



HIDRODINÁMICA, RESISTENCIA Y PROPULSIÓN MARINA

Equipo docente:

Dr. David Boullosa Falces

Dr. Alberto López Arraiza

“Hidrodinámica, Resistencia y Propulsión Marina”

Tema 1: Resistencia al avance

Tema 2: Materiales, rugosidad y recubrimientos

Tema 3: Propulsores y timones

Tema 4: Diseño y rendimiento de hélices

Tema 5: Potencia instalada

Tema 5: Potencia instalada

Objetivos del tema 5

- Cálculo del diámetro de la hélice adecuada para la propulsión.
- Cálculo de las vueltas óptimas de la hélice.
- Selección del motor adecuado para la propulsión.

Tema 5: Potencia instalada

5.1. Introducción.....	5
5.2. Estimación de la potencia necesaria.....	6
5.3. Determinación de la hélice propulsora	7
5.4. Selección de la máquina principal.....	12
5.5. Referencias bibliográficas.....	15

5.1. Introducción

Las hélices se diseñan para obtener la máxima eficiencia y la mínima cavitación, con el **mínimo consumo de potencia** posible.

En los temas anteriores se han definido las líneas constructivas de una hélice y se ha aprendido a calcular el rendimiento de series estándar de hélices (Serie B). Se ha estudiado también la influencia del casco sobre el rendimiento del propulsor y se ha valorado el efecto de la cavitación.

En el presente tema se estudiará cómo seleccionar el diámetro óptimo, las revoluciones y el **motor** más adecuado para lograr las condiciones de servicio del barco con el mínimo consumo posible.

5.2. Estimación de la potencia necesaria

Hipótesis:

- La resistencia al avance (R_T) y la potencia efectiva (P_E) se calculan de acuerdo a lo explicado en el Tema 1 para un rango de velocidades incluida la velocidad en servicio del buque (V_S).
- **Margen de mar** (*sea margin*) considera un aumento de la resistencia al avance del buque entre el 10 y el 20 % en condiciones de servicio, debido al bio-fouling, el tiempo atmosférico, las olas y las condiciones del viento.

$$P_{E \text{ service}} = (1 + x) \cdot P_E$$

- **Margen del motor**, es decir, que la potencia requerida se alcance a un porcentaje (85%) de la potencia máxima en continuo del motor (MCR).

Considerando un margen de mar del 15%, el 85% del margen del motor y un rendimiento cuasi-propulsivo ($\eta_D = 0,7$), se puede estimar la potencia de freno del motor necesario como:

$$P_{Bmotor} = \frac{1,15 \cdot P_E}{0,7 \cdot 0,85}$$

5.3. Determinación de la hélice propulsora

El tipo de propulsor se elige dependiendo del tipo de barco, de la máxima eficiencia que proporciona, del ruido que genera, de la facilidad de maniobrabilidad, del coste de instalación, del coste durante su funcionamiento y del coste del mantenimiento.

Suponiendo que se decide seleccionar una hélice de paso fijo, los pasos que se realizarían serían los siguientes:

Paso 1: Elección del diámetro óptimo o máximo de la hélice. Se calcula en función del calado del barco:

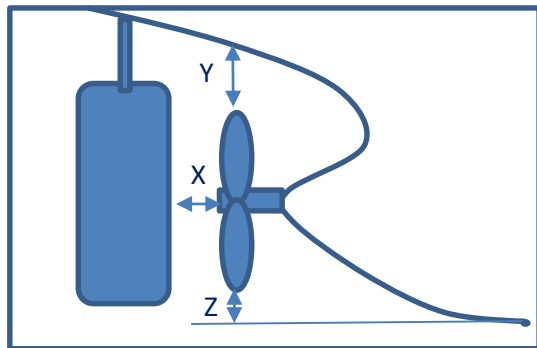


Figura 1. Cotas en la zona de la hélice [1]

$$D_{max} = a \cdot T$$

$\left\{ \begin{array}{l} T: \text{calado del barco} \\ a < 0,65 \text{ bulk carriers y petroleros} \\ a < 0,74 \text{ porta-contenedores} \end{array} \right.$

En la figura 1 se muestran las cotas a tener en cuenta en la zona de instalación de la hélice:

$$X = 5-10\% D$$

$$Y = 15-25\% D$$

$$Z > 5\% D$$

5.3. Determinación de la hélice propulsora

Paso 2: Relación Área/Disco y número de palas.

- La relación Área/Disco o BAR (*Blade Area Ratio*) se selecciona considerando las restricciones de cavitación. Uno de los métodos más utilizados por su sencillez y rápido cálculo es el **Método de Keller**:

$$\frac{A_E}{A_0} = \frac{(1,3 + 0,3Z)T}{(P_0 - P_V)D^2} + K$$

A_E/A_0 = mínimo valor que debe tener la relación área/disco para que no haya cavitación
 Z : nº palas
 T : empuje o *thrust* (N)
 P_0 = presión en el eje de la hélice (N/m²)
 P_V = presión de vapor del agua (~1700 N/m²)
 K = depende del número de ejes y el tipo de barco.
 $K = 0,2$ para barcos con un solo eje; $K = 0,1$ para barcos de carga con doble eje; $K = 0,0$ para barcos rápidos con doble eje.

- El número de palas máximo de una hélice depende de la frecuencia de resonancia de la estructura del barco y de la maquinaria.

5.3. Determinación de la hélice propulsora

Paso 3: Coeficientes de estela.

También es importante conocer el coeficiente de estela de Taylor (w), mediante ensayos experimentales, datos publicados o tests con modelos. A partir de dicho coeficiente se calcula la velocidad del agua que le llega a la hélice:

$$V_A = (1 - w)V_S$$

Paso 4: Cálculo de la potencia efectiva.

Con la curva de la hélice o diagrama $P_E - V_S$ (Figura 2) se obtiene la Potencia efectiva en condiciones de pruebas ($P_{E \text{ trial}}$) a partir de la velocidad del barco teórica ($V_{S \text{ trial}}$).

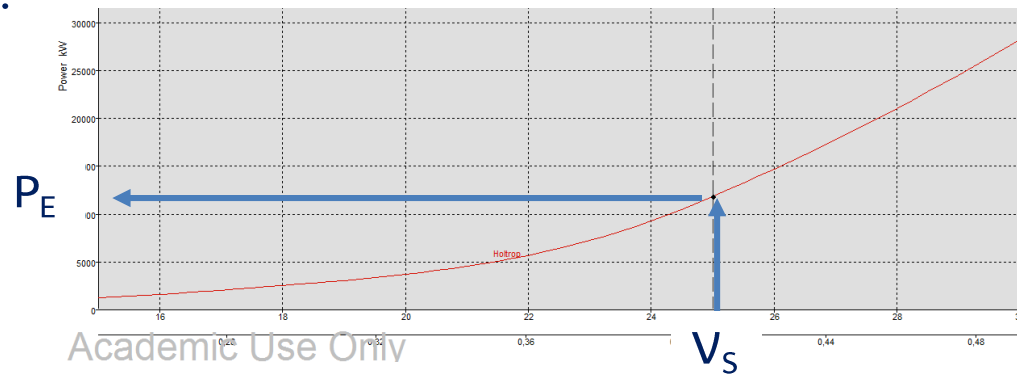
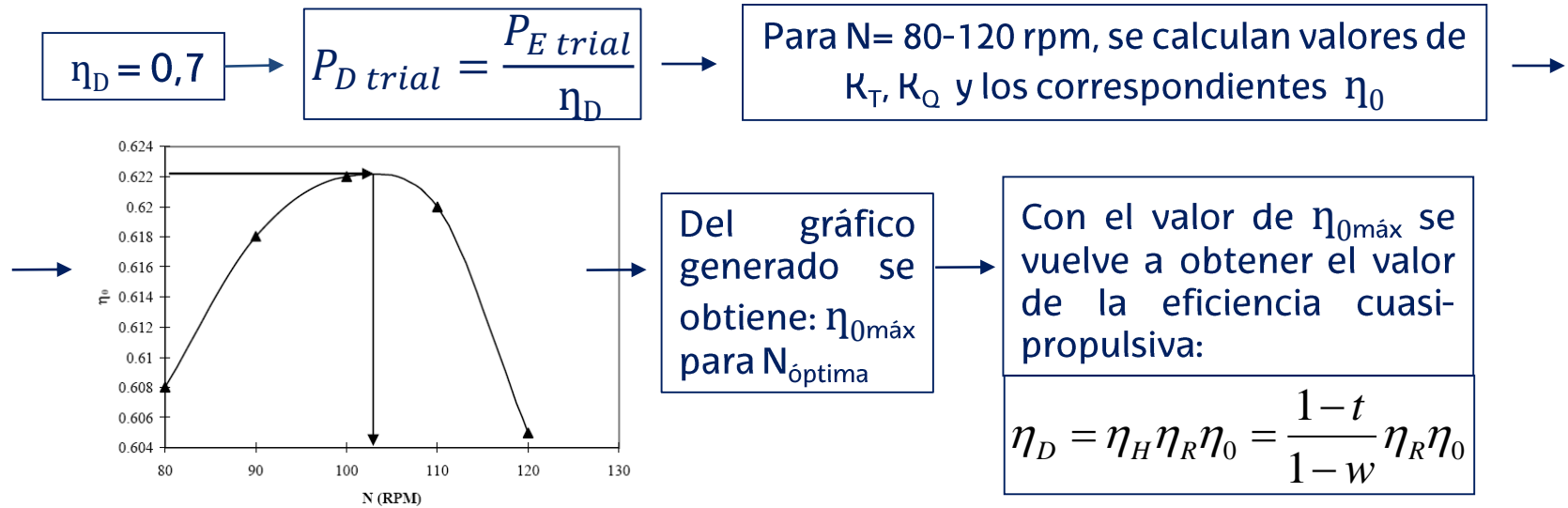


Figura 2. Curva $P_E - V_S$ de un buque obtenida con *Maxsurf Resistance* [1]

5.3. Determinación de la hélice propulsora

Paso 5: Cálculo de la eficiencia cuasi-propulsiva (η_D). Se obtiene por iteración.

Se supone:



Si este valor calculado no difiere en gran medida con el inicialmente supuesto ($\eta_D = 0,7$), se da por válido, sino se asume el último valor obtenido de η_D y se vuelve a iterar hasta que la iteración sea convergente.

5.3. Determinación de la hélice propulsora

Paso 6: Cálculo de la potencia de freno del motor (P_B).

Con la potencia efectiva (P_E), el coeficiente cuasipropulsivo (η_D) y la eficiencia en el eje ($\eta_S = 0,95-0,98$) se calcula la potencia de freno del motor en pruebas:

$$P_{B \text{ trial}} = \frac{P_{E \text{ trial}}}{\eta_D \eta_S}$$

Se aplica el margen del motor, es decir, el 85% del MCR (*Maximum Continuous Rate*) para obtener la potencia de freno del motor principal.

$$P_{B-MCR} = \frac{P_{B \text{ trial}}}{0,85}$$

Paso 7: Cálculo de la relación P/D de la hélice.



Con K_Q y el coeficiente de avance "J", se puede entrar en las curvas K_T , K_Q y calcular la relación **P/D óptima** de la hélice, tal como se explicó en el tema 4.

5.4. Selección de la máquina principal

El primer paso para realizar la elección del motor a instalar en el buque en proyecto, es una revisión exhaustiva de los catálogos de motores de las diferentes firmas del mercado (MAN, WARTSILA, CATERPILLAR, ROLLS ROYCE,...) tomando nota de aquellos motores más adecuados al buque por **tamaño, peso, potencia, rpm, tipo y economía de funcionamiento.**

Se tratará de que la potencia máxima en continuo y las rpm nominales, es decir, las que constan en los catálogos, sean lo más próximas posible a las correspondientes a la potencia de freno requerida (P_B) y en cualquier caso, deberá caer dentro del área del **paralelogramo de diseño del motor** $L_1L_2L_3L_4$.

Si se instala un generador eléctrico movido por el motor principal, deberá tenerse en cuenta la potencia del generador en el diseño y en la determinación de la potencia total requerida por el motor principal.

5.4. Selección de la máquina principal

Los puntos de funcionamiento del sistema de propulsión se encuentran dentro del denominado paralelogramo de diseño que está limitado por:

L_1L_2 : recta vcal al 100% de las rpm nominales

L_3L_4 : recta vcal al 85% de las rpm nominales

L_1L_3 y L_2L_4 rectas de presión media efectiva cte., correspondientes a los puntos L_1 (potencia MCR nominal) y L_2 (80% de MCR nominal)

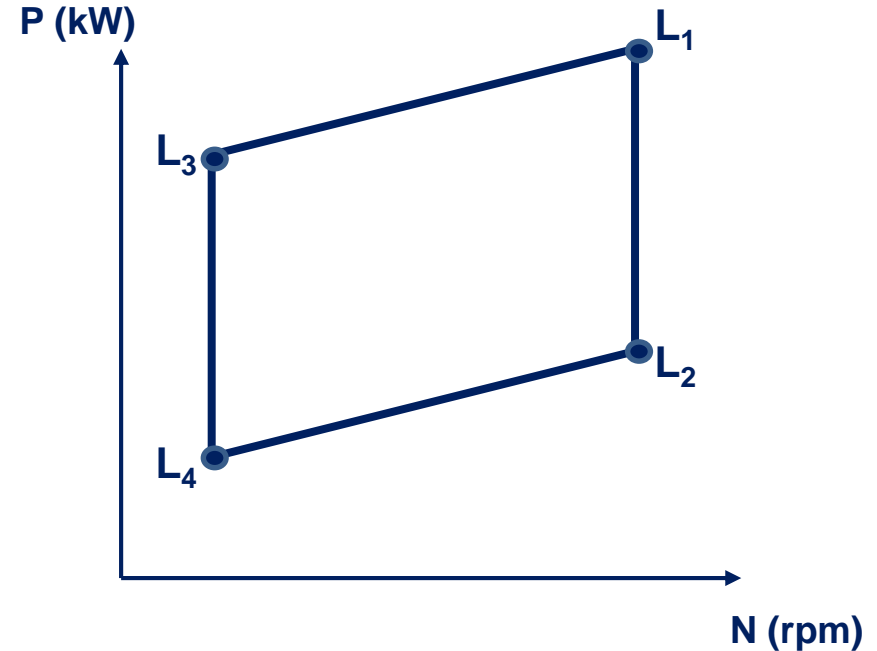


Figura 3. Paralelogramo de funcionamiento de un motor marino [1]

5.4. Selección de la máquina principal

Método rápido de selección del motor de propulsión:

Obtenido el valor óptimo de revoluciones del motor $N_{\text{óptimo}}$ (rpm) y la potencia de freno del motor (P_B) considerando el margen de mar y del motor y el coeficiente cuasi-propulsivo ($\eta_D = 0,7$); se entra en el paralelogramo de diseño del motor (Figura 4) y el punto de funcionamiento debe caer dentro de dicho paralelogramo

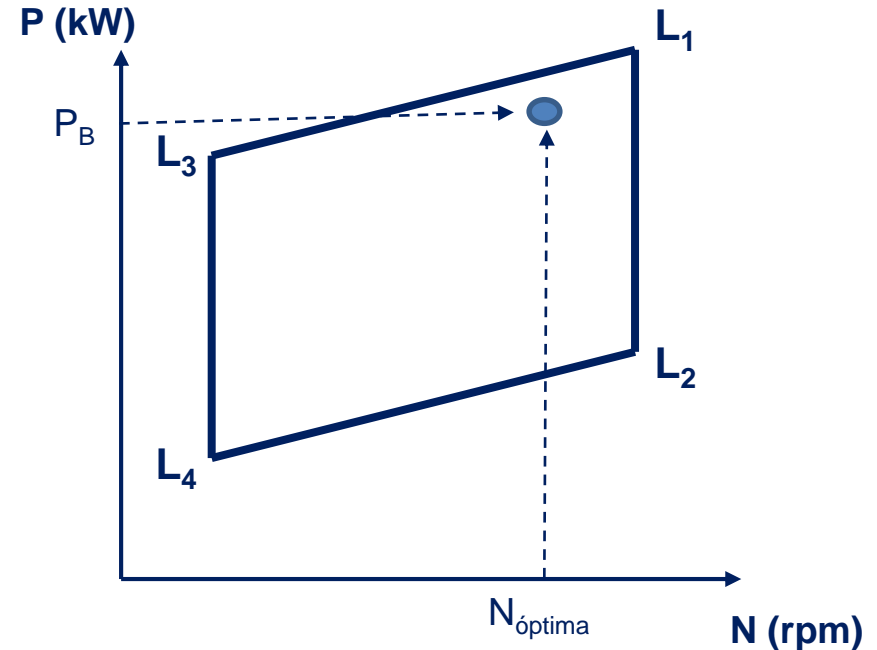


Figura 4. Cálculo del punto de funcionamiento de un motor marino [1]

Dentro de las distintas posibilidades, se selecciona el motor donde el punto de funcionamiento se encuentre en la zona superior derecha por: coste, peso, tamaño y economía de funcionamiento.



5.5. Referencias bibliográficas

[1] Elaboración propia. LOPEZ-ARRAIZA, A. UPV/EHU (2019)



HIDRODINÁMICA, RESISTENCIA Y PROPULSIÓN MARINA

Equipo docente:

Dr. David Boullosa Falces

Dr. Alberto López Arraiza