



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 3: Propulsores y timones

Objetivos del tema 3

- Conocer los distintos tipos de propulsores y sus características.
- Estudiar las ventajas y desventajas de cada tipo de propulsor.
- Conocer los distintos tipos de timones y sus características.

Tema 3: Propulsores y timones

3.1. Propulsores	5
3.1.1. Introducción.....	5
3.1.2. Tipos de hélices según su paso.....	7
3.1.3. Hélices CLT.....	8
3.1.4. Propulsores “Schottel” ó hélices azimutales.....	9
3.1.5. Hélices Voith-Schneider o propulsores cicloidales.....	10
3.1.6. Propulsor POD.....	11
3.1.7. Sistemas alternativos o auxiliares de propulsión.....	13
3.2. Timones	14
3.3. Referencias bibliográficas	16

3.1. Propulsores

3.1.1. Introducción

La hélice marina ("ship propeller") es el elemento de propulsión usado en casi todas las embarcaciones navales. En la figura 1 se puede observar el esquema básico del sistema de propulsión de un buque. El empuje desarrollado en la hélice se transmite a la estructura del barco generando desplazamiento.

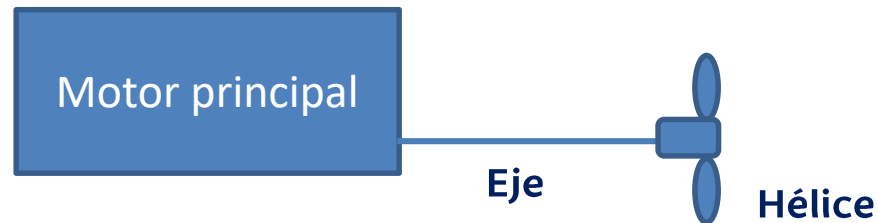


Figura 1. Esquema básico de la propulsión de un barco [1]

Desventajas:

- ✓ Bajo rendimiento
- ✓ Cavitación
- ✓ Biofouling

3.1. Propulsores

3.1.1. Introducción

Las SSCC establecen las reglas con los requerimientos técnicos de los distintos tipos de propulsores para su posterior certificación. Establecen los criterios de diseño, inspección, montaje y puesta en marcha (Figura 2).

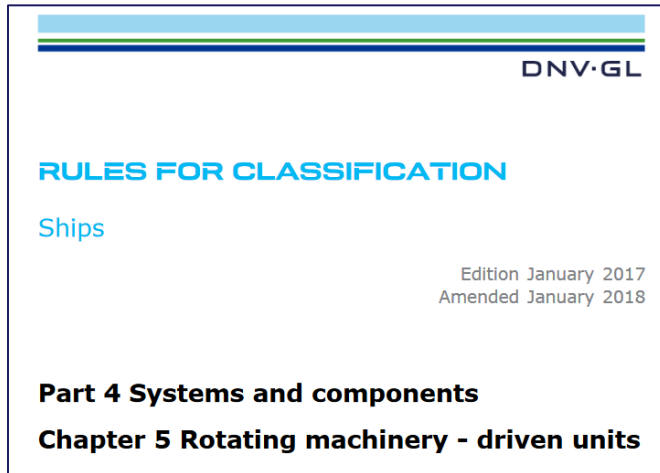


Figura 2. Reglamentación de DNV-GL para propulsores [2]

CONTENTS	
Changes - current.....	3
Section 1 Propellers.....	8
1 General.....	8
1.1 Application.....	8
1.2 Documentation.....	8
1.3 Certification requirements.....	10
2 Design.....	12
2.1 General.....	12
2.2 Criteria for propeller blade dimensions.....	13
2.3 Pitch control mechanism and propeller hub.....	14
2.4 Fitting of propeller blades to the hub.....	16
3 Inspection and testing.....	17
3.1 General.....	17
3.2 Inspection and testing of parts.....	18
4 Workshop testing.....	18
4.1 General.....	18
5 Control and monitoring.....	18
5.1 General.....	18
6 Arrangement.....	20
6.1 General.....	20
6.2 Arrangement of propeller.....	20
6.3 Hydraulic system for pitch control.....	20
7 Vibration.....	20
7.1 General.....	20
8 Installation inspection.....	20
8.1 General.....	20
8.2 Fitting of propeller and propeller blades.....	20
8.3 Pitch marking.....	20
8.4 Hydraulic piping.....	21
9 Shipboard testing.....	21
9.1 Sea trial.....	21
Section 2 Water jets.....	22
1 General.....	22
1.1 Application.....	22
1.2 Documentation.....	22

Part 4 Chapter 5 Contents

3.1. Propulsores

3.1.2. Tipos de hélices según su paso

- **Paso fijo:** fabricadas en una sola pieza, la posición de las palas y su paso es fijo y no puede variarse. Habituales en buques que no requieren condiciones de maniobrabilidad especiales.
- **Paso variable:** disponen de un mecanismo hidráulico que mueve el ángulo de las palas de la hélice y por tanto, su paso. Útiles en buques con necesidad de maniobrar a menudo (buques RO-RO, buques pasajeros...).



Figura 3. Hélice de paso fijo [3]

3.1. Propulsores

3.1.3. Hélices CLT

- En 1986 aparece la hélice CLT ® (Contracted- Loaded Tip) desarrollada por la empresa española SISTEMAR.
- Se caracterizan por las placas de cierre de los extremos de las palas.

Ventajas:

- Mayor rendimiento del propulsor
- Ahorro combustible 7% - 12%
- Mayor velocidad a igualdad de potencia 0,3 – 0,6 nudos
- Menores vibraciones sobre el casco
- Menos cavitaciones
- Mayor maniobrabilidad
- Menor diámetro necesario
- Reducción de emisiones de CO₂

3.1. Propulsores

3.1.4. Propulsores “Schottel” ó hélices azimutales

- Sistema diseñado en 1950.
- Combinación de propulsión y gobierno azimutal que alcanza un giro de 360°
- Potencias hasta $P = 6.000$ kW.
- Utilizado en remolcadores de puerto, remolcadores de salvamento y buques especiales.

3.1. Propulsores

3.1.5. Hélices Voith-Schneider o propulsores cicloidales

- Sistema de propulsión diseñado a principios del siglo XX.
- Permite cambios bruscos en las maniobras incluyendo traslación lateral y giros sobre el propio eje del barco.
- Ideal para buques contra-incendios y remolcadores.
- Útil también en sistemas de posicionamiento dinámico.
- La propulsión cicloidal es más cara que una hélice convencional .
- No aplicable para trabajar en aguas poco profundas.

Dado que las imágenes de estos propulsores disponen de © se aconseja visitar la web del fabricante para ver sus detalles y funcionamiento:

<http://voith.com/corp-en/drives-transmissions/voith-schneider-propeller-vsp.html>

3.1. Propulsores

3.1.6. Propulsor POD

- Al final del siglo XX (1990), apareció el propulsor POD o propulsor azimutal.
- Sistema que combina hélice+timón al poder girar 360°.
- Propulsión diésel-eléctrica con el motor eléctrico dentro del POD
- Potencias disponibles 0,5 - 38 MW por unidad.

Los fabricantes de POD´s más importantes del mundo son:

- 1º- ABB que construyen los "AZIPOD"® (Figura 4)
- 2º- Rolls Royce/Alstom los "Mermaid"
- 3º- Siemens/Schottel los "SSP"
- 4º- Lips/Atlas/STN los "Dolphin".



Figura 4. AZIPOD ® [4]

3.1. Propulsores

3.1.6. Propulsor POD

Ventajas:

- Maniobrabilidad excelente
- Mayores rendimientos propulsivos
- Menor consumo y menores emisiones
- Eliminación del eje de cola → menos vibraciones
- Mayor espacio para carga y pasaje
- Reducción tiempos de construcción del buque
- Alta redundancia → mayor seguridad

Desventajas:

- Gran inversión económica inicial.
- Limitación de la potencia producida por el motor. ($P_{\text{máx.}} = 21 \text{ MW/u}$).
- Solución no válida para barcos de gran tonelaje que necesiten mucha potencia y grandes motores (Ej. Portacontenedores, petroleros, LNG...)

3.1. Propulsores

3.1.7. Sistemas alternativos o auxiliares de propulsión

- **Velas Rígidas:** sistema auxiliar de propulsión usado en buques de Dinamarca y Japón. Producen empuje adicional además de generar energía alternativa si se colocan placas solares.
- **Waterjets:** sistema de aspiración y expulsión de agua. Buques rápidos ($V_s > 24$ knots) y con gran maniobrabilidad (Figura 5)



Figura 5. Buque con *water jets* [5]

- **Sistema bio-inspirado de propulsión *Ofoil wing*.** Inspirado en la propulsión de los "cetáceos" ideal para transporte fluvial (lento y poco calado). Sistema patentado por la empresa holandesa Marin, se puede ver un vídeo explicativo en la dirección: <https://vimeo.com/54086735>.

3.2. Timones

El timón ("rudder") es el dispositivo utilizado para mantener el rumbo, maniobrar o cambiar de velocidad.

Clasificación por su montaje:

- **Colgante:** cuando se soportan exclusivamente del eje que sale por la popa del barco.
- **Soportado:** si además disponen de un soporte inferior (Figura 6).
- **Semi-suspendido:** el soporte inferior se sitúa en la zona intermedia de la pala (Figura 7). La industria naval moderna apuesta por los timones semi-suspendidos ya que aseguran buena maniobrabilidad y reducción de fallos por esfuerzos mecánicos.



Figura 6. Timón semisuspendido [6].

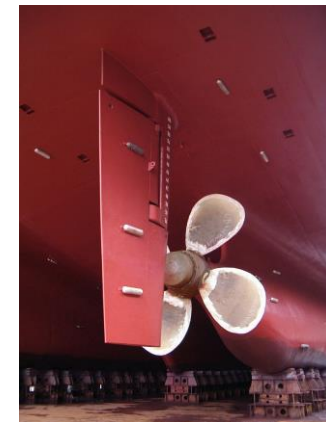


Figura 7. Timón semi-suspendido [7].

3.2. Timones

Las SSCC establecen las condiciones de diseño, fabricación y montaje de los timones para su certificación (Figura 8).

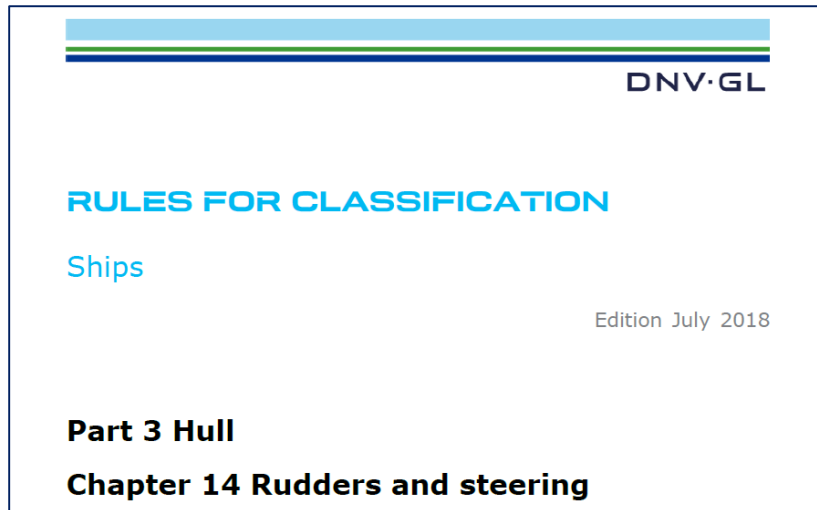


Figura 8. Reglas de DNV-GL para el cálculo y montaje de timones [2]

CONTENTS	
Changes – current.....	3
Section 1 Rudders, sole pieces and rudder horns.....	6
1 General.....	6
1.1 Basic assumptions.....	6
1.2 Definitions.....	6
1.3 Documentation requirements.....	7
1.4 Certification requirements.....	9
1.5 Design considerations.....	9
1.6 Materials.....	10
1.7 Equivalence.....	11
2 Rudder force and rudder torque.....	11
2.1 Rudder blades without cut-outs.....	11
2.2 Rudder blades with cut-outs (semi-spade rudders).....	14
3 Rudder strength.....	15
3.1 Strength calculations.....	15
4 Rudder stock and rudder shaft scantlings.....	16
4.1 Rudder stock scantlings.....	16
4.2 Rudder shaft scantlings.....	17
5 Rudder blade.....	19
5.1 Permissible stresses.....	19
5.2 Rudder plating.....	19
5.3 Connections of rudder blade structure with solid parts.....	20
5.4 Single plate rudders.....	22
6 Rudder stock and shaft couplings.....	23
6.1 Connection to steering gear.....	23
6.2 Horizontal flange couplings.....	24
6.3 Vertical flange couplings.....	25
6.4 Cone couplings with key.....	26
6.5 Cone couplings with special arrangements for mounting and dismantling the couplings.....	28
6.6 Rudder shaft couplings.....	30
7 Pintles.....	31
7.1 Scantlings.....	31
7.2 Couplings.....	31
7.3 Dimensions of threads and nuts.....	31
7.4 Pintle housing.....	31

3.3. Referencias bibliográficas

- [1] Elaboración propia. LOPEZ-ARRAIZA, A. UPV/EHU (2019)
- [2] DNV-GL [Consulta: 14/02/2018] Descarga libre. Disponible en: [https://rules.dnvgl.com/ServiceDocuments/dnvgl/#!/industry/1/Maritime/1/DNV%20GL%20rules%20for%20classification:%20Ships%20\(RU-SHIP\)](https://rules.dnvgl.com/ServiceDocuments/dnvgl/#!/industry/1/Maritime/1/DNV%20GL%20rules%20for%20classification:%20Ships%20(RU-SHIP))
- [3] US gov. [Consulta: 11/05/2017]. Dominio público. Disponible en: <https://en.wikipedia.org/wiki/Propeller#/media/File:Ship-propeller.jpg>
- [4] MACKINAW. [Consulta: 11/05/2018]. Dominio público. Disponible en: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Mackinaw_WLBB-30_Azipod_thruster.jpg
- [5] MYTRAJECTORY22. [Consulta: 11/03/2019]. Licencia CC-O, disponible en: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Pump-jet_on_NatchanWorld_02.JPG
- [6] ELIAS C. [Consulta: 11/03/2019]. Dominio público, disponible en: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:FragataSarmiento053.JPG>
- [7] BROSEN. [Consulta: 11/03/2019]. Licencia CC BY 2.5, disponible en: [https://es.wikipedia.org/wiki/Tim%C3%B3n_\(dispositivo\)#/media/File:Brosen_propellersterntychy.jpg](https://es.wikipedia.org/wiki/Tim%C3%B3n_(dispositivo)#/media/File:Brosen_propellersterntychy.jpg)



HIDRODINÁMICA, RESISTENCIA Y PROPULSIÓN MARINA

Equipo docente:

Dr. David Boullosa Falces

Dr. Alberto López Arraiza