



Monografía 15

Consumo de energía y emisiones asociadas al transporte por barco

*Energy consumption and emissions associated transportation
by ship*

Grupo de investigación del transporte marítimo de la Fundación
de la Universidad de Oviedo

Consumo de energía y emisiones asociadas al transporte por barco

Energy consumption and emission associated with transportation by ship

Grupo de investigación del transporte marítimo de la Fundación Universidad de Oviedo

<http://www.enertrans.es>

© Grupo de investigación del transporte marítimo de la Fundación Universidad de Oviedo

© De esta edición, Grupo Gestor del Proyecto EnerTrans, 2008

ISBN: 978-84-89649-48-4

Depósito Legal: M-13504-2009

Esta monografía ha sido redactada por sus autores en el marco del Proyecto de Investigación “*Desarrollo de un modelo de cálculo y predicción de los consumos energéticos y emisión del sistema de transporte que permita valorar la sensibilidad de los consumos a las decisiones de inversión en infraestructura y de política de transporte*”(EnerTrans).

El proyecto **EnerTrans** ha sido desarrollado por los siguientes organismos: Fundación de los Ferrocarriles Españoles, Universidad Pontificia Comillas de Madrid, Universidad Politécnica de Madrid-INSIA; Universidad de Castilla-La Mancha; ALSA; Fundación General de la Universidad Autónoma de Madrid; Fundación “Agustín de Betancourt”; Fundación Universidad de Oviedo.

El proyecto **EnerTrans** contó con una ayuda económica del Centro de Experimentación de Obras Públicas (CEDEX) dentro de su primer programa de ayudas (2006).

El proyecto **EnerTrans** estuvo dirigido por su investigador principal Alberto García Álvarez con el apoyo de un “Comité Científico” del que formaron parte las siguientes personas: Alberto García Álvarez (Fundación de los Ferrocarriles Españoles); Ignacio Pérez Arriaga y Eduardo Pilo de la Fuente (Universidad Pontificia Comillas de Madrid); Jose María López Martínez (Universidad Politécnica de Madrid-INSIA); Alberto Cillero Hernández y Carlos Acha Ledesma (ALSA); Timoteo Martínez Aguado y Aurora Ruiz Rúa (Universidad de Castilla-La Mancha); José Miguel Rodríguez Antón y Luis Rubio Andrada (Fundación General de la Universidad Autónoma de Madrid); Manuel Cegarra Plané (Fundación “Agustín de Betancourt”) y Rosa Isabel Aza y José Franciso Baños Pino (Fundación Universidad de Oviedo). El coordinador del proyecto por parte del CEDEX fue Antonio Sánchez Trujillano.

The aim of the EnerTrans research project is to obtain an accurate model to find out the energy consumption (and associated emissions) of the Spanish transport system, according to the important variables on which it depends, and thereby avoid the need to extrapolate historical data series calculated with various methodologies in the European sphere for each mode of transport. The participants include various universities and foundations linked to different modes of transport: Fundación de los Ferrocarriles Españoles, Universidad Politécnica de Madrid-INSIA, Universidad de Castilla-La Mancha, ALSA, Universidad Pontificia de Comillas de Madrid, Fundación General de la Universidad Autónoma de Madrid, Fundación Agustín de Betancourt and Fundación Universidad de Oviedo.

The project has involved constructing a model which can be used to explain and predict energy consumption (and associated emissions) in the Spanish transport system, using a coherent methodology for all modes, considering all energy utilizations (construction, operation, maintenance, movement) and the whole energy cycle from source to final use, thus allowing the effects of the results of infrastructure or transport policy to be anticipated and evaluated. As a secondary objective, the project will permit assessment of the impact of any type of technical or operational measure aimed at reducing this energy consumption, which will be useful for transport operators.

It includes innovations such as taking into consideration different routes between the same points for each one of the different modes of transport, or separating consumption from load or space utilization coefficients.

The published documents corresponding to the EnerTrans project fall into three categories: Monographs, Articles and Technical notes.

CEDEX
CENTRO DE ESTUDIOS
Y EXPERIMENTACIÓN
DE OBRAS PÚBLICAS



**Con la subvención del Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas
(Ministerio de Fomento), número de proyecto PT-2006-006-01IASM.**

ÍNDICE

ÍNDICE	3
1. EL TRANSPORTE MARÍTIMO	5
1.1.Introducción	5
1.2.Tráfico marítimo y las características de la flota	7
2. LA NAVEGACIÓN MARÍTIMA	26
2.1.Introducción	26
2.2.El ciclo operativo del buque	27
3. EL BUQUE	29
3.1.Introducción	29
3.2.Tipos de buques.....	30
3.3.El proceso de definición del buque	30
3.4.La resistencia del buque en su movimiento	32
3.4.1 Resistencia hidrodinámica al avance	33
3.4.2 Resistencia aerodinámica al avance	38
3.4.3 Resistencias accidentales al avance	39
3.4.4 Proceso de cálculo de la resistencia hidrodinámica al avance	39
3.5.La propulsión	48
3.5.1 El motor propulsor.....	49
3.5.2 La línea de ejes y la hélice.....	51
3.5.3 Otros equipos consumidores de combustible.....	52
4. TIPOS DE COMBUSTIBLES	53
5. EL PROCESO DE PARAMETRIZACIÓN DEL CONSUMO POR UNIDAD DE TRANSPORTE	
54	
5.1.Introducción	54
5.2.Relación entre potencia instalada capacidad del buque (GT).....	55
5.3.Velocidad de crucero.....	57
5.4.Potencia instalada de motores	58
5.5.Los ciclos de vida en tiempo y en potencia propulsora y de motores auxiliares a considerar en cada etapa	61
5.6.Consumos específicos, tanto de los motores propulsores como de los motores auxiliares, a considerar.....	63
5.7.Porcentaje de capacidad utilizada.....	65
5.8.Otros consumos a considerar	66
ANEXO	67

Anexo A. Glosario resumido del buque.....	67
BIBLIOGRAFÍA.....	71
LISTA DE TABLAS Y DE FIGURAS	74

1. EL TRANSPORTE MARÍTIMO

1.1. Introducción

El transporte marítimo opera en un mercado muy competitivo y a nivel mundial, estando condicionado por la evolución de la economía internacional, por el volumen del comercio mundial y por los ciclos de la industria de construcción naval.

Los indicadores de demanda efectiva habitualmente utilizados y de los que se dispone estadísticas, son las toneladas por milla transportada de tres tipos de mercancías: graneles líquidos, entre los que el tráfico más importante es el correspondiente al petróleo y sus derivados; graneles sólidos en los que destacan el mineral de hierro, el carbón y el grano; y otras mercancías entre las que se incluyen container, ro-ro, otra carga general, coches, etc.

En cuanto a la oferta, el indicador principal es el correspondiente a la flota mundial (aunque existan otros como desguaces de buques o flota amarrada) desglosada en tres grandes tipos: petroleros, graneles y otros (carga general principalmente). Este indicador se mide en toneladas de peso muerto (TPM).

En el año 2006 el crecimiento del comercio mundial de mercancías experimentó un aumento del 8%, doble del crecimiento de la economía mundial, efectos de la globalización y de los procesos de integración económica. El fuerte crecimiento del comercio de mercancías es debido, en parte, al comportamiento de China e India. Por ejemplo, las exportaciones e importaciones de China crecieron a tasas próximas al 20% anual en los últimos 3 años.

Por lo que se refiere al transporte marítimo de mercancías en 2006, el petróleo y sus derivados supusieron casi el 40% del tráfico mundial (en t/milla), y la suma de mineral de hierro, carbón y grano representó el 30%.

La flota en ese mismo año ha experimentado un crecimiento del 8,6%, contribuyendo a una disminución de la edad media de los buques hasta los 12 años, situándose en 9,1 años la de portacontenedores, 10 la de buques tanque, 12,9 la correspondiente a graneleros y 17,4 la de los buques de carga general.

El fuerte aumento en los últimos años de la demanda de transporte marítimo (del 5,5% en 2006) y el tiempo necesario para la construcción de buques había ocasionado un envejecimiento reseñable de la flota.

En transporte marítimo se denomina “flete” al precio. Los agentes que intervienen en el mismo son el “armador” o dueño del buque; el “fletador”, que es la persona o entidad que ha contratado el transporte de la carga y el flete; y, por último, el “consignatario”, que es el agente del armador que se encarga, en su nombre, de realizar las gestiones en tierra necesarias para el buque y la carga, tales como contratos de avituallamiento, gestiones en el puerto, gestiones del personal de tripulación, etc.

Se pueden distinguir dos tipos principales de explotación del buque:

- En “línea regular”, en la que el buque realiza un recorrido prefijado con una cadencia de tiempo predefinida y carga y descarga en cada puerto. Este tipo representa aproximadamente el 38 % del transporte mundial.

- En “tramp”, cuando el buque realiza los recorridos en función de las cargas contratadas. Cerca del 62 % del transporte mundial se realiza en esta modalidad. Dentro de los tipos de contratos de carga, en modo “tramp”, hay que distinguir entre los siguientes:
- El “fletamento por viaje”, que es un contrato cuyo objeto es el transporte de mercancías y en virtud del cual una parte (fletante) pone a disposición de otra (fletador) la totalidad o una parte de la capacidad de carga de un barco para un determinado viaje, a cambio de un flete.
- Contrato de “fletamento por tiempo” o “time-charter”, que puede definirse como aquel contrato en virtud del cual una persona, “fletante”, pone a disposición de otra, “fletador”, y a cambio de un precio, un buque para la realización de aquellos viajes que esta última ordene durante un cierto período de tiempo.
- Contrato de “fletamento a casco desnudo” o “bare boat charter”, que puede definirse como aquel contrato en virtud del cual una persona, fletante, pone a disposición de otra, fletador, y a cambio de un precio o flete, un buque siendo por cuenta del fletador la tripulación y otros gastos como consumos, puerto, etc. El fletante conserva la propiedad del buque pero el manejo y sus gastos derivados son por cuenta del fletador (Puede ser usada para buques en línea regular).

Es muy frecuente que se decida construir un buque debido a que la empresa armadora ha contratado un transporte de mercancías por un periodo largo y que incluso este contrato sirva de garantía financiera para la construcción del mismo. En estos casos, su diseño se realiza en función de la carga a transportar y de las características de los puertos del trayecto. Esto mismo ocurre cuando se decide construir un buque para cubrir uno o varios trayectos predeterminados.

Asimismo, y dentro del negocio del transporte marítimo hay que resaltar la importancia que tienen los puertos de origen y destino de la carga, ya que en función de sus condicionamientos, el buque deberá arribar y salir de puerto con unos calados determinados o realizar la carga y descarga con los medios de a bordo o con los medios del puerto.

Según los puertos de origen y destino de la carga se puede distinguir entre “navegación de cabotaje” y “navegación oceánica”. En la “navegación de cabotaje” el puerto de origen de la carga y el de destino son del mismo país, realizándose generalmente la navegación sin perder la costa de vista. Por el contrario, en la “navegación oceánica” el puerto origen de la carga y el de destino son de diferentes países.

Por otra parte, se denomina “navegación interior” a la realizada por ríos, canales o lagos. En España no tiene ningún interés por tener solamente 50 kilómetros de vías navegables desde el punto de vista de la Marina Mercante (río Guadalquivir hasta el puerto de Sevilla).

1.2. Tráfico marítimo y las características de la flota

Como se ha expuesto en el apartado anterior, el proceso de crecimiento y globalización de la economía mundial en los últimos años ha conllevado un incremento del tráfico marítimo, tal y como refleja la Tabla 1. Esto ha provocado un aumento de la flota, que se puede observar en la Tabla 2.

Tabla 1. Evolución mundial del transporte marítimo

TRÁFICO MUNDIAL POR VÍA MARÍTIMA											
	CRUDO Y PRODUCTOS PETRÓLEO		PRINCIPALES GRANELES Carbón, M.Hierro, Grano		OTRAS MERCANCÍAS		TOTAL TRÁFICO MARÍTIMO		DISTANCIAS MEDIAS		
	tm	tm x milla	tm	tm x milla	tm	tm x milla	tm	tm x milla	Petróleo millas	G.Sólidos millas	Otros millas
1970	1.240	6.487	437	2.049	804	2.118	2.481	10.654	5.231	4.689	2.634
1975	1.496	9.730	556	2.826	995	2.810	3.047	15.366	6.504	5.083	2.824
1980	1.596	9.239	700	3.652	1.310	3.720	3.606	16.611	5.789	5.217	2.840
1985	1.159	5.157	774	4.179	1.360	3.750	3.293	13.086	4.450	5.399	2.757
1990	1.526	7.821	881	4.900	1.570	4.400	3.977	17.121	5.125	5.562	2.803
1995	1.796	9.170	1.021	5.623	1.895	5.470	4.712	20.263	5.106	5.507	2.887
1996	1.870	9.535	1.019	5.570	2.017	5.863	4.906	20.968	5.099	5.466	2.907
1997	1.929	9.880	1.093	5.945	2.146	6.293	5.168	22.118	5.122	5.439	2.932
1998	1.937	9.859	1.086	5.789	2.149	6.370	5.172	22.018	5.090	5.331	2.964
1999	1.965	10.035	1.113	5.866	2.218	6.632	5.296	22.533	5.107	5.270	2.990
2000	2.027	10.265	1.207	6.298	2.361	7.130	5.595	23.693	5.064	5.218	3.020
2001	2.017	10.179	1.251	6.449	2.385	7.263	5.653	23.891	5.047	5.155	3.045
2002	2.002	9.898	1.299	6.521	2.519	7.753	5.820	24.172	4.944	5.020	3.078
2003	2.113	10.580	1.383	7.118	2.637	8.156	6.133	25.854	5.007	5.147	3.093
2004	2.215	11.100	1.489	7.754	2.789	8.720	6.493	27.574	5.011	5.208	3.127
2005	2.279	11.749	1.672	8.717	2.769	9.132	6.720	29.598	5.155	5.214	3.298
2006	2.368	12.130	1.813	9.554	3.014	9.763	7.195	31.447	5.122	5.270	3.239
2007	2.423	12.440	1.929	10.397	3.220	10.095	7.572	32.932	5.134	5.390	3.135
07/06 (%)	2,3	2,6	6,4	8,8	6,8	3,4	5,2	4,7	0,2	2,3	-3,2

Fuente: ANAVE

Tabla 2. Tonelaje mundial por tipos de buques

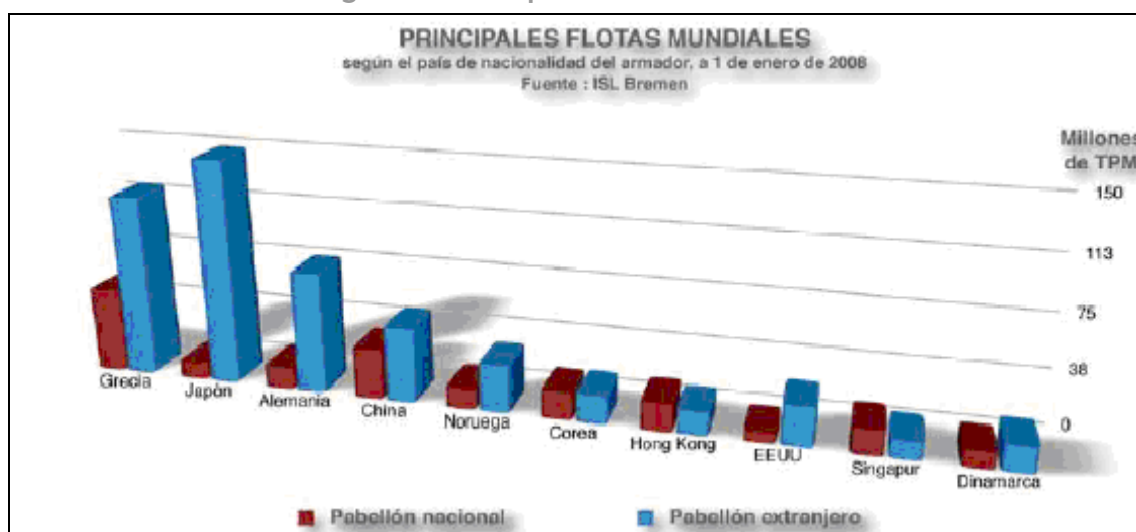
POR TIPOS DE BUQUES																
	1980		1985		1990		1995		2000		2005		2007		2008	
	NB	TRB	NB	TRB	NB	TRB	NB	GT	NB	GT	NB	GT	NB	GT	NB	GT
Petroleros	7,1	175,0	6,7	138,4	6,0	134,8	6,6	144,6	7,1	154,1	6,9	165,3	7,2	182,4	7,1	190,6
Gaseros	0,6	7,4	0,8	9,9	0,8	10,6	0,9	14,0	1,1	17,9	1,2	24,7	1,3	30,2	1,4	33,8
Combinados	0,4	26,2	0,4	23,7	0,3	19,7	0,2	15,2	0,2	9,6	0,2	5,6	0,1	3,3	0,1	2,5
Graneleros	4,3	83,3	5,0	110,3	4,8	113,4	5,7	129,7	6,1	140,4	6,5	175,8	7,1	201,5	7,4	215,1
Carga General	22,7	81,3	21,7	80,1	19,7	72,7	18,8	66,2	18,8	66,6	17,7	59,6	18,3	62,0	18,7	64,3
Portacontenedores	0,7	11,3	1,0	18,4	1,2	23,9	1,6	35,1	2,5	55,3	3,2	85,8	3,9	110,7	4,3	124,9
Otros Mercantes ⁽¹⁾	6,2	15,4	7,6	18,4	6,8	23,5	8,6	46,2	10,1	63,5	11,4	84,8	12,4	97,8	12,7	106,1
TOTAL MERCANTES	42,0	390,0	43,2	399,2	40,2	398,6	42,5	451,0	48,0	515,4	47,1	601,7	50,2	688,0	51,5	737,3
Otros no mercantes	31,7	16,3	33,2	17,0	38,0	24,9	38,0	25,0	40,8	28,2	39,9	31,6	44,7	33,9	48,0	37,6
TOTAL	73,7	410,2	76,4	416,2	78,2	423,5	80,5	476,0	88,8	543,6	87,0	633,3	94,9	721,9	97,5	774,9

(1) Incluye químicos, otros buques tanque, buques de pasaje, ferries, ro-ros, transporte vehículos, etc.
 Datos a 1 de enero de cada año, salvo 1980, 1985 y 1990 (datos a 1 de julio)
 Fuente: Lloyd's Register

NB: Miles de buques
 TRB: Millones de TRB
 GT: Millones de GT

Fuente: Lloyds Register

Figura 1. Principales flotas mundiales



Fuente: ANAVE

Esta situación ha derivado un alza en los fletes que lleva como consecuencia la práctica desaparición de flota inactiva y la situación de una importante cartera de pedidos de nuevos buques, que a diciembre de 2007 se cifraba en 501,5 millones de TPM, cuando la media de los últimos 5 años (2002-2006) fue de 209,5 millones de TPM y a finales del año 2006 de 304,3 millones de TPM. Esta cartera de pedidos supone una relación con la flota existente entre el 56,6 % para graneleros, el 40 % para petroleros y el 60 % para portacontenedores.

La regulación del sector eléctrico en España establece una diferenciación entre unas u otras tecnologías de generación para fomentar el desarrollo de nuevas tecnologías más sostenibles y respetuosas con el medio ambiente.

Debido al largo periodo de construcción de un buque y a la saturación de trabajo de los astilleros, esta cartera de pedidos se incorporará al transporte marítimo durante los próximos 4 años.

Tabla 3. Tamaño de la flota mundial por tipos de buques al comienzo de cada año

Principal types	2005	2006	2007	Percentage change 2007/2006
Oil tankers	336 156	354 219	382 975	8.1
	37.5	36.9	36.7	-0.2
Bulk carriers	320 584	345 924	367 542	6.2
	35.8	36.0	35.3	-0.7
Ore/bulk/oil	9 695	7 817	5 614	-28.2
	1.1	0.8	0.5	-0.3
Ore/bulk	310 889	338 107	361 928	7.0
	34.7	35.2	34.7	-0.5
General cargo ships	92 048	96 218	100 934	4.9
	10.3	10.0	9.7	-0.4
Containerships	98 064	111 095	128 321	15.5
	10.9	11.6	12.3	0.7
Other types of ships	48 991	52 508	62 554	19.1
	5.5	5.5	6.0	0.5
Liquefied gas carriers	22 546	24 226	26 915	11.1
	2.5	2.5	2.6	0.1
Chemical tankers	8 290	8 919	8 823	-1.1
	0.9	0.9	0.8	-0.1
Miscellaneous tankers	1 001	1 261	1 168	-7.4
	0.1	0.1	0.1	0.0
Ferries and passenger ships	5 589	5 649	5 754	1.9
	0.6	0.6	0.6	0.0
Other	11 565	12 453	19 894	59.8
	1.3	1.1	1.9	0.8
World total	895 843	959 964	1 042 328	8.6
	100.0	100.0	100.0	

Fuente: Review of Maritime Transport. United Nations

Tabla 4. Distribución de la flota mundial, por tipo de buque y edad en % de DWT, a comienzos del año 2007

Country grouping	Type of vessel	0-4 years	5-9 years	10-14 years	15-19 years	20 years and over	Average age (years) 2007 ^b	Average age (years) 2006 ^b
World total	All ships	25.1	21.0	16.7	10.9	26.2	12.0	12.2
	Tankers	30.3	25.0	16.4	14.6	13.6	10.0	10.0
	Bulk carriers	21.6	19.0	19.1	9.0	31.3	12.9	13.1
	General cargo	10.1	12.6	10.9	9.6	56.8	17.4	17.5
	Containerships	34.7	25.7	18.6	8.0	13.0	9.1	9.4
	All others	19.6	14.4	10.7	9.1	46.3	15.1	15.3
Seven major open-registry countries^c	All ships	27.6	21.3	16.7	10.5	24.0	11.5	
	Tankers	31.1	24.9	16.6	15.7	11.8	9.8	
	Bulk carriers	24.7	19.7	18.4	7.8	29.5	12.3	
	General cargo	11.5	14.3	13.2	9.6	51.3	16.5	
	Containerships	39.0	23.5	16.0	7.9	13.5	8.9	
	All others	22.4	15.0	9.8	5.9	46.9	14.7	
Developed countries	All ships	28.4	29.9	17.6	7.8	16.3	9.9	
	Tankers	36.5	35.4	14.3	6.7	7.1	7.7	
	Bulk carriers	19.6	25.5	23.9	6.1	24.9	11.9	
	General cargo	14.9	23.9	15.8	12.8	32.6	13.7	
	Containerships	30.6	31.6	19.1	8.8	9.9	8.9	
	All others	22.4	19.9	15.0	10.7	31.9	13.0	
Economies in transition	All ships	20.1	6.2	11.5	10.3	51.8	16.2	
	Tankers	34.4	7.4	15.5	7.1	35.5	12.6	
	Bulk carriers	9.1	7.2	10.9	13.1	59.7	18.2	
	General cargo	6.7	4.3	5.0	10.1	73.8	20.1	
	Containerships	47.0	3.3	16.1	8.2	25.4	10.5	
	All others	32.0	7.0	14.8	10.0	36.3	13.1	
Developing countries	All ships	24.6	18.9	17.1	11.8	27.7	12.4	
	Tankers	28.0	21.0	17.7	17.5	15.8	10.8	
	Bulk carriers	23.1	18.3	18.6	9.6	30.5	12.8	
	General cargo	9.6	10.9	10.7	8.5	60.4	17.9	
	Containerships	35.9	24.4	19.3	7.2	13.1	9.1	
	All others	17.6	12.9	10.5	7.8	51.2	15.9	

Fuente: Review of Maritime Transport. United Nations

Tabla 5. Evolución de la flota mercante mundial por país de bandera

FLOTA MERCANTE MUNDIAL											
POR PAÍS DE BANDERA											
	1975	1980	1985	1990	1995	2000	2005	2007	2008	Variación GT (%)	
										08/07	08/95
Panamá	13.352	23.327	39.544	38.410	63.208	103.049	129.330	152.640	165.353	8,3	161,8
Liberia	65.638	80.167	57.979	54.231	57.172	52.932	52.527	67.152	75.271	12,1	31,7
Bahamas	179	78	3.664	10.464	22.620	20.952	33.707	30.020	41.207	6,4	82,5
Hong Kong	411	1.709	6.842	6.533	7.673	7.944	26.025	32.663	35.788	9,6	366,4
Grecia	22.451	39.377	30.695	20.364	30.061	24.756	31.971	31.983	35.584	11,3	18,4
Islas Marshall ⁽¹⁾	-	-	-	-	2.130	6.656	21.876	32.185	35.131	9,2	1549,3
Singapur	3.853	7.520	6.398	7.815	11.720	21.500	25.814	31.535	34.966	10,9	198,3
Malta	48	129	1.843	4.473	15.424	28.107	22.220	24.721	27.532	11,4	78,5
R.P. China	2.744	6.556	10.188	13.303	15.089	15.456	19.381	22.382	23.643	5,6	56,7
Reino Unido	32.231	29.105	13.942	7.778	5.887	8.305	18.238	20.933	22.197	6,0	278,3
Chipre	3.217	2.079	8.179	18.304	23.224	23.344	21.147	18.901	18.797	-0,5	-19,1
Noruega	25.847	21.530	14.774	22.684	21.753	22.382	17.584	16.759	16.534	-1,3	-24,0
R.F. Alemania	9.592	9.384	7.176	5.324	5.484	6.329	8.048	11.163	12.722	14,0	132,0
Italia	9.931	9.698	8.567	7.482	6.371	7.750	10.653	12.283	12.672	3,2	98,9
Corea del Sur	1.388	4.281	6.664	7.213	6.420	5.119	7.225	9.848	12.470	26,6	94,2
Japón	38.042	38.194	38.184	25.673	20.771	15.641	12.103	11.723	11.738	0,1	-43,5
EE.UU.	13.674	17.177	17.907	19.571	12.152	10.276	8.616	8.968	8.964	0,0	-26,2
Dinamarca	4.354	5.211	4.767	4.900	5.518	5.567	7.311	8.354	8.840	5,8	60,2
OTROS UE											
Holanda	5.418	5.430	3.650	3.069	3.841	5.175	6.384	6.371	6.512	2,2	69,5
Francia	10.389	11.557	7.885	3.525	4.069	3.067	4.615	5.741	5.899	2,8	45,0
Suecia	7.418	4.186	3.006	2.667	2.692	1.846	3.561	3.771	3.934	4,3	46,1
Bélgica	1.249	1.697	2.251	1.769	68	8	3.829	4.143	3.913	-5,5	5654,4
ESPAÑA	4.936	7.178	5.214	3.143	933	1.547	2.392	2.383	2.434	2,1	160,9
Finlandia	1.958	2.472	1.916	1.000	1.319	1.566	1.334	1.328	1.475	11,1	11,8
Portugal	1.055	1.208	1.290	716	774	1.051	1.217	1.101	948	-13,8	22,5
Bulgaria	-	-	1.322	1.360	1.112	957	875	857	888	3,7	-20,1
Luxemburgo	-	-	-	2	1.135	1.288	555	929	897	10,8	-38,8
Estonia	-	-	-	-	488	391	304	386	358	-7,1	-26,6
Lituania	-	-	-	-	385	335	352	366	344	-6,2	-10,6
Eslovaquia	-	-	-	-	6	15	126	232	232	0,3	3708,7
Total UE (15)	111.253	123.780	92.202	63.395	69.526	69.452	101.430	111.193	117.995	6,1	69,7
Total UE (27)	117.161	129.468	105.457	89.677	112.509	122.840	145.880	156.163	166.555	6,7	48,1
Total Mundial	325.622	399.918	399.241	398.842	451.057	515.394	601.701	667.981	737.298	7,2	63,5
UE27/Mundo (%)	35,0	32,4	26,4	22,5	24,9	23,8	24,2	22,7	22,6		

Datos a 31 de julio, salvo 1995, 2000, 2005, 2007 y 2008 (a 1 de enero)
⁽¹⁾ Hasta 1990 inclusive, estaba englobado en EE.UU.
 Datos en miles de TRB, miles de GT a partir de 1995
 Fuente: Lloyd's Register - Statistical Tables

Fuente: Lloyd's Register

La capacidad de la flota de la Unión Europea (27 países) alcanzaba a finales de 2006 los 108 millones de registro bruto (GT). De estos el 29% correspondía a tanques y los portacontenedores representaban el 25% del total (Tabla 6).

Tabla 6. Flota de la Unión Europea por países

	Total fleet controlled		National flag		Foreign flag		Share of foreign flag in total fleet	
	Number	mio dwt	Number	mio dwt	Number	mio dwt	Number	mio dwt
EU25	9 573	314.14	3 195	102.31	6 378	211.83		
BE	131	7.42	32	3.27	99	4.15	75.6	55.9
CZ								
DK*	541	16.33	242	8.33	299	8.01	55.3	49.0
DE	2 610	57.45	306	8.37	2 304	49.08	88.3	85.4
EE	85	0.25	35	0.10	50	0.15	58.8	59.3
EL	2 999	160.56	738	51.60	2 261	108.96	75.4	67.9
ES	220	4.14	139	1.08	81	3.06	36.8	73.9
FR	212	6.74	108	2.36	104	4.38	49.1	65.0
IE	42	0.20	25	0.14	17	0.06	40.5	28.9
IT	591	12.72	475	9.22	116	3.50	19.6	27.5
CY	76	3.02	22	0.49	54	2.54	71.1	83.9
LV	96	1.54	14	0.31	82	1.23	85.4	79.9
LT	50	0.34	43	0.29	7	0.05	14.0	15.4
LU								
HU								
MT	12	0.04	10	0.03	2	0.01	16.7	13.5
NL	588	6.00	439	3.73	149	2.27	25.3	37.9
AT	27	0.99	6	0.04	21	0.95	77.8	96.2
PL	100	1.75	4	0.02	96	1.74	96.0	99.1
PT	36	0.82	24	0.27	12	0.55	33.3	66.7
SI	23	0.58	-	-	23	0.58	100.0	100.0
SK								
FI	117	1.59	76	0.66	41	0.93	35.0	58.3
SE	306	6.01	146	1.43	160	4.58	52.3	76.2
UK	711	25.64	311	10.58	400	15.07	15.1	58.8
BG	105	1.64	62	1.09	43	0.55	41.0	33.7
RO	63	1.07	26	0.32	37	0.75	58.7	70.1
HR	97	2.38	65	1.30	32	1.08	33.0	45.2
MK								
TR	657	9.15	420	6.43	237	2.73	36.1	29.8
IS	30	0.24	2	0.00	28	0.24	93.3	99.2
NO	1 234	44.00	530	14.78	704	29.22	57.1	66.4
CH	298	9.47	12	0.62	286	8.85	96.0	93.4

Fuente: Eurostat

Tabla 7. Número de buques y peso bruto (GT) de los buques en los principales puertos de la Unión Europea en el 2006 por tipo de buque

Type of vessel	BELGIUM		BULGARIA		DENMARK		GERMANY		ESTONIA	
	Vessels	GT (in 1000)	Vessels	GT (in 1000)	Vessels	GT (in 1000)	Vessels	GT (in 1000)	Vessels	GT (in 1000)
LIQUID BULK	5 042	45 972	621	8 974	2 036	10 607	3 091	42 269	243	2 086
DRY BULK	19	886	1 271	8 060	2 602	13 260	3 224	33 935	469	1 349
CONTAINER	4 666	151 606	433	3 368	1 666	15 622	12 740	260 542	441	2 651
CARGO, SPECIALIZED	10 261	194 493	1	1	3 852	5 974	762	24 652	-	-
CARGO, NON-SPECIALIZED	7 710	90 431	1 362	4 981	350 443	1 031 152	72 380	643 841	455	6 440
DRY CARGO BARGE	31	581	-	-	471	1 995	42	196	24	47
PASSENGER	70	198	74	745	8 682	2 101	26 485	15 673	8 334	102 092
CRUISE PASSENGER ONLY	70	2 769	-	-	484	22 955	228	8 697	299	12 143
OFFSHORE ACTIVITIES ⁽¹⁾	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
OTHERS ⁽²⁾	4 347	13 271	-	-	-	-	636	5 586	-	-
TOTAL	52 236	586 430	3 762	26 130	370 636	1 103 662	119 608	1 025 290	10 265	126 902

Type of vessel	IRELAND		GREECE		SPAIN		FRANCE		ITALY	
	Vessels	GT (in 1000)	Vessels	GT (in 1000)	Vessels	GT (in 1000)	Vessels	GT (in 1000)	Vessels	GT (in 1000)
LIQUID BULK	1 916	11 704	10 887	48 348	17 811	314 653	9 641	153 209	17 420	219 587
DRY BULK	995	8 350	6 262	21 671	7 643	103 605	3 693	49 364	4 187	74 034
CONTAINER	2 658	13 618	2 400	41 265	27 861	306 291	5 004	157 161	9 553	252 658
CARGO, SPECIALIZED	306	7 624	9 435	33 913	2 074	29 285	1 349	28 236	2 438	59 328
CARGO, NON-SPECIALIZED	7 054	129 714	9 018	33 411	38 267	359 741	33 262	667 190	324 211	1 451 623
DRY CARGO BARGE	-	-	4 790	5 118	-	-	110	34	105	122
PASSENGER	6	162	451 935	724 284	22 495	298 110	879	9 511	114 929	37 907
CRUISE PASSENGER ONLY	105	3 050	-	-	229	8 134	615	20 970	3 468	157 908
OFFSHORE ACTIVITIES ⁽¹⁾	-	-	-	-	1	0	8	26	369	265
OTHERS ⁽²⁾	30	89	129	87	7 014	28 101	9 835	8 112	59	28
TOTAL	13 078	174 405	434 856	808 696	123 395	1 446 921	64 396	1 083 815	486 729	2 253 457

Type of vessel	CYPRUS		LATVIA		LITHUANIA		MALTA		NETHERLANDS	
	Vessels	GT (in 1000)	Vessels	GT (in 1000)	Vessels	GT (in 1000)	Vessels	GT (in 1000)	Vessels	GT (in 1000)
LIQUID BULK	1 076	8 336	309	3 375	144	2 600	143	2 281	11 095	164 403
DRY BULK	118	1 316	675	2 370	99	1 059	600	4 277	2 421	97 304
CONTAINER	798	11 400	384	2 652	584	3 388	2 213	69 600	6 626	195 131
CARGO, SPECIALIZED	649	10 859	4	6	18	53	30	276	145	1 941
CARGO, NON-SPECIALIZED	1 531	6 812	7	9	1 774	21 120	279	5 834	24 544	251 258
DRY CARGO BARGE	1	0	2	4	54	126	-	-	-	-
PASSENGER	421	9 756	940	15 727	-	-	-	-	-	-
CRUISE PASSENGER ONLY	-	-	-	-	48	1 040	-	-	98	4 531
OFFSHORE ACTIVITIES ⁽¹⁾	-	-	-	-	-	-	-	-	2 368	5 481
OTHERS ⁽²⁾	720	2 133	22	55	26	51	-	-	2 189	6 258
TOTAL	5 311	56 613	3 343	24 598	2 747	29 485	3 265	102 268	49 476	726 295

Fuente: Eurostat

El total de toneladas transportadas en 2006 fue de 3.717,1 millones, de los cuales se destacan los graneles líquidos, con un peso del 41%, y los graneles sólidos con un 26% (Tabla 8).

Tabla 8. Peso bruto de la mercancía movida por la Unión Europea por país
(en millones de toneladas)

	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006			Growth rate 2005-2006 (%)
	Total	Total	Total	Total	Total	Total	Total	Total	Total	Inwards	Outwards	Total	
BE	161.6	171.0	165.6	179.4	174.2	173.8	181.1	187.9	206.5	125.5	93.5	218.9	+6.0%
BG	:	:	:	:	20.2	20.4	21.4	23.1	24.8	18.3	11.3	27.5	+10.8%
DK	124.0	106.0	97.2	96.6	94.0	94.3	104.0	100.4	99.7	59.7	48.0	107.7	+8.0%
DE	213.3	217.4	221.6	242.6	246.1	246.4	264.8	271.9	284.9	182.2	120.5	302.8	+6.3%
EE	:	:	:	:	40.4	44.7	47.0	44.8	48.5	6.8	43.2	50.0	+7.4%
IE	38.3	40.0	42.9	45.3	45.8	44.9	48.2	47.7	52.1	38.6	14.8	53.3	+2.3%
EL	101.3	110.6	112.5	127.7	122.2	147.7	162.6	167.9	151.3	94.3	66.1	159.4	+5.4%
ES	270.6	280.3	295.7	234.9	315.1	326.0	343.7	373.1	400.0	298.6	116.7	414.4	+3.6%
FR	305.1	319.0	315.2	325.8	318.2	319.0	330.1	334.0	341.5	250.5	99.8	350.3	+2.6%
IT	434.3	446.0	425.9	448.6	444.8	458.0	477.0	486.0	508.9	358.1	162.1	520.2	+2.2%
CY	:	:	:	:	:	7.2	7.3	6.8	7.3	6.5	1.4	7.9	+8.7%
LV	:	:	:	:	56.8	52.0	64.7	64.8	59.7	6.8	60.1	56.9	-4.8%
LT	:	:	:	:	21.0	24.4	30.2	25.8	26.1	8.5	18.8	27.2	+4.2%
MT	:	:	:	:	:	:	3.4	3.5	3.5	3.3	0.2	3.6	+2.1%
NL	402.2	406.4	395.7	405.8	405.9	413.3	410.3	440.7	480.9	358.9	118.3	477.2	+3.5%
PL	:	:	:	:	46.2	48.1	51.0	62.3	54.8	18.9	33.2	53.1	-3.0%
PT	54.7	57.6	58.8	58.4	66.2	55.8	67.6	69.1	65.3	48.9	20.0	68.9	+2.4%
RO	:	:	:	:	27.6	32.7	36.9	40.6	47.9	24.6	22.1	46.7	-2.4%
SI	:	:	:	:	9.1	9.3	10.6	12.1	12.8	10.6	4.9	15.5	+22.6%
FI	75.3	76.6	77.5	80.7	96.2	99.1	104.4	106.5	99.6	60.2	50.3	110.5	+11.0%
SE	149.9	156.6	156.3	169.3	162.8	154.8	161.5	167.4	178.1	94.6	86.9	180.5	+1.3%
UK	558.5	566.6	566.6	573.0	566.4	558.3	566.7	573.1	584.9	385.1	218.6	583.7	-0.2%
EU-27	:	:	:	:	:	:	3 450.5	3 568.4	3 717.1	2 436.5	1 397.8	3 834.3	+3.2%
EU-15	2 887.2	2 951.8	2 930.5	2 974.0	3 037.6	3 091.0	3 188.8	3 304.6	3 433.8	2 333.3	1 212.6	3 545.9	+3.3%
HR	:	:	:	16.9	19.1	18.8	20.3	25.2	26.2	15.5	10.8	26.3	+0.5%
IS	:	4.7	5.0	5.2	5.0	4.8	5.0	5.3	5.7	4.1	1.9	5.9	+4.7%
NO	:	:	:	:	:	190.0	188.8	198.2	201.7	62.2	134.6	196.8	-2.4%
EEA+HR	:	:	:	:	:	:	3 662.6	3 797.2	3 950.6	2 518.3	1 545.1	4 063.4	+2.9%

Fuente: Eurostat

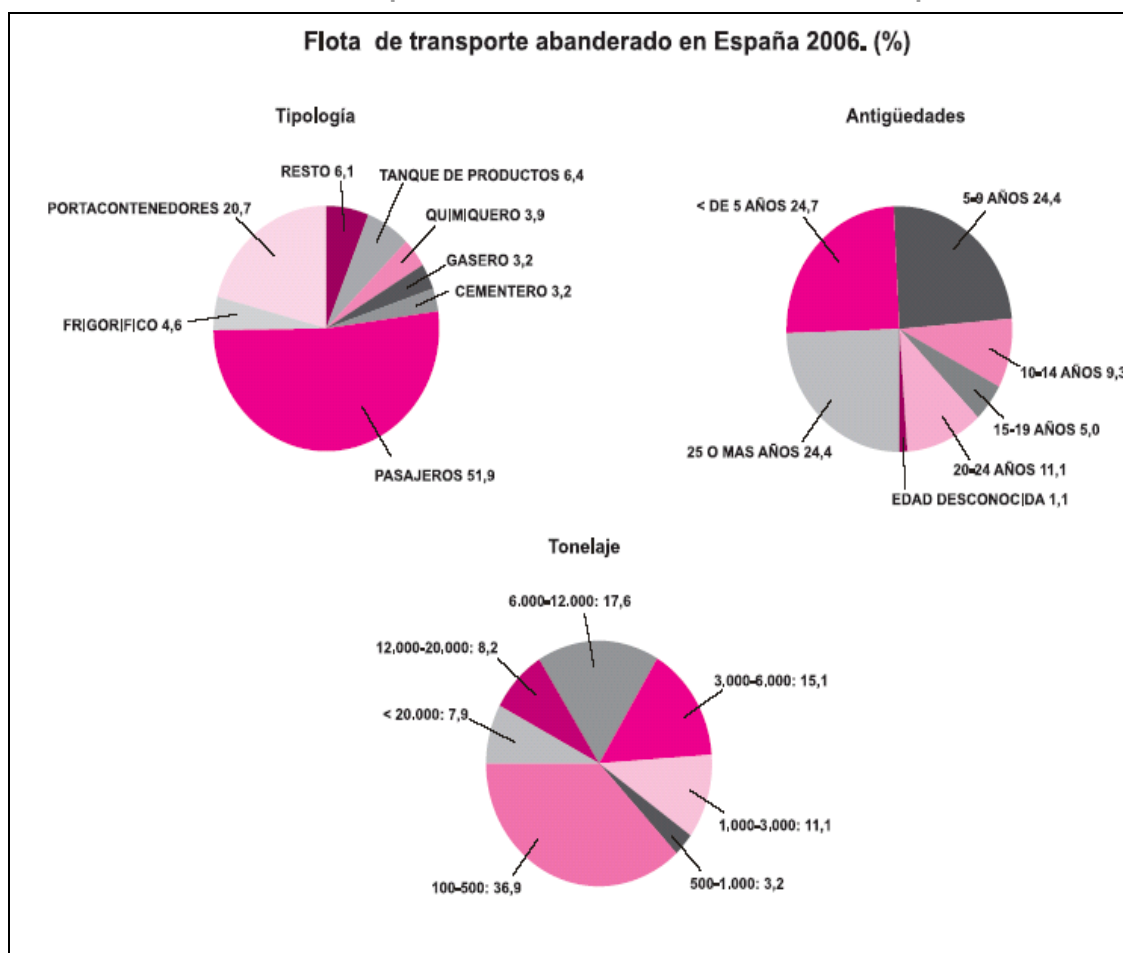
Tabla 9. Peso bruto de la mercancía movida en todos los puertos, de la Unión Europea, por tipo de cargo (en % sobre el total)

	Share in % of total cargo handled in main ports							Total cargo handled in main ports (million tonnes)	Total cargo handled in all ports (million tonnes)
	Liquid bulk goods	Dry bulk goods	Large containers	Ro Ro Mobile Units	Other cargo, not elsewhere specified	Unknown	Total		
BE	22%	21%	33%	14%	10%	0%	100%	216.4	218.9
BG	43%	39%	5%	2%	11%	0%	100%	27.5	27.5
DK	31%	32%	5%	27%	4%	0%	100%	96.0	107.7
DE	23%	20%	37%	13%	7%	0%	100%	297.1	302.8
EE	58%	24%	3%	0%	16%	0%	100%	47.7	50.0
IE	29%	31%	17%	19%	3%	0%	100%	48.5	53.3
EL	35%	29%	13%	18%	5%	0%	100%	131.5	159.4
ES	38%	27%	25%	5%	8%	0%	100%	414.4	414.4
FR	53%	24%	10%	8%	5%	0%	100%	342.4	350.3
IT	48%	20%	16%	10%	6%	0%	100%	506.0	520.2
CY	34%	22%	32%	4%	8%	1%	100%	7.8	7.9
LV	42%	43%	3%	3%	9%	0%	100%	55.8	56.9
LT	52%	27%	6%	8%	7%	0%	100%	27.2	27.2
MT	53%	16%	21%	6%	4%	0%	100%	3.6	3.6
NL	45%	30%	16%	4%	5%	0%	100%	476.3	477.2
PL	30%	42%	9%	10%	8%	0%	100%	52.9	53.1
PT	47%	29%	15%	1%	7%	0%	100%	65.1	66.9
RO	32%	36%	21%	0%	10%	0%	100%	46.0	46.7
SI	14%	65%	14%	0%	7%	0%	100%	15.4	15.5
FI	31%	27%	11%	15%	15%	0%	100%	102.9	110.5
SE	39%	17%	6%	28%	10%	0%	100%	160.7	180.5
UK	44%	23%	10%	19%	5%	0%	100%	568.8	583.7
EU-27	40%	25%	17%	11%	7%	0%	100%	3 710.0	3 834.3
HR	47%	39%	3%	4%	7%	0%	100%	19.5	26.3
IS	:	:	:	:	:	:	:	:	5.9
NO	55%	30%	2%	4%	9%	0%	100%	181.2	196.8
EU-27+HR+NO	41%	26%	16%	11%	7%	0%	100%	3 910.8	4 057.5

Fuente: Eurostat

En cuanto a la flota abanderada en España por tipo de buque se puede destacar la nula existencia de graneleros de más de 100 GT, cuando el 28% del tráfico marítimo realizado por buques que entraron en puertos nacionales realizaban transporte graneles sólidos (véase Figuras 2, 3, 4,5,6,7 y Tablas 11,12,13,14,15).

Figura 2. Total flota controlada por empresas españolas. Incluye tanto la flota abanderada en España como la abanderada en terceros países



Fuente: Ministerio de Fomento

Tabla 10. Total flota controlada por empresas españolas. Incluye tanto la flota abanderada en España como la abanderada en terceros países

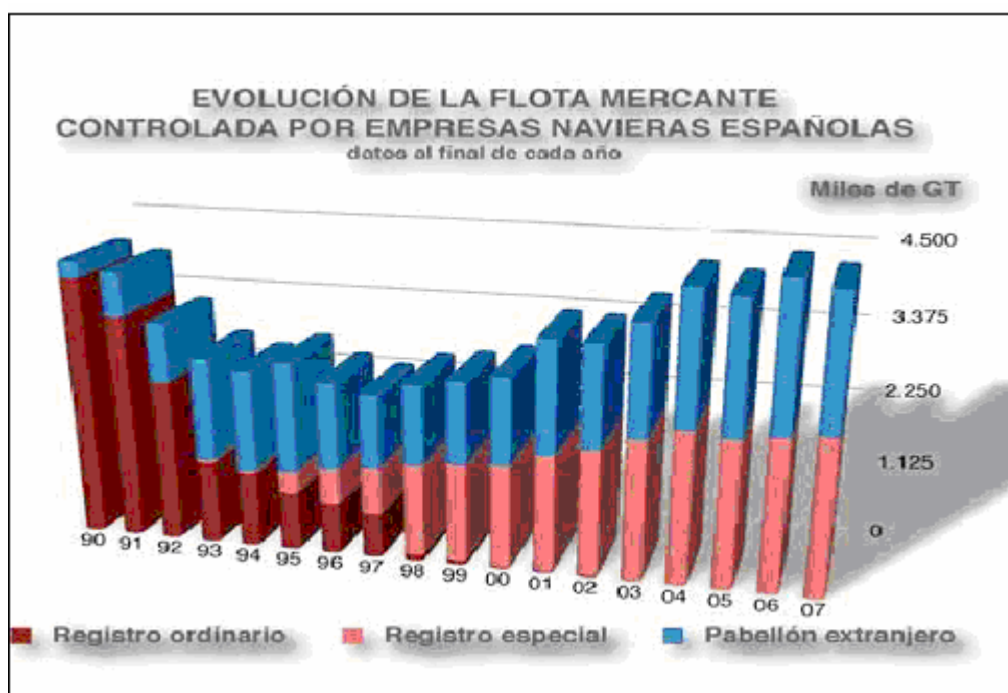
Tipos de buques	Pab. español (REC)		Otros pabellones		Total	
	Buques	GT	Buques	GT	Buques	GT
Petroleros y Obos	16	486.399	12	309.860	28	796.259
Graneleros	0	0	15	739.774	15	739.774
Carga General	14	51.425	24	133.127	38	184.552
Portacontenedores	15	204.905	7	42.922	22	247.827
Roll-on/Roll-off	26	332.118	5	41.174	31	373.292
Frigoríficos	7	22.625	18	66.636	25	89.261
Gaseros	11	758.037	2	30.758	13	788.795
Pasaje y Ferries	55	401.148	15	326.052	70	727.200
Otros	21	105.277	26	250.095	47	355.732
TOTAL	165	2.361.934	124	1.940.398	289	4.302.332

Fuente: ANAVE

Datos a 1 de enero de 2008

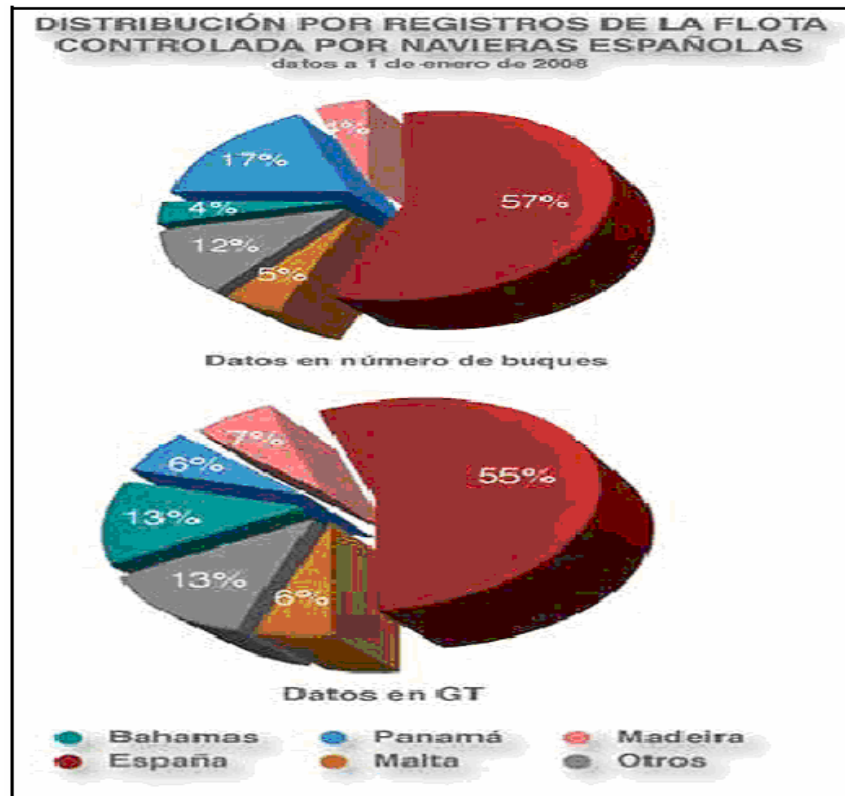
Fuente: ANAVE

Figura 3. Flota controlada por navieras Españolas



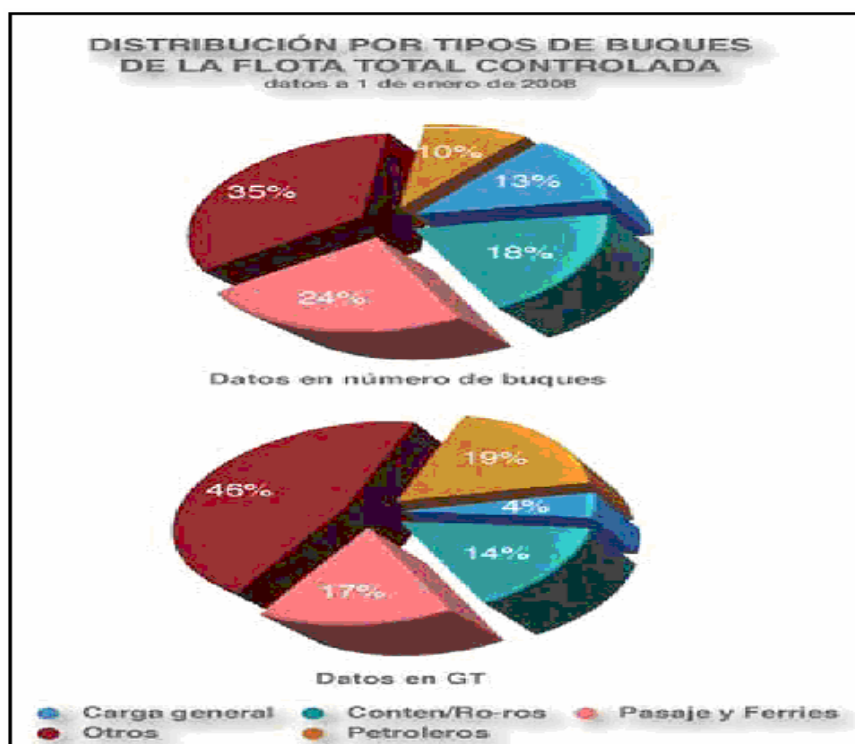
Fuente: ANAVE

Figura 4. Distribución por registros de la flota controlada por navieras españolas



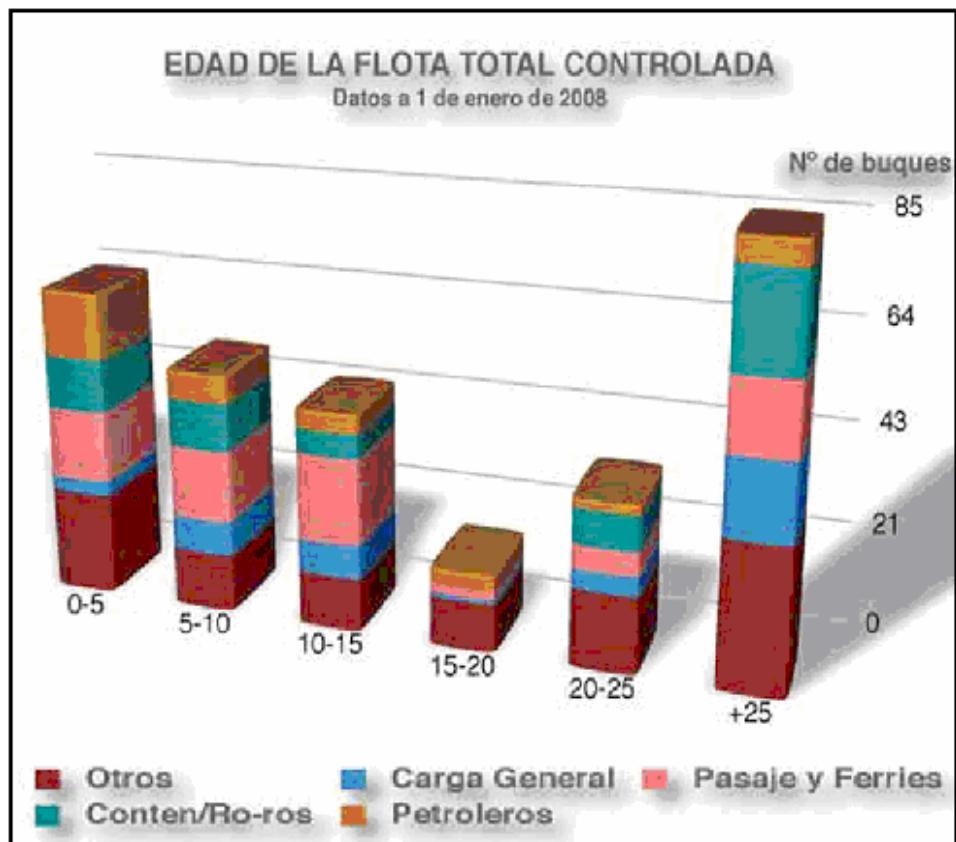
Fuente: ANAVE

Figura 5. Distribución de tipos de buques de la flota total controlada por empresas españolas



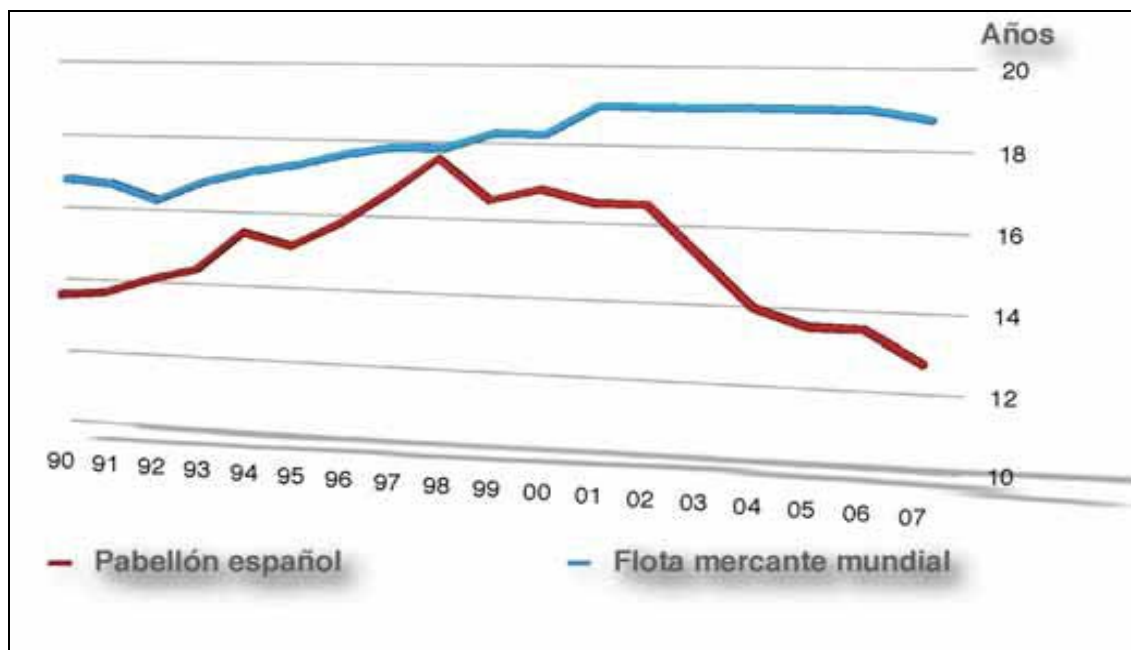
Fuente: ANAVE

Figura 6. Edad de la flota total controlada por empresas españolas



Fuente: ANAVE

Figura 7. Edad media de la flota española mundial



Fuente. ANAVE

Tabla 11. Resumen general de tráfico del sistema portuario español

CONCEPTO			2006	2005	VARIACIÓN	
					Diferencia	%
MERCANCÍAS SEGÚN SU PRESENTACIÓN	GRANELES LÍQUIDOS	P. Petrolíferos	118.770.681	119.017.343	-246.662	-0,21
		Otros líquidos	30.034.427	27.975.360	2.059.067	7,36
		TOTAL	148.805.108	146.992.703	1.812.405	1,23
	GRANELES SÓLIDOS		113.450.097	114.100.059	-649.962	-0,57
	MERCANCÍA GENERAL	Convencional	59.242.089	53.269.356	5.972.733	11,21
		En contenedores	125.784.323	113.836.795	11.947.528	10,50
		TOTAL	185.026.412	167.106.151	17.920.261	10,72
	TOTAL		447.281.617	428.198.913	19.082.704	4,46
OTRAS MERCANCÍAS	PESCA CAPTURADA		247.002	232.527	14.475	6,23
	AVITUALLAMIENTO	P. Petrolíferos	7.401.600	7.146.330	255.270	3,57
		Resto	3.245.276	3.301.107	-55.831	-1,69
		TOTAL	10.646.876	10.447.437	199.439	1,91
	TRÁFICO INTERIOR		3.988.225	3.116.333	871.892	27,98
	TOTAL		14.882.103	13.796.297	1.085.806	7,87
TOTAL TRÁFICO PORTUARIO			462.163.720	441.995.210	20.168.510	4,56
OTROS DATOS	Nº DE CONTENEDORES (Miles de TEUS)		12.044	11.049	995	9,01
	BUQUES	Número	119.819	117.149	2.670	2,28
		G.T. (Miles)	1.443.538	1.329.340	114.198	8,59
	PASAJEROS (Miles)		24.501	23.110	1.391	6,02

Fuente: Puertos del Estado

Tabla 12. Tráfico Portuario Total en España

	GRANELES LÍQUIDOS LIQUIDS			GRANELES SÓLIDOS SOLID BULKS	MERCANCÍA GENERAL GENERAL CARGO			Total Mercancías según su presentación Total
	Productos petrolíferos Petrol. p.	Otros líquidos O. liquids	Total Total		En contenedores Containers	Convencional Other	Total Total	
A Coruña	7.975.236	229.811	8.205.047	4.095.639	20.816	1.029.773	1.050.589	13.351.275
Alicante	20.060	169.346	189.406	1.642.514	1.227.880	593.317	1.821.197	3.653.117
Almería	–	6.613	6.613	5.964.929	408	575.107	575.515	6.547.057
Avilés	–	814.455	814.455	3.615.486	74.053	1.413.760	1.487.813	5.917.754
Bahía de Algeciras	18.814.523	1.448.109	20.262.632	2.708.226	39.122.648	4.231.443	43.354.091	66.324.949
Bahía de Cádiz	66.188	7.627	73.815	2.699.354	1.270.185	1.717.294	2.987.479	5.760.648
Baleares	2.169.278	–	2.169.278	2.188.436	1.378.330	8.559.466	9.937.796	14.295.510
Barcelona	4.491.807	6.044.568	10.536.375	4.107.582	22.572.587	9.189.575	31.762.162	46.406.119
Bilbao	18.229.544	4.060.235	22.289.779	5.524.178	5.629.098	3.765.238	9.394.336	37.208.293
Cartagena	15.495.811	3.852.871	19.348.682	5.173.022	435.407	563.279	998.686	25.520.390
Castellón	7.733.271	387.001	8.120.272	3.590.891	944.675	601.766	1.546.441	13.257.604
Ceuta	961.826	2.677	964.503	66.793	61.724	829.554	891.278	1.922.574
Ferrol-San Cibrao	641.064	295.856	936.920	8.709.257	7.595	550.125	557.720	10.203.897
Gijón	1.356.232	–	1.356.232	18.298.185	87.508	513.077	600.585	20.255.002
Huelva	7.335.767	6.045.571	13.381.338	7.394.282	–	684.392	684.392	21.460.012
Las Palmas	4.772.419	61.303	4.833.722	1.678.836	13.734.175	3.472.935	17.207.110	23.719.668
Málaga	–	66.448	66.448	1.953.430	3.615.026	435.110	4.050.136	6.070.014
Marín y Ría de Pontevedra ...	–	10	10	891.966	317.213	549.886	867.099	1.759.075
Melilla	74.447	–	74.447	45.826	154.048	536.419	690.467	810.740
Motril	1.275.100	147.284	1.422.384	1.172.380	72	258.890	258.962	2.853.726
Pasajes	–	–	–	3.248.288	–	2.203.265	2.203.265	5.451.553
Sta. C. de Tenerife	9.497.352	45.469	9.542.821	1.986.964	3.636.750	3.697.006	7.333.756	18.863.541
Santander	190.632	235.020	425.652	4.164.897	1.737	1.264.099	1.265.836	5.856.385
Sevilla	59.511	299.216	358.727	2.827.598	892.466	1.202.273	2.094.739	5.281.064
Tarragona	16.698.608	1.947.511	18.646.119	11.237.751	107.832	1.336.146	1.443.978	31.327.848
Valencia	677.037	3.678.925	4.355.962	7.148.231	28.157.269	7.624.309	35.781.578	47.285.771
Vigo	60.422	28.803	89.225	701.899	2.334.121	1.598.869	3.932.990	4.724.114
Vilagarcía	174.546	159.698	334.244	613.257	700	245.716	246.416	1.193.917
TOTAL	118.770.681	30.034.427	148.805.108	113.450.097	125.784.323	59.242.089	185.026.412	447.281.617

Fuente: Puertos del Estado

Tabla 13. Tráfico de mercancías embarcadas y desembarcadas en España

	EMBARCADAS LOADED					DESEMBARCADAS UNLOADED					Transbor- dadas Trans- hipped	Total Total
	Cabotaje Domestic	Exterior Foreign	Avituall. Supplies	T. interior Local t.	Total Total	Cabotaje Domestic	Exterior Foreign	Pesca Fishing	T. interior Local t.	Total Total		
A Coruña.....	991.981	1.537.838	112.363	312.630	2.954.812	921.641	9.899.815	30.757	-	10.852.213	-	13.807.025
Alicante.....	1.089.905	298.970	75.389	-	1.464.264	558.456	1.704.167	2.634	-	2.265.257	1.619	3.731.140
Almería.....	1.584.607	648.527	140.111	-	2.373.245	80.465	4.233.458	7.010	-	4.320.933	-	6.694.178
Avilés.....	494.201	2.205.345	56.636	-	2.756.182	271.304	2.946.904	14.205	-	3.232.413	-	5.988.595
Bahía de Algeciras.....	3.733.098	23.325.470	3.053.269	2.265.628	32.377.465	3.608.109	35.650.709	1.087	63.742	39.323.647	7.563	71.708.675
Bahía de Cádiz.....	1.104.276	1.198.659	87.537	-	2.390.472	653.650	2.804.063	23.535	-	3.481.248	-	5.871.720
Baleares.....	3.136.151	22.377	246.295	-	3.404.823	9.784.798	1.352.184	2.982	-	11.139.964	-	14.544.787
Barcelona.....	4.631.370	12.846.426	1.247.918	-	18.725.714	3.462.598	25.465.725	3.483	-	28.931.806	-	47.657.520
Bilbao.....	2.559.432	7.052.635	141.482	469.959	10.223.508	376.814	27.219.412	-	771.094	28.367.320	-	38.590.828
Cartagena.....	1.464.193	667.404	115.331	22.069	2.268.997	1.873.496	21.515.297	1.412	360	23.390.565	-	25.659.562
Castellón.....	1.066.664	2.343.178	47.531	-	3.447.373	279.684	9.578.078	8.584	-	9.866.346	-	13.313.719
Ceuta.....	321.735	185.134	509.307	-	1.016.176	981.638	434.067	138	-	1.415.843	-	2.432.019
Ferrol-San Cibrao.....	404.841	949.388	23.520	269	1.378.018	290.779	8.540.572	159	-	8.831.510	18.317	10.227.845
Gijón.....	1.131.632	546.517	219.821	-	1.897.970	1.024.905	17.551.948	13.470	-	18.590.323	-	20.488.293
Huelva.....	1.726.265	2.276.263	94.963	14.645	4.112.136	472.950	16.984.534	3.019	14.645	17.475.148	-	21.587.284
Las Palmas.....	2.425.726	5.550.484	2.165.264	-	10.141.474	7.799.096	7.849.437	4.868	-	15.653.401	94.925	25.889.800
Málaga.....	412.029	2.016.241	126.134	-	2.554.404	153.356	3.488.388	2.090	-	3.643.834	-	6.198.238
Marín y Ria de Pontevedra.....	269.222	401.469	69.875	578	741.144	152.340	936.044	4.369	4	1.092.757	-	1.833.901
Melilla.....	147.968	1.673	31.176	-	180.817	610.061	51.038	-	-	661.099	-	841.916
Motril.....	6.399	359.099	18.828	-	384.326	907.316	1.580.912	3.974	-	2.492.202	-	2.876.528
Pasajes.....	16.444	1.110.514	45.696	-	1.172.654	590.364	3.734.231	7.313	-	4.331.908	-	5.504.562
Sta. C. de Tenerife.....	5.398.680	741.588	1.002.766	26.412	7.169.446	5.018.316	7.688.135	7.456	23.363	12.737.270	16.822	19.923.538
Santander.....	119.927	1.344.334	65.525	-	1.529.786	162.151	4.228.149	6.515	-	4.396.815	1.824	5.928.425
Sevilla.....	765.752	796.271	58.720	-	1.620.743	451.828	3.267.213	-	-	3.719.041	-	5.339.784
Tarragona.....	3.187.820	2.795.164	180.891	1.196	6.165.071	1.285.139	24.059.725	4.381	1.202	25.350.447	-	31.515.518
Valencia.....	3.492.708	16.164.406	253.027	-	19.910.141	1.831.499	25.797.158	1.576	-	27.630.233	-	47.540.374
Vigo.....	463.688	1.458.927	446.725	429	2.369.769	1.114.826	1.686.673	91.985	-	2.893.484	-	5.263.253
Vilagarcía.....	-	104.052	10.776	-	114.828	204.181	885.684	-	-	1.089.865	-	1.204.693
TOTAL.....	42.136.714	88.948.353	10.646.876	3.113.815	144.845.758	44.921.760	271.133.720	247.002	874.410	317.176.892	141.070	462.163.720

Fuente: Puertos del Estado

Tabla 14. Tipos de buque (número y GT) por puerto español durante el año 2005

	Tanques		Graneleros		Carga general		Roll on- Roll off		Portacontenedores		Sólo de pasaje		Otros	
	Nº Buques	GT	Nº Buques	GT	Nº Buques	GT	Nº Buques	GT	Nº Buques	GT	Nº Buques	GT	Nº Buques	GT
A Coruña	347	5.435.917	515	4.082.576	327	1.267.804	-	-	1	7.578	63	1.421.787	125	56.554
Alicante	52	201.043	213	1.575.136	141	952.798	522	6.177.798	351	4.583.478	38	1.258.175	21	15.910
Almería	5	21.293	334	3.601.218	169	764.811	1.767	24.217.696	1	1.811	61	1.201.520	6	746
Astúres	136	719.270	91	1.463.825	652	2.485.192	1	6.037	34	226.950	-	-	-	-
Bahía de Algeciras	1.722	30.789.322	249	6.956.718	621	5.047.834	1.124	7.176.814	1.781	48.852.173	15.414	104.066.371	1.243	10.286.875
Bahía de Cádiz	41	572.035	142	2.463.588	389	3.837.484	523	7.484.426	221	2.774.187	223	4.992.754	168	196.940
Baleares	318	2.703.123	392	1.584.480	291	845.068	1.182	12.798.936	24	112.252	8.078	102.806.512	58	51.021
Bardona	849	17.097.084	194	2.814.983	1.115	5.324.644	3.946	77.205.778	1.969	52.838.115	691	34.944.838	89	1.575.153
Bilbao	716	17.712.874	723	3.915.397	849	5.262.921	303	5.593.931	830	7.465.770	134	4.840.686	17	35.033
Cartagena	702	21.489.029	486	4.404.987	257	1.238.035	2	57.686	142	893.730	52	1.175.287	49	44.461
Castellón	337	5.711.221	467	2.544.133	188	774.201	62	376.558	133	2.024.620	-	-	-	-
Ceuta	584	3.552.154	227	2.878.173	1.501	6.489.150	685	2.613.641	36	218.039	5.179	31.695.624	294	587.161
Ferrol	101	2.217.595	391	4.907.489	466	1.713.111	68	561.267	1	5.874	3	124.561	43	74.587
Gijón	160	1.296.000	429	11.272.607	345	1.288.328	55	838.426	18	213.552	4	63.820	6	15.328
Huelva	803	13.814.881	204	3.777.644	535	3.579.471	1	5.517	-	-	3	35.073	99	68.608
Las Palmas	774	6.722.585	938	17.689.040	1.995	11.829.047	3.534	45.998.058	1.327	27.393.898	779	15.305.354	858	5.025.295
Málaga	51	168.164	85	1.189.691	214	630.701	649	5.296.556	310	12.133.657	297	8.177.530	63	55.770
Márm	1	3.848	40	773.748	344	1.393.818	-	-	48	358.338	10	2.306	167	107.928
Medina	30	211.982	19	50.237	2	5.507	829	8.352.322	77	539.861	89	359.745	31	11.935
Monil	160	1.756.925	109	605.943	208	1.240.946	6	36.306	-	-	30	447.384	1	149
Palmas	-	-	542	1.604.999	833	2.971.634	225	3.783.777	-	-	-	-	-	-
Tenife	1.015	17.142.851	415	6.471.395	527	3.897.327	4.007	40.525.394	766	9.720.371	11.553	65.496.957	503	1.084.724
Santander	88	520.835	122	2.741.603	738	2.739.467	663	16.443.770	10	40.138	12	236.967	6	35.287
Sevilla	115	386.823	29	105.163	980	2.889.990	209	1.484.352	57	354.274	48	176.985	3	1.113
Taragona	1.259	17.484.154	340	7.414.394	594	2.730.834	553	11.482.318	23	323.056	12	350.200	3	73.960
Valencia	295	2.346.739	420	4.749.123	1.830	13.901.890	1.877	32.720.027	1.951	53.998.529	111	2.855.628	117	2.132.426
Vigo	29	248.248	91	524.318	367	2.468.879	555	13.577.730	557	8.244.711	100	5.201.257	495	431.395
Vilagarcía	53	584.865	62	267.924	202	844.802	-	-	1	1.811	13	161.500	8	5.134
TOTAL	10.743	170.909.660	8.259	102.511.512	16.670	88.394.694	23.338	324.815.121	10.669	233.326.873	42.997	387.398.821	4.473	21.983.492
CAPACIDAD (GT)	15.909	-	12.412	-	5.303	-	13.918	-	21.870	-	9.010	-	4.915	-

Fuente: Elaboración a partir de datos de Puertos del Estado

Tabla 15. Tipos de buques (número y GT) por puerto español durante el año 2006

	Tanques		Graneleros		Carga general		Roll on-Roll off		Portacontenedores		Otros		Total	
	Nº Buques	GT	Nº Buques	GT	Nº Buques	GT	Nº Buques	GT	Nº Buques	GT	Nº Buques	GT	Nº Buques	GT
A Coruña	690	10.703.340	778	6.483.496	702	3.214.568	...	...	34	145.782	200	144.352	2.404	20.691.538
Alicante	122	406.634	398	2.680.388	360	2.525.518	1.188	12.390.190	686	8.157.802	6	4.574	2.760	26.145.206
Almería	8	39.824	694	7.439.418	334	1.351.704	3.422	48.711.663	2	3.622	22	21.722	4.482	57.587.953
Asturias	246	1.432.016	280	5.104.660	1.424	5.210.320	6	36.306	98	387.480	2	466	2.016	12.171.248
B de Algeciras	3.588	69.521.826	564	17.697.546	1.116	8.669.934	5.330	30.031.436	4.076	123.823.918	1.936	25.280.162	16.630	275.002.682
Bahía de Cádiz	88	1.037.850	298	4.943.646	696	6.428.098	1.090	15.519.750	478	6.658.224	282	429.224	2.932	35.016.792
Bilbao	652	5.236.316	442	1.195.962	530	1.747.612	3.228	41.967.156	376	1.832.138	148	47.068	5.376	52.026.252
Barcelona	1.514	29.696.100	334	5.678.396	2.392	11.531.810	8.970	188.324.770	4.306	126.099.024	116	1.726.678	17.652	338.056.778
Breña	1.604	40.347.678	1.576	9.183.040	1.760	13.132.362	374	10.233.826	1.438	13.880.906	38	288.890	6.990	87.066.902
Cartagena	1.268	38.634.052	986	9.398.106	482	2.728.314	4	64.226	348	2.658.696	102	74.134	3.190	53.537.528
Castellón	604	9.984.940	934	5.888.578	446	2.088.802	174	1.116.308	438	5.959.450	...	...	2.616	25.038.078
Ceuta	1.362	9.092.330	544	6.546.580	3.418	15.290.862	1.590	7.288.982	144	933.730	862	988.174	7.920	40.140.678
Cádiz	236	4.835.292	760	10.095.364	1.002	4.520.418	164	1.433.614	10	64.188	52	468.14	2.224	20.815.690
Ciudad	340	2.862.334	806	21.102.974	726	3.114.798	6	57.150	122	581.414	10	25.682	2.010	27.744.352
Huelva	1.578	28.556.614	538	10.161.438	1.104	5.265.310	2	11.520	...	...	68	415.716	3.310	44.410.618
Las Palmas	1.428	14.972.470	1.836	36.327.408	3.846	21.616.784	6.072	93.031.916	3.200	65.580.218	1.998	11.051.010	18.380	242.779.806
Málaga	76	619.136	134	2.237.200	378	1.254.246	1.384	14.470.816	736	29.100.222	104	533.32	2.812	47.734.952
Morón	2	9.198	52	1.295.130	714	3.039.122	...	...	132	653.344	356	249.804	1.256	5.246.618
Morilla	56	353.316	48	132.456	4	44.308	1.682	18.849.166	160	179.970	8	1.220	1.938	19.560.636
Morón	260	3.634.276	262	1.846.788	374	2.316.472	...	...	...	...	2	7.432	888	7.824.968
Pasajes	...	...	822	2.434.282	1.738	6.395.998	514	7.541.008	...	...	...	...	3.094	16.391.288
Tenerife	2.044	32.944.756	734	16.683.108	1.026	7.218.274	7.722	94.383.904	1.488	15.631.246	262	302.114	13.296	167.165.402
Santander	250	1.277.612	220	4.860.364	1.246	5.155.884	1.288	33.341.376	48	199.014	6	23.628	3.058	44.836.878
Sevilla	244	762.634	36	119.346	2.054	6.182.886	306	2.402.106	186	994.340	4	948	2.830	10.462.480
Taragona	2.512	37.467.284	804	15.344.966	1.126	2.801.626	914	20.078.378	90	1.087.302	4	181.610	5.450	76.961.366
Valencia	716	13.786.890	840	10.290.224	3.838	29.280.552	4.106	73.021.922	4.270	129.452.756	132	1.193.628	13.922	257.025.972
Vigo	76	710.402	268	1.237.686	952	6.020.418	1.296	29.783.674	998	15.895.712	848	948.346	4.418	54.616.438
Vilagarcía	104	1.020.552	162	879.104	390	1.487.260	...	...	2	3.622	8	2.272	666	3.392.810
TOTAL	21.668	339.985.692	16.210	217.543.954	34.198	179.434.660	51.052	739.093.163	23.846	549.944.340	7.576	43.508.200	154.530	2.089.512.009
GT Medias	16.644	...	13.420	...	5.247	...	14.477	...	23.062	...	5.743	...	13.520	...

Fuente: Elaboración a partir de datos de Puertos del Estado

2. LA NAVEGACIÓN MARÍTIMA

2.1. Introducción

La ruta de navegación a seguir por un buque, para ir de un puerto a otro, es una decisión de las personas que dirigen el buque, estando únicamente obligados a respetar las directrices y acuerdos internacionales así como las normas de los países cuyas aguas territoriales atraviese.

Es evidente que, salvo por problemas mayores que afecten a la seguridad del buque y la carga, la ruta elegida es aquella que exige un menor consumo y/o tiempo de navegación

La navegación internacional está regulada por la Agencia Internacional Marítima (OMI) la cual, a través del Comité para la Seguridad Marítima, establece las reglas a observar en cuanto a rutas de navegación.

La navegación dentro de aguas territoriales está regulada, además, por las autoridades del país considerado

Aparte de las directrices generales a observar en navegación, en las que se busca el aumentar la seguridad, estableciendo reglas aceptadas por todos los países, el Comité ha regulado la navegación en zonas de gran densidad de tráfico como el Canal de la Mancha y el Estrecho de Gibraltar, separando los tráficos según su sentido, a fin de evitar colisiones.

Dentro de las reglas para la navegación establecidas por el Comité para la Seguridad Marítima de la Organización Marítima Internacional hay que señalar las dirigidas a los buques cuya carga presenta características que los hacen especialmente peligrosos en potencia, como los de transporte de gas, los cuales deben cumplir algunas recomendaciones especiales en su navegación como mantener distancias mínimas a la costa.

También ha establecido zonas de exclusión de tráfico marítimo debido al peligro excepcional por motivos ecológicos o por otros motivos, como pueden ser operaciones de pesca o militares.

Además de las reglas antes citadas, el tamaño de los buques delimita su navegación, siendo los mayores condicionantes las restricciones de tamaño de los pasos más importantes para la navegación marítima en los cuales hay que enumerar el Canal de Panamá que tiene unas limitaciones de manga de 32,2 metros y de calado de 12 metros, y el Canal de Suez que tiene una limitación de calado de 15 metros aunque los buques la soslayan a veces mediante descargas parciales en el puerto de entrada.

La OMI y algunos países emiten, adicionalmente unas recomendaciones de derrotas (rutas de navegación) determinadas en función de las previsiones meteorológicas.

La influencia del estado de la mar y las condiciones de viento en la navegación del buque, son tan importantes que hacen que compense el navegar por una ruta más larga a fin de evitar malas condiciones meteorológicas, incrementando los consumos por unidad de distancia en porcentajes muy significativos además de someter el buque a unos esfuerzos que aumentan los gastos de mantenimiento. Por ejemplo puede compensar en la ruta Europa- América evitar ir por el Atlántico Norte, en especial en época invernal debido al mal tiempo.

Los puertos definen unos tamaños máximos de buques a recibir, en especial por su calado, pero también por las facilidades de carga y descarga.

En todo caso, las tablas de distancias entre dos puertos se calculan siguiendo la ruta más probable que es la de navegación loxodrómica; es decir la ruta a seguir sin variar el rumbo y que en una proyección de Mercator sería una línea recta, teniendo en cuenta los obstáculos de tierra y las rutas más directas entre puntos permitidas por los acuerdos internacionales.

Por lo tanto se puede tomar está como ruta más probable entre dos puertos y usarla para el cálculo de consumos de combustible.

Al calcular la distancia recorrida por un buque, para ir de un puerto a otro, se considera a efectos de calcular las distancias que pueden pasar por los canales existentes en la ruta como el de Suez o el de Panamá y que no va a haber zonas de exclusión de navegación temporales ni por condiciones meteorológicas.

En caso de buques cuyo tamaño no les permita atravesar, bien el Canal de Suez o el de Panamá u otros como el estrecho Danés o el estrecho de Malaca, para calcular la distancia habrá que tomar las distancias a puertos intermedios existentes por la ruta alternativa.

Debido a las características del buque, éste no puede navegar adecuadamente si va con inclinación (escora); se requiere un calado en popa (parte de atrás del buque) mínimo y existen limitaciones de la diferencia de calados entre proa (parte delantera del buque) y popa, debiendo ser el de popa mayor que el de proa.

En general los buques tienen la cámara de máquinas y la habilitación en la parte de popa, por lo que cuando navegan sin carga (navegación “en lastre”) o con poca carga, el peso en la parte de popa es mucho mayor que en la parte central y de proa.

Debido a estos requisitos, el buque transporta lastre (agua del mar) en tanques para conseguir ir sin escora y con calados adecuados en proa y popa. Parte de este lastre puede compensarse por combustible, si la disposición de los tanques del buque es adecuada y compensa su precio.

2.2. El ciclo operativo del buque

En el servicio operativo del buque se suelen distinguir tres etapas principales y una complementaria:

- Etapa de crucero: El buque está navegando, en mar abierto, a la velocidad de servicio.
- Etapa de precaución: El buque está llegando a puerto y reduce su velocidad. También se puede producir este tipo de navegación por estar pasando por zonas con mucho tráfico o con otros problemas.
- Etapa de maniobra: El buque está en bocana de puerto, generalmente con el práctico a bordo y los remolcadores preparados para realizar la maniobra de atracar.
- Etapa de muelle: El buque está atracado en el muelle pudiendo distinguirse dos subetapas:
 - Etapa de carga o descarga: El buque está atracado y realizando operaciones de carga y/o descarga, con lo que su consumo energético se incrementa respecto a la etapa siguiente.

- Etapa de atracado sin operaciones (Hottelling): el buque está atracado sin realizar maniobras de carga/descarga.

Además de estas etapas, durante el año el buque está inactivo en ciertos periodos para operaciones de tráfico, bien por falta de carga, por estar realizando operaciones de revisión y/o reparación.

En ciertos puertos muy congestionados, como en los de exportación de carbón de Australia se producen grandes demoras en el proceso de la carga y descarga.

Debido a las dos causas anteriores, en el cálculo del consumo de combustible por unidad de distancia y de carga, que se expone al final de esta Monografía, se ha considerado un porcentaje de tiempo en el que los buques están sin operaciones, estimándose un incremento en el consumo por unidad de carga por este concepto.

3. EL BUQUE

3.1. Introducción

La Real Academia de la Lengua Española define “buque” como “barco con cubierta que, por su tamaño, solidez y fuerza, es adecuado para navegaciones o empresas marítimas de importancia”.

La definición de “barco” es: “Construcción cóncava de madera, hierro u otra materia, capaz de flotar en el agua y que sirve de medio de transporte”.

“Buque mercante” es aquel dedicado al transporte de mercancías y/o pasajeros.

Una característica importante del buque es la de ser autónomo; es decir, debe ir equipado para estar largos periodos de tiempo sin tocar puerto, por lo que debe generar la electricidad que necesite. Asimismo debe estar preparado para generar el agua dulce y potable que precise.

En un buque mercante se pueden distinguir tres zonas claramente diferenciadas:

- a) La zona de carga: Área del buque en la que se transporta la carga, pudiendo estar comprendida por:
 - Tanques cerrados, en caso de cargas líquidas o gaseosas,
 - Bodegas cerradas por tapas practicables (escotillas) en caso de cargas de graneles sólidos, carga general, contenedores, frigoríficos, camiones y coches...
 - Por bodegas cerradas y zonas de cubierta abiertas o cerradas, como buques de transportes especiales, de contenedores, de coches, carga general.
 - Por áreas habilitadas para el transporte de pasajeros:
- b) La zona de habitación: Área del buque en la que se sitúa la zona de vivienda y oficina de la tripulación y sus servicios. Usualmente está situada sobre cubierta y en la parte más alta se ubica el puente de mando desde el que se dirige el buque durante la navegación así como la zona de comunicaciones.

La zona de cámara de máquinas: Área del buque en la que se ubican tanto los motores propulsores, como los motores generadores de electricidad para los servicios del buque y de la carga y el resto de equipos necesarios para el mantenimiento de la tripulación, de la carga y del buque. En la mayoría de los buques está situada en la parte de atrás del buque (popa) y debajo de la cubierta principal.

3.2. Tipos de buques

Siguiendo la clasificación que hace Eurostat, se pueden definir los siguientes tipos de buques según la carga transportada:

Tanques o graneles líquidos. Son buques de transporte de petróleo, químicos, transporte de gas u otros transportes de graneles líquidos.

1. Graneleros o graneles sólidos. Son buques de transporte de materiales a granel como carbón, hierro, maíz, ...
2. Portacontenedores, que son los buques dedicados exclusivamente al transporte de contenedores.
3. Carga general. Agrupa una gran variedad de buques, desde frigoríficos a buques especializados para transportes especiales o buques mixtos de carga general con carga en contenedores.
4. RO-RO. Se refiere a los buques preparados para cargar y descargar mercancías por medios rodados, es decir, para transporte de mercancías en camiones o plataformas. Usualmente disponen de facilidades para transportar a los conductores de los camiones
5. Pasajeros, destinados únicamente al transporte de personas.

3.3. El proceso de definición del buque

Una de las características más específicas de los buques consiste en que no se fabrican grandes series; es decir, que no se produce como en el caso de los coches, autobuses, aviones o trenes el desarrollo de un modelo y luego se fabrica en serie el vehículo.

Según las características del armador o del fletador (hay que tener en cuenta que un porcentaje de buques se construye para cubrir los requerimientos de transporte a largo plazo de una empresa, y la empresa naviera que quiera conseguir ese contrato, debe cumplir los requerimientos técnicos que el transporte y la empresa requiera, como por ejemplo calado máximo del buque) pueden darse diferentes casos:

- a) El armador desarrolla una especificación resumida en la que fija las principales características del buque que desea construir, como capacidad de carga y tipo de buque, número de tripulantes; velocidad de servicio y porcentaje de la potencia máxima del motor propulsor para esta velocidad; autonomía (distancia máxima a navegar sin necesidad de repostar combustible); tipo de propulsión; dimensiones máximas (caso de necesidad de calados reducidos) o aproximadas del buque; así como otros requerimientos que considere necesarios como las bases de las pinturas a aplicar.

En base a esta especificación resumida el astillero prepara una especificación completa de acuerdo con el armador respetando todos los requerimientos o estableciendo modificaciones de acuerdo con el armador, y desarrolla el proyecto y lo fabrica de acuerdo con esta especificación. El proceso completo para un único buque puede llevar del orden de los dos años o más, dependiendo de la complejidad y tamaño del buque así como de la cartera de pedidos del astillero. Durante el proceso de desarrollo del proyecto, el armador revisa y aprueba los planos de dentro del marco del contrato del cual la especificación es una parte. Asimismo el armador

inspecciona a través de sus representantes la construcción paso a paso y en las etapas finales comprueba que todos los equipos funcionan de acuerdo con la especificación el contrato.

- b) El armador entrega al astillero una especificación detallada con todos los requisitos que desea que cumpla el buque y a veces un proyecto de acuerdo con la especificación con diferentes grados de desarrollo. En este caso el astillero discute con el armador los puntos que desea modificar y modifica ésta más o menos en función de las circunstancias de ambos realizando el proyecto y la construcción del mismo modo que en el caso anterior.
- c) El astillero dispone de un proyecto parcial o totalmente desarrollado y el armador se adapta a él, discutiendo las modificaciones que desea con el astillero.

Como se puede ver en los casos anteriores, solo en el último caso se puede hablar de series de buques pero en todo caso muy reducidas. Una serie de 20 buques iguales ya es una serie grande y con el paso del tiempo se producen modificaciones de mayor o menos importancia.

Es evidente que se encuentran en el mercado nombres de buque que pueden hacer suponer que se trata de serie como los “graneleros Panamá”, pero sólo se están refiriendo a buques de tamaños similares, con capacidades de carga de graneles similares y dimensiones que permiten su paso por el canal de Panamá, pero que pueden tener dimensiones, velocidades o motorizaciones totalmente diferentes.

Los principales puntos que tienen que cumplirse en el contrato de un buque se pueden agrupar, en general, en los siguientes:

Los que afectan a la velocidad y consumo de combustible:

- En el contrato se fija la velocidad que tiene que dar el buque en unas condiciones determinadas y con una potencia determinada, fijándose multas de elevada cuantía si no se consigue, e incluso la cancelación del contrato.
- Se fija asimismo el consumo específico de combustible que tienen que tener los motores propulsores y a veces los grupos generadores, con las consiguientes posibilidades de multas o cancelación.
- Hay que darse cuenta que cualquier desviación en cualquiera de los dos puntos antes citados suponen un impacto muy importante en los costes de explotación del buque, pudiendo llegar a hacerlo no competitivo.

Los que afectan a la capacidad de carga:

- Se fija en el contrato la capacidad de la zona de carga, bien en cuanto al volumen, o en cuanto al peso o ambos; fijándose multas de elevada cuantía si no se consigue, e incluso la cancelación del contrato.
- Existen otros puntos importantes que en algunos casos pueden ser los principales como los que se refieren a las dimensiones, cuando hay limitaciones de éstas: Por ejemplo, si va a navegar en zonas de calado reducido, este apartado adquiriera mucha importancia.
- Más adelante volveremos a analizar que factores influyen en la resistencia al avance del buque y cómo puede variar ésta durante la vida del buque, en la eficiencia del sistema propulsor y cómo se calcula el equipo propulsor.
- Asimismo se analizarán los diferentes tipos de propulsión, sus consumos específicos y la evolución de éstos, así como sus ventajas y desventajas

3.4. La resistencia del buque en su movimiento

La “resistencia al avance” de un buque a una velocidad determinada, se define como el conjunto de fuerzas que se oponen al avance del buque cuando se está moviendo a la velocidad citada. Por lo tanto, es el valor de la fuerza que es necesario vencer para remolcarlo a esa velocidad en aguas tranquilas, suponiendo la ausencia de interferencias del remolcador.

La potencia necesaria para vencer esta resistencia recibe el nombre de “potencia de remolque” o “potencia efectiva”, y su expresión es:

$$P_E = R \times V$$

siendo R y V respectivamente la resistencia al avance, y la velocidad de avance del buque.

La “resistencia al avance” es suma de dos componentes, la resistencia al avance de la carena u “obra viva” del buque al desplazarse a través del agua, y la resistencia aerodinámica de la “obra muerta” del buque al desplazarse a través del aire.

En los buques mercantes usuales el componente de la resistencia aerodinámica no representa mas del 10 % de la resistencia total, pero en buques de mucha superestructura y alta velocidad este componente de la resistencia adquiere más importancia.

Aparte de estos dos componentes de la resistencia, hay un tercer componente que es la “resistencia accidental” y, como su nombre indica, se produce en determinadas circunstancias y que es de tipo hidrodinámico. Posteriormente se analizará este componente.

Por lo tanto, los componentes de la resistencia al avance son:

- Resistencia hidrodinámica (debida al agua)
- Resistencia aerodinámica (debida al aire)
- Resistencia accidental

Hay que recordar que la “resistencia al avance” del buque está directamente ligada a la velocidad y determina la potencia necesaria del equipo propulsor. Estos dos parámetros, junto con la capacidad de carga, son los dos factores fundamentales a determinar en un buque, ya que afectan de manera muy importante a los costes por unidad de transporte.

3.4.1 Resistencia hidrodinámica al avance

La resistencia hidrodinámica al avance se produce como consecuencia de la interacción de la “obra viva” del buque y el agua, la obra muerta y el viento, y se debe a diferentes fenómenos de la circulación de fluidos. Estos fenómenos interactúan y se combinan de forma complicada.

Aún no se han desarrollado métodos teóricos hasta el punto de llegar a considerar que no sean necesarios los ensayos con modelos.

Los componentes de la “resistencia hidrodinámica o resistencia de remolque” (resistencia que ofrece la carena del buque al ser remolcada) son:

- Resistencia friccional: Predomina a bajas velocidades y es función de la superficie mojada, de la velocidad y de la rugosidad del casco.
- Resistencia por formación de olas: Predomina a altas velocidades, es función de las formas del casco y de la velocidad.
- Resistencia directa o vortical: Es resultado de la diferencia de presiones.
- Otras resistencias debidas al agua: Mas adelante se analizarán.

Es decir, la fórmula sería:

$$R_{agua} = R_{fricción} + R_{Olas} + R_{Directa} + Otras resistencias debidas al agua [1]$$

Como las resistencias de formación de olas y la directa dependen de los mismos principios físicos, se suelen agrupar bajo el concepto de “resistencia residual”.

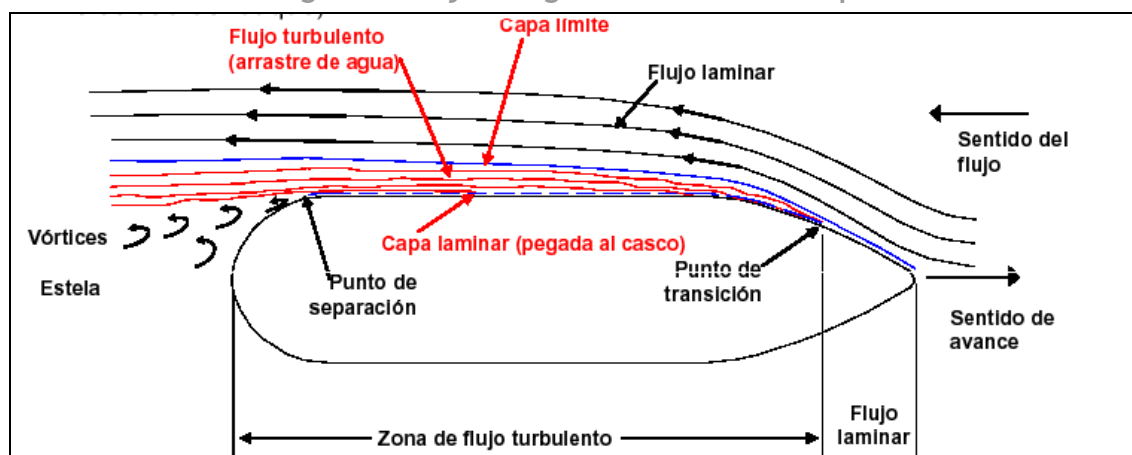
Vamos a exponer las características de cada componente de la resistencia debida al agua:

Resistencia de fricción

También llamada “resistencia viscosa” ya que es la debida a la viscosidad del buque. La produce el rozamiento del casco con el agua. De hecho cuando el buque se mueve, arrastra con él una masa de agua, debido a la adherencia de las partículas de agua al casco del buque y a que por cohesión entre las partículas de agua adyacentes, se arrastran unas a otras, dando lugar al arrastre de una masa de agua contenida dentro de una capa denominada capa límite.

El estudio de la capa límite se realiza hasta que las partículas de agua disminuyen su velocidad en un 99 % con respecto a la velocidad del buque.

Figura 8. Flujo de agua alrededor del buque



Fuente: Montes, Cuetos y Merayo. Hidrodinámica: Resistencia al avance

Por efecto de arrastre de estas partículas se producen fuerzas cortantes en la superficie de contacto entre partículas de agua, dando lugar en conjunto a una resistencia total que denominamos “resistencia viscosa” o “resistencia de fricción” y que se representa por “ R_f ”.

Esta resistencia friccional es función de:

- La superficie mojada, no de su forma
- El estado superficial de la obra viva (Rugosidad de la carena y del propulsor). En los buques modernos en función de la suciedad del casco la resistencia puede incrementarse entre un 5 y un 15 %.
- La viscosidad del agua, que es a su vez función de la temperatura.
- El cuadrado (aproximado) de la velocidad del buque.

Resistencia por formación de olas

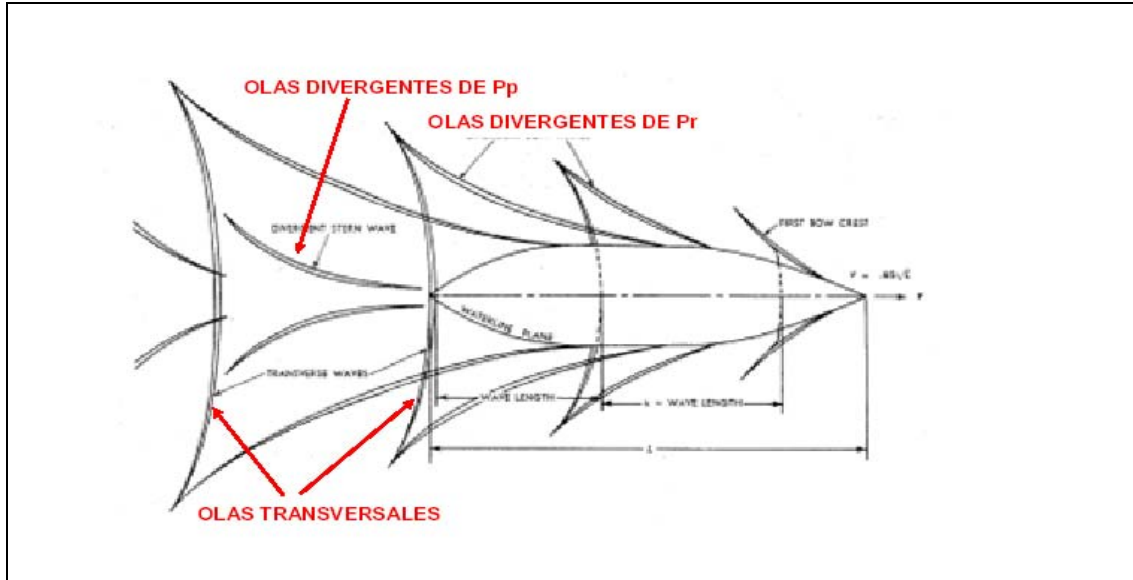
La resistencia hidrodinámica por formación de olas es, después de la resistencia friccional, la más importante.

Esta resistencia se debe a la creación de las olas que en su movimiento genera el buque.

Se disminuye este componente de la resistencia aumentando la eslora y empleando bulbos de proa.

En su avance el buque provoca la formación de dos sistemas de olas, uno a nivel de la roda y otro en el codaste, constituidos ambos sistemas por olas divergentes y olas transversales. Véase la figura:

Figura 9. Trenes de olas



Fuente: Montes, Cuetos y Merayo. Hidrodinámica: Resistencia al avance

La energía de una ola es proporcional a su altura, por lo tanto, en general, a mayor velocidad más altura de ola y más energía hay que utilizar para formarla y mayor resistencia al avance por este concepto.

Experimentalmente se ha comprobado que la resistencia por formación de olas depende, entre otros, de la relación entre eslora del buque y su velocidad, mediante el factor de forma:

$$\text{Eslora}/V^2$$

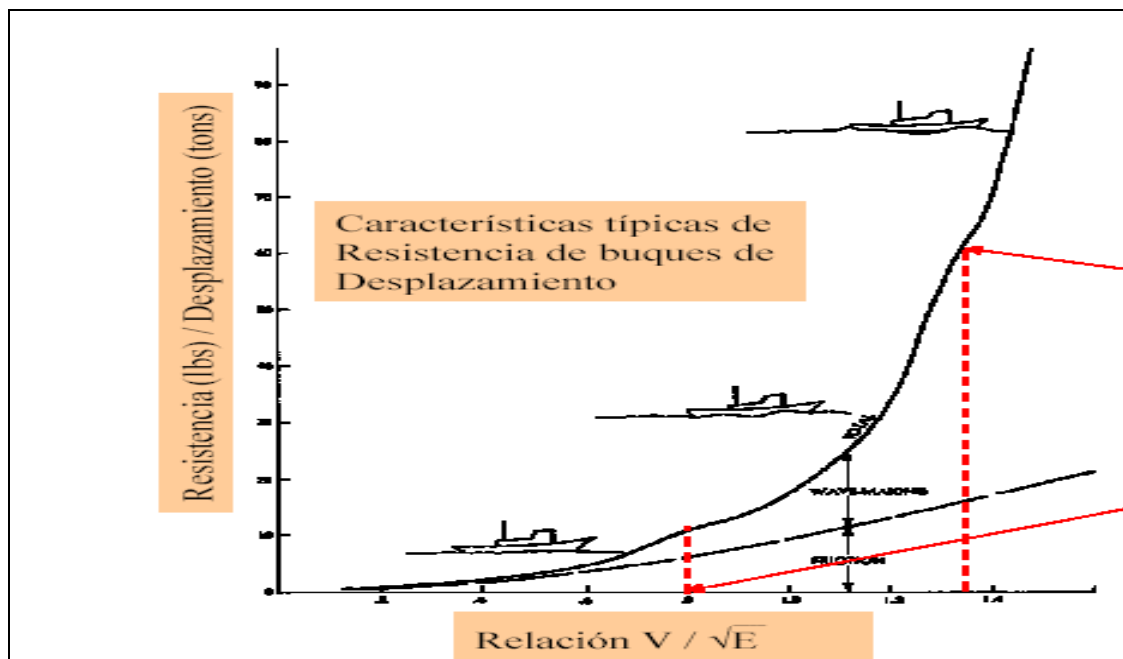
La mayor parte de los buques mercantes son rentables para valores de la relación $V/\text{Raíz cuadrada de la eslora}$ no superiores 0,8.

Para cada buque se define como “velocidad crítica” la que da un valor de la relación anterior de 1,34. A partir de esta velocidad el buque empieza a levantar su proa del agua y la resistencia por formación de olas aumenta casi verticalmente.

En la figura siguiente se muestra la variación de la resistencia, en libras por tonelada de desplazamiento al variar la relación velocidad-eslora ($V/\sqrt{E}$):

Como también se puede ver en la figura, la resistencia a la fricción es la más importante para velocidades bajas, siendo la de formación de olas (Wave -Making) el componente principal para velocidades altas y aumentando verticalmente a partir del valor $V/\sqrt{E} = 1,34$

Figura 10. Curva velocidad-resistencia



Fuente: Montes, Cuetos y Merayo. Hidrodinámica: Resistencia al avance

Resistencia directa (Vórtical)

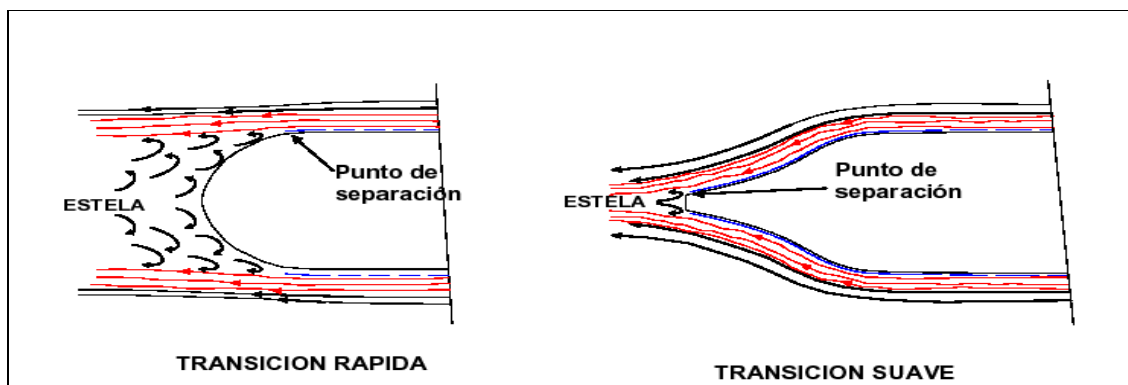
Se origina por la separación de la capa límite del casco del buque en la zona de popa, lo que provoca un efecto de succión, con formación de remolinos (Vórtices) y arrastre de agua (Estela).

Cuanto más suave sea la transición de los finos de popa, más hacia atrás estará ese punto, disminuyendo así la resistencia.

Existen fórmulas empíricas para determinarla (Rayleigh y Joessel), aunque lo normal es determinarla experimentalmente como parte de la resistencia residual.

En la figura a continuación se muestra la influencia de dos tipos de popas en la estela:

Figura 11. Formas de la estela en función de la forma de la popa



Fuente: Montes, Cuetos y Merayo. Hidrodinámica: Resistencia al avance

Otras resistencias debidas al agua

En este apartado agrupamos las siguientes resistencias:

- Resistencia debida a apéndices
- Resistencia debida al ángulo de metida del timón.
- Resistencia debida el propulsor
- Resistencia debida al asiento del buque

Vamos a realizar un análisis breve de cada una.

Resistencia debida a apéndices.-Se entiende por “apéndices” aquellas protuberancias que no forman parte del casco desnudo (Hélices, arbotantes, ejes de cola, timones..). En general provocan un aumento de la resistencia de fricción y de la vertical o directa.

Tabla 16. Resistencia Típica por Apéndices

TIPO DE BUQUE	$V / \sqrt{E}$		
	0.65	0,93	1.49
Grandes, rápidos, 4 hélices	10-16%	10-16%	-
Pequeños, rápidos, 2 dos hélices	20-30%	17-25%	10-15%
Pequeños, velocidad intermedia, 2 hélices	12-30%	10-23%	-
Grandes, velocidad intermedia, 2 hélices	8-14%	8-14%	-
Todos los buques de una sola hélice	2-5%	2-5%	-

Fuente: Elaboración propia

V en metros/segundo y E=Eslora en metros.

Resistencia debida al ángulo de metida del timón.- El intentar mantenerse dentro de una línea de rumbo muy precisa en base a continuos cambios de rumbo puede significar incrementos de consumo de hasta el 10 %.

Resistencia debida el propulsor.- Las hélices, en su funcionamiento, aspiran el agua de proa y la lanzan hacia popa, aumentando la velocidad relativa de los filetes líquidos, y por tanto la resistencia por fricción. Igualmente se producen remolinos, lo cual aumenta la resistencia. En este aumento influye también la resistencia por fricción de la propia hélice, que se ha considerado en la resistencia por apendices.

En general, el valor de la resistencia debida a la propulsión depende de las formas de carena del buque y principalmente de las dimensiones, posición y número de hélices. El valor de esta resistencia oscila entre un 10% y un 20% del valor de la resistencia total.

Resistencia debida al asiento del buque.- Se debe a la diferencia entre los calados de proa y popa (asiento) que producen una variación en las líneas de agua del buque y en la superficie mojada.

3.4.2 Resistencia aerodinámica al avance

La resistencia aerodinámica al avance consta de dos componentes, de fricción y formación de remolinos, causadas por el flujo relativo del aire alrededor de la “obra muerta” del buque.

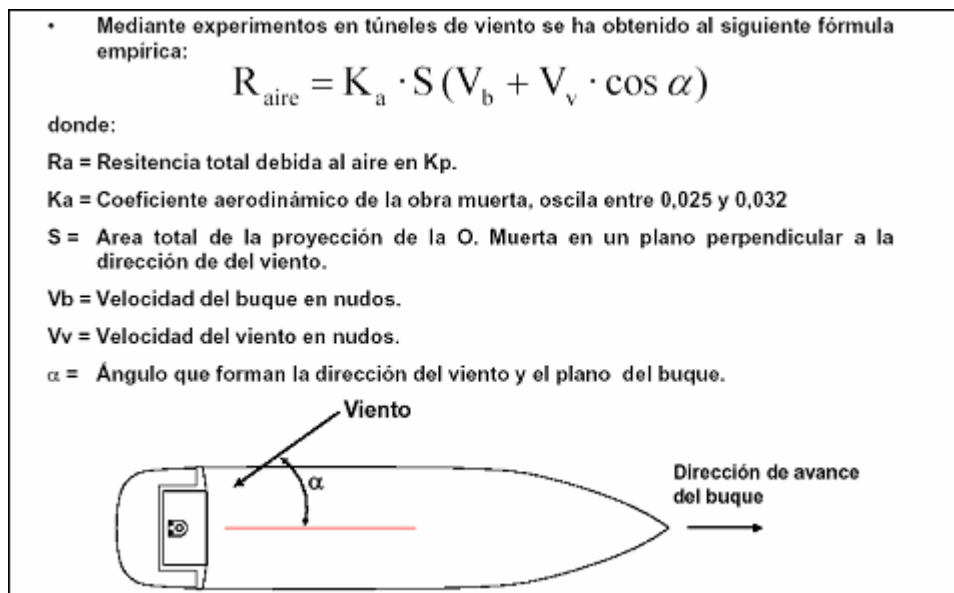
En algunos casos puede ser la componente principal de la resistencia.

Depende de la densidad del aire, de la velocidad relativa del viento, del área proyectada de la obra muerta sobre un plano perpendicular a la dirección del viento y de un coeficiente de resistencia.

El aire tiene una densidad 800 veces menor que el agua, por lo que esta componente generalmente es mucho menor que la debida al agua. Experimentalmente se ha comprobado que la resistencia aerodinámica supone alrededor del 2,7 % de la resistencia total.

Adquiere importancia, solamente, en buques rápidos y en los que tienen mucha superestructura.

Figura 12. Resistencias aerodinámica



Fuente: Montes, Cuertos y Merayo. Hidrodinámica: Resistencia al avance

3.4.3 Resistencias accidentales al avance

Se agrupan en este componente de la resistencia, aquellas que no están presentes de forma continua cuando el buque se encuentra en movimiento. Son resistencias de tipo hidrodinámico

Los tipos de resistencias accidentales son:

Resistencias debidas al paso por aguas poco profundas y canales estrechos.- El flujo del agua debido al estrechamiento bajo el buque, provoca un aumento de la velocidad del agua en esta zona, provocando un incremento de la resistencia de fricción. A su vez, este aumento de la velocidad en el fondo provoca un aumento del calado, y por tanto de la obra superficie mojada. Debido a las restricciones en las tres dimensiones, las olas que se forman en el paso de aguas profundas son mayores para una misma velocidad, lo que provoca un incremento de la resistencia por formación de olas.

Resistencias debidas al estado de la mar.- Las olas oceánicas debidas al viento o a las tormentas causan que el buque gaste más energía para mantener una velocidad dada, ya que provocan incrementos de la superficie mojada. El ángulo, respecto al eje longitudinal del buque, con el que las olas inciden en éste con el resultado de balance, cabezada y guiñada, tiene importancia en el aumento de la resistencia, y por tanto en el gasto de energía que hay que hacer para superarlos. Esta componente de la resistencia es muy importante en situaciones de mar gruesa.

3.4.4 Proceso de cálculo de la resistencia hidrodinámica al avance

En este apartado se van a analizar las fórmulas y los procesos experimentales para el cálculo de la resistencia al avance del buque.

Como resumen de lo antes expuesto tenemos el siguiente esquema:

- Resistencia al avance total = Resistencia hidrodinámica + Resistencia aerodinámica + Resistencias accidentales
- Resistencia hidrodinámica=Resistencia de fricción+Resistencia de formación de olas+Resistencia directa+Otras resistencias debidas al agua

Vamos a centrarnos en las resistencias hidrodinámicas, ya que anteriormente se ha descrito la fórmula para el cálculo de la resistencia aerodinámica, y ésta es, además, mucho menos importante en general en los buque mercantes.

Métodos no experimentales

Se han desarrollado métodos no experimentales para el cálculo de la resistencia hidrodinámica al avance.

Existen dos tipos diferentes de métodos:

- Métodos numéricos: Son herramientas de simulación por ordenador que permiten estudiar el comportamiento de unas formas. Existen dos subgrupos de métodos de cálculo; uno basado en la teoría del flujo potencial, que permiten calcular la resistencia por formación de olas; y otro basado en las ecuaciones de Reynolds que reproducen el comportamiento de fluidos reales. Facilitan mucho el análisis de modificaciones.

- Métodos estadísticos: Se basan análisis de regresión de ensayos sobre modelos y mediciones de velocidad en buques reales. Son muy sencillos de usar, pero la imprecisión de sus resultados es muy grande en algunos casos. Existen varios métodos, de los que el más conocido es el método de Holtrop y Mennen, pero está limitado para determinados intervalos de valores del número de Froude, de la relación L_{pp} (Eslora entre perpendiculares)/B (Manga) y de C_p (Coeficiente prismático, relación entre el volumen del buque y el de un prisma de las mismas dimensiones).

Método experimental

En la inmensa mayoría de los casos se utiliza un método experimental, mediante un modelo del buque a escala 1/10.

Vamos a exponer el proceso de cálculo de la resistencia hidrodinámica al avance del buque. El grupo de otras resistencias debidas al agua no suele entrar en el cálculo de la resistencia al avance, sino que se prevé un margen de reserva potencia, parcialmente calculado en las pruebas de autopropulsión y el resto por experiencia de buques anteriores.

Esta resistencia se puede descomponer en:

- Resistencia de fricción
- Resistencia residual: Es la suma de la resistencia por formación de olas y la resistencia directa o vortical.
- Resistencia de correlación

Cuando se calculan estas resistencias se calcula la resistencia de parte de estos apéndices si se dispone de su definición. Si no, se deja un margen de potencia para absorber el incremento de resistencia.

Usualmente, en buques mercantes no se hacen cálculos experimentales de la resistencia debida al aire. Si se precisa tener en cuenta esta resistencia, se calcula o se deja un margen de potencia propulsora para su absorción.

Los canales de experiencia hidrodinámicos modernos disponen de generadores de olas que permiten conocer el incremento de resistencia por olas y el comportamiento general del buque debido a éstas. Si no se calcula experimentalmente, se hace una estimación del margen de potencia necesario para vencer esta resistencia.

Existe un componente de la resistencia total denominada “correlación” que se debe a la rugosidad del casco y a los efectos de escala entre modelo y buque.

El cálculo de este coeficiente se explica al analizar el cálculo de la resistencia al avance de la carena.

Se utiliza para realizar ajustes en la correlación entre modelo y buque real.

Introducción teórica del sistema experimental con modelos

La resistencia al avance del buque en el del agua está compuesta por la resistencia de fricción y la resistencia residual.

La fórmula de la resistencia de una carena en el agua es:

$$R_T = 0,5 \times C_T \times L^2 \times V^2 \times \delta \quad [2]$$

Denominándose a C_T coeficiente de carga.

En los ensayos de remolque del canal, se considera el buque en condiciones de pruebas; es decir sin viento ni olas y casco limpio. En estos ensayos el propulsor no está montado.

De la experiencia y de la observación directa se sabe que la resistencia al avance de un buque determinado, depende fundamentalmente de las siguientes magnitudes:

- Eslora (L)
- Velocidad del buque (V)
- Densidad del agua, δ
- Viscosidad absoluta, ρ
- Presión del fluido, P
- Aceleración de la gravedad, g
- Viscosidad cinemática: γ

Como la resistencia es una fuerza, su ecuación dimensional

$$F = ML/T^2 = f(L^a, V^b, \delta^c, \rho^d, P^e, g^f) \quad [3]$$

Por análisis dimensional obtenemos la siguiente expresión.

$$F = M \cdot L \cdot T^{-2} = L^2 \cdot V^2 \cdot \delta \cdot F \left\{ (p/LV\delta), (P/V^2\delta), (Lg/V^2) \right\} \quad [4]$$

Número de Froude.- La relación $L \cdot g/V^2$, representa la relación entre las fuerzas de inercia y las de gravedad. Se denomina número de Froude (F_n) a la expresión:

$$F_n = V/\sqrt{L \cdot g} \quad [5]$$

El número de Froude es adimensional y su cuadrado es la inversa de una de las expresiones entre paréntesis. El número de Froude está relacionado con la potencia residual.

Número de Reynolds.- La relación $\rho/L \times V \times \delta$, representa la relación entre las fuerzas de inercia y las de viscosidad. Se denomina número de Reynolds a la inversa de la expresión anterior

$$R_n = L \cdot V/\gamma = L \cdot V \cdot \delta/\rho \quad [6]$$

El número de Reynolds es adimensional y está relacionado con la resistencia a la fricción.

Número de cavitación.- El tercer número de la expresión entre paréntesis ($P/V^2 \times \delta$), se le denomina “número de cavitación”, tiene un valor menor que los otros componentes y está relacionado con los sistemas de correlación buque-modelo.

Luego tenemos las siguientes expresiones de la resistencia al avance del buque:

$$R = 1/2 \times \delta \times C_T \times V^2 \times S \quad [7]$$

$$C_T = f(R_n, F_n) = (V \times L \times \delta/P, L \times g/V) \quad [8]$$

Teorema de Froude.- Dos cuerpos con formas geoméricamente semejantes si obtienen los mismos números de Froude y de Reynolds y las características del fluido en que se mueven son las mismas, los resultados que se obtengan de uno de ellos pueden extrapolarse al otro, de tal forma que el coeficiente de carga C_T es igual en los dos cuerpos.

Los subíndices $_m$ y $_b$ significan respectivamente modelo y buque.

Si analizamos lo que implica en lo que respecta al modelo y a las condiciones de prueba de éste:

La condición de que los números de Reynolds del modelo y del buque sean iguales implica que:

$$R_{N(m)} = R_{N(b)} = V_m \cdot L_m / \gamma_m = V_b \cdot L_b / \gamma_b \Rightarrow V_m / V_b = L_b / L_m \cdot \gamma_b / \gamma_m \quad [9]$$

La condición de que los números de Froude del modelo y del buque sean iguales implica que:

$$F_{N(m)} = F_{N(b)} = V_m / \sqrt{L_m \cdot g_m} = V_b / \sqrt{L_b \cdot g_b} \Rightarrow V_m / V_b = \sqrt{L_m / L_b} \cdot \sqrt{g_m / g_b} \quad [10]$$

La relación usualmente usada modelo-buque es de 1/100.

Con esto tendríamos las siguientes relaciones:

$$R_{N(m)} = R_{N(b)} \Rightarrow V_m / V_b = L_b / L_m \cdot \gamma_b / \gamma_m \Rightarrow V_m / V_b = 100 \cdot \gamma_b / \gamma_m \quad [11]$$

$$F_{N(m)} = F_{N(b)} \Rightarrow V_m / V_b = \sqrt{L_m / L_b} \cdot \sqrt{g_m / g_b} \Rightarrow V_m / V_b = 1/10 \cdot \sqrt{g_m / g_b} \quad [12]$$

Como se ve ambas, condiciones no se pueden cumplir.

Si llamamos λ (razón de semejanza) a la relación entre las principales dimensiones del buque y del modelo de manera que:

$$L_b / L_m = M_b / M_m = C_b / C_m = \lambda \quad [13]$$

Donde:

L = Eslora, B = Manga, C = Calado.

Si igualamos los números de Reynolds de buque y modelo obtenemos que:

$$V_m = V_b \times \lambda \quad [13]$$

Lo cual supone probar el modelo a velocidades 10 veces superiores a las previstas para el buque, lo que es imposible de realizar en un canal de experiencias hidrodinámicas.

Si igualamos los números de Froude de buque y modelo obtenemos:

$$V_m = V_b / \sqrt{\lambda} \quad [14]$$

Que la condición de velocidad de ensayo asumible en un canal de experiencias hidrodinámicas.

El igualar números de Froude de buque y modelo nos da que el coeficiente de resistencia residual es igual en ambos.

Determinación de la resistencia al avance de la carena

Vamos a comentar ahora el procedimiento, ITTC '78, para obtener la resistencia al avance de la carena del buque, en base a los datos obtenidos, en la prueba de remolque de un modelo geoméricamente semejante al buque, en el canal de experiencias hidrodinámicas.

Para determinar la curva de resistencia al avance de la carena, el procedimiento formula la hipótesis de que la resistencia al avance medida en canal, R_m , (C_{Tm} en términos adimensionales), se descompone en dos componentes independientes: uno

de naturaleza viscosa, C_{vm} , y otro de naturaleza residual, C_r que a igualdad del número de Froude, es igual en el modelo que a plena escala.

Luego:

$$C_{Tm} = C_{Vm} + C_m \quad [15]$$

El valor de C_T lo obtenemos de la expresión:

$$C_T = R_m / (0,5 \times \delta_m \times V_m^2 \times S_{mm}) \quad [16]$$

S_{mm} es la superficie mojada del modelo

R_m lo obtenemos de los ensayos de remolque del modelo

La componente de fricción de la resistencia, C_{vm} , se iguala a la resistencia de una placa plana de eslora similar a la del modelo, de los ensayos de carena, C_{fm} , multiplicada por un coeficiente denominado “factor de forma” ($1+k$), que tiene en cuenta el efecto tridimensional de la carena. Se supone que el factor de forma es independiente del número de Reynolds, por lo que no está afectado por ningún tipo de escala.

Luego:

$$C_{Vm} = (1+k) \times C_{fm} \quad [17]$$

El valor de C_{fm} se obtiene mediante la fórmula:

$$C_{fm} = 0,075 / (\log_{10} R_{Nm} - 2)^2 \quad [18]$$

Y el número de Reynolds del modelo será:

$$R_{Nm} = V_m \times L_m / \gamma_m \quad [19]$$

L_m es la eslora en la flotación del modelo.

El factor de forma, k , se obtiene por diferentes métodos, siendo el de Prohaska el que recomienda ITTC '78.

Este procedimiento parte de la formula:

$$C_{Tm} / C_{fm} = (1+k) + a \times F_N^4 / C_{fm} \quad [20]$$

Esta expresión se representa gráficamente como una recta, en la que el eje de ordenadas es la expresión C_T / C_{fm} y el eje de abscisas F_N^4 / C_{fm} y en la que a es la pendiente y $1+k$ la intersección con el eje de ordenadas.

Para dibujar la curva, se ejecuta el modelo a diferentes velocidades.

Por diferencia obtenemos el coeficiente de resistencia residual del modelo, C_{rm}

$$C_{rm} = C_{Tm} - C_{Vm} \quad [21]$$

Cálculo de la resistencia al avance de la carena del buque

Como hemos visto antes, la resistencia al avance de la carena a plena escala, R (C_T en nomenclatura adimensional), se descompone en tres componentes: resistencia viscosa (C_v), resistencia residual (C_r), y correlación modelo-buque (C_a). Esta última componente se calcula mediante la fórmula de Borden y Davison, que lo relaciona con la eslora del buque y la rugosidad superficial de éste.

Donde:

$$R = 0,5 \times V^2 \times S_M \times p \times C_T$$

$$C_T = C_V + C_a + C_r$$

$$C_V = (1 + k) \times C_f$$

$$C_f = 0,075 / (\log_{10} R_N - 2)^2$$

$$R_N = V \times L / \gamma$$

$$C_a = 105 \times \left((k_s / L)^{1/3} - 0,64 \right) \times 10^{-3}$$

Siendo k_s la resistencia superficial que se suele igualar a 150 μm (micras) y L la eslora del buque en la flotación.

Al haber hecho los ensayos en condiciones de igual valor del número de Froude, los coeficientes de resistencia residual del buque y modelo serán los mismos.

Luego ya podemos calcular el coeficiente de resistencia total de la carena del buque y por tanto la resistencia total ($R = 0,5 \times V^2 \times S_M \times \rho \times C_T$) al avance de ésta.

La potencia de remolque se calcula por la fórmula:

$$\text{EHP} = R \times 9,81 \times V / 735 \quad [22a]$$

R en Newtons y EHP en HP's

$$\text{EKW} = R \times 9,81 \times V / 1000 \quad [22 b]$$

R en Newtons

EHP en kW.

En la descripción del equipo propulsor se analiza cómo se obtiene la potencia del motor propulsor a instalar, en función de la potencia de remolque.

Resistencia del propulsor

El propulsor, en su funcionamiento, interactúa con la carena del buque, produciendo los siguientes efectos:

- *Efecto de estela*: La distribución del flujo potencial en popa, el carácter viscoso del agua y las olas generadas por la propia carena, dan lugar por una parte, a que en los distintos puntos de disco de la hélice la velocidad de entrada del agua sea diferente, y además a que su valor sea generalmente inferior al de la velocidad del buque
- *Efecto de succión*: La acción de la hélice produce una aceleración del flujo de agua en la zona del disco de la hélice, con respecto al flujo que se produce cuando la carena es remolcada a la misma velocidad, y por tanto se produce una caída de presión en la zona de popa, lo que da lugar a un incremento de resistencia, es decir, que el empuje de la hélice ha de ser igual a la resistencia de remolque de la carena, a la misma velocidad, más el incremento de resistencia que produce la propia acción de la hélice sobre la carena.

Los ensayos del propulsor son dos:

El ensayo del propulsor aislado

Tiene por objeto el estudio del rendimiento de la hélice a diferentes velocidades cuando recibe un flujo homogéneo.

La interacción del propulsor con la carena se analiza en el canal en el ensayo de autopropulsión.

La hélice en su funcionamiento se puede asimilar a un tornillo que avanza en un medio líquido, por lo que existe un efecto de resbalamiento o deslizamiento, de manera que cada giro completo de la hélice propulsora, no la hace avanzar axialmente respecto al agua un paso, sino una distancia inferior (Paso de la hélice se define como el paso del helicoides del cual forma parte la cara de presión cuando el paso es radialmente constante. En caso de contrario se toma como paso característico el de la sección cilíndrica a 0,7 del radio).

El efecto de este deslizamiento de la hélice sobre el agua, se mide a través del coeficiente de deslizamiento, definido como la diferencia entre lo que avanzaría la hélice propulsora en un medio sólido, y lo que avanza realmente en el agua, por unidad de tiempo, en porcentaje del primero.

Si la hélice trabajara en un medio sólido, sin rozamiento, toda su potencia motriz se transformaría en potencia útil de penetración

Por efecto del deslizamiento, la potencia que entrega la hélice es menor que la suministrada a ésta.

Los ensayos en el canal de experiencias hidrodinámicas

En las primeras etapas del anteproyecto del buque, se procede a seleccionar las formas de iniciales de éste y a realizar una estimación de la resistencia y de la potencia propulsora.

Las formas se definen mediante utilizando formas de buques anteriores considerados adecuados, por generación a partir de los parámetros principales de dimensionamiento definidos del buque o de series sistemáticas desarrolladas por los canales de experiencias.

Es muy importante este paso ya que la etapa de prueba del modelo suele ser posterior a la firma del contrato del buque, y en este se fija la velocidad que debe dar el buque en unas condiciones de carga determinada, con un motor usualmente decidido y en condiciones sin viento y olas y casco limpio.

Un canal de experiencias hidrodinámicas consiste en una piscina que puede superar los 300 metros de largo y el cual está dotado de las instalaciones necesarias para realizar pruebas de modelos.

Figura 13. Canal de experiencias hidrodinámicas



En los ensayos básicos que se realizan en el canal podemos distinguir los siguientes:

- Ensayo de remolque: El buque sin propulsor es remolcado por un carro de remolque dotado de los equipos de medida. Se utiliza para calcular la curva resistencia al avance de la carena.

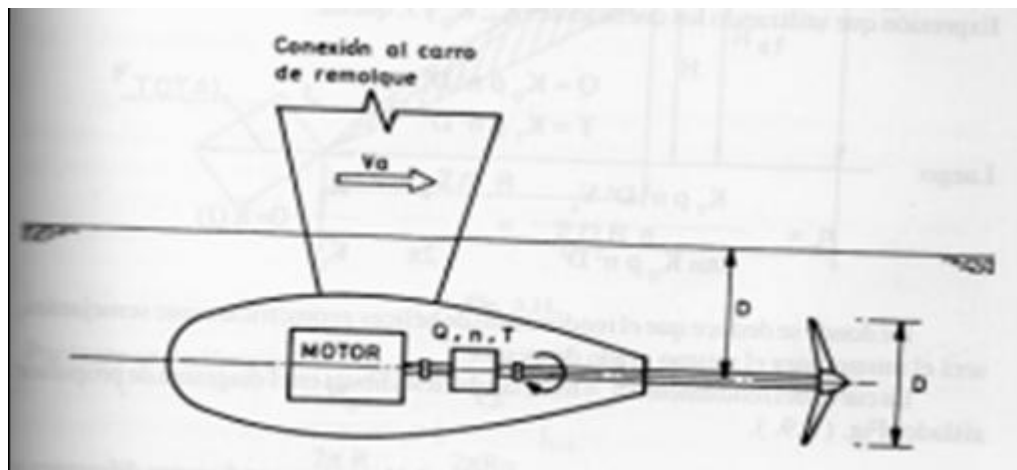
Figura 14. Ensayo de resistencia de carena



- Ensayo de propulsor aislado: Se escoge un primer diseño de hélice en base a los datos del canal y la experiencia. Se prueba el modelo del propulsor aislado y sirve para calcular el rendimiento de la hélice. Para ello, se miden los coeficientes de empuje y de par. No es un ensayo de resistencia, sino para calcular la curva del rendimiento de la hélice a distintas velocidades.

Para ello se coloca la hélice unida por un eje a un pequeño bote en el que se monta un motor propulsor.

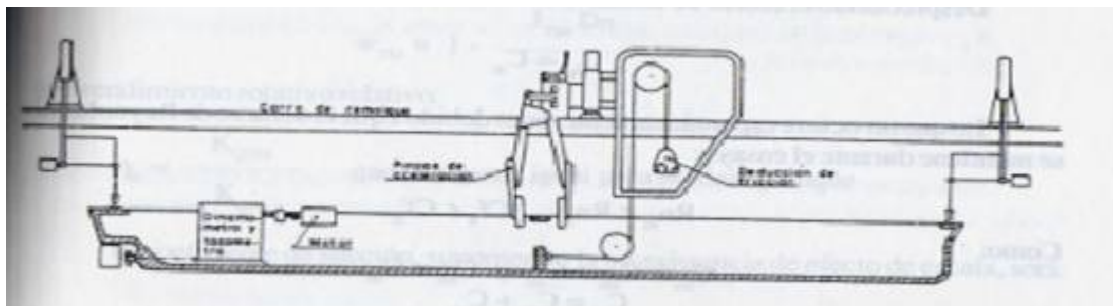
Figura 15. Ensayo de propulsor aislado



Fuente: De Juan - García. Principios de teorías del buque. Dinámica

- Ensayo de autopropulsión: Al modelo usado para el ensayo de remolque se le colocan los apéndices, un modelo a escala de la hélice (El mismo que se usa para el ensayo de propulsor) montado en el extremo de un eje acoplado a un motor eléctrico, en el que se montan los equipos de medida. Se utiliza para determinar el rendimiento del casco y el rotativo relativo. Se miden el empuje de la hélice y el par motor entregado.

Figura 16. Ensayo de autopropulsión



Fuente: De Juan - García. Principios de teorías del buque. Dinámica

Además, no siempre, se hacen otros ensayos como los del comportamiento con olas.

3.5. La propulsión

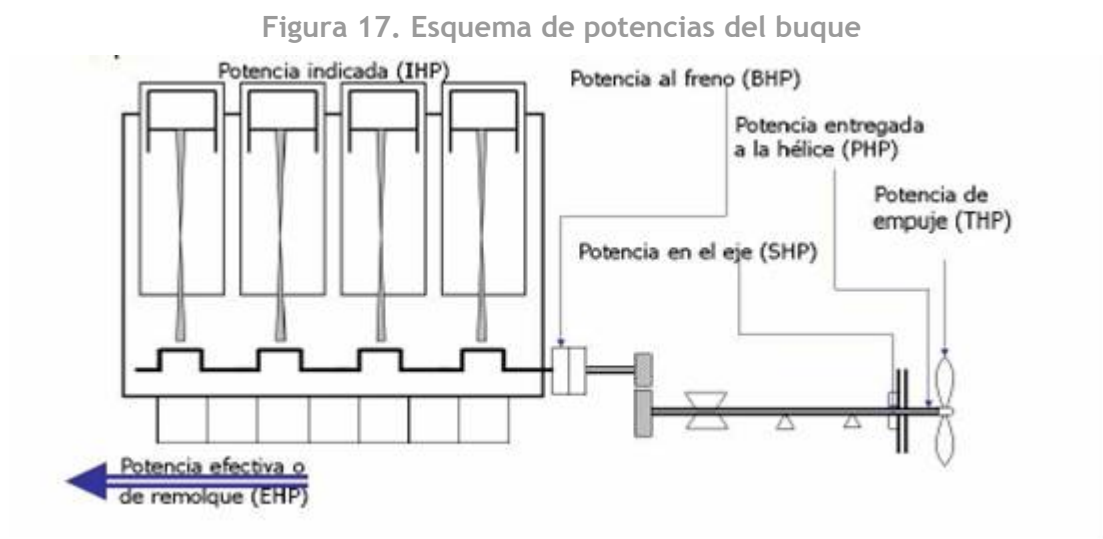
En el apartado anterior se ha explicado las resistencias que ofrece el buque al avance. Estas resistencias al avance deben ser contrarrestadas por el empuje del equipo propulsor.

El sistema de propulsión del buque está, generalmente, formado por un motor propulsor (normalmente un motor diesel) unido a una hélice mediante una línea de ejes.

Debido a que es el sistema usado en la mayoría de los buques nos vamos a centrar en la explicación de éste.

Existen sistemas de propulsores que no utilizan hélices para la propulsión, sino que logran ésta mediante sistemas turbobombas que lanzan de chorro de agua a través de toberas orientables (*Water jet*). Este sistema es usado principalmente en buques de pasaje.

Analizando el sistema propulsor con motor diesel y línea de ejes tenemos el siguiente esquema de potencias:



Fuente: G. Pérez. Teoría del Buque. Maquinas

Definiciones:

- Rendimiento del motor: $\eta_{\text{Motor}} = \text{BHP} / \text{IHP}$, su valor está alrededor de 0,9
- Rendimiento de la línea de ejes: $\eta_m = \text{PHP} / \text{BHP}$, su valor está alrededor de 0,95
- Rendimiento del propulsor $\eta_p = \text{THP} / \text{PHP}$, se calcula en los ensayos de canal, de propulsor aislado, su valor oscila entre 0,6 y 0,7.

En el rendimiento del propulsor, η_p , distinguiremos entre:

- Rendimiento de éste estar instalado detrás del buque (rendimiento del propulsor en aguas abiertas, η_o) que se obtiene en el canal en las pruebas de propulsor aislado.
- Rendimiento del propulsor colocado detrás del buque, η_p , que es el rendimiento del propulsor propiamente dicho.
- A la relación η_p / η_o , se le denomina “rendimiento rotativo relativo”, η_r .

- Rendimiento de la carena $\eta_h = \text{EHP}/\text{THP}$, su valor está alrededor de 0,95

En base a los resultados de las pruebas del modelo y a los datos de rendimientos del motor y línea de ejes, se calcula la potencia a instalar.

Como las condiciones de navegación reales no son iguales a las de pruebas de canal, (ya que hay resistencia por olas y viento y además el buque va deteriorándose su carena y su propulsor por incrustaciones y deformaciones), al estimar el motor se hace una reserva de potencia que oscila, normalmente, entre el 10 y el 15%.

3.5.1 El motor propulsor

Dentro de los sistemas de propulsión hay que distinguir, según las características del motor propulsor, entre:

- *Sistemas de propulsión diesel*: El motor propulsor es un motor diesel.
- *Sistemas de propulsión diesel eléctricos*: El motor de propulsión es eléctrico recibiendo la energía de grupos diesel generadores, los cuales llevan motores semirápidos.
- *Sistemas de propulsión por turbina*: El equipo propulsor está formado por una turbina de vapor que recibe este de una caldera que quema fuel oil o gas. Antiguamente se usaban, con calderas quemando fuel oil, en grandes buques graneleros y petroleros pero debido a su alto consumo específico que llegaba a los 300 g/kWh, su uso en la marina mercante en la actualidad se limita a los buques de transporte de gas, a fin de aprovechar los gases de la carga, que se emiten para evitar sobrepresiones en los tanques ("Boil off"). Aunque existen otros buques con turbina de gas, su uso es muy limitado.

El consumo específico de los equipos de propulsión de turbina es mucho más alto que el de los motores diésel. Su porcentaje de uso no llega al 5 % de los buques.

Se han construido buques mercantes con propulsión nuclear, como el Savannah, pero ya no están en uso. (Solo quedan en uso algunos rompehielos).

Con mucha diferencia, el sistema de propulsión más usado es el basado en motores diesel.

El decidir si se monta un motor lento o uno semirápido depende de la potencia que se precise y del perfil operativo del buque, por lo que depende del tipo de buque.

El criterio de clasificación de los motores más usado es según la velocidad de giro:

- *Motores lentos*. Su velocidad de giro es entre 80 rpm y 300/400 rpm normalmente entre 80 y 140 revoluciones por minuto. Se utilizan como motores propulsores y son los de menor consumo específico, permitiendo el uso de fuel oil de alta viscosidad.
- *Motores semirápidos*, con una velocidad de giro de entre 300/400 rpm y 1.000 revoluciones por minuto. Se utilizan como motores propulsores y generadores y usan fuel oil o diesel oil. Actualmente el desarrollo de estos motores permite su uso con fuel oil de alta viscosidad.
- *Motores rápidos*. Su velocidad de giro es de más de 1.000 revoluciones por minuto, se usan como motores generadores o en buques de pequeño tamaño como motores propulsores. Debido a que queman gas oil, su uso en la marina mercante es reducido.

Los motores lentos tienen unos consumos específicos menores y son más robustos que los semirápidos por lo que su mantenimiento es más barato y tienen menos averías con lo que provocan menos paradas del buque.

Como inconvenientes principales es que su peso es mucho mayor, si comparamos dos motores de similar potencia, uno de dos tiempos y otro de cuatro tiempos, los pesos son las siguientes:

- Motor Wartsila W46 12V46:
Potencia: 12.600 kW
Peso: 169 t
- Motor MAN 5 L60ME-C:
Potencia: 11.700 kW
Peso: 286 t

El precio de un motor lento es mayor que el de un motor semirápido de potencia equivalente, tanto del motor en si mismo como el del equipo asociado.

Los motores semirápidos, además de los aspectos antes mencionados, tienen un control de emisiones, una flexibilidad de maniobra y unos cambios de velocidad y carga mucho mejores que los motores lentos.

Actualmente la tendencia es a montar motores semirápidos en potencias inferiores a 3.000 kW. En el intervalo de 3.000 a 11.000 rpm depende del perfil operativo, por lo que los buques Ferry, Ro-Ro, etc. llevan motores semirápidos y los buques petroleros, portacontenedores medio/grandes, y graneleros equipos motores lentos.

Se fabrican motores semirápidos de potencia hasta de 20.000 kW. Hay que tener en cuenta que se fabrican motores de dos tiempos (lentos) con potencias de hasta casi 100.000 kW.

Diesel eléctrica.- Después de los sistemas de propulsión diesel los más usados son los sistemas de generación diesel eléctrica, en los que el motor propulsor es eléctrico y el buque está dotado de unos grupos generadores que suministran la energía al motor propulsor y a los servicios del buque.

Este sistema es el más usado en los buques de pasaje por su flexibilidad, menor ruido y vibraciones y por precisar una gran potencia eléctrica en los servicios del buque.

Dentro de los sistemas de generación diesel eléctricos hay que reseñar los sistemas:

- “Azimut”, en los que la hélice está montada en una barquilla orientable y el motor eléctrico de propulsión está en el interior del casco.
- “Azipod”, en los que la hélice está montada en una barquilla orientable y el motor eléctrico de propulsión está en la barquilla.

En el sistema tradicional el propulsor es un motor eléctrico conectado una línea de ejes que acaba en el propulsor, situado a popa del buque (sistema similar al de motor diesel).

3.5.2 La línea de ejes y la hélice

Línea de ejes

Se define la “línea de ejes” como el equipo que transmite la fuerza del motor propulsor a la hélice. Está formado por un cilindro macizo de acero forjado con los acoplamientos al motor propulsor y a la hélice.

Anteriormente se ha explicado de manera muy elemental cómo funciona el propulsor y las pérdidas de potencia y/o aumentos de resistencia al avance debido a este funcionamiento y a la interacción entre propulsor y carena.

También se montan multiplicadores, o bien se monta un equipo multiplicador/reductor así como tomas de potencia para la generación de corriente eléctrica en la etapa de crucero. A veces esta toma se sitúa a proa del motor.

Los buques normalmente llevan la hélice en popa, por lo que la línea de ejes comienza en el acoplamiento de popa del motor propulsor y finaliza en el propio propulsor.

En el caso de motores semirápidos, la línea de ejes dispone de un equipo reductor ya que la hélice tiene que trabajar por debajo de las 200 rpm.

Si el buque tiene equipo generador de cola, se dispone de una toma de fuerza con un multiplicador entre la línea de ejes y el generador el cual trabaja a velocidades del orden de 1.500 rpm. Esta toma puede disponerse a proa del motor (PTO)

Hélice

Se define la “hélice” como el órgano propulsor de los buques, accionado por la máquina propulsora, dotado de palas de forma diversa fijadas radialmente al eje de propulsión y cuya finalidad es convertir, en interacción con el fluido, la fuerza de rotación en fuerza de translación.

Dentro de las hélices se distingue entre:

- Hélices de paso fijo: En ellas, las palas no pueden variar su posición angular con respecto al eje, por lo que absorberán igual potencia si las revoluciones y las condiciones de calado son las mismas.
- Hélices de paso controlable: Las palas de la hélice son orientables, pudiendo variar el ángulo de avance respecto al eje, permitiendo absorber en función del ángulo, más o menos potencia a las mismas revoluciones y condiciones de calado.

3.5.3 Otros equipos consumidores de combustible

Además del motor propulsor que es el principal consumidor de energía del buque, hay que resaltar los motores de los grupos auxiliares como el segundo consumidor de energía.

El buque es autónomo en su funcionamiento y necesita energía para sus equipos y servicios, tanto del equipo propulsor, como del buque, de la tripulación o de la carga; y tanto cuando está navegando, como cuando tienen el equipo propulsor parado.

Esta energía se suministra principalmente como energía eléctrica; y en segundo lugar y en mucha menor proporción, como energía de vapor o aceite calentado.

A fin de dimensionar la potencia requerida de los motores auxiliares (los cuales son, en la mayor parte de los casos, por motores semirápidos) se calcula un balance eléctrico en las diferentes condiciones de navegación, crucero, maniobra y puerto con operaciones de carga o/y descarga o sin operaciones.

Los buques más modernos están equipados con los denominados “generadores de cola” que consisten en generadores eléctricos conectados al generador de cola mediante equipos multiplicadores y que pueden estar engranados o no. Estos equipos suministran la energía eléctrica cuando el buque está en navegación de crucero. La problemática que presentan estos sistemas de generadores de cola es que deben trabajar en un margen de revoluciones muy estrecho lo que hace que si el buque lleva hélices de paso fijo su uso es muy limitado a cuando las condiciones de la mar son muy buenas y el motor propulsor trabaja sin variar las revoluciones.

Este problema se soluciona en gran medida en los equipos propulsores dotados de hélices de paso controlable, preparados para navegar en condiciones de revoluciones constantes absorbiendo las variaciones de resistencia y por tanto de potencia requerida variando el paso de la hélice en vez de variar las revoluciones, lo que permite el uso de generadores de cola en condiciones de mar peores.

Además de los equipos de generación de energía eléctrica los buques suelen requerir vapor para el calentamiento del fuel oil; y, dependiendo de la carga que lleven para el calentamiento de la carga.

Asimismo, en el caso de que naveguen por zonas con temperaturas muy bajas, disponen de vapor para evitar que el agua de lastre se congele y para eliminar el hielo que se forma. Este vapor se produce durante la navegación mediante el aprovechamiento de la energía de los gases de escape de los motores diesel mediante intercambiadores de calor dispuestos en las conducciones de gases de escape. Para su producción, en puerto o cuando los gases de escape no suministran todo el vapor requerido, los buques disponen de calderas de vapor alimentadas con fuel oil.

Asimismo, el buque lleva un equipo incinerador para la quema de residuos, el cual usa fuel oil.

4. TIPOS DE COMBUSTIBLES

En el transporte marítimo se utilizan principalmente dos tipos de combustibles, el “diesel oil” y el “fuel oil”, quedando limitado el uso del “gas oil” a motores rápidos de poca potencia para generación de energía eléctrica y en buques de recreo.

Una caracterización de los combustibles marinos más comunes se detalla en la Tabla siguiente.

Tabla 16. Tipos de combustibles marinos

Tipo de combustibles marinos				
Nombre	Denominación ISO Viscosidad	Composición	Máximo contenido de azufre	Contenido medio de azufre
Fuel oil 380 (IFO 380)	MRG35 360cst	98% aceite residual 2% aceites destilados	4,50%	2,67%
Fuel oil 180 (IFO180)	RME25 180cst	88% aceite residual 12% aceites destilados	4,50%	2,67%
Diesel oil marino	DMB	Aceites destilados con muestras de aceite residual	2%	0,65%
Gas oil marino	DMA	100% aceites destilados	1,50%	0,38%
Según el anexo VI de MARPOL el contenido máximo de azufre será del 4,5 % Cst= centiestokes				

Fuente: EXXON

La proporción de consumo entre fuel oil y diesel oil en los puertos españoles es de 82 % y 18 % respectivamente. Sin embargo esta relación en el mundo es de 77,5 % y 24,5 % respectivamente.

Se suele considerar que el 80 % del consumo es de fuel oil y el 20 % de diesel oil.

Las potencias caloríficas son las siguientes:

- Fuel oil: Entre 40.000 y 40.500 Kilojulios por kilogramo.
- Diesel oil: Entre 42.000 y 42.500 Kilojulios por kilogramo.

5. EL PROCESO DE PARAMETRIZACIÓN DEL CONSUMO POR UNIDAD DE TRANSPORTE

5.1. Introducción

En este capítulo se pretende establecer, por tipo de buque, una relación entre el combustible consumido y la distancia recorrida por la carga transportada.

Es evidente que los parámetros diferirán para los distintos buques.

Como se ha explicado, en la marina mercante cada buque es un proyecto diferente, considerándose una serie de 20 buques iguales ya una serie grande.

Este hecho hace difícil el definir un buque representativo y calcular el consumo por unidad de transporte para éste y que el resultado sea significativo.

Por ello, en primer lugar se ha decidido usar la clasificación que hace TRENDS de los tipos de buques, por aproximarse a los datos por tipo de buque que entraron en los puertos españoles.

A continuación, se enumeran los pasos dados para obtener la parametrización del consumo, realizándose a continuación una exposición detallada y la obtención de los valores de cada etapa.

Para realizar el desarrollo se han planteado los siguientes pasos:

1. Establecer, en base a los datos de flota mundial, una relación entre la potencia propulsora instalada y la capacidad de carga de los diferentes tipos de buques, así como su velocidad media.
2. Establecimiento de la velocidad de crucero por tipo de buque
3. Establecer la potencia instalada de los motores generadores.
4. Definir los ciclos de actividad tanto en tiempo como en potencia propulsora y de motores auxiliares a considerar en cada etapa.
5. Establecer los consumos específicos tanto de los motores propulsores como de los motores auxiliares a considerar.
6. Porcentaje de capacidad utilizada
7. Otros consumos a considerar

5.2. Relación entre potencia instalada capacidad del buque (GT)

Existen diferentes fórmulas que mediante análisis de regresión obtienen las fórmulas que correlacionan, por tipo de buque, la potencia propulsora instalada con la capacidad del buque medida por sus toneladas de registro bruto (GT).

Estas correlaciones se han hecho con datos de la flota realmente existente.

Entre las más conocidas se pueden citar las realizadas dentro del programa MEET (*Methodologies to Estimate Emissions from Transport*) de la Unión Europea y por la Universidad Técnica de Dinamarca (DTU)

Para este estudio se ha decidido utilizar las estimaciones realizadas por la DTU

Tabla 17: Relación entre capacidad y consumo por tipo de buque y valores de correlación estadística

Tipo de Buque	Peso	Desviación cuadrática	Consumo de combustible (kg km ⁻¹)	Desviación cuadrática
Tanques	1,87 x GT	0,9886	0,2283 x GT ^{0,5589}	0,8865
Graneleros	1,83 x GT	0,9859	0,3059 x GT ^{0,5241}	0,913
Carga general	1,39 x GT	0,9287	0,1637 x GT ^{0,6024}	0,7105
Porta contenedores	1,09 x GT	0,9445	0,0489 x GT ^{0,7381}	0,7748
RoRo/Ferry/Carga	0,54 x GT	0,5404	1,2324 x GT ^{0,3967}	0,3025
Pasajeros	0,18 x GT	0,7816	0,173 x GT ^{0,6134}	0,7509

Fuente: Base de datos de la Universidad Técnica de Dinamarca

Se ha usado para este estudio la clasificación que hace TRENDS de los tipos de buques por el tipo de carga que llevan.

Como se ve en la tabla, la correlación es muy buena para los buques tanque, graneleros, carga general y portacontenedores; es aceptable para los buques de pasaje y débil para los buques Ro-Ro, Ferry y Carga, debido a la diferencia entre los tipos de buques englobados en esta categoría.

Definición de los tipos de buques según Eurostat y TRENDS

Tabla 18: Tipos de buques

Table 3 Eurostat definition of ship types and correlation with the TRENDS categories		
Eurostat	Ship categories included by Eurostat	TRENDS
Liquid bulk	Oil tanker, chemical tanker, LG tanker, tanker barge, other tanker	Tanker
Dry bulk	Bulk/oil carrier, bulk carrier	Bulk carrier
Container	Full container	Container ship
Specialised	Barge carrier, chemical carrier, irradiated fuel, livestock carrier, vehicle carrier, other specialised	General cargo
General cargo, non specialised	Reefer, RoRo passenger, RoRo container, other RoRo cargo, combination carrier general cargo/passenger, combination carrier general cargo/cargo, single-decker, multi-decker	RoRo/ferry/cargo
Dry cargo barge	Deck barge, hopper barge, lash-seabee barge, open dry cargo barge, covered dry cargo barge, other dry cargo barge	Bulk carrier
Passenger	Cruise, other passenger only	Passenger ship

Fuente: EUROSTAT y TRENDS

Luego las fórmulas que relaciona la potencia propulsora con la capacidad (en GT) son:

Tabla 19: Fórmulas de relación potencia propulsora-GT

Tipo de buque	Potencia propulsora en función GT
Tanques	$36,6666 \times GT^{0,5589}$
Graneleros	$46,4003 \times GT^{0,5241}$
Porta contenedores	$10,3625 \times GT^{0,7381}$
Carga general	$21,9095 \times GT^{0,6024}$
Ro-Ro/Ferrys/Carga	$206,1793 \times GT^{0,3967}$
Pasajeros	$32,0879 \times GT^{0,6134}$

Potencia en kW

Fuente: Elaboración Propia

El parámetro que mejor define la capacidad de carga del buque es el “peso muerto” (peso máximo de la carga, combustibles, aceites, pertrechos y otros consumibles).

De forma empírica, en base a la base de datos del Lloyd's Register of Shipping, el informe TRENDS (Transport and environment database system) obtiene la relación entre GT y DWT por tipo de buque:

Tabla 20: Relación peso muerto/ toneladas de registro bruto (DWT/GT) por tipo de buque.

Tipo de buque	DWT/GT
Tanques	1,9
Graneleros	1,83
Porta contenedores	1,09
Carga general	1,39
Ro-Ro/Ferrys/Carga	0,55
Pasajeros	0,16

Fuente: Lloyd's Register

Para los buques portacontenedores uno de los parámetros más importantes, es la capacidad máxima en TEUS.

Para el caso de buques portacontenedores, la relación entre DWT y TEUS es de 13,67 t/TEU

Como resultado, tenemos una relación entre potencia propulsora y peso muerto (DWT) o las TEUS:

Tabla 21: Relación potencia propulsora y peso muerto (DWT) o TEUS

Tipo de buque	Potencia propulsora en función DWT
Tanques	$19,2982 \times \text{DWT}^{0,5589}$
Graneleros	$25,3553 \times \text{DWT}^{0,5241}$
Portacontenedores	$9,5069 \times \text{DWT}^{0,7381}$
Portacontenedores	$129,959 \times \text{Teu's}^{0,7381}$
Carga general	$15,7622 \times \text{DWT}^{0,6024}$
Ro-Ro/Ferrys/Carga	$374,8714 \times \text{DWT}^{0,3967}$
Pasajeros	$178,2664 \times \text{DWT}^{0,6134}$

Potencia en kW.

Fuente : Elaboración Propia

5.3. Velocidad de crucero

Los buques se diseñan habitualmente para obtener, en condiciones de máxima carga y en la etapa de crucero, una velocidad denominada “velocidad de servicio” utilizando una potencia entre el 85 y el 90 % de la potencia propulsora instalada.

La razón de no utilizar normalmente la máxima potencia propulsora se debe a que se reducen en un alto porcentaje los costes de mantenimiento del motor propulsor y se alarga la vida de éste.

El buque cuando navega en lastre no puede utilizar más que una parte de la potencia propulsora. Para una misma velocidad, se estima que la potencia en lastre supone un 90 % de la potencia que emplea con un 75 % de la carga.

En condiciones de mala mar, o viento fuerte la resistencia al avance del buque aumenta, y además debe reducir la velocidad para no sufrir daños.

El estado del casco, en especial las incrustaciones, pueden aumentar la resistencia hasta el 15 % en buques modernos y hasta el 50 % en buques antiguos.

De una manera empírica se obtienen los siguientes valores medios para la velocidad de crucero, por tipo de buque:

Velocidades en régimen de crucero:

- Tanques: 26,7 Km/h
- Bulkcarriers: 26,2 Km/h
- Portacontenedores: 36,4 Km/h
- Carga general: 25,6 Km/h
- Ro-Ro/Ferry/Carga : 26,2 Km/h
- Pasajeros: 37,8 Km/h

La información se ha obtenido de los siguientes documentos: “Quantification of emissions from Ships associated with ship movements between ports in the European Community” desarrollado por ENTEC UK Limited; y “Emission inventory guidebook-Shipping activities” desarrollado por National Environmental Protection Agency, Italy (ANPA).

5.4. Potencia instalada de motores

El documento “ENTEC 2005” fija de relación entre potencia propulsora y de generadores la siguiente:

Tabla 22: Proporción potencia propulsora- potencia generadores

Table 2.4 Proportion of installed capacity represented by MEs and AEs			
	Small	Medium	Large
Fraction of ME installed capacity of total ship's installed capacity (%)	84%	88%	91%
Fraction of AE installed capacity of total ship's installed capacity (%)	16%	12%	9%
Total installed capacity (%)	100%	100%	100%

Fuente: ENTEC

La clasificación entre pequeños, medianos y grandes es la siguiente:

Tabla 23: Clasificación de buques según potencia propulsora.

Table 2.2 Main engine size categories and representative engine size			
	Small	Medium	Large
Class boundaries ME kW rating (kW)	ME < 6,000 kW	6,000 kW <= ME < 15,000 kW	15,000 kW <= ME
Upper and low engine sizes in each range (kW)	75-6,000	6,000-15,000	15,000-146,618
Representative engine size used in calculations (kW)	3,000	10,000	25,000
Fraction of ships using SSD 2-stroke engines	48%	58%	55%
EU-flagged fleet >500GT			
Fraction of EU-flagged ships falling into the ME categories	55%	35%	10%
Fraction of total EU-flagged fleet installed capacity	20%	45%	35%
World fleet >500GT			
Fraction of world fleet ships falling into the ME categories	60%	30%	10%

Fuente: ENTEC

Considerando los buques que entraron en los puertos españoles durante el año 2005, obtenemos las siguientes características medias de tonelaje (GT).

Tabla 24. Buques considerados en el estudio

Tanques	15.909 t
Graneleros	12.412 t
Porta contenedores	21.870 t
Carga general	5.303 t
RO-RO/Ferry/Carga	11.651 t
Pasajeros	9.010 t

Fuente: Elaboración propia

Hay que tener en cuenta que la clasificación que hace TRENDS (y que hemos usado para los datos anteriores) no coincide en su totalidad con la de Puertos del Estado, en especial en lo que se corresponde a carga general.

Por esta razón se considera que la mitad de los buques de carga general deberían estar en el grupo de Ro-Ro/Ferrys/Carga y la otra mitad en el grupo de carga general.

Los datos expresan la de capacidad (GT) y están basados en el tráfico de los puertos españoles del año 2005. No se usan los datos del año 2006, último disponible, por no incorporar separadamente los buques de pasaje y no presentar variaciones significativas respecto a los del año 2005.

Aplicando las fórmulas de potencia del motor propulsor a los buques que entraron en los puertos españoles durante el año 2005 tenemos las siguientes potencias:

Tabla 25. Potencia propulsora buques considerados en el estudio

Tanques	8.177 Kw
Graneleros	6.488 Kw
Porta contenedores	16.547 Kw
Carga general	3.840 Kw
RO-RO/Ferry/Carga	8.460 Kw
Pasajeros	8.554 Kw

Fuente: Elaboración propia

En el documento: “Estimation, validation and forecasts of regional commercial marine vessels inventories” desarrollado por James J Corbett de fecha April 2007 se fijan los siguientes datos de la flota mundial del año 2002.

Tabla 26: Potencias propulsora y de generadores eléctricos de flota mundial 2002

Tipo de buque	Motor principal	Motores generadores
Tanques	9.409	1.985
Graneleros	7.954	1.169
Portacontenedores	30.885	5.746
Carga general	9.331	1.777
RO-RO	10.696	2.156
Pasajeros	39.563	39.563

Potencias en kW

Fuente: Elaboración Propia

Hay que tener en cuenta que los buques de pasaje, tienen en general, propulsión diesel-eléctrico por lo que la potencia eléctrica instalada se usa también para la propulsión

En base a la anterior información y con datos de buques construidos, se usa la siguiente tabla de potencias instaladas de motores propulsores y generadores (Potencias en kW), basados en los datos de buques que entraron en los puertos españoles durante el año 2005.

Tabla 27: Potencia propulsora y de motores generadores de buques considerados en el estudio

Tipo de buque	Motor principal	Motores generadores
Tanques	8.177	1.750
Graneleros	6.488	1.100
Portacontenedores	16.547	2.800
Carga general	3.840	1.000
RO-RO/Ferry/Carga	8.460	1.645
Pasajeros	8.554	8.554

Potencias en kW

Fuente: Elaboración Propia

5.5. Los ciclos de vida en tiempo y en potencia propulsora y de motores auxiliares a considerar en cada etapa

En línea con las fuentes documentales, se van a usar las siguientes etapas de navegación:

- Crucero: Navegación a mar abierto.
- Precaución: Navegación de acercamiento a puerto.
- Maniobra: Navegación dentro del puerto hasta el muelle de atraque.
- Atracado: Buque amarrado en el muelle, con la propulsión parada pudiendo estar realizando operaciones de carga y/o descarga o sin operaciones.

La potencia de propulsión usada en la etapa de crucero depende varios factores:

- Las propulsiones se diseñan para el uso de entre el 85 y el 90 % de la potencia (MCR) instalada a fin de mejorar el rendimiento, disminuir los gastos de mantenimiento y alargar la vida de los motores propulsores.
- En caso de que el buque no esté a su completo desplazamiento, el motor propulsor no puede ir a la potencia máxima ya que el buque no tiene suficiente resistencia y la línea propulsora trabajaría en condiciones muy ineficientes.
- Asimismo, en caso de mal estado de la mar hay que reducir la potencia para que el buque no sufra excesivos esfuerzos.
- También hay que tener en cuenta que existe una relación directa entre la potencia y el cubo de la velocidad por lo que (especialmente en caso de fletes bajos), los buques pueden ir a velocidades reducidas que optimicen el consumo de combustible por unidad de distancia.
- Tanto en las estancias en puerto como en el porcentaje o duración de las otras etapas la variabilidad es muy alta dependiendo del tamaño de buque y del puerto considerado.

Para la obtención de estos datos se han usado diversas fuentes como empresas de navegación, administraciones de puertos y experiencias en navegaciones realizadas.

Se han preparado dos cuadros: el primero con los tiempos a usar en cada etapa del ciclo de actividad, y el segundo con las potencias consideradas, en cada etapa, tanto para el motor propulsor como para los motores generadores de electricidad.

Tabla 28: Ciclo actividad considerada

Tiempos:	Crucero		Zona acercamiento		Maniobra		Muelle	
	Tanques**	Distancia tablas/velocidad media	2 horas		1 hora		31 horas	
	Bulcarriers**	Distancia tablas/velocidad media	2 horas		1 hora		38 horas	
	Carga general	Distancia tablas/velocidad media	2 horas		1 hora		38 horas	
	Portacontenedores	Distancia tablas/velocidad media	2 horas		1 hora		14 horas	
	Ro-Ro	Distancia tablas/velocidad media	2 horas		1 hora		14 horas	
	Pasaje*	Distancia tablas/velocidad media	2 horas		1 hora		14 horas	
% Potencias a utilizar:	Crucero		Zona precaución		Maniobra		Muelle	
	Motor propulsor (MP)	Motores auxiliares (MAA)						
			MP	MAA	MP	MAA	MP	MAA
	Tanques**	75%	30%		20%	50%	0%	40%
	Bulcarriers**	80%	30%		20%	50%	0%	40%
	Carga general	70%	30%		20%	50%	0%	40%
	Portacontenedores	72%	30%		15%	50%	0%	40%
	Ro-Ro	82%	30%		15%	50%	0%	40%
	Pasaje*	80%	--		40%		25%	--

5.6. Consumos específicos, tanto de los motores propulsores como de los motores auxiliares, a considerar

Basados en los datos del documento “Quantification of emissions from ships associated with ship movements between ports in the European Community European Commission-ENTEC-2002 se obtiene para el año 2000 los siguientes consumos específicos del motor propulsor por tipo de buque y etapa (consumiendo fuel oil):

Tabla 29: Consumos específicos año 2000.

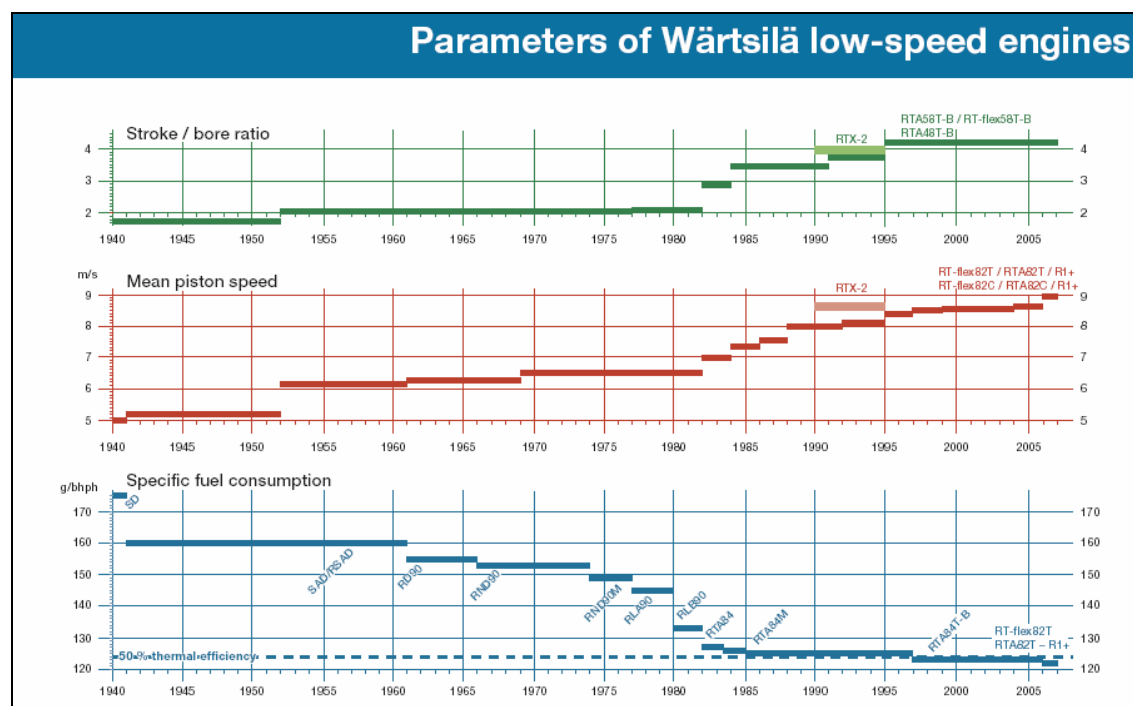
Consumos específicos (g/kWh)			
Tipos de buques	Crucero	Maniobra	Puerto
Tanques	210	230	
Bulkcarriers	203	223	
Carga general	202	222	
Porta contenedores	199	219	
Ro-Ro	210	230	
Pasajeros	217	227	227

Fuente: ENTEC.

El consumo de los motores auxiliares se estima en 217 g/kWh (consumiendo diesel oil). El incremento de consumo derivada de la distinta potencia calorífica de estos combustibles es del 4,5% al pasar de diesel oil a fuel oil.

Para analizar la evolución de los consumos específicos de los motores lentos, se ha considerado, la que han tenido los motores del fabricante Wartsila, en sus diferentes modelos, la cual se puede ver en la figura siguiente:

Figura 18: Evolución consumo de motores lentos.



Fuente: Wärtsilä

Para analizar la evolución de los consumos específicos de los motores semirápidos, se ha considerado, la evolución que han tenido los motores de la serie 32 del fabricante Wärtsilä, en los últimos 12 años.

Tabla 30: Evolución consumo específico motores semirápidos.

Año	Modelo	Consumo específico (g/kWh)
1994	Vasa 32LN	181 g/kWh
1996	Wärtsilä 32(B)	176 g/kWh
2007	Wärtsilä 32(C)	171 g/kWh

Fuente: Wärtsilä

Teniendo en cuenta la variación de la flota entre el año 2000 y el año 2007, según datos de las Naciones Unidas (Informe UNCTAD 2000 y 2007) y los datos de evolución de los consumos específicos tanto de motores lentos como de motores semirápidos obtenemos una mejora del consumo específico que varía entre el 6,2 % de los buques tanques y el 2,9 % de los buques de carga general con una media estimada en el 4 %.

Tabla 31: Consumos específicos a considerar para motores principales de fuel oil

Consumos específicos (g/kWh)			
Tipos de buques	Crucero	Maniobra/Precaución	Puerto
Tanques	201	220	
Bulkcarriers	195	215	
Carga general	194	214	
Porta contenedores	191	211	
Ro-Ro	202	222	
Pasajeros	208	217	217

Fuente: Elaboración Propia

Motores auxiliares; 208 grs./kWh de diesel-oil o de 217 g/kWh considerando fuel oil la potencia calorífica media del fuel oil es de 40.000-40.500 kJ por kg y la del diesel oil 42.000-42.500 kJ por kg.

5.7. Porcentaje de capacidad utilizada

El estudio “Ships Emissions Study” preparado por “National Technical University of Athens Laboratory for Marine Transport”, en mayo del 2008, en el que se analizan los porcentajes de capacidad utilizada considera lo siguiente:

- Buques tanques: Normalmente hacen un viaje llenos y el retorno vacíos.
- Buques graneleros: Aunque los buques de mayor capacidad hacen normalmente un viaje llenos y el retorno vacíos, los de tipo medio y pequeño realizan viajes triangulares aprovechando mejor su capacidad de transporte.
- Buques contenedores: Normalmente transportan carga en todos sus viajes, en mayor medida que los otros tipos (se considera carga el retorno de los contenedores vacíos).
- Carga general: Normalmente transportan carga en todos sus viajes.
- Ro-Ro/Ferrys/: Normalmente transportan carga en todos sus viajes.
- Pasajeros: Normalmente transportan carga en todos sus viajes.

Asimismo, el citado estudio, considera que la capacidad máxima de carga alcanza el 95 % del peso muerto (DWT).

Teniendo en cuenta que Lloyd's Register considera que la capacidad máxima de carga a considerar sería del 80 % del peso muerto (DWT), y analizando datos de buques conocidos se ha tomado como relación entre capacidad de carga máxima y peso muerto 0,9.

En base a los datos del estudio arriba citado y la consideración explicada de relación entre capacidad real de carga y peso muerto (90%) se han obtenido los siguientes porcentajes de capacidad usada y peso muerto.

Tabla 32: Porcentaje de capacidad de carga utilizada.

Tipo de Buque	% de capacidad usada
Tanques	45 %
Granelero	55 %
Portacontenedor	65 %
Carga General	55 %
Ro-Ro	55 %
Pasajeros	55 %

Fuente: Elaboración propia

5.8. Otros consumos a considerar

Cuando se está hablando de “capacidad usada” sobre “capacidad disponible”, se están considerando los buques en operación, y no todos los buques, ya que un porcentaje de éstos está sin operación por motivos varios como en reparación, revisión, o parados por falta de flete o cualquier otra razón. En esta situación, el consumo de los servicios a bordo es menor del 40 % de la potencia de generación eléctrica instalada, ya que los servicios en funcionamiento son los mínimos necesarios para asegurar la habitabilidad y seguridad del buque y su tripulación.

En base a datos de buques construidos esta potencia sería del orden de 10% de la potencia eléctrica instalada o menor, con lo que este consumo puede suponer del orden del 0,7 % al 1% del consumo total.

Hay que tener en cuenta que se estima en un 7% el consumo energético adicional de los buques auxiliares, como remolcadores, de servicio de puerto etc., que hay que añadir a los cálculos anteriores.

Por lo tanto habría que añadir un consumo extra a los cálculos anteriores de un 8%.

ANEXO

Anexo A. Glosario resumido del buque

En todas las ramas de las ciencias se usan palabras específicas, y esta circunstancia se agudiza en el mundo marítimo por lo que es conveniente definir los principales vocablos que se usa en la Monografía. Al final se incluye un apéndice con una relación de los términos más usados en el mundo marítimo, pero a fin de hacer más inteligible las explicaciones se incluye a continuación una relación de los términos más relevantes referentes al buque:

Adrizar (*To right*): Acción de reducir o eliminar la escora del buque.

Amarrar el buque (*To Moor*): Colocar el buque adosado al muelle y fijarlo con amarras (Cuerdas o cables).

Arbotante (*Strut*): Pieza de hierro que sobresale en el casco para el soporte de la línea de ejes.

Asiento (*Trim*). Diferencia de calados entre proa y popa

Bodega (*Hold*): Espacio bajo cubierta destinado a la carga. En el caso de buque de transporte de líquidos o gases se denomina “tanque”.

Buque de doble casco (*Double Hull Ship*): Buque dotado de compartimentos independientes a lo largo de los costados y del fondo a fin de proteger la carga que se lleva en los tanques o en las bodegas en caso de una colisión lateral o una varada. Los tanques que forman el doble casco se usan habitualmente como tanques de lastre. El doble casco se puede prolongar en la zona de cámara de máquinas. Actualmente las reglas IMO requieren que los tanques de aceite y combustible no estén en contacto con el casco exterior a fin de evitar derrames en caso de varada o colisión, por lo que en caso de estar en los costados o en el fondo deben tener doble casco

Calado (*Draft*): Altura del agua medida desde el fondo. Las líneas de francobordo definen el calado máximo.

Carena (*Underwater hull*): Parte sumergida del casco, por debajo de la línea de flotación.

Casco (*Hull*): Cuerpo que forma el contorno exterior del buque y contiene en su interior todos los elementos del mismo (No incluye las casetas).

Cavitación (*Cavitation*): Formación de burbujas de vapor en el seno de un líquido por la falta de presión.

Codaste (*Stern post*): Pieza de acero o de madera que se levanta perpendicularmente a la quilla y en la que se monta el timón.

Cuaderna (*Frame*): Sección transversal del buque (Perpendicular a la dirección de la eslora)

Cuaderna maestra (*Main frame, midship section*): Sección central del buque perpendicular a la dirección de la eslora.

Cubierta (*Deck*): Cada uno de los pisos o suelos del buque que se unen al costado del buque.

Cubierta principal (*Main deck*): Cubierta superior que da estanqueidad al buque.

Desplazamiento (*Displacement*): Peso del volumen de agua que desplaza el buque, que corresponde al peso total del buque.

Desplazamiento máximo (*Full load displacement*): Peso del volumen de agua que desplaza el buque cuando éste tiene su peso total máximo. Cada buque lleva grabado en ambos costados, en el centro del buque, unas marcas denominadas de “francobordo” que señalan la máxima altura del agua en el costado, y por tanto su desplazamiento máximo.

Desplazamiento en lastre (*Ballast displacement*): Desplazamiento del buque en condiciones de navegación pero sin carga. (Todos los buques realizan navegaciones en lastre, pero en el caso de los grandes graneleros, gaseros y tanques navegan en lastre el 50% de su tiempo aproximadamente).

Escora (*List*): Inclinação el buque en el sentido de la manga.

Eslora (*Length*): Medida de longitud del buque.

Tonelaje de registro bruto (GRT)(*Gross Tonnage*): Medida de volumen que fue reemplazado por los GT en 1994, pero que es aún ampliamente usada para los mismos usos que la de GT. Se expresa en toneladas de registro, que equivalen a 100 pies³ (aproximadamente a 2,83 m³).

Tonelaje de registro bruto (GT)(*Gross Tonnage*): Medida del volumen, expresada en toneladas, de todos los espacios cerrados del buque. Se utiliza como medida de referencia del buque para la aplicación de reglamentos y para el cálculo de tasas de muelle, de registro etc.

Para su cálculo se utiliza la siguiente fórmula: $GT = K \times V$, donde V es el volumen total del buque en m³ y K un coeficiente que varía de 0,22 a 0,32 dependiendo del tamaño del buque.

Hélice (*Propeller*): Elemento propulsor del buque, formado por palas acopladas a un eje que al girar hacen moverse al buque. Existen otros sistemas propulsores que no utilizan hélices (como los impulsores de agua), pero la inmensa mayoría de los buques utilizan el sistema de hélices.

Lastre (*Ballast*): Peso, comúnmente agua del mar, que carga el buque para darle condiciones adecuadas de navegabilidad, tanto para que la hélice esté suficientemente sumergida en el agua como para que el buque no tenga una inclinación excesiva en el sentido de la eslora, como para que vaya adrizado (Sin inclinación en el sentido de la manga).

Manga (*Beam, Breadth*): Medida del ancho del buque.

Milla marina (*Sea mile*): Medida de longitud equivalente a 1.852 metros.

Motores auxiliares o motores generadores (*Auxiliary engines*): Equipos formados por un motor diesel acoplado a un generador que producen la energía eléctrica del buque para los distintos servicios.

NT (Tonelaje neto) (*Net tonnage*): Medida de volumen, expresada en toneladas, de la capacidad de los espacios de carga. Se usa en paralelo con el GT.

Nudo (*Kn*): Medida de velocidad de 1 milla/hora.

Obra muerta (*Deadwood, upper Works*): Parte no sumergida del casco

Obra viva (*Underwater hull*): Parte sumergida del casco, por debajo de la línea de flotación.

Peso en rosca (LW): Peso de la estructura y maquinaria del buque, con el buque listo para navegar, incluye los líquidos en las tuberías y equipos.

Peso muerto (DWT): Peso de la carga, combustibles, pertrechos y otros consumibles como aceites y agua.

Popa (*Alter, stern*): Parte posterior del buque.

Proa (*Fore, bow*): Parte delantera del buque.

Puntal (*Depth*): Medida de altura del buque desde el fondo a la cubierta principal.

Quilla (*Keel*): Pieza de madera o acero que va de popa a proa por la parte inferior del buque y sobre la que se asienta su armazón.

Roda (*ítem*): Pieza gruesa y curva que forma la proa del buque.

Tanque (*Tank*): Recinto cerrado del buque que se utiliza para almacenar o transportar líquidos que se llevan como carga o se utilizan para el servicio del buque(Aceites, combustibles, agua salada, aguas residuales.)

Tanques de lastre (*Ballast tanks*): Espacios vacíos, comúnmente situados en los extremos de proa y popa y en el fondo y laterales de la zona de carga. Estos espacios se llenan de agua salada cuando el buque navega en lastre, usándose asimismo para dotar al buque de condiciones adecuadas de navegación mediante la consecución de caldos adecuados en popa, un trimado adecuado y el buque adrizado.

Timón (*Rudder*): Pieza articulada de madera o acero que sirve para gobernar el buque.

Trimado (*Trim*): Diferencia de calados entre popa y proa. Mide la inclinación del buque en el sentido de la eslora.

Velocidad de servicio (*Service speed*): Velocidad media a que el buque navega normalmente, en condiciones normales meteorológicas y al calado normal de servicio.

BIBLIOGRAFÍA

- 1º.- Asociación de ingenieros navales “Consumos de combustible”.
- 2º.- Stephemn P. Markle-Alan J. Brown. Naval Ship Engine exhaust emission characterization. Naval Engineers Naval-1996
- 3º.- J. Corbett-Paul S. Fishbeck “Commercial marine Emissions Inventory for EPA, Category 2 and 3 Compression Ignition Marine Engines in United States Continental and Inland Waterways”. EPA-1998
- 4º.- Carlo Trozzi-Rita Vaccaro “Methodologies for estimating air pollutant emissions from ships”. MEET RF-1998
- 5º.- Carlo Trozzi-Rita Vaccaro “Calculating transport emissions and energy consumption Part C. Ship transport”. MEET- 1999
- 6º.- Action COST 319 final report “Methods of estimation of atospheric emissions from transport: European scientist network and scientific state-of-the-art”. INRET- 1999
- 7º.-. Rent, S. Nunge , U. Kart, T. Holtan, T. Zundel “Feasibility study on the development of a design for an emission projection model based on the CORINAIR-Approach”. “French-German Institute for Environmental Research-University of Karlsruhe”-1999
- 8º.- K. A. Lavender “Marine Exhaust Emissions Quantification Study-Mediterranean Sea”. European Union-1999
- 9º.- Gerardo Polo-2000 “Sobre la estructura de costes del transporte marítimo en España”.
- 10º.- Analysis of commercial marine vessels emissions and fuel consumption data.EPA - 2000
- 11º.- Marintek-Carnegie Mellon- Econ- “Study of Greenhouse Gas Emissions from Ships” (Final Report IMO). DNV-2000
- 12º.- Alejandro Micó , Natalia Perez “Determinants of maritime transport costs”.Inter-American Development Bank-2002
- 13º.- Quantification of emissions from ships associated with ship movements between ports in the European Community -European Commission. Entec UK Limited-2002
- 14º.- Oyvind Endressen-Eirik Sorgárd-Jostein K. Sundet, Stig B. Dalsøren, Ivar S.A. Isaksen, Tore F. Berglen, Gjermund Gravir. “Emission from international sea transportation and environmental impact”. .DNV-University of Oslo-2003
- 15º.- J. J. Corbett -Horst W. Koehler “Updated_emissions from ocean shipping”. Journal of Geophysical research - 2003
- 16º.- J. Corbett, Horst Koehler. Considering alternative input parameters in an activity-based_slip fuel consumption_and emissions model: Reply to comment by Oyvind Endresen et al. on “Updated emissions from ocean shipping”.Journal of Geophysical research - 2.004
- 17º.- David Cooper, IVL “Methodology for calculating emissions from ships: 1. Update of emission factors”. Swedish Methodology for environmental data (SMED)-2004.
- 18º.- German Weisser “Fuel saving with Sulzer RT-flex”. German Weisser. WÄRTSILÄ - 2.004.
- 19º.- Georgakaki y otros “Transport_and Environment Database System (trends): Maritime air pollutant emission modelling”.2004.

- 20°.- David Cooper.HCB, PCB, PCDD and PCDF emissions from ships. IVL Svenka Miljöinstitutet AB-2004
- 21°.- INFRAS-Universidad de Karlsruhe.“Costes externos del transporte. Estudio de actualización”.2004
- 22°.- James J. Corbett “Verification of ship emission estimates with monitoring measurements to improve inventory and modelling”.-2004
- 23°.- Calculation system for the Finnish waterborne traffic emissions. MEERI -2005
- 24°.-Service contract on ship emissions: Abatement and market-based instruments.ENTEC UK Limited. European commission Directorate General Environment -2005
- 25°.- Testing and extrapolation methods, propulsion, performance, predicting powering margins. International Towing Tank . Recommended procedures and guidelines. International towing tank conference (ITTC)- 2.005
- 26°.- “Emissions from international shipping-The last 50 years”. Eyring V., H. W. Köhler, J. Van Aardenne, A. Lauer.Journal of Geophysycal Research - 2.005.
- 27°.- London Energy and CO2 Emissions Inventory Methodology Manual (LECI)-2006.
- 28°.- Greenhouse Gas Emissions for Shipping and Implementation Guidance for the Marine Fuel Sulphur Directive. CE Delft-Germanischer Lloyd´s-Marintel-Det Norske Veritas -2.006.
- 29°.- “Analysis of oil pollution at sea by means of sea craft in Spain”. F. Xavier Martinez de Osés. Universitat Politecnica of Catalunya- 2006.
- 30°.- V. Eyring-A. Lauer,D.s. Stevenson-F.J. Dentener, T. Butler, M.G. Lawrence, W.J. Collins, M. Sanderson, K. Ellingsen, M. Gauss, I.S.A. Isaksen, D.A. Hauglustaine, S. Szopa, A. Richter, J. M. Rodriguez, S. E. Strahan, K. Sudo, O. Wild, T.P. C. van Noije. Multi-model simulations of the impact of internacional shipping on atospheric chemistry and climate in 2000 and 2030(2006)
- 32°.- “Emission inventory guidebook-Shippig activities”. National Environmental Protection Agency, Italy (ANPA)-2.006.
- 33°.- Kong Ha, Youngil Jeong ,Alan C. Lloyd, Michael P. Walsh. “Air pollution and greenhouse gas emissions from ocean-going ships: Impacts, Mitigation Options and Opportunities for managing Growth”. International Council on Clean Transport (ICCT)-2007.
- 34°.- James J Corbett, Jeremy Firestone, Chengfeng- “Estimation, validation, and forecasts of regional commercial marine vessels inventories”. Californi Air Resources Board- 2007
- 35°.- Lauer, V. Eyring, J. Hhendricks, P. Jöckel, U. Lohmann y otros “Global model simulatios of the impact of ocean-going ships on aerosols y clouds Atospheric Chemistry and Physics Discussions” (2007).
- 36°.- Development of a Database System for the Calculation of Indicators of Environmental Pressure Caused by Transport (TREND). Georgakaki, R. Coffey, S.C. Sorenson-2002
- 37°.- “Ships Emissions Study”. Nacional Technical University of Athens Laboratory 2008
- 38°.- “Ship power system 2006”. Wartsila
- 39°.- “Marine Engine Programme 2007”. MAN Diesel
- 40°.- “Elaboración de un modelo probabilística para mejorar las predicciones de potencia y realizar un análisis del riesgo sobre la cumplimentación del requerimiento contractual de velocidad de un buque”. Tesis doctoral de D. Eduardo Minguito Cardeña

- 41°.- “Hidrodinámica: Resistencia al avance”. Horacio J. Montes Coto, José M. Cuetos Megido, Víctor Merayo Fernández
- 42°.- “Seguridad en el transporte marítimo”. Jesús Casas, Rafael Gutiérrez Fraile, Elena Seco, José Antonio Zarzosa, Primitivo González, Antonio Salamanca. Grupo de trabajo de medio ambiente y desarrollo sostenible- Colegio Oficial Ingenieros Navales-2005
- 43°.- “Aire limpio y sector marítimo”. Jesús Casas, Rafael Gutiérrez Fraile, Elena Seco, José Antonio Zarzosa, Primitivo González, Antonio Salamanca, Gustavo Paramés. Grupo de trabajo de medio ambiente y desarrollo sostenible- Colegio Oficial Ingenieros Navales-2006
- 44.- “Tráfico portuario en España”. Puertos del Estado - Ministerio de Fomento. Datos 2005-2006.
- 45°.- “Marina mercante y transporte marítimo”. ANAVE Informes 2006-2007
- 46°.- “El tráfico marítimo”. Gerencia Sector Naval-2007
- 47°.- “Los transportes y servicios postales”. Ministerio de fomento-Informe 2005
- 48°.- “EU Energía y transporte en números 2006”. Eurostat
- 49°.- “Maritime transport of goods and passengers 1997-2005”. Eurostat.
- 50°.- “World merchant fleet 2005”. U.S. Department of Transport
- 51°.- “Vessel calls at the U.S. and World ports 2005”. U.S. department of transportation
- 52°.- “Review of maritime transport”. United nations-Informes 2001-2007-2008

LISTA DE TABLAS Y DE FIGURAS

Tabla 1. Evolución mundial del transporte marítimo	7
Tabla 2. Tonelaje mundial por tipos de buques.....	8
Figura 1. Principales flotas mundiales.....	8
Tabla 3. Tamaño de la flota mundial por tipos de buques al comienzo de cada año ..	9
Tabla 4. Distribución de la flota mundial, por tipo de buque y edad en % de DWT, a comienzos del año 2007	10
Tabla 5. Evolución de la flota mercante mundial por país de bandera	11
Tabla 6. Flota de la Unión Europea por países	12
Tabla 7. Número de buques y peso bruto (GT) de los buques en los principales puertos de la Unión Europea en el 2006 por tipo de buque	13
Tabla 8. Peso bruto de la mercancía movida por la Unión Europea por país (en millones de toneladas)	14
Tabla 9. Peso bruto de la mercancía movida en todos los puertos, de la Unión Europea, por tipo de cargo (en % sobre el total)	15
Figura 2. Total flota controlada por empresas españolas. Incluye tanto la flota abanderada en España como la abanderada en terceros países.....	16
Tabla 10. Total flota controlada por empresas españolas. Incluye tanto la flota abanderada en España como la abanderada en terceros países.....	17
Figura 3. Flota controlada por navieras Españolas	17
Figura 4. Distribución por registros de la flota controlada por navieras españolas ...	18
Figura 5. Distribución de tipos de buques de la flota total controlada por empresas españolas	19
Figura 6. Edad de la flota total controlada por empresas españolas	20
Figura 7. Edad media de la flota española mundial	20
Tabla 11. Resumen general de tráfico del sistema portuario español.....	21
Tabla 12. Tráfico Portuario Total en España	22
Tabla 13. Tráfico de mercancías embarcadas y desembarcadas en España	23
Tabla 14. Tipos de buque (número y GT) por puerto español durante el año 2005 ...	24
Tabla 15. Tipos de buques (número y GT) por puerto español durante el año 2006 ..	25
Figura 8. Flujo de agua alrededor del buque	34
Figura 9. Trenes de olas	35
Figura 10. Curva velocidad-resistencia	36
Figura 11. Formas de la estela en función de la forma de la popa	36
Tabla 16. Resistencia Típica por Apéndices	37
Figura 12. Resistencias aerodinámica.....	38

Figura 13. Canal de experiencias hidrodinámicas.....	45
Figura 14. Ensayo de resistencia de carena.....	46
Figura 15. Ensayo de propulsor aislado.....	46
Figura 16. Ensayo de autopropulsión	47
Figura 17. Esquema de potencias del buque	48
Tabla 16. Tipos de combustibles marinos.....	53
Tabla 17: Relación entre capacidad y consumo por tipo de buque y valores de correlación estadística	55
Tabla 18: Tipos de buques.....	55
Tabla 19: Fórmulas de relación potencia propulsora-GT	56
Tabla 20: Relación DWT/GT por tipo de buque.	56
Tabla 21: Relación potencia propulsora y DWT o TEUS	57
Tabla 22: Proporción potencia propulsora- potencia generadores.....	58
Tabla 23: Clasificación de buques según potencia propulsora.....	58
Tabla 24. Buques considerados en el estudio	59
Tabla 25. Potencia propulsora buques considerados en el estudio	59
Tabla 26: Potencias propulsora y de generadores eléctricos de flota mundial 2002..	60
Tabla 27: Potencia propulsora y de motores generadores de buques considerados en el estudio.....	60
Tabla 28: Ciclo actividad considerada.....	62
Tabla 29: Consumos específicos año 2000.	63
Figura 18: Evolución consumo de motores lentos.....	64
Tabla 30: Evolución consumo específico motores semirápidos.	64
Tabla 31: Consumos específicos a considerar.	65
Tabla 32: Porcentaje de capacidad de carga utilizada.	66

Documentos del Proyecto EnerTrans

Monografías EnerTrans

Monografía 1: “El sistema español de transporte y sus impactos sobre la sostenibilidad”: José Ignacio Pérez Arriaga, Eduardo Pilo de la Fuente, Ignacio de L. Hierro Ausín

Monografía 2: “Usos de la energía en el transporte”: Alberto García Álvarez, M^a del Pilar Martín Cañizares

Monografía 3: “Modelos de consumos y emisiones: Estado del arte”: Timoteo Martínez Aguado, Aurora Ruiz Rúa, Ana Isabel Muro

Monografía 4: “Análisis de las estadísticas de consumos energéticos y emisiones de CO₂ en el transporte”: Alberto Cillero, Paula Bouzada Outeda

Monografía 5: “Tablas input-output relacionadas con las estadísticas de consumos y emisiones en el transporte”: Timoteo Martínez Aguado, Aurora Ruiz Rúa, Ana Isabel Muro Rodríguez

Monografía 6: “Métrica y estandarización de los consumos y emisiones en el transporte”: Alberto Cillero Hernández, Paula Bouzada Outeda, Alberto García Álvarez, M^a del Pilar Martín Cañizares

Monografía 7: “Incremento de recorrido en el transporte por longitud de caminos, operación y gestión”: Alberto Cillero Hernández, Paula Bouzada Outeda, Alberto García Álvarez, M^a del Pilar Martín Cañizares

Monografía 8: “Flujos del petróleo y del gas natural para el transporte”: José M^a López Martínez, Javier Sánchez Alejo, Álvaro Gómez, Ángel Fernández.

Monografía 9: “Flujos de la energía de la electricidad para el transporte”: Eduardo Pilo de la Fuente, José Ignacio Pérez Arriaga, Ignacio de L. Hierro Ausín, Jesús Jiménez Octavio

Monografía 10: “Consumo de energía y emisiones asociadas a la construcción y mantenimiento de infraestructuras”: Timoteo Martínez Aguado, M^a José Calderón Milán, Ana Isabel Muro Rodríguez

Monografía 11: “Consumo de energía y emisiones asociadas a la construcción y mantenimiento de vehículos”: José M^a López Martínez, Javier Sánchez Alejo

Monografía 12: “Consumo de energía y emisiones asociadas al transporte por coche y camión”: José María López Martínez, Javier Sánchez Alejo

Monografía 13: “Consumo de energía y emisiones asociadas al transporte por autobús y autocar”: Alberto Cillero Hernández, Gustavo Martinelli, Paula Bouzada Outeda

Monografía 14: “Consumo de energía y emisiones asociadas al transporte por avión”: Grupo de investigación en consumo energético del transporte aéreo de la Universidad Autónoma de Madrid

Monografía 15: “Consumo de energía y emisiones asociadas al transporte por barco”: Grupo de investigación del transporte marítimo de la Fundación Universidad de Oviedo

Monografía 16: “Consumo de energía y emisiones asociadas al transporte por ferrocarril”: Alberto García Álvarez, M^a del Pilar Martín Cañizares

Monografía 17: “Consumo de energía y emisiones asociadas al transporte por tubería”: Manuel Cegarra Plané

Monografía 18: “ENERTRANS: Modelo de cálculo y predicción de los consumos energéticos y emisión del sistema de transporte que permita valorar la sensibilidad de los consumos a las decisiones de inversión en infraestructura y de política de transporte”: Grupo de investigación del proyecto Enertrans

Notas técnicas EnerTrans

Nota técnica 1: “Introducción al transporte por tubería”: Manuel Cegarra Plané

Nota técnica 2: “Informe sobre el tráfico internacional y el consumo de carburante en el sector aeronáutico”: Grupo de investigación en consumo energético del transporte aéreo de la Universidad Autónoma de Madrid

Nota técnica 3: “Informe sobre el suministro de combustible en los aeropuertos en España”: Grupo de investigación en consumo energético del transporte aéreo de la Universidad Autónoma de Madrid

Nota técnica 4: “Estudio sobre las variables que influyen en el incremento de recorridos o incidencia del cociente entre trayectoria y desplazamiento en el transporte aéreo”: Grupo de investigación en consumo energético del transporte aéreo de la Universidad Autónoma de Madrid

Nota técnica 5: “Estudio sobre las variables que influyen en el incremento de recorridos o incidencia del cociente entre trayectoria y desplazamiento en el transporte ferroviario”: Alberto García Álvarez, Eduardo Fernández González

Nota técnica 6: “Estudio sobre las variables que influyen en el incremento de recorridos o incidencia del cociente entre trayectoria y desplazamiento en el transporte por tubería”: Manuel Cegarra Plané

Nota técnica 7: “Informe sobre el tráfico español y el consumo de carburante en el sector marítimo”: Grupo de investigación del transporte marítimo de la Fundación Universidad de Oviedo

Nota técnica 8: “Análisis de documentación referida al transporte marítimo”: Grupo de investigación del transporte marítimo de la Fundación Universidad de Oviedo

Nota técnica 9: “Aspectos generales del transporte marítimo”: Grupo de investigación del transporte marítimo de la Fundación Universidad de Oviedo

Nota técnica 10: “Características de la navegación marítima”: Grupo de investigación del transporte marítimo de la Fundación Universidad de Oviedo

Nota técnica 11: “Consumo de los servicios auxiliares en el automóvil”: José M^a López Martínez, Juan José Herrero

Nota técnica 12: “Notas sobre los valores del coeficiente de resistencia a la rodadura”: José M^a López Martínez, Juan José Herrero

Nota técnica 13: “Tipos de aeronaves según su compañía constructora”: Grupo de investigación en consumo energético del transporte aéreo de la Universidad Autónoma de Madrid

