

## **Effect of the geometric variable of ideal propellers as an improvement in the performance of the tuna boat.**

### **Efecto de la variable geométrica de hélices ideales como mejora del rendimiento del barco atunero.**

**Autores:**

Chafuelán Vera, Ariel Humberto  
UNIVERSIDAD LAICA ELOY ALFARO DE MANABI  
Ingeniero Mecanico  
Manta-Ecuador



[arielchafuelan1999@gmail.com](mailto:arielchafuelan1999@gmail.com)



<https://orcid.org/0000-0002-9526-5268>

De la Rosa Rosales, Yusnier Enrique  
UNIVERSIDAD LAICA ELOY ALFARO DE MANABI  
Docente de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí  
Manta-Ecuador



[yusnier.delarosa@uleam.edu.ec](mailto:yusnier.delarosa@uleam.edu.ec)



<https://orcid.org/0000-0002-1478-2029>

Citación/como citar este artículo: Chafuelán, A. y De la Rosa, Y. (2022). Efecto de la variable geométrica de hélices  
ideales como mejora del rendimiento del barco atunero. MQRInvestigar, 6(4), 814-827.  
<https://doi.org/10.56048/MQR20225.6.4.2022.814-827>

Fechas de recepción:15-NOV-2022 aceptación:10-DIC-2022 publicación:15-DIC-2022



<https://orcid.org/0000-0002-8695-5005>

<http://mqrinvestigar.com/>

## Resumen

El objetivo de este artículo es establecer la eficacia del cálculo de eficacia en función de la geometría para una hélice de barco atunero con variaciones en la geometría de las palas. Para ellos se calculan y analizan variantes geometría, propulsivas dinámicas y se comprueban mediante el método de la serie B de Wageningen que es el método más usado en el 90% de los casos. Un diseño de hélice exitoso es un compromiso de cálculo y análisis fiable entre los requisitos anteriores. Sin embargo, para las hélices de los barcos actuales, el nivel de diseño puede generar un promedio del 30 % al 60 % de la potencia, que está cerca del límite de diseño expuesto por Barquero (2011). Para verificar esta metodología, se aplica la metodología de diseño para un barco atunero x, el mismo que obtuvo una eficiencia en la hélice calculada de 46.8%, valor admisible dentro de los términos de fiabilidad de diseño.

**Palabras clave:** Barco atunero, eficiencia, geometría de hélice, hélice, potencia.

## Abstract

The objective of this article is to establish the efficiency of the calculation of efficiency as a function of geometry for a tuna boat propeller with variations in the geometry of the blades. For them, geometry, dynamic propulsive variants are calculated and analyzed and verified by the Wageningen B series method, which is the most used method in 90% of cases. A successful propeller design is a reliable calculation and analysis compromise between the above requirements. However, for current ship propellers, the design level can generate an average of 30% to 60% of the power, which is close to the design limit exposed by Barquero (2011). To verify this methodology, the design methodology for a tuna vessel x is applied, the same one that obtained a calculated propeller efficiency of 46.8%, an admissible value within the terms of design reliability.

**Keywords:** Tuna boat, efficiency, propeller geometry, propeller, power.

## Introducción

Con la alta velocidad y el gran tamaño actual de las embarcaciones, cómo diseñar la geometría de la hélice para mejorar su eficiencia de propulsión es una hipótesis que cada vez abunda más en el medio. La mayoría de los diseños de hélices tradicionales están diseñados utilizando la teoría de la superficie de sustentación de la hélice, y luego se ponderan y modifican constantemente, y finalmente se diseñan en una hélice de alta eficiencia (1).

Las propiedades geométricas son elementos cruciales para el desarrollo de hélices marinas, en particular el estudio del fenómeno de la cavitación. El perfil físico de la pala de la hélice siempre ha sido un desafío debido a las dificultades para lograr una medición precisa de la geometría de la superficie compleja y helicoidal (2). En el desarrollo de la hélice, las propiedades geométricas de la hélice se encuentran en formularios de datos 2D (datos existentes) que se convierten en datos de coordenadas 3D y, posteriormente, en un modelo virtual sólido 3D (como datos de salida).

Al diseñar la geometría de una hélice, además de considerar una alta eficiencia de propulsión, también debemos reducir el ruido y la vibración que genera la hélice cuando gira, y tener buenas propiedades de cavitación y absorber la menor potencia del motor principal.

La hélice debe proporcionar suficiente empuje para impulsar el barco hacia adelante a la velocidad requerida, de la manera más eficiente posible, es decir, la potencia requerida por esta sea la mínima que se pueda conseguir.

Entonces, un diseño de hélice exitoso es un compromiso entre los requisitos anteriores. Sin embargo, para las hélices de los barcos actuales, el nivel de diseño puede generar un promedio del 30 % al 60 % de la potencia, que está cerca del límite de diseño (3).

Relativamente hablando, cómo reducir la pérdida de energía en el área local de la hélice poco a poco se ha empezado a prestar atención (4). Como modificar la geometría de la punta de la pala para reducir el fenómeno de cavitación del vórtice de la hélice e instalar un ala pequeña a lo largo de la geometría del cubo de la pala en el cubo de la pala para reducir la intensidad del vórtice generado por el cubo de la pala (5).

La forma más sencilla de aumentar la eficiencia de propulsión de una hélice es utilizar una hélice con un diámetro mayor y una velocidad de rotación más baja (6). Pero esta elección a veces es imposible de lograr, por lo que algunas hélices no tradicionales se han inventado y utilizado una tras otra, como hélices contrarrotantes, hélices de cubierta, etc.

El principio de diseño de estas hélices no tradicionales es aumentar el empuje de la hélice y reducir la resistencia, pero es bastante complicado en términos de diseño y aplicación práctica de ingeniería, y el costo es relativamente alto en comparación con las hélices tradicionales, pero en la práctica la aplicación de la nave tiene una alta eficiencia de propulsión (7).

## Metodología

Para que un buque se desplace sobre una superficie de agua, es necesario vencer las fuerzas que se opongan a este movimiento. Estas fuerzas están determinadas principalmente por la “resistencia al desplazamiento” o resistencia del buque al movimiento, y son las que ofrecen el agua y el aire, los medios por los que el buque se desplaza. Como sabemos, la resistencia se incrementa con la velocidad, con una función exponencial, lo cual determina un aumento también exponencial de la potencia en relación con la velocidad (8).

### Factores de potencia

#### *Potencia efectiva*

Dentro de la bibliografía también se puede denominar potencia de remolque o *effective horse power*.

$$EHP(Kw) = \frac{R_t V}{1000}$$

#### *Rendimiento*

El rendimiento de un sistema propulsor (maquinaria + hélice) viene dada por el concepto de ( $\eta_p$ ). A la hora de evaluar el rendimiento propulsivo es preciso por tanto conocer cuánto vale la potencia instalada de la planta propulsora.

$$\eta_p = \frac{\text{Potencia útil}}{\text{Potencia instalada}} = \frac{EHP}{\text{Potencia maquinaria}}$$

#### *Potencia al freno*

Se mide en BHP donde el par en el freno se mide en la brida de acoplamiento de salida de la máquina.

$$BHP(Kw) = \frac{2\pi q\eta}{1000}$$

#### *Potencia SHP*

Es la potencia que se mide a la entrada de la línea de ejes en la bocina. Está relacionada con la potencia al freno,  $\eta_k$  = es el rendimiento mecánico del reductor y de parte de la línea de ejes donde incluye las pérdidas en los engranajes y en las chumaceras de apoyo y de empuje.

$$SHP = BHP \times \eta_k$$

#### *Potencia final entregada*

Es la potencia que recibe directamente la hélice, debido a su lugar de instalación no es medible, pero puede estimarse mediante:

$$DHP(Kw) = \frac{2\pi Q\eta}{1000}$$

### Resistencias al movimiento

Para el cálculo de la Resistencia Total al desplazamiento de un buque, se considera la siguiente fórmula general:

$$R(\text{total}) = R(\text{agua}) + R(\text{turbulencia}) + R(\text{oleaje}) + R(\text{accidentales})$$

#### *Resistencia a la fricción del agua:*

Se debe al rozamiento del agua sobre el casco del buque y, por lo tanto, depende de la forma de este y del coeficiente de fricción entre la superficie de la obra viva y el agua; su valor se incrementa exponencialmente con la velocidad. Para su cálculo aproximado, se puede utilizar la siguiente fórmula:

$$R(f) = fS.V^{\circ}$$

### **Resistencia a la turbulencia**

El flujo turbulento se caracteriza por la perturbación del campo de velocidad, que también se mezcla con la influencia de propiedades físicas como la cantidad de movimiento y la energía. Cuando el impacto de estas perturbaciones en el campo de flujo general es relativamente pequeño, es muy difícil simularlo directamente para los cálculos de ingeniería reales. Además, las propiedades de todas las turbulencias cambiarán en pequeñas escalas con el tiempo y el espacio, por lo que la cantidad instantánea de cambio puede considerarse como la suma de la cantidad promedio en el tiempo y la cantidad de perturbación.

Para simplificar el cálculo, la variación instantánea de las propiedades de la turbulencia se combina en la ecuación gobernante, que es la llamada Ecuación de Reynolds Average Navier Stokes (RANS, Reynolds Average Navier Stokes' Equation), en la que el elemento de convección es el Estrés de Reynolds (Reynolds Stress) producido por el número de Reynolds promedio), de modo que el número total de variables desconocidas es mayor que el número total de ecuaciones. Para resolver este problema, se requiere la introducción del modo de flujo turbulento.

Dado que la turbulencia es un fenómeno físico muy complejo, especialmente en campos de flujo complejos, no es fácil de simular, por lo que se han propuesto muchos modelos matemáticos diferentes para analizar campos de flujo turbulento. Su valor varía entre el 5 y el 8% del valor de la Resistencia de Fricción para un buque atunero.

### **Resistencia al oleaje**

Es la resistencia producida por la formación de olas en la proa y en la popa del buque y se determina de la siguiente manera.

$$R(o) = K_o. (D^{\frac{2}{3}}V^4)/L$$

### **Cálculo del Flujo Viscoso**

Se utiliza el software comercial FLUENT para el cálculo del campo de flujo viscoso. Para una amplia gama de problemas de fluidos, como flujo compresivo, flujo incompresible, flujo laminar y flujo turbulento, FLUENT puede simular sus fenómenos de campo de flujo real y realizar análisis de estado estable o análisis transitorio.

Para los campos de flujo generados por geometrías complejas, Fluent tiene modelos matemáticos teóricos para sus fenómenos de transporte (como la transferencia de calor y las reacciones químicas) que se pueden describir y simular.

### **Suposición básica**

Para resolver los problemas físicos del campo de flujo de la hélice, durante la investigación existirán algunas suposiciones básicas razonables sobre el campo de flujo de la hélice de la siguiente manera:

1. El campo de flujo es tridimensional estable e incompresible,
2. Las propiedades físicas del fluido no se ven afectadas por la temperatura,
3. Desprecie el efecto del campo de gravedad y la flotabilidad,
4. La propiedad del fluido es fluido newtoniano,
5. El límite sólido es impermeable.

**Ecuación principal**

Para la teoría aplicada por FLUENT, con el fin de simplificar la descripción, explicaremos las fórmulas utilizadas en el cálculo del campo de flujo de capa arbitraria tridimensional y el marco de referencia inercial no acelerante (Inertial Non-accelerating Reference Frame). Las ecuaciones de conservación de la masa y el momento que resuelve, la expresión del tensor en el sistema de coordenadas Cassette es:

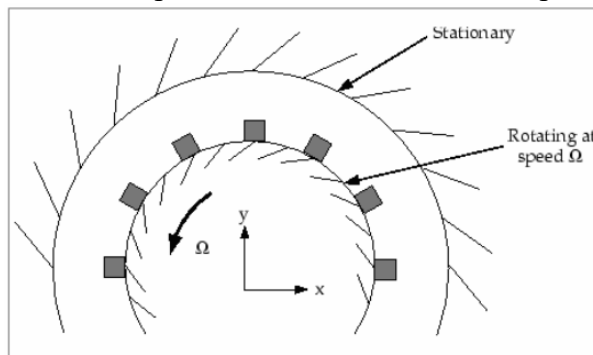
$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i} (\rho v_i) = s_m$$

*Ecuación 1*

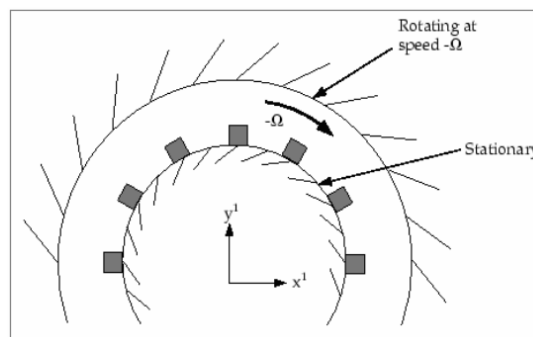
$$\frac{\partial}{\partial t} (p v_i) + \frac{\partial}{\partial x_i} (p v_i v_j) = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial \tau_{ij}}{\partial x_j} + \rho g_i + F_i$$

*Ecuación 2*

La Ecuación 1 es la forma general de la ecuación de conservación de la masa y puede describir flujos compresibles e incompresibles. En cambio, la masa adicional disipada de la siguiente fase en la fase continua, como la masa producida por vaporización o condensación de gotas, también puede ser una fuente definida por el usuario.



*Ilustración 1. Sistema de coordenadas de referencia original (tomado del manual FLUENT).*



*Ilustración 2. Sistema de coordenadas de referencia rotacional (tomado del manual FLUENT).*

Cuando se utiliza Fluent para la simulación numérica, por lo general se simula el campo de flujo en el sistema de coordenadas de referencia inercial, como un sistema de coordenadas sin aceleración, como se muestra en la Ilustración 1. Sin embargo, Fluent también puede simular campos de flujo en sistemas de coordenadas acelerados. En aplicaciones de ingeniería, el ejemplo más común del uso de un campo de flujo de marco de referencia acelerado (marco de referencia acelerado) es una máquina rotatoria.

Por lo tanto, cuando Fluent calcula el campo de flujo de una máquina giratoria, la mayoría de los ejemplos son para dejar que las coordenadas del fluido giren con la máquina giratoria, es decir, para dar la velocidad de rotación en la dirección radial, como se muestra en la Ilustración 2. Cuando se utiliza el sistema de coordenadas de referencia acelerado, las fórmulas de conservación de la masa y el momento en Fluent deben modificarse. Primero, definimos la relación entre la velocidad absoluta y la velocidad relativa, de la siguiente manera:

$$\vec{v}_r = \vec{v} - (\vec{\Omega} \times \vec{r})$$

*Ecuación 3*

Donde  $\vec{v}_r$  es la velocidad relativa,  $\vec{v}$  es la velocidad absoluta y  $\vec{\Omega}$  es la velocidad angular,  $\vec{r}$  es el vector de posición en las coordenadas de rotación. Trayendo la Ecuación 3 de vuelta a la Ecuación 1 Ecuación 2 para reemplazar la velocidad absoluta original, se pueden obtener las ecuaciones de conservación de masa y conservación de momento del sistema de coordenadas de referencia acelerado.

Después de comprender las ecuaciones que gobiernan las máquinas rotativas, Fluent utiliza técnicas basadas en el volumen de control para convertir las ecuaciones que gobiernan en ecuaciones matemáticas para el análisis numérico. Esta técnica implica integrar sus ecuaciones gobernantes para cada volumen de control y finalmente discretizarlas para diferentes propiedades del fluido.

### **Cálculo en función de la turbulencia**

El flujo turbulento se caracteriza por la perturbación del campo de velocidad, que también se mezcla con la influencia de propiedades físicas como la cantidad de movimiento y la energía. Cuando el impacto de estas perturbaciones en el campo de flujo general es relativamente pequeño, es muy difícil simularlo directamente para los cálculos de ingeniería reales. Además, las propiedades de todas las turbulencias cambiarán en pequeñas escalas con el tiempo y el espacio, por lo que la cantidad instantánea de cambio puede considerarse como la suma de la cantidad promedio en el tiempo y la cantidad de perturbación.

Para simplificar el cálculo, la variación instantánea de las propiedades de la turbulencia se combina en la ecuación gobernante, que es la llamada Ecuación de Reynolds Average Navier Stokes, en la que el elemento de convección es el Estrés de Reynolds (Reynolds Stress) producido por el número de Reynolds promedio), de modo que el número total de variables desconocidas es mayor que el número total de ecuaciones. Para resolver este problema, se requiere la introducción del modo de flujo turbulento.

Dado que la turbulencia es un fenómeno físico muy complejo, especialmente en campos de flujo complejos, no es fácil de simular, por lo que se han propuesto muchos modelos matemáticos diferentes para analizar campos de flujo turbulento.

La hélice no tradicional en este estudio es un campo de flujo con un número de Reynolds alto, por lo que el modelo de flujo turbulento adopta el modelo de flujo turbulento  $k-\omega$  estándar, que no solo puede simular el campo de flujo bajo un alto número de Reynolds.

### **Relaciones geométricas de la hélice**

La parte que provoca la pérdida de energía más grave de la hélice suele ser la punta y el buje, especialmente el fenómeno de cavitación provocado por el vórtice en la punta, que no solo reduce la eficiencia de la hélice, sino que también estimula la vibración y el ruido. Aunque el fuerte vórtice del cubo no causará cavitación, consumirá alrededor del 10 % de la energía del motor principal. Para la cavitación de vórtice en la punta, la solución general es reducir la carga en la punta, pero se sacrificará algo de eficiencia de propulsión.



Por lo tanto, modificar la geometría de la punta de la pala y provocar algunas variaciones geométricas puede convertirse en uno de los métodos para mejorar el diseño.

### **Diámetro**

Es el diámetro del cilindro circunscrito a la hélice por la extremidad de las palas más alejada del eje. El valor,  $D/2 = R$ , se llama radio de la hélice.

### **Área del disco**

$$A_D = \frac{\pi}{4} D^2$$

### **Relación de paso/diámetro**

Para cada radio  $X = \frac{r}{R}$ , se define la relación paso/diámetro como  $\left(\frac{H}{D}\right)_{X=X_0}$  el paso variara normalmente de unos radios a otros. Es muy utilizada entonces la relación paso/diámetro para  $r = 0, 7R$  que viene dada por:

$$\frac{H_{0,7R}}{D}$$

### **Relaciones de área**

$$\frac{A_E}{A_0} = \frac{\text{Área expandida de todas las palas (sin núcleo)}}{\text{Área del disco}}$$

*Ecuación 4. Relación área-disco expandida*

$$\frac{A_D}{A_0} = \frac{\text{Área desarrollada de todas las palas (sin núcleo)}}{\text{Área del disco}}$$

*Ecuación 5. Relación área-disco desarrollada.*

$$\frac{A_p}{A_0} = \frac{\text{Área proyectada frontalmente de todas las palas (sin núcleo)}}{\text{Área del disco}}$$

*Ecuación 6. Relación área-disco proyectada*

Entre las distintas relaciones de áreas existen las siguientes relaciones, que se cumplen de manera aproximada para la gran mayoría de las hélices:

$$\frac{A_E}{A_0} \approx \frac{A_D}{A_0}$$

$$\frac{A_p}{A_0} \approx \left(1,067 - 0,229 \times \frac{H_{0,7R}}{D}\right) \frac{A_D}{A_0}$$

$$\frac{A_D}{A_0} \text{ ó } \frac{A_E}{A_0}$$

Existe un buen número de series sistemáticas, estudiadas en diversos Centros de Experimentación en el mundo, la más utilizada de todas ellas (90 % de los casos) es la Serie B de Wageningen, y en base a esta serie se realizará este artículo.

### **Método Serie B de Wageningen**

La serie B del Canal de Wageningen está dividida en familias de propulsores, y cada familia en individuos.

Hay varias características geométricas que son constantes para todas las familias, a saber:

- La forma de los perfiles. Son del tipo ala de avión para  $r/R \leq 0,7$  y arco de círculo para  $r/R \geq 0,7$
- **La ley de espesores máximos.** Es una ley lineal.
- Los parámetros que son constantes dentro de cada familia son:
- **El número de palas.** Hay familias de 2, 3, 4, 5, 6 Y 7 palas.
- **La relación AD/AO.** Para cada número de palas existe una cierta gama de relaciones área/disco.

Estos son pues los parametros que distinguen unas familias de otras.  
 A cada una de ellas se la nombra con dos cifras, Por ejemplo B 5,60 que quiere decir: Serie B, 5 palas, relación AD/AO = 0,60.

Número de palas	2	3	4	5	6	7
Relación $A_d/A_o$	0,30 0,38	0,35 0,50 0,65 0,80	0,40 0,55 0,70 0,85 1,00	0,45 0,60 0,75 1,05	0,50 0,65 0,80	0,55 0,70 0,85
Relación H/D	0,5 a 1,4	0,5 a 1,4	0,5 a 1,4	0,5 a 1,4	0,6 a 1,4	0,6 a 1,4
Relación de espesores S/D	0,055	0,05	0,045	0,40	-	-
Relación $\frac{\text{diam.núcleo}}{\text{diam.hélice}}$	0,18	0,18	0,167	0,167	-	-
Relación $\frac{H_{0,20}}{H_{0,7}}$	1	1	0,80	1,000	-	-
Angulo de lanzamiento	15°	15°	15°	15°	-	-

Ilustración 3. Características geométricas hélices Serie B de Wageningen

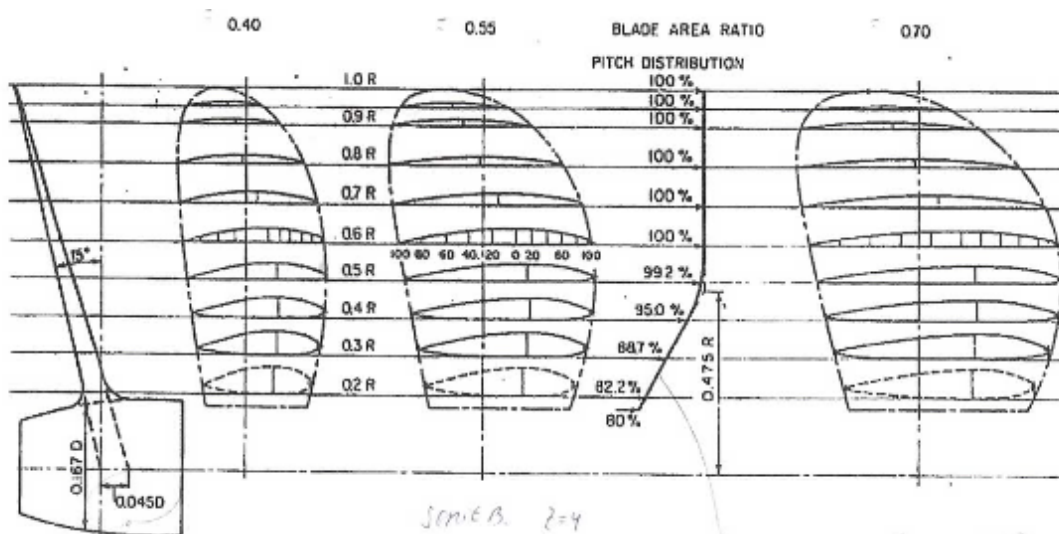


Ilustración 4. Contornos de las palas de las 4.40, 4.55 Y 4.70

## Resultados

Datos de una embarcación pesquera totalmente a al azar para evaluar la eficiencia del cálculo tradicional en función de la geometría de la hélice.

Tabla 1. Detalle de la embarcación.

Eslora	70.25	metros
Manga	11.80	metros
Puntal	6.40	metros
Desplazamiento	3664.7	toneladas
Coefficiente de Bloque	0.74	
Velocidad	11.34	nudos
Potencia de Motor	3600	bhp
RPM de Motor	900	rpm
Reducción de Caja	5.02	
<b>CARACTERÍSTICAS DE LA HÉLICE</b>		
Diámetro	3268	mm
Paso / Diámetro	0.9	
DAR	0.65	
Palas	5	
Tipo	Serie B	
Rake	0	grados

### Cálculo del Coeficiente de Avance

$$J = \frac{Va}{ND}$$

Donde la  $Va$  es la velocidad de avance de la hélice en metros por segundos,  $N$  las revoluciones por segundo de la hélice y finalmente  $D$ , el diámetro de la hélice en metros.

La velocidad de avance de la hélice se calcula de la siguiente manera:

$$Va = V \times (1 - w)$$

Donde  $w$  se denomina Coeficiente de Estela, el cual depende del Coeficiente de Bloque por la siguiente fórmula:

$$w = 0.5Cb - 0.05$$

Reemplazando todas las variables se tiene:

$$w = 0.5 \times 0.74 - 0.05 = 0.32$$

$$Va = 11.34 \times 0.514444 \times (1 - 0.32) = 3.967 \text{ m/s}$$

$$Va = 3.967 \text{ m/s}$$

Finalmente, reemplazando en  $J$  se tiene:

$$J = \frac{3.967}{2.99 \times 3.268} = 0.406$$

$$J = 0.406$$

El Coeficiente de Avance  $J$  equivale a 0.406.

### Cálculo de la Constante de Par - $KQ$

Se define de la siguiente forma:

$$KQ = \frac{Q}{\rho D^5 N^2}$$

Donde  $Q$  es el torque otorgado a la hélice por el conjunto motor diésel marino – transmisión marina, el cual se calcula de la siguiente forma:

$$Q = \frac{DHP_{WAG}}{2\pi N}$$

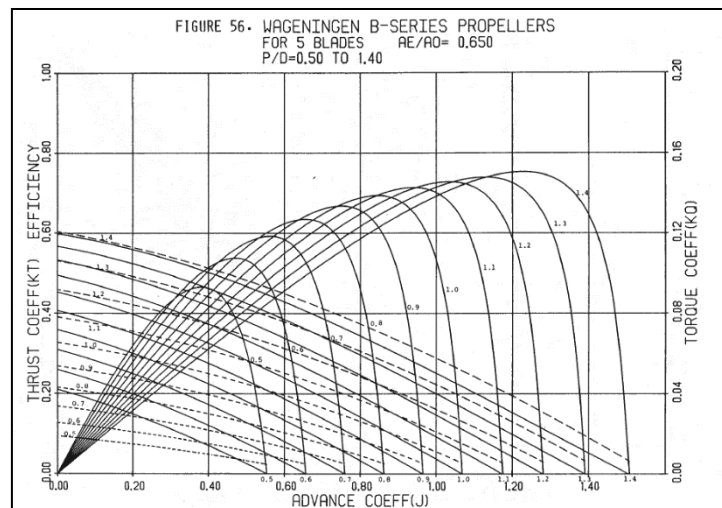
Donde  $DHP_{WAG}$  es la potencia entregada a la hélice, su fórmula es la siguiente:

$$DHP_{WAG} = \frac{BHP_{Motor} n_M n_r}{1.026}$$

El valor  $n_M$  es la eficiencia mecánica desde el motor diésel marino hasta la entrada de la hélice, su valor es aproximadamente 0.95. Y el valor de  $n_r$  es la eficiencia rotacional debido al flujo no lineal por la presencia de un casco delante de la hélice, su valor es aproximadamente 1.038. La Constante de Par  $KQ$  equivale a 0.041.

### Cálculo de la Constante de Empuje - $KT$

Este valor se obtiene por el procedimiento gráfico al ingresar a la tabla B5.65 con los valores de  $J$  y  $KQ$ .



El procedimiento consiste en dibujar una línea recta en  $J = 0.406$  y  $KQ = 0.041$ , para lo cual corresponde en el eje, aproximadamente  $KT = 0.2$ .

### Eficiencia final de la Hélice Aislada

Se calcula a través de la gráfica previamente evaluada

$$n_0 = 0.447 \%$$

La Eficiencia de Propulsor Aislado  $n_0$  equivale a 44.7%

## Discusión

- Para las hélices de los barcos actuales, el nivel de diseño puede generar un promedio del 30 % al 60 % de la potencia, que está cerca del límite de diseño expuesto por Barquero (2011). Para verificar esta metodología, se aplica la metodología de diseño para un barco atunero x, el mismo que obtuvo una eficiencia en la hélice calculada de 46.8%, valor admisible dentro de los términos de fiabilidad de diseño.
- En cuanto al método de cálculo, sería conveniente analizar las variables del flujo potencial y puedan utilizarse como una de las herramientas de referencia para análisis al mismo equipo, a su vez, explorar nuevos diseños de hélice como las aletas de tapa boquilla que tienen las funciones de desvío y aumento de la eficiencia, y pueden debilitar la velocidad tangencial aguas abajo del cubo.
- En investigaciones futuras, se debe considerar el uso de la teoría del flujo viscoso para optimizar la geometría de las hélices no tradicionales. En el diseño de la geometría tridimensional de la hélice, los parámetros generales se pueden cambiar y los puntos de control locales se pueden usar para controlar directamente modificar la geometría de la hélice, con el fin de hacer un diseño más completo de la geometría de variación.
- Los, resultados del cálculo del flujo potencial y los resultados del flujo viscoso son muy similares cualitativamente según la bibliografía, y pueden usarse como una de las herramientas de referencia para el análisis al mismo tiempo; y en los resultados del cálculo.

## Referencias bibliográficas

- Ogura M, Koizuka H, Takeshita H, Kohno Y. A design approach and selected wind-tunnel results at high subsonic speeds for wing-tip mounted winglets. "A screw propeller boss cap with fins UK Patent Application. 1988; GB 2194295 A.
- Carlton J. Hélices Marinas y Propulsión: Butterworth-Heinemann; 2012.
- Rojas. Diseño y Experimentación de hélice para agua a bajo número de Reynolds. UNIVERSIDAD DE LOS ANDES, COLOMBIA. 2021.
- Mercedes Y. Diseño y Experimentación de hélice para agua a bajo número de Reynolds. Sanfandila, Qro: Publicación Técnica No. 417. 2014.
- Chen C, Hwang J, Hsin C, Lin C. The Effect of an Unconventional Propeller Tip Geometry on the Tip Flow Phenomena. The 3rd Asia-Pacific Workshop on Marine Hydrodynamics APHYdro. 2006.
- Cone J. "The theory of induced lift and minimum drag of nonplanar lifting systems. NASA Technical Report R-139. 2005.
- Hong H. Computational analysis of effects of blade shapes on tip-vortices. Department of Mathematics, Hampton University, Hampton. 2003.
- Barquero A. Introducción a la resistencia y propulsión del buque Madrid UPd, editor.; 2011.
- Jaramillo J, Cárdenas A. NUMERO DE REYNOLDS. CORPORACIÓN UNIVERSITARIA MINUTO DE DIOS. 2015.
- Álvarez A. Hélices y timones de maniobra. [Online].; 2015 [cited 2022. Available from:  
<https://riull.ull.es/xmlui/bitstream/handle/915/1237/Helices+y+timones+de+maniobra.pdf;jsessionid=9878F81DBD617A09DF6F8020DDC0B32A?sequence=1>.

### Conflicto de intereses:

Los autores declaran que no existe conflicto de interés posible.

### Financiamiento:

No existió asistencia financiera de partes externas al presente artículo.

### Agradecimiento:

N/A

### Nota:

El artículo no es producto de una publicación anterior, tesis, proyecto, etc.