuación para la $Tg\emptyset$ que la relacione con los dos catetos mencionados.

$$R/ \quad Tg(\emptyset) = \frac{\text{cat. opuesto}}{\text{cat. Adyacente}}$$

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

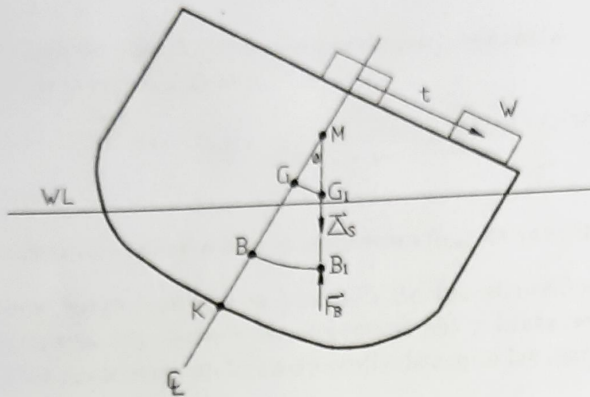
Estas distancias serán denominadas $KG_{\text{péndulo}}$ y $KG_{\text{pesos de inclinación}}$ respectivamente.



ESTABILIDAD Y ESTIBA

Inclinando al buque

Una vez completados los pasos previos, se puede iniciar el experimento de inclinación. La teoría involucrada en su realización es evidente cuando se analiza el siguiente diagrama:



4. Indique la relación geométrica que existe entre el ángulo de inclinación ϕ y las distancias GG_1 y GM_{incl}

$$r / \tan(\phi) = \frac{GG_1}{GM_{incl}}$$

La distancia GG_1 también se puede determinar utilizando el peso movido (w) y la distancia que se movió (t)

$$CGT_{nuevo} = \frac{CGT_{inicial} \Delta_{inicial} + w_i cgt_i}{\Delta_{nuevo}} \quad \text{Nota: } \Delta_{nuevo} = \Delta_{inicial} + w_i$$

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

$$GG_1 = \frac{wt}{\Delta}$$

5. Combinando las ecuaciones de la relación geométrica (4.) y el movimiento de pesos, determine la ecuación que permita calcular el valor de GM_{incl}

$$\tan(\phi) = \frac{CGT}{GM_{incl}} ; GM_{incl} = \frac{CGT}{\tan(\phi)} ; GM_{incl} = \frac{wt}{\Delta \cdot \tan(\phi)}$$

Para cada ángulo de inclinación, se registra la tangente de inclinación correspondiente ($\tan \phi$). Una vez realizado, se hace un gráfico del momento inclinante (wt) versus la $\tan \phi$. Estos datos debieran generar una línea recta. Para ello es conveniente trazar una línea recta que represente mejor todos los puntos obtenidos. Una 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.

$$m = \frac{\text{incremento}}{\text{avance}} = \frac{dy}{dx} = \frac{(y_2 - y_1)}{(x_2 - x_1)}$$

$$m = \frac{wt}{\Delta s}$$

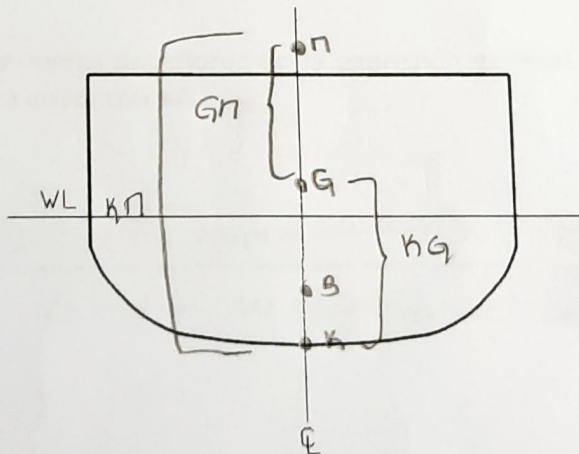
7. Combine lo anterior con la expresión previa para encontrar GM_{incl} en términos de la pendiente de la recta graficada.

$$\overline{X} G_0 n_{ind} = \frac{\text{pendiente de la curva "wt vs V/K hy"}}{\Delta s}$$

Cálculo del KG_{incl} .

Establecido el valor de GM_{incl} , determinar la distancia KG_{incl} es sencillo.

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_{incl} en términos de GM_{incl} y de KM.

$$KG_{incl} = KM - GM_{incl}$$

10. ¿De dónde se puede obtener el valor de KM?² de las curvas de forma

² Asegúrese de medir el calado en forma visual y también médalo con regla para asegurarse de que es correcto.



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} retirando 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.

$$\overline{KG}_{\text{LIVIANO}} = \frac{(\overline{KG}_{\text{inicial}} \cdot \Delta s_{\text{inicial}}) - (\overline{KG}_{\text{removido}} \cdot b_{\text{removido}}) + (\overline{KG}_{\text{agregado}} \cdot w_{\text{agregado}})}{\Delta s_{\text{inicial}} - (w_{\text{removido}} + w_{\text{agregado}})}$$

Esta ecuación se puede utilizar para retirar el 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}.

$$\overline{KG}_{\text{LIVIANO}} = \frac{(\overline{KG} \times \Delta_{\text{incl}}) - (\overline{KG}_{\text{equipo de inclinación}} \times w_{\text{equipo de inclinación}})}{\Delta_{\text{incl}} - w_{\text{equipo de inclinación}}}$$

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.



ESTABILIDAD Y ESTIBA

colado medio $h_2 = 8,5 \text{ cm}$

Equipamiento del laboratorio

1. Antes de iniciar el experimento, verifique el peso del modelo sin el equipamiento de Inclinación, utilizando la balanza electrónica y regístrelo a continuación:

$12\ 400\ [g]$

$12,6\ 92\ \text{con agua} + \text{pesos}$

$12,4\ 92\ \text{con agua} - \text{pesos}$

2. Mida el peso de la plomada completa (Péndulo completo) y determine su centro de gravedad antes de instalarlo en el modelo. Mida la distancia de la quilla del modelo a la cubierta principal y súmele la distancia al cg del péndulo. Registre el peso y centro de gravedad del péndulo respecto de la quilla del modelo.

$36-17\ \text{cm}$ (peso péndulo = $84\ \text{gr}$)

$\text{CG péndulo} = 17\ \text{cm}$; Quilla - Péndulo = $34,6\ \text{cm}$

Haga lo mismo con los 4 pesos que se utilizarán para la realizar la inclinación:

pesos = $50\ [g]$ $\text{CG} = 0,50\ [\text{cm}]$

centro $\text{cg} = 14,9\ \text{cm}$
(péndulo)

¡Importante! Necesitará conocer la altura del centro de gravedad de los pesos y del péndulo para sus cálculos en este laboratorio. Mida y registre sus respectivos kg antes de colocar el modelo en el tanque.

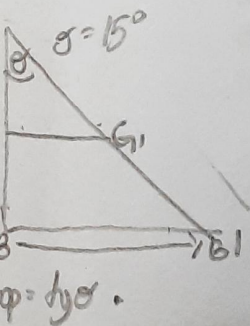
Condición liviana del modelo

El primer paso será verificar que el modelo se encuentre en condición liviana. Esto se logra verificando lo siguiente:

- Asegúrese de que los pesos que se utilizarán en el experimento no se encuentren instalados. (4 pesos de 50 gramos c/u y el péndulo)
- Mantenga instaladas las tuercas de bronce utilizadas para adrizar el modelo antes de iniciar el experimento con el modelo sin escoras.
- Asuma que el modelo está seco en su compartimiento central y en condición de desplazamiento liviano.

3. Complete la siguiente tabla:

Desplazamiento en condición Liviana, Δ_{liviano} (g)	$12\ 400\ [g]$
Peso de las pesas de inclinación, w_{pesas} (g)	$50\ [g]$
Peso de péndulo, $w_{\text{péndulo}}$ (g)	$84\ [g]$
Desplazamiento en condición de inclinación, $\Delta_{\text{inclinación}}$ (g)	$12\ 642\ [g]$



El modelo debe flotar libremente en el estanque con los pesos (pesas) en posición central y con el péndulo instalado. En estas condiciones, está flotando en **Condición de Inclinación**. Para mejores resultados el modelo debiese estar adrizado

Inclinando el buque

4. Con el modelo en Condición de Inclinación, proceder a llenar la siguiente tabla. Registre la distancia de péndulo para poder determinar la $Tg\phi$. 14,9 [cm]
5. Con cuidado mueva los 4 pesos para completar la tabla siguiente:

Combinación de Pesos	Peso creando el momento w (g)	Brazo del momento d (cm)	Momento inclinante wd (g-cm)	Deflexión del péndulo (cm) (+ Eb; -Bb)	$Tg\phi$ (Sin unidades)
4 - Pos. Bb 0 - Pos. Centro 0 - Pos. Eb	200 g	-10 cm	$200 \cdot 10 = -2000$	$x = 14,9 \cdot tg(15)$ $x = -3,99$ (cm)	-15°
3 - Pos. Bb 1 - Pos. Centro 0 - Pos. Eb	150 g	-10 cm	$150 \cdot 10 = -1500$	$x = 14,9 \cdot tg(12,5)$ $x = -3,30$	-12,5°
2 - Pos. Bb 2 - Pos. Centro 0 - Pos. Eb	100 g	-10 cm	$100 \cdot 10 = -1000$	$x = 14,9 \cdot tg(10)$ $x = -2,63$	-10°
1 - Pos. Bb 3 - Pos. Centro 0 - Pos. Eb	50 g	-10 cm	$50 \cdot 10 = -500$	$x = 14,9 \cdot tg(5)$ $x = -1,30$	-5°
0 - Pos. Bb 4 - Pos. Centro 0 - Pos. Eb	0 g	0 cm	0	$x = 14,9 \cdot tg(0)$ $x = 0$	0°
0 - Pos. Bb 3 - Pos. Centro 1 - Pos. Eb	50 g	10 cm	$50 \cdot 10 = 500$	$x = 14,9 \cdot tg(6)$ $x = 1,56$	6°
0 - Pos. Bb 2 - Pos. Centro 2 - Pos. Eb	100 g	10 cm	$100 \cdot 10 = 1000$	$x = 14,9 \cdot tg(10)$ $x = 2,62$	10°
0 - Pos. Bb 1 - Pos. Centro 3 - Pos. Eb	150 g	10 cm	$150 \cdot 10 = 1500$	$x = 14,9 \cdot tg(14)$ $x = 3,71$	14°
0 - Pos. Bb 0 - Pos. Centro 4 - Pos. Eb	200 g	10 cm	$200 \cdot 10 = 2000$	$x = 14,9 \cdot tg(15)$ $x = 3,99$	15°

6. Utilizando una planilla Excel grafique sus resultados del experimento. Su gráfico debiese contener el valor de los momentos de inclinación (wd) en el eje y la tangente del ángulo ($tg\phi$) en el eje x.

Recuerde nombrar correctamente el gráfico y sus ejes. Utilice la planilla Excel para determinar la línea que mejor identifica o "línea de mejor ajuste" de todos los puntos. Escriba la pendiente y sus unidades a continuación:

Pendiente = 6637 [g·cm]

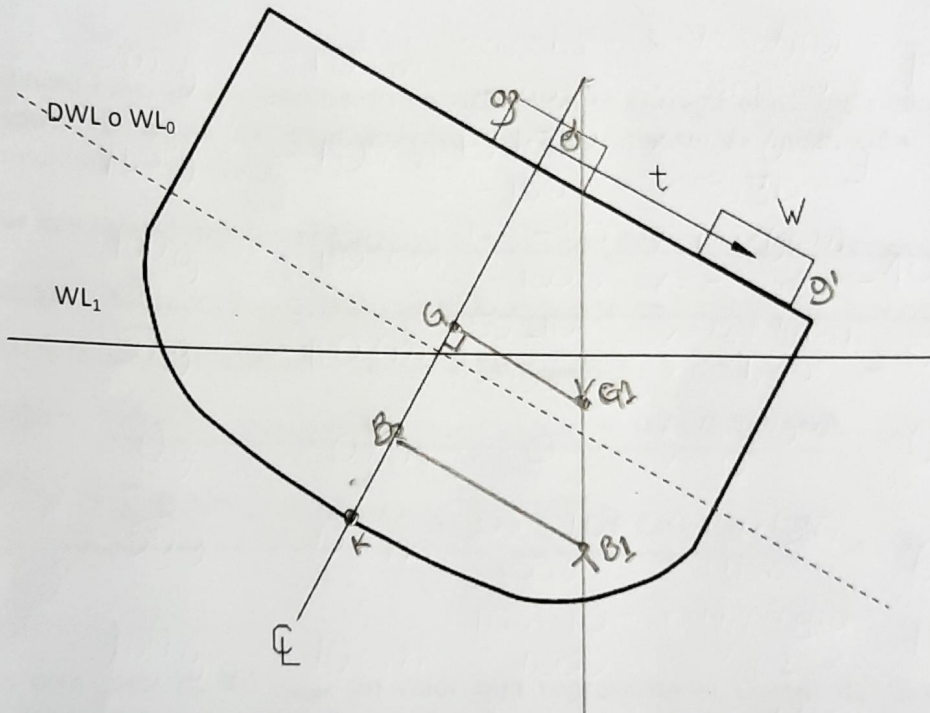


ESTABILIDAD Y ESTIBA

7. ¿Cuál es la ventaja de usar la "línea de mejor ajuste" para múltiples puntos de datos:

Permite obtener una ruta más (importante) representativa de los datos.

8. Complete el diagrama de buque inclinado de la siguiente figura. Su diagrama debiese contener los valores iniciales y finales del Centro de Boyantéz (B y B_1), la posición inicial y final del Centro de Gravedad (G y G_1), la posición del Metacentro (M), el Ángulo de Inclinación (ϕ) y las dos fuerzas resultantes iguales y opuestas (Δ_B y F_b)



9. Calcular la Altura Metacéntrica del modelo en su posición inclinada ($GM_{Incl.}$)

$$GM_{Incl.} = \frac{6637 \text{ (g} \cdot \text{cm)}}{12692 \text{ (g)}} = 0,52 \text{ [cm]}$$



ESTABILIDAD Y ESTIBA

Cálculo de $KG_{incl.}$ y su corrección remover el equipo de inclinación (pesos y péndulo) para obtener la condición de Desplazamiento liviano ($KG_{liviano}$).

10. Calcular $KG_{inclinado}$ ($KG_{incl.}$). Asegúrese de escribir la ecuación utilizada

$$\begin{aligned} KG_{incl} &= K_{HT} - G_{HT} \\ &= K_{HT} - 0,52 \\ &= 9,14 [cm] - 0,52 [cm] \\ &= 8,88 [cm] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Culudo modo} &= 8,5 cm \\ &= 3,35 [in] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} K_{HT} &= 3,7 [in] \\ &= 9,14 [cm] \end{aligned}$$

11. El último paso en el experimento de inclinación es corregir el $KG_{inclinado}$ ($KG_{incl.}$) después de quitar del equipamiento del Experimento de Inclinación (Pesos y péndulo para este caso)

¿Por qué es esto necesario? Cuando se saca un peso el CG cambiara por lo que alterando a KG_{incl} por lo que se necesita la corrección.

12. Escriba la ecuación utilizada y calcule el $KG_{liviano}$

$$\begin{aligned} KG_{inclinado} &= \frac{KG_{incl} \cdot \Delta_{incl} - KG_{equip\ incl.} \cdot w_{equip\ incl}}{\Delta_{liviano}} \\ KG_{inclinado} &= \frac{[8,88 cm \cdot 12692 g] - [17 cm \cdot 84 g]}{12400 [g]} = 8,97 [cm] \end{aligned}$$

13. ¿Es este valor de $KG_{liviano}$ un valor que representa el Centro de Gravedad del modelo para esta condición? Si

¿Por qué? Se calcula la posición vertical del CG con la
para de inclinación.