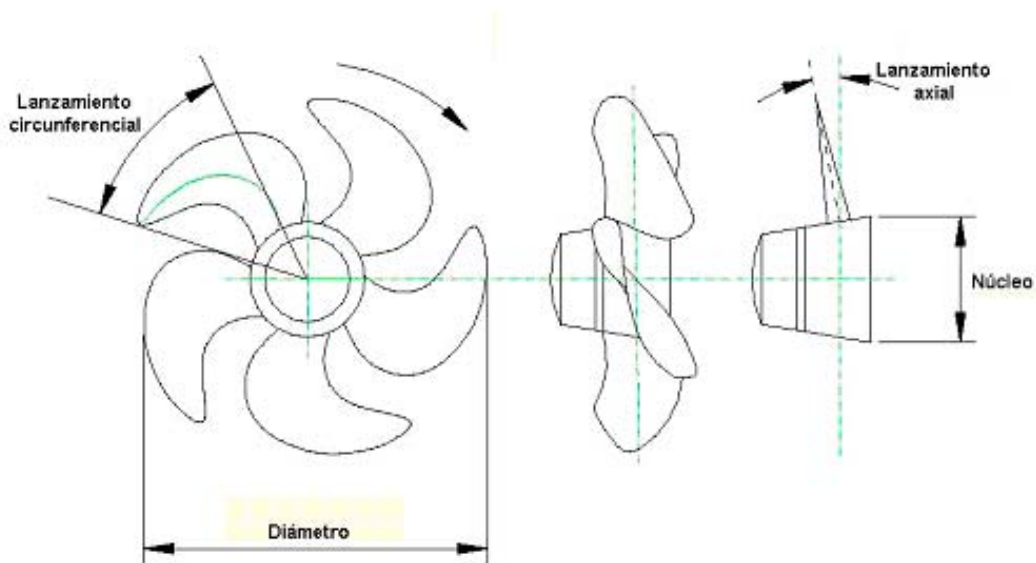


7.2. Hélice

7.2.1. Geometría de la hélice

Para entender la acción hidrodinámica de una hélice es imprescindible tener un minucioso conocimiento de la geometría básica de este elemento y de las correspondientes definiciones. La Figura 36, muestra que se entiende por lanzamiento axial de la pala y el lanzamiento circunferencial de una hélice. El uso del lanzamiento circunferencial se ha demostrado muy efectivo en la reducción de esfuerzos vibratorios, vibraciones inducidas por la presión del casco, y en retrasar el desarrollo de la cavitación. Con el lanzamiento axial, los esfuerzos sobre la pala pueden controlarse y pueden utilizarse secciones de pala ligeramente más delgadas, lo que puede ser ventajoso desde el punto de vista de consideraciones hidrodinámicas de la propia pala.



**Fig. 36 Esquema de la geometría de la hélice
(Lanzamiento circunferencial y lanzamiento radial)**

Cada hélice precisa de un núcleo para fijar las palas de la hélice y para ubicar el mecanismo de control de las mismas en el caso de hélices de palas orientables (CPP). Esto da como resultado diferentes tipos y tamaños de núcleos para hélices de palas fijas (FPP) y para las hélices de palas orientables (CPP), y es una característica diferencial entre ambos tipos de hélices. Ver también las figuras en la sección anterior 7.1.

Otra diferencia es la relación de área proyectada – área disco (A/A_0). La relación del área proyectada-área disco es simplemente el área de la pala, proyectada sobre un plano normal al eje de la hélice, dividida por el área del disco de la hélice (A_0). Dado que las hélices de palas orientables son totalmente reversibles en el sentido de que las palas pueden pasar a través de la condición de paso 0, se debe prestar atención a que las palas no interfieran entre sí. Con igual número de palas, una hélice CPP tendrá una relación de área proyectada – área disco ligeramente inferior.

La expresión (P/D) se conoce, de forma general, como relación paso - diámetro. Otra opción es que sea conocido el ángulo de paso θ . Debido a la geometría de la pala, el ángulo de paso varía desde el núcleo hasta la punta de la pala.

$$D = 2R \text{ and } x = \frac{r}{R} \text{ (relación adimensional)} \quad (E- 6.2.1)$$

- D = Diámetro de la hélice, en metros
- R = Radio de la hélice, en metros
- r = Ubicación del radio de la hélice, en metros
- x = Ubicación adimensional del radio de la hélice (r/R)

De forma general, el ángulo de paso característico, se define a una relación de la hélice de x = 0,7

Desgraciadamente, existen varias definiciones de paso, y la distinción entre las mismas es fundamental para evitar errores analíticos:

- 1 Paso raíz - punta
- 2 Paso de la cara o pala

La línea recta que conecta las extremidades de la raíz y de la punta de la pala, se llama línea de paso raíz - punta. Los ángulos de la sección de ataque están definidos en relación a la línea raíz - punta.

La línea de paso de la cara o pala es básicamente una tangente a la sección de la superficie del lado de presión, y pueden trazarse muchas líneas que cumplan esta definición. Consecuentemente, la definición no es clara. Se utiliza muy raramente, pero puede encontrarse en planos antiguos, como los de la serie B de Wageningen.

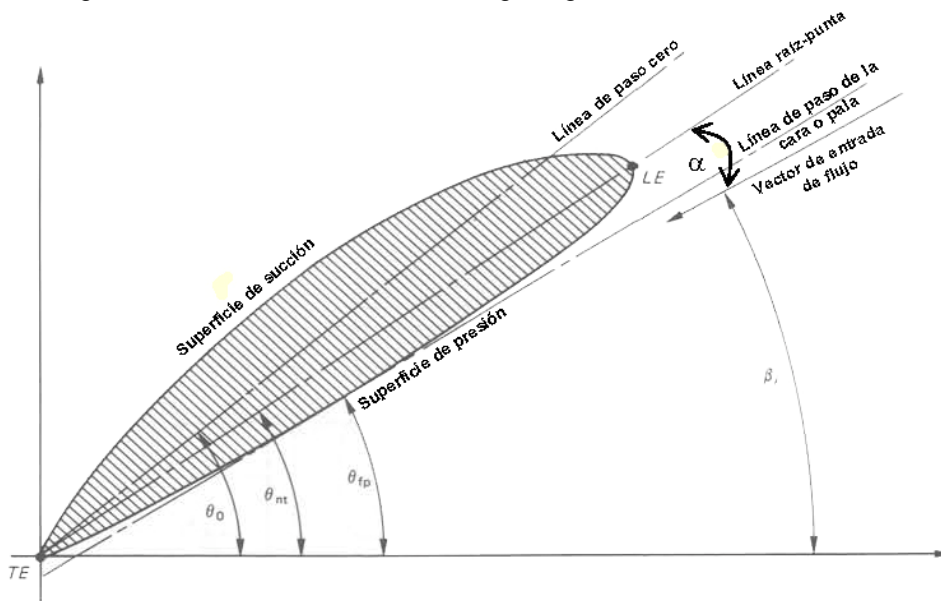


Fig. 37 Definiciones de paso de una hélice

La ecuación siguiente puede usarse para convertir el paso de P/D a θ o viceversa.

$$\Theta = \arctan \left(\frac{P/D}{x\pi} \right) \text{ (—)} \quad (E- 6.2.2)$$

- P/D = Relación paso de la hélice/ Diámetro de la hélice
- x = Ubicación adimensional del radio de la hélice (r/R)
- Θ = Ángulo de paso

7.2.2. Selección del tipo de hélice

7.2.2.1. FPP o CPP

La selección de una hélice para una aplicación particular es el resultado de la consideración de diferentes factores. Estos factores pueden determinarse para conseguir el máximo rendimiento respecto a:

- Limitación de ruido
- Facilidad de mantenimiento
- Coste de la instalación, y así sucesivamente.

Cada buque debe ser estudiado y considerado en relación con su aplicación especial. La elección entre una hélice de paso fijo (FPP) y una hélice de palas orientables (CPP) ha constituido durante muchos años un gran debate entre los componentes de los sistemas implicados. Las hélices de palas orientables (CPP) tienen predominio total en buques Roll On – Roll Off (Ro-Ro), ferries, y en el sector de los remolcadores de más de 1.500 kW de potencia propulsora instalada con un perfil operativo que puede ser satisfecho mejor con una hélice CPP que con un reductor de dos velocidades o inversor. Para las restantes aplicaciones, la solución sencilla de hélices de paso fijo, parecen ser, en principio, una solución satisfactoria. Comparando la fiabilidad entre la solución sencilla de una hélice FPP y la solución, mecánicamente más compleja, de una hélice CPP, se ha demostrado que las hélices CPP han conseguido un estatus excelente como componente esencial de la propulsión.

La hélice CPP tiene la ventaja de permitir el funcionamiento de la hélice a velocidad constante. Pese a que esto conduce a una pérdida de rendimiento, también es cierto que permite el uso de generadores accionados por el eje de cola, en el caso de que este sea un requisito del perfil operativo del buque.

Durante los últimos años la propulsión eléctrica con propulsores del tipo POD ha emergido en el mercado. Sin la necesidad de disponer de reductor y con la controlabilidad del motor eléctrico, una hélice de paso fijo parece ser la mejor opción. Pero no debe olvidarse la comparación de los costes económicos de un control extendido de un motor eléctrico con el coste de una hélice CPP.

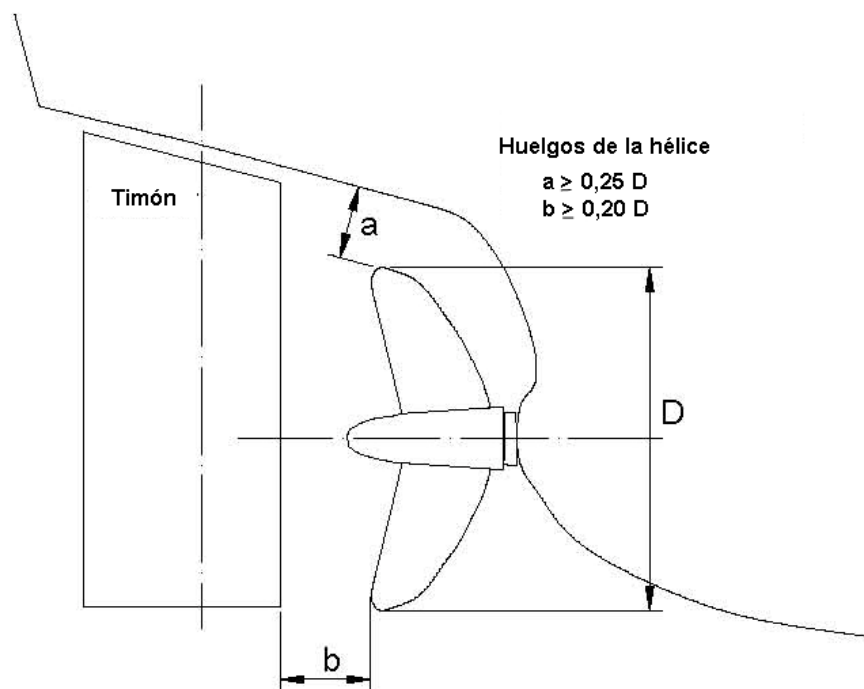


Fig. 38 Huelgos de la hélice

7.2.2.2. Tamaño de la hélice

La determinación del diámetro de la hélice (D) para una cierta potencia entregada (P_D) a una velocidad de la hélice (n) y una velocidad del buque (v) es un trabajo complejo. Para algunas hélices existen procedimientos de cálculo, que pueden encontrarse en la literatura relativa al tema, con todas las suposiciones y variantes necesarias que pueden plantearse, o, simplemente dirigir directamente las cuestiones al fabricante.

El tamaño de una hélice no puede calcularse solamente de forma teórica, sino que también debe adaptarse al buque. El buque debe disponer del espacio suficiente para la hélice, incluyendo un huelgo suficiente entre la hélice y el casco (Figura 38). Debido a los efectos hidrodinámicos y / o a cavitación el casco del buque y el timón pueden ser excitados mecánicamente, lo que puede causar fuertes vibraciones en la popa y en el timón, con la posibilidad de fallos mecánicos.

Los valores mostrados en la Figura 38 son solamente una propuesta de proyecto. Para información más detallada, consúltense las recomendaciones de una sociedad de clasificación o del astillero constructor.

7.2.2.3. Cavitación y perturbación del empuje

La mayoría de los buques de aproximadamente 100 toneladas de desplazamiento o mayores, pueden controlar, pero no eliminar los efectos de la cavitación. Esto significa que se reduce el efecto erosivo sobre el material y se mejoran las características hidrodinámicas así como su comportamiento como fuente de excitación de vibraciones. Pero, también debe recordarse, que existen muy pocas hélices que estén libres de cavitación. La mayoría experimentan cavitación en alguna posición del disco de la hélice.

Séanos permitido decir algo sobre la perturbación del empuje: La densidad de potencia de una hélice puede ser aumentada solo hasta cierto límite, que depende de los parámetros de la hélice y especialmente de la relación de área de la pala. Obviamente, la cavitación tiene lugar primero en la sección extrema de la pala, extendiéndose hacia el núcleo con mayor consumo de potencia. Es una cuestión de definición cuando estos efectos llegan a ser llamados "perturbación del empuje", por ejemplo, si la cavitación es alta por debajo del 0,5 del radio. Consecuentemente el rendimiento de la hélice disminuye rápidamente.

7.2.2.4. Hélices para buques de alta velocidad

Para buques de alta velocidad, en los que las velocidades de giro y de avance son altas y la inmersión de la hélice es baja, se puede alcanzar un punto donde no sea factible controlar apropiadamente los efectos de la cavitación. Para solventar este problema se permite que las secciones de la pala caviten plenamente, de forma que la cavidad desarrollada en la parte posterior de la pala se extienda más allá del borde de trabajo y colapsa dentro de la estela de la pala, en "el viento de la hélice". Tales hélices son llamadas supercavitantes y se utilizan normalmente en aplicaciones tales como buques militares de alta velocidad y embarcaciones de recreo.

Para pequeños buques de alta velocidad el concepto de hélice de superficie ha tenido éxito. Estas hélices trabajan parcialmente dentro y parcialmente fuera del agua. El calado de la hélice medido desde la superficie libre del agua hasta la línea de centro de la misma hélice, puede ser reducido a cero, o es controlable (por ejemplo en el Efecto Superficie Arneson). En la condición de inmersión parcial, las palas de la hélice están, normalmente, proyectadas para trabajar de tal forma que la superficie de presión de la pala permanezca plenamente mojada y la cara de succión esté seca.

7.2.3 Sentido de giro de la hélice

El sentido de giro puede tener consecuencias respecto a la maniobrabilidad y el rendimiento. Pese a que las explicaciones dadas en numerosa literatura al respecto no son plenamente convincentes, se pueden dar las siguientes recomendaciones:

Un solo eje: (Mirando desde la popa de la hélice hacia proa)

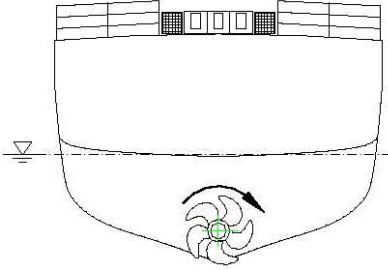
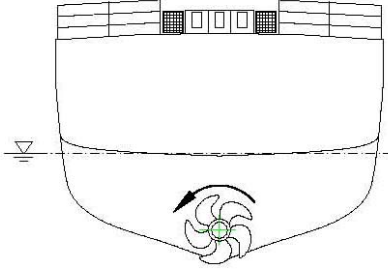
FPP (Hélice de paso fijo)
Sentido de giro: Dextrógiro

CPP (Hélice de palas orientables)
Sentido de giro: levógiro


Fig. 39 Sentidos de giro del propulsor en buques con una sola línea de ejes

Dos ejes: (Mirando desde la popa de la hélice hacia proa)

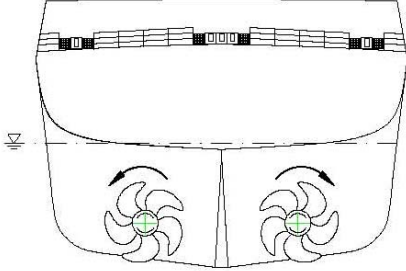
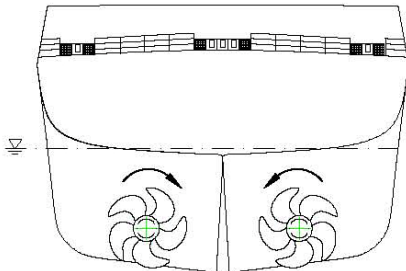
FPP (Hélices de paso fijo)	
Hélice de babor: levógiro	Hélice de estribor: dextrógiro
	
También llamado sentido de giro hacia afuera	
CPP (Hélices de palas orientables)	
Hélice de babor: levógiro	Hélice de estribor: dextrógiro
	
También llamado sentido de giro hacia adentro	

Fig. 40 Sentidos de giro del propulsor en buques con dos líneas de ejes

Para aquéllos que todavía están ávidos de saber algo más sobre las razones para las disposiciones anteriores, he aquí algunas explicaciones tomadas de literatura especializada (ninguna fuente específica)

7.2.3.1. Rendimiento de la hélice

Se ha detectado y comprobado que el giro presente en el campo de la estela, debido al flujo alrededor del buque, en el disco de la hélice puede conducir a un incremento en el rendimiento de la hélice cuando el sentido de giro de la misma es opuesto al sentido de giro del campo de la estela.

7.2.3.2. Maniobrabilidad (Una sola hélice)

Para buques con una sola hélice, la influencia sobre la maniobrabilidad está determinada completamente por el “efecto rueda de paletas”. Cuando el buque está parado y la hélice comienza a moverse, la hélice moverá la parte posterior del buque en el sentido de giro. De esta forma, con una hélice de paso fijo, la dirección inicial del movimiento cambiará con el sentido de giro; por ejemplo, con empuje avante o atrás.

En el caso de hélice de palas orientables, el movimiento tenderá a ser unidireccional porque solamente cambia el paso (se mueve la pala) desde la posición de avante a ciar. El sentido de giro de la hélice no cambia nunca.

En la posición de empuje cando, las hélices FPP y CPP tienen el mismo sentido de giro y, suponiendo que estribor es el lado principal para atraque, existe clara ventaja para desatraque con empuje hacia atrás (cando)

7.2.3.3. Maniobrabilidad (Con dos hélices)

Además del efecto rueda de paletas, otras fuerzas debidas al efecto de la presión diferencial sobre el casco, y a la excentricidad del eje ejercen su influencia. La presión diferencial, debido al empuje inverso de la hélice de la otra banda da como consecuencia un empuje lateral y un par de giro.

Desde el punto de vista de la maniobrabilidad puede deducirse de las pruebas efectuadas que las hélices de paso fijo se comportan mejor cuando giran hacia fuera. Para las hélices de palas orientables, no existe una conclusión tan clara.

Pese a que estos efectos son de pequeña magnitud, el proyecto debería seguir las recomendaciones dadas, pero sí no se observan las mismas, no existen grandes desventajas.

7.2.4 Selección del número de palas de la hélice

El número de palas varía, normalmente, de tres a siete. Para los buques mercantes, se utilizan cuatro, cinco, o seis palas, pese a que muchos remolcadores y buques pesqueros utilizan normalmente hélices con tres palas. En aplicaciones navales militares, donde el ruido generado es un factor muy importante, predominan hélices con un número de palas, que como mínimo es cinco.

El número de palas estará determinado, en primer lugar, por la necesidad de evitar frecuencias de resonancia perjudiciales para la estructura del buque, así como frecuencias de vibración torsional de la maquinaria. Dado que el número de palas aumenta los problemas de cavitación en la pala, puede aumentarse la raíz de la misma, con lo que el huelgo de pala llegará a ser menor.

También se ha demostrado que el rendimiento de la hélice y el diámetro óptimo aumentan a medida que disminuye el número de palas, y en alguna medida, la velocidad de la hélice (n) dependerá del número de palas.