



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 2: Materiales, rugosidad y recubrimientos

Objetivos del tema 2

- Conocer los distintos materiales utilizados en construcción naval, así como sus ventajas y desventajas.
- Conocer la importancia del efecto de la rugosidad de los elementos sumergidos del buque en su resistencia al avance y el consumo de combustible
- Estudiar los recubrimientos utilizados en el sector naval.

Tema 2: Materiales, rugosidad y recubrimientos

2.1. Introducción.....	5
2.2. Materiales metálicos.....	6
2.2.1. El acero naval.....	6
2.2.2. El aluminio.....	8
2.2.3. Otros metales en construcción naval.....	11
2.3. Materiales no metálicos: composites.....	12
2.4. Rugosidad y recubrimientos.....	14
2.5. Referencias bibliográficas.....	21

2.1. Introducción

Las Sociedades de Clasificación (SSCC) son las encargadas, entre otras funciones, de la regulación y certificación de los materiales, sus fabricantes, los ensayos mecánicos, los sistemas de unión y la inspección de la misma (Figura 1).

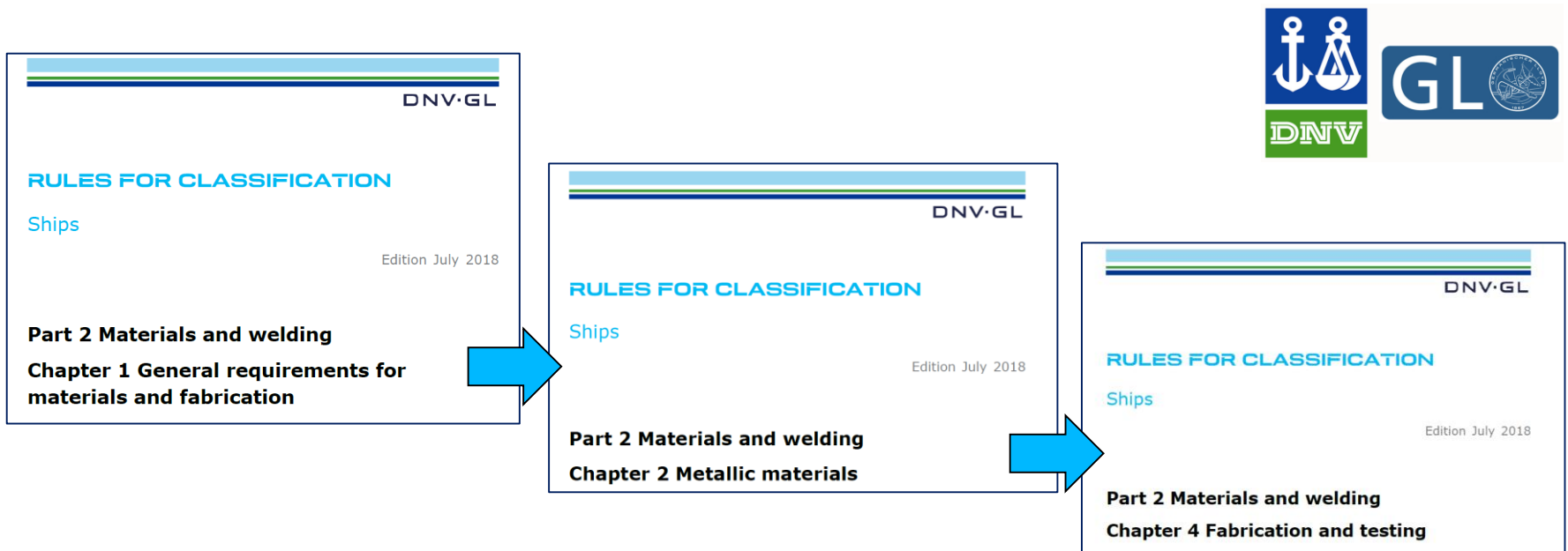


Figura 1. Normas de clasificación de materiales, soldadura e inspección definidas por la Sociedad de Clasificación DNV-GL [1]

2.2. Materiales metálicos

2.2.1. El acero naval

El **acero** es el material metálico más usado en la construcción naval.

Fabricación: hasta mediados del siglo XX las chapas de acero se remachaban. Actualmente, se sueldan o funden juntas.

Ventajas:

- Buenas propiedades mecánicas (resistencia, ductilidad, tenacidad)
- Acero dulce %C < 0,23% → alta soldabilidad

Inconvenientes:

- Mucho peso ($\rho = 7850 \text{ kg/m}^3$)
- Corrosión → pinturas → mantenimiento

2.2. Materiales metálicos

2.2.1. El acero naval

Steel grades according to Classification Societies' rules (ref. 5)						Comparable steel grades				
Grade	Yield stress R_{eH} min. N/mm ²	Tensile strength R_m N/mm ²	Elongation A_5 min. %	Average impact energy Temp.		ISO 630-80 4950/2/3/ 1981	EN EN 10025-93 EN 10113-93	ASTM A 131	JIS G 3106	
				°C	J, min.					
				L	T					
A	235	400-502	22	+20	-	Fe 360B	S235JRG2	A	SM41B	
B				0	27	20	Fe 360C	S235J0	B	SM41B
D				-20	27	20	Fe 360D	S235J2G3	D	(SM41C)
E				-40	27	20	-	S275NL/ML	E	-
A 27				265	400-530	22	0	-	Fe 430C	S275J0G3
D 27	-20	27	20				Fe 430D	S275N/M	-	-
E 27	-40	-	-				-	S275NL/ML	-	-
A 32	315	440-590	22	0	-	-	-	AH32	SM50B	
D 32				-20	31	22	-	-	DH32	(SM50C)
E 32				-40	-	-	-	-	EH32	-
A 36	355	490-620	21	0	-	Fe 510C	S355N/M	AH36	SM53B	
D 36				-20	34	24	Fe 510D	S355N/M	DH36	(SM53C)
E 36				-40	-	-	E355E	S355NL/ML	EH36	-
A 40	390	510-650	20	0	-	E390CC	S420N/M	AH40	(SM58)	
D 40				-20	41	27	E390DD	S420N/M	DH40	-
E 40				-40	-	-	E390E	S420NL/ML	EH40	-

Tabla 1. Nomenclatura y propiedades de los aceros navales según las Sociedades de Clasificación (IACS)

2.2. Materiales metálicos

2.2.1. El aluminio

El **aluminio** es el segundo material más utilizado en la construcción naval. Se emplea en embarcaciones rápidas de $L < 50$ m.

Ventajas:

- Buena relación resistencia mecánica/densidad → menor consumo de combustible
- Material dúctil, resistencia a impactos sin rotura
- Gran resistencia a la corrosión
- Menos costes de mantenimiento
- Posibilidad de añadir elementos aleantes

Inconvenientes:

- Dificultad para soldar a otros materiales adyacentes
- Precio más elevado. Aluminio naval todavía caro



Figura 2. Catamarán de aluminio [2]

2.2. Materiales metálicos

2.2.1. El aluminio

Las aleaciones de Al más adecuadas para la construcción naval son la serie 5000 y alguna de la 6000:

Tipo	Componentes (%)	Usos
5086	Si (0,40), Fe (0,50), Cu (0,10), Mn (0,20 – 0,70), Mg (3,40 – 4,50), Zn (0,25), Ti (0,15), Cr (0,05 – 0,25), Otros (0,15) y Al (resto).	Cascos, cubiertas, mamparos y cuadernas maestras.
5454	Si (0,25), Fe (0,40), Cu (0,10), Mn (0,50 – 1,0), Mg (2,40 – 3,60), Zn (0,25), Ti (0,20), Cr (0,05 – 0,20), Otros (0,15) y Al (resto).	Cascos pequeños y pasamanos.
6082	Si (0,70 - 1,30), Fe (0,50), Cu (0,10), Mn (0,40 - 1,00), Mg (0,60 - 1,20), Cr (0,25), Zn (0,20), Ti (0,10), Otros (0,10) y Al (resto).	Cascos, superestructuras, mástiles y timones, etc.

Tabla 2. Aleaciones de Al de uso naval

2.2. Materiales metálicos

2.2.1. El aluminio

En la siguiente tabla se pueden observar las diferencias más significativas del uso del aluminio frente al acero naval.

	Acero	Aluminio
Resistencia mecánica	Mayor	
Peso específico		Mayor
Dureza	Mayor	
Soldabilidad	Mayor	
Resistencia al fuego	Mayor	
Coefficiente de dilatación térmica	Mayor	

	Acero	Aluminio
Resistencia a la corrosión por oxígeno		Mayor
Resistencia a la corrosión electrolítica	Mayor	
Costes de mantenimiento y reparación	Mayor	
Vida útil		Mayor

Tabla 3. Comparativa acero/aluminio en construcción naval

2.2. Materiales metálicos

2.2.3. Otros metales en construcción naval

Un elemento clave en un buque es la **hélice** propulsora y su fabricación se realiza mayoritariamente en **bronce** naval.

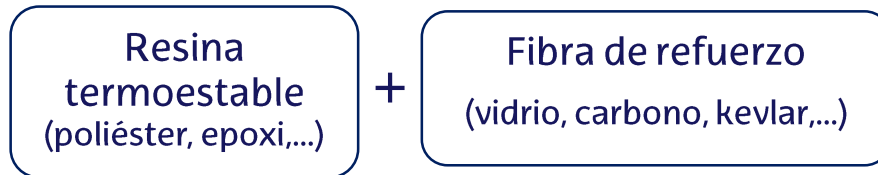
En la tabla 4, se pueden observar aleaciones de bronce de uso naval.

	Límite de elasticidad Kg. x mm ²	Carga de rotura Kg. x mm ²	Alargamiento %	Dureza HB	Aplicaciones en:
Cu - Ni - Al CUNIAL / F-65	30/35	65/70	15/20	150/90	HÉLICES y piezas que requieran máxima resistencia al esfuerzo, corrosión y cavitación.
Ni - Al - Mn NIALMA / F-50	25/30	50/55	20/25	135/145	HÉLICES y piezas para elevadas prestaciones de servicio y corrosión.
Mn - Bronce MNG / F-45	20/25	45/50	20/25	100/135	HÉLICES mayores y piezas para esfuerzos y corrosión normales.
CQL / 90-10	30/35	40/45	15/25	80/110	Piezas menores fundidas en coquillas para componentes de bocinas.

Tabla 4. Aleaciones de Bronce de uso naval

2.3. Materiales no metálicos: composites

Los materiales compuestos o composites de matriz polimérica, son muy utilizados en la náutica de recreo y de competición (Figura 3), aunque se incrementa su utilización en grandes estructuras, sobre todo en barcos militares.



Ventajas:

- Buena relación resistencia mecánica/densidad
- Gran resistencia a la corrosión
- Fabricación repetitiva, uso de moldes para múltiples usos

Inconvenientes

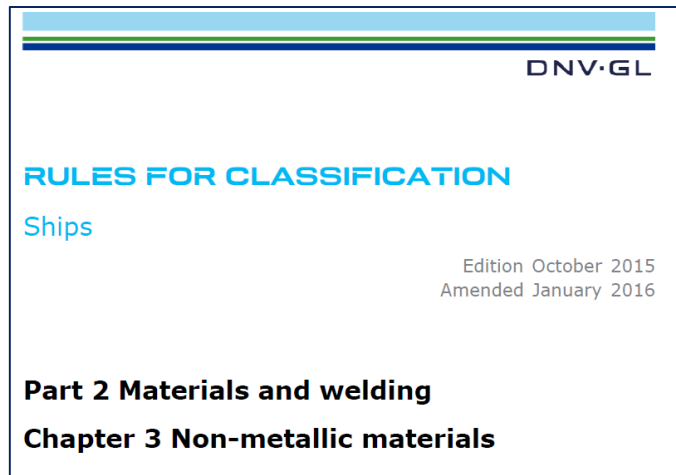
- Procesos de fabricación contaminantes y complejos
- Materias primas y fin de vida de los productos no sostenibles



Figura 3. Barco de la "Volvo Ocean Race" con casco y mástil de fibra de carbono [3]

2.3. Materiales no metálicos: composites

- Los materiales no metálicos de base polimérica reforzados con fibras, al igual que los metálicos, están aprobados por las SSCC para construcción naval (Figura 4).



Section 2 Composite materials.....	12
1 General.....	12
1.1 Scope.....	12
1.2 Application.....	12
1.3 Documentation and certification requirements.....	12
2 Glass fibre reinforcements.....	13
2.1 Chemical composition.....	13
2.2 Properties.....	13
3 Carbon fibre reinforcements.....	14
3.1 General.....	14
3.2 Properties.....	14
4 Aramid fibre reinforcements.....	16
4.1 General.....	16
4.2 Tensile and compressive strength.....	16
4.3 Laminate requirements.....	17
5 Polyester and vinyl ester resins.....	18
5.1 Resin properties.....	18
5.2 Fire retardant resin properties.....	20
5.3 Gelcoat and topcoat properties.....	21
5.4 Fire retardant gelcoat and topcoat properties.....	21
6 Epoxy Resin Systems.....	21

Figura 4. Reglamentación de DNV-GL para los materiales no metálicos [1]

2.4. Rugosidad y recubrimientos

La rugosidad del casco es la principal causa de la resistencia por fricción. Tal como se comentó en el Tema 1, dicha resistencia por fricción es la componente que más influye en la resistencia total al avance del barco a bajas velocidades.

Tipos de rugosidad:

- **Rugosidad física:** debida al propio material del casco y a los trabajos realizados sobre el mismo. Puede ser de dimensión Macro o Micro (Figura 5).

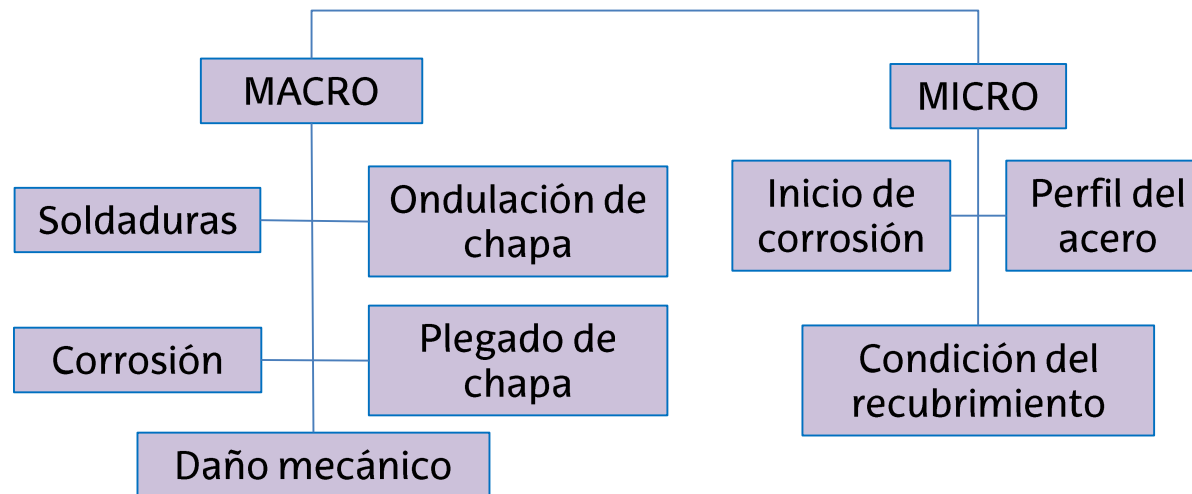


Figura 5. Rugosidad física del casco de un buque [4]

2.4. Rugosidad y recubrimientos

- **Rugosidad biológica:** debida a la flora y faunas marinas “Bio-Fouling” o *bioincrustaciones* adheridas al casco. Puede ser de tamaño Macro y/o Micro (Figuras 6).



Figura 6. Rugosidad biológica en un casco de barco [4]

Macro fouling incluye el *fouling* animal (moluscos, percebes,...) y el de flora o *weed fouling* (algas, hidras,...). Puede aumentar más del 10% la resistencia al avance del buque.

Micro o slime fouling son organismos unicelulares y bacterias adheridas al casco. Puede suponer un aumento del 1-2% en la resistencia al avance.

2.4. Rugosidad y recubrimientos

Factores que afectan a la cantidad de bio-fouling adherido al casco:

- Región geográfica
- Clima
- Velocidad del barco
- Días en servicio

Además del casco del buque, hay otras zonas de acumulación de *bio-fouling* como hélices, anclas, cadenas, rejillas,... (Figura 7).

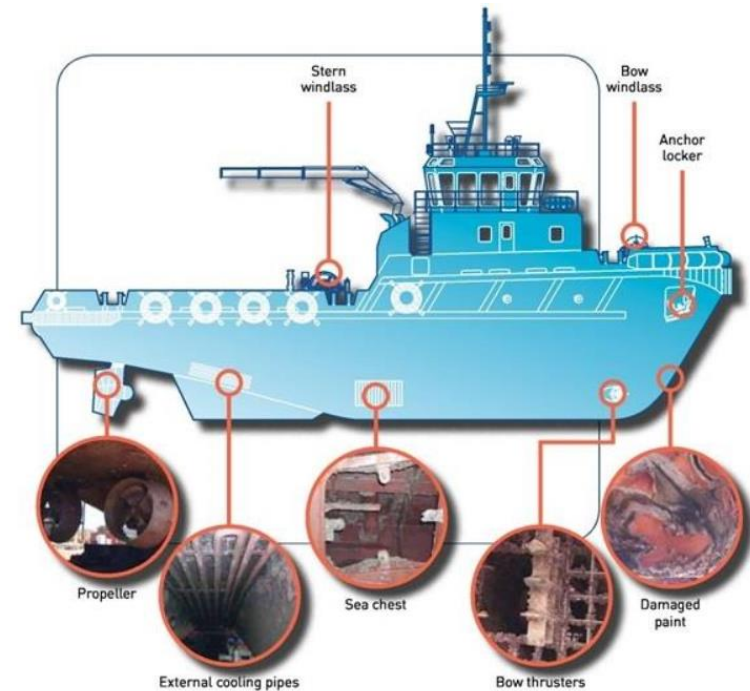


Figura 7. Zonas de acumulación de *bio-fouling* [5]

2.4. Rugosidad y recubrimientos

Efectos negativos del bio-fouling:

- Aumenta la resistencia por fricción hasta un 40%.
- Aumenta el peso y el calado del buque.
- Pérdida de velocidad y eficiencia propulsora.
- Daño al recubrimiento.
- Aumento del consumo de combustible (Figura 8). En consecuencia, los costes totales de la travesía pueden llegar a aumentar más del 77%.
- Transferencia o migración de organismos marinos.

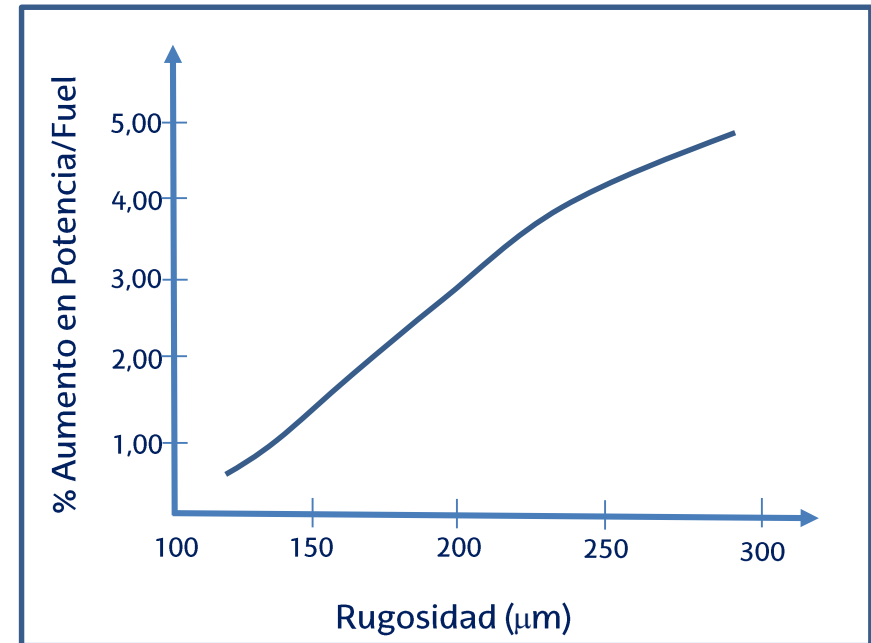


Figura 8. Relación rugosidad del casco y consumo de combustible. [4]

2.4. Rugosidad y recubrimientos

Los recubrimientos o pinturas que se utilizan en el casco de los buques tienen propiedades *anti-fouling* o *anti-incrustaciones*.

Finalidad:

- Prevenir o reducir el crecimiento del *bio-fouling*.
- Reducir el consumo de combustible.
- Evitar la penetración de los organismos a través de los recubrimientos y en consecuencia evitar el avance de la corrosión.

Reglamentación:

- La IMO (Organización Marítima Internacional) adoptó en 2001 la “AFS Convention” para regular el uso de sustancias dañinas en las pinturas *anti-fouling*.
- El uso de pinturas de TBT (tributyltin) está prohibido desde 2008.
- La certificación de la pintura antifouling en el barco es obligatoria.

2.4. Rugosidad y recubrimientos

Pinturas anti-fouling.

Antes de proceder al pintado del casco se requiere una exhaustiva limpieza, que se suele llevar a cabo con chorro de agua a presión.

Tipos de pinturas:

- *CDP Controlled Depletion Polymer*: pintura biocida con alto contenido en COVs (Compuestos Orgánicos Volátiles).
- *SPC Self-Polishing Copolymer*: espesor capa ~10-15 m, buenas propiedades mecánicas.
- *Hybrid SPC*: biocida, alto VOC, espesor de capa ~25-30 m.
- *Foul-Release paints*: sin biocida. Base silicona, bajo VOC.

2.4. Rugosidad y recubrimientos

Conclusiones

- La rugosidad del casco influye directamente en la resistencia por fricción y en consecuencia, en la resistencia al avance del buque.
- El *bio-fouling* o rugosidad biológica, incrementa notablemente la rugosidad del casco y por tanto, el consumo de combustible y los gastos de la travesía.
- La utilización adecuada de pinturas *anti-fouling* es fundamental para evitar la adherencia de organismos vivos y sus consecuencias.

2.5. Referencias bibliográficas

- [1] 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))
- [2] US NAVY. [Consulta: 24/03/2018]. Dominio público. Disponible en: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:USNS_Spearhead_\(JHSV-1\)_-1.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:USNS_Spearhead_(JHSV-1)_-1.jpg)
- [3] MARTIN HESKETH. [Consulta: 11/03/2019]. Licencia CC BY 2.0. Disponible en: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Fastnet_weekend_2017-125_\(35617064713\).jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Fastnet_weekend_2017-125_(35617064713).jpg)
- [4] Elaboración propia. LOPEZ-ARRAIZA, A. UPV/EHU (2019)
- [5] DEPARTMENT OF AGRICULTURE AND WATER RESOURCES, AUSTRALIA. [Consulta: 12/05/2018]. Licencia: CC BY 4.0. Disponible en: <http://www.marinepests.gov.au/Documents/non-trading-vessel-biofouling-guidelines.pdf>



HIDRODINÁMICA, RESISTENCIA Y PROPULSIÓN MARINA

Equipo docente:

Dr. David Boullosa Falces

Dr. Alberto López Arraiza