

## 88 – ARQUEO DE LOS BUQUES

El arqueo o tonelaje de un buque es un valor basado sobre criterios muy precisos, que caracteriza la capacidad o el volumen del buque. El arqueo está actualmente regulado por el Convenio internacional de Londres sobre arqueo de buques, adoptado en 1969 y aplicable desde 1982 a todos los buques de más de 24 m.

La necesidad de arquear barcos es muy antigua y ya se puede encontrar en la antigua Persia. Una curiosidad: también encontramos esta noción en la Biblia, en Daniel 14/2. En el Antiguo Egipto, en el siglo IV AC, la unidad de medida era el "Khar" (el saco), luego el "Artabe", mientras que con los griegos nos dirigimos al "Medimne" que los romanos cambiarán por el "Modius" de unos 8,73 litros. Esta palabra Modius, (en plural Modii) aparece en francés con la palabra "Boisseau" que también se dice "Muid".

Dado que los buques se utilizan para el transporte de mercancías, era importante poder caracterizarlos por un tamaño que afectara a todos los interesados, es decir, propietarios, armadores, capitanes y comerciantes, etc. Evidentemente, estos valores variaron según las regiones y la naturaleza de los productos. Por lo tanto, no me detendré en su traducción a las unidades actuales de volumen o peso, sino que sugiero mirar las cosas un poco más de cerca desde el final de la Edad Media hasta hoy.

### Definiciones

Para el investigador o el modelista que utiliza documentos de museos u otros archivos marítimos, debemos conocer y comprender qué representan estas nociones de arqueo. Primero, hay que diferenciar lo que se llama "desplazamiento", "porte" y "arqueo".

1) El "**desplazamiento**" de un buque es el peso\* real de ese buque. El desplazamiento es, por tanto, el peso en agua del volumen de la obra viva (parte sumergida del barco). El desplazamiento se expresa en libras o toneladas. Téngase en cuenta que en la construcción naval actual, por inercia, el peso del barco se expresa en toneladas métricas o kg y no en Newton.

Se distinguirá entre desplazamiento en rosca (bote vacío) y desplazamiento en carga (bote cargado con su mercancía).

La diferencia entre desplazamiento en plena carga y desplazamiento en rosca de un barco representa así el peso de la mercancía que éste puede transportar, en toneladas, kilos o libras.

2) El "**porte**" representa el peso de las mercancías que un barco debe o puede transportar, un valor de peso expresado en kilos, quintales o toneladas.

3) El "**tonelaje**" es una noción del volumen de las bodegas del buque, un valor de volumen que se expresa en pies o metros cúbicos, pero también en "toneles", palabra que puede dar lugar a cierta confusión con las toneladas de porte o de desplazamiento.

Para ilustrar este asunto, uno puede perfectamente imaginar que un barco podría llevar diez toneladas de plumas o diez toneladas de plomo en sus bodegas y que tendrá el mismo calado en el agua. Por otro lado, las bodegas estarán llenas de plumas, pero en su mayoría vacías con el mismo peso, pero de plomo.

*\* Sabemos que hoy en día la física dice que la masa es la cantidad de materia de los cuerpos y que el peso es la fuerza que ejerce la gravedad sobre una masa. La masa se mide en kilogramos(kg) o en gramos(g). El peso se mide en newtons (N) o kilogramos fuerza.*

## **Evolución de estas nociones**

El arqueo, a menudo también llamado "tonelaje", representa, para un buque dado, el volumen o la capacidad de transporte de una carga y no el desplazamiento del buque o su peso (en rosca o cargado).

Este valor característico del barco se obtuvo mediante fórmulas bastante simples, pero era diferente en cada país, incluso dentro de un mismo país. Además, ha ido evolucionando a lo largo del tiempo y por ello siempre es muy difícil hacer comparaciones entre barcos de diferentes naciones y épocas.

En Francia, la Real Ordenanza de la Marina de 1681, elaborada a partir de las indicaciones de Colbert, indica en su artículo 5 que el tonel de mar corresponde a 42 pies cúbicos (volumen de 4 barriles de vino de Burdeos) y que el tonel de carga representa 2000 libras o 20 quintales, o 979 kilos.

El Tratado de Utrecht (NL) también regula este aspecto de la construcción naval.

En cambio, en Inglaterra, a la misma época, la "freight ton" (tonelada de flete) era de 1.131 m<sup>3</sup> en lugar de los 1.4391 m<sup>3</sup> de los franceses.

En España, la tonelada representa 2 pipas de 27 arrobas, o aproximadamente 1.3847 m<sup>3</sup>, pero sigue siendo un valor que varía mucho según la época y el lugar. En el siglo XVI, la tonelada creció hasta los 1.518 m<sup>3</sup>, lo que corresponde a 8 codos de ribera cúbicos.

Se puede consultar en Internet un libro francés de 1757, publicado en París y titulado «l'Ordonnance de la Marine commentée, nouvelle édition augmentée, publiée sous les ordres du Roy» (La ordenanza marina comentada, nueva edición ampliada, publicada bajo la orden del Rey). En Francia, esta ordenanza seguirá siendo válida durante casi 3 siglos. El documento también define el dominio público marítimo y, por ejemplo, indica que los límites de sus líneas son las que marcan las mareas más altas que cubren y descubren durante la luna nueva y la luna llena de las grandes mareas vivas de marzo y que pueden extenderse sobre la orilla de las costas. 1)

1) Ver última página

Para el **Padre Georges Fournier** (1595 - 1652), maestro jesuita del Collège de la Mer y uno de los precursores de la arquitectura naval, hay una regla que dice que el peso muerto de un barco de la época corresponde al desplazamiento en rosca de este mismo edificio.

Entonces, si un barco de 300 Toneles puede cargar 300 toneladas de 2000 libras, el volumen de su casco en rosca corresponde a (300 x 2000) 600,000 libras de agua. Cuando se carga, la misma embarcación desplaza el doble de esta cantidad, o 1,200,000 libras de agua. Si Fournier asume una densidad de agua de mar de 74 libras por pie cúbico, obtenemos un volumen de casco del orden de 16 000 pies cúbicos.

Esta visión del arqueo está muy bien explicada por Dominique Lavoille en su magnífica página web <[vieuxmarine.com](http://vieuxmarine.com)>, una serie de documentos en francés que desde luego merecen una visita.

Sin embargo, en 1721, la cuestión del arqueo no parece haber sido completamente resuelta por la gran ordenanza de 1681 y el matemático **Pierre Bouguer** tendrá grandes dificultades para lograr líneas directrices concretas, aceptadas por todos. En su libro "Le traité du navire" (tratado del buque) (1746), Pierre Bouguer indica que efectivamente existía en ese momento una gran confusión entre el barril que pesaba 2000 libras y el que representaba el espacio ocupado por cuatro barriles de vino de Burdeos. También nos dice que para unos pocos barcos el número de toneladas de peso correspondía aproximadamente al número de toneladas de estiba, pero para los barcos más pequeños había más toneladas de peso que de toneles de estiba mientras que para grandes buques, era todo lo contrario. Además, casi siempre se utilizaban los mismos métodos para medir los unos como los otros.

En el siglo XVIII, se estimaba que el volumen del espacio del barco destinado al transporte de mercancías representaba 420 milésimas del volumen del paralelepípedo rectangular  $L \times B \times C$ , o sea la siguiente fórmula:

$$L \times B \times C \times 0.420 / 42, \text{ o } L \times B \times C / 100^{**} \text{ (en pies)}$$

Con: (L) la eslora en el puente, (B) el ancho en el puente y (C) el puntal.  
Recordemos que un tonel representa 42 pies cúbicos, de ahí la división por 42.

Bajo la República francesa, en 1789, el valor de 420 milésimas pasa a 446 milésimas y la fórmula se convierte en:

$$L \times B \times C \times 0.446 / 42 = L \times B \times C \times 0.010619, \text{ o } L \times B \times C / 94.17$$

En 1837, pasamos a las medidas métricas y el divisor redondeado se convierte en 3.8 por la regla interna francesa (de hecho 3.228) y tenemos la fórmula:

$$L \times B \times C / 3.8 \text{ (en metros)}$$

\*\* Este divisor es variable y para barcos finos se usa 100 mientras que para barcos de fondos panzudos será 90, o incluso 75 dependiendo de las fuentes.

En 1849 se produjo un gran cambio con la introducción de la motorización de los barcos. Lo que supone una deducción por el volumen ocupado por la máquina y al mismo tiempo la adición de los volúmenes ubicados sobre la cubierta y destinados al transporte de mercancías.

Luego, en 1872, el valor del tonel cambia en Francia: toma el valor de la unidad inglesa, es decir, 1 tonelada = 100 pies cúbicos ingleses con el valor del pie inglés de 0,3048 metros. Por tanto, el pie cúbico vale 0,02831 m<sup>3</sup>, lo que nos da para 100 pies cúbicos el valor redondeado de 2,83 m<sup>3</sup>.

Una vez adoptados estos estándares británicos, la fórmula del arqueo cambia a:

Volumen total / 2,83 (con dimensiones en metros y toneles de 2,8 m<sup>3</sup>).

En España los cálculos de arqueo se basan en formulas que varían según la época y la región:

1/ Ca. 1523:

$0.95 \times E \times [(M/2+P) / 2]^2 / 8$ , con Codos de ribera (0.575 m) Toneles machos (1.521 m<sup>3</sup>)

2/ Sevilla – Cádiz, ca. 1560:

$2/3 \times Q.M.P/8$ , con Codos castellanos (0.557 m) Tonelada de carga (1,382 m<sup>3</sup>)

3/ 1570-1590:

$E \times [(M/2+P) / 2]^2 / 8$ , con Codos castellanos (0,557 m) Tonelada de carga (1,382 m<sup>3</sup>)

4/ 1611:

$E \times (M/2 \times P) \times 0.95$ , con Codos de ribera (0,575 m) Toneles machos (1,521 m<sup>3</sup>)

Con la Ordenanza de 1613:

5/ Primer modo, Plan < M/2:

$[(M.P/2 \times (E+Q) / 2) - (M/2 - Plan) / 2 \times P/2 \times (E+Q) / 2] / 8$

6/ Segundo modo, Plan < M/2:

$(M - (Plan - M/2) / 2) \times (P/2 \times (E+Q) / 2) / 8$

7/ Tercer modo:

$(3/4M + Plan/2) \times P/2 \times (E+Q) / 2 / 8$

En las formulas 5 + 6 + 7: Codos de ribera (0,575 m) y Toneles machos (1,521 m<sup>3</sup>)

E = Eslora, M = Manga, P = Puntal, Q = Quilla

## Situación actual

Estas reglas sólo cambiarán realmente gracias a los esfuerzos realizados por la OMI (Organización Marítima Internacional) para unificar el tonelaje de los buques a nivel mundial. Es un método internacional de cálculo del tonelaje consagrado en el Convenio de Londres del 23 de enero de 1969, implementado en 1982.

Primero podemos distinguir el tonelaje bruto que es una función del volumen total de todos los espacios confinados del buque. Ya no existen espacios excluidos, a excepción de algunos espacios “abiertos”, claramente definidos en el Anexo I de dicha Convención.

El arqueo bruto se utiliza para codificar las competencias de las distintas patentes, la aplicación de las normas de seguridad y de construcción, la elaboración de estadísticas económicas y la limitación de responsabilidades de los armadores.

En cuanto al tonelaje neto, depende del volumen de los espacios reservados para la carga y del número de pasajeros. Se utiliza para el cálculo de las tasas de servicio (puerto / pilotaje / amarre ...) así como para el régimen fiscal.

El método actual de cálculo no tiene más unidades, aunque el texto usa el término UMS (Unified Measurement System). El tonel de arqueo de Oslo de 1947 (2,83 m<sup>3</sup> o 100 pies cúbicos) se abandona así y el término UMS ya no corresponde a un volumen concreto. Esta nueva "unidad" solo es válida para buques de más de 24 metros de eslora (ampliada a buques de 15-24 m en la Unión Europea y Suiza). Esta “unidad UMS” varía entre 4,55 m<sup>3</sup> para un buque de 10 m<sup>3</sup> y pasa a 3,125 m<sup>3</sup> para un buque de un millón de metros cúbicos.

El método de cálculo de arqueo internacional de Londres 1969 se puede resumir de la siguiente manera:

### Arqueo bruto:

La fórmula aplicable es la siguiente:

$$GT (\text{, Gross Tonnage, Arqueo bruto}) = K_1 \cdot V$$

V = volumen total de los espacios cerrados del buque, en metros cúbicos. El coeficiente  $K_1$  es un coeficiente de correlación destinado a acercar el nuevo arqueo bruto lo más posible a los antiguos arqueos bruto nacionales.  $K_1$  varía según la tabla del apéndice 2 de la convención entre 0,22 y 0,32).

Obsérvese que la resolución A.747 prevé la exclusión de los tanques de lastre separados del cálculo del arqueo de los petroleros (porque no contienen carga).

Ejemplo numérico: si  $V = 10'000 \text{ m}^3$ , entonces  $K = 0.2 + 0.02 \times \log_{10}(10'000) = 0.2 + 0.02 \times 4 = 0.28$ , y  $GT = 0.28 \times 10'000 = 2'800$  “unidades UMS”.

Volumen del buque en m <sup>3</sup>	Coeficiente K <sub>1</sub>	Arqueo UMS (Universal Measurement System)	Valor de la unidad de arqueo UMS en m <sup>3</sup>
10	0.22	2.2	4.55
100	0.24	24	4.16
1'000	0.26	260	3.85
10'000	0,28	2'800	3.57
100'000	0.30	30'000	3.33
1'000'000	0.32	320'000	3.125

### Arqueo neto:

Para este, usaremos la siguiente fórmula:

$$NT \text{ (Net Tonnage, arqueo neto)} = K_2 V_c (4d/3D)^2 + K_3(N_1+N_2 /10)$$

Con  $K_2 = 0,2 + 0,02 \log_{10} V_c$ ,

$V_c$  = volumen de los espacios de carga del buque en metros cúbicos,

$K_3 = 1,25 (GT + 10.000) / 10.000$ ,

$D$  = puntal del buque a la maestra, en metros,

$d$  = calado del barco, en metros,

$N_1$  = número de pasajeros en cabinas de menos de 8 literas,

$N_2$  = número de otros pasajeros (si  $N_1 + N_2 < 13$ ,  $N_1$  y  $N_2$  se considerarán como cero).

Además: NT no debe ser inferior a 0,3 G.T. y  $K_2 V_c (4d/3D)^2$  no debe ser inferior a 0,25 GT.

Nos aseguran con humor que se trata de una simplificación destinada a unificar los valores de arqueo a nivel internacional, pero también hay que señalar que siguen vigentes arqueos específicos para el paso de ciertos canales, como Panamá o Suez.

Con respecto a la fabricación de modelos navales de barcos desde el siglo XVII hasta el siglo XIX, se estudiarán detenidamente los archivos antes de anunciar el tonelaje del modelo, prestando mucha atención a los datos, a veces mencionados en toneladas de carga y en otras ocasiones en toneles de volumen. Una buena apreciación de los datos debería permitir no cometer errores, especialmente con valores locales que pueden ser bastante diferentes de los datos oficiales. Esto se aplica a todos los países constructores de la época.

En lengua española, uno de los textos más pertinentes sobre el tema se titula, «el arqueo de buques en el siglo XVIII». Es uno de los muchos escritos de Cayetano Hormaechea Arenaza. Se puede encontrar en la página "Amigos del Museo Naval de Barcelona" que se indica a continuación (aammb.cat).

Para los barcos del siglo XVI al XVIII, la regla del Padre Fournier sigue siendo, en mi opinión, el enfoque más sencillo para comprender este aspecto de la medición de barcos.

## **Bibliografía y paginas web a visitar:**

<https://www.cairn.info/revue-d-histoire-des-sciences-2010-1-page-23.html>

<https://troisponts.net/index/>

[http://www.sahpl.asso.fr/site\\_sahpl/Le\\_Lan\\_Jean-Yves\\_R%C3%A9flexions%20sur%20le%20tonnage.pdf](http://www.sahpl.asso.fr/site_sahpl/Le_Lan_Jean-Yves_R%C3%A9flexions%20sur%20le%20tonnage.pdf)

[http://www.sahpl.asso.fr/site\\_sahpl/le\\_lan\\_jeanyves\\_R%C3%A9flexions%20sur%20le%20tonnage.pdf](http://www.sahpl.asso.fr/site_sahpl/le_lan_jeanyves_R%C3%A9flexions%20sur%20le%20tonnage.pdf)

[http://www.aammb.cat/5\\_documentacion.htm](http://www.aammb.cat/5_documentacion.htm)

<http://www.navigare-necesse-est.ch/>

## **Otras paginas que se pueden consultar en Castellano:**

Castro, F.

- (2003): «The Pepper Wreck, an early 17th-century Portuguese Indiaman at the mouth of the Tagus River, Portugal», *The International Journal of Nautical Archaeology*.
- (2013): «Tonnes and displacements in the 16th century», *Journal of Archaeological Science*, 40: 1136-1143.

1) Ver internet:

<https://books.google.es/books?id=dk9iAAAACAAJ&pg=PA527&lpg=PA527&dq=d%C3%A9finition+tonneau+selon+ordonnance+de+la+marine+1689&source=bl&ots=WVAX5JfwvQ&sig=IZnY1ZwvSn9qdCqbyRSIUN10eI4&hl=fr&sa=X&ved=0ahUKEwjMqGgrJcAhUEVhoKHe1aAQQ6AEIQTAD#v=onepage&q=d%C3%A9finition%20tonneau%20selon%20ordonnance%20de%20la%20marine%201689&f=false>