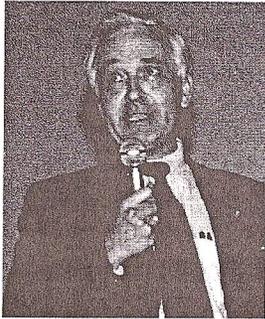


De la Arquitectura Naval en 1912 y el "Titanic"



Francisco Fernández González, Dr. Ingeniero Naval
Catedrático de Construcción Naval de la E.T.S. de Ingenieros Navales, Madrid

Resumen

En este trabajo se tratan algunos aspectos de la tecnología de la Arquitectura Naval que se incorporaban en el proyecto y en la construcción del "Titanic" en 1912 y que fueron más debatidos en relación con su naufragio. Para ello, se ha partido de los estudios técnicos que siguieron al naufragio del "Titanic" en 1912, y de la revisión de algunos supuestos tras el hallazgo y la comprobación de varios detalles en los restos fotografiados en el fondo del Atlántico Norte entre 1989 y 1995.

Se analiza el estado de la Arquitectura Naval en 1912 desde el punto de vista de su aplicación a los barcos de pasaje, para explicar algunos detalles técnicos del hundimiento del "Titanic".

Se estudian las Reglas del Lloyd's Register of Shipping para barcos de acero que se aplicaron, que tratan los materiales, el diseño y la construcción del casco, y se presentan algunas de las características del barco, para explicar su comportamiento durante el accidente.

Se comentan las normas de la Reglamentación Nacional Británica y la Internacional que estaban vigentes en ese año, así como las modificaciones que se introdujeron a raíz de esta catástrofe.

Se comparan las Normas aplicables en 1912 con las que se corrigieron después de éste y otros naufragios famosos.

Se comentan las conclusiones de los expertos contemporáneos que estudiaron el naufragio desde el punto de vista de la Ingeniería Naval.

Las normas adoptadas para el Proyecto y la Construcción Naval han sido casi siempre el resultado de catástrofes que han tenido una gran repercusión pública.

Sin embargo, siempre las normas, y aún más la legislación, han ido muy por detrás del progreso de las construcciones navales. Dejando a un lado el caso atípico y singular, verdadero punto discontinuo del "Great Eastern", tal ha sido históricamente el caso de los barcos "Liberty" soldados de 1943, que destapó los problemas de entalla y las roturas; el de los grandes petroleros de los 70, que trajeron consigo las varadas con derrames de crudo, hasta el "Exxon Valdez" que dio lugar a la OPA'90, entre otras disposiciones, y los accidentes de transbordadores como el "Herald of Free Enterprise" (1989) y el "Estonia" (1995).

Contemplado en el marco de su tiempo, la pérdida del "Titanic" no fue una novedad, y tampoco provocó cambios drásticos en la arquitectura naval. Tan sólo sirvió para añadir tecnología a las normas del proyecto, la construcción naval y la navegación.

INDICE

1. Introducción
2. Un reciente análisis forense
3. Las Reglas del LRS para barcos de acero 1905 - 1906
4. Comparación de las Reglas del L.R.S. de 1906 y 1990
5. Escantillones del "Titanic" según el LRS de 1906 y 1990
6. La Seguridad en el "Titanic"
7. El "Titanic" y los Convenios de SOLAS
 - 7.1. El Convenio de 1914
 - 7.2. El convenio de SOLAS - 1929
 - 7.3. El "Titanic" en relación con otros transatlánticos
8. Un estudio premonitorio del "Titanic"
9. Investigación y Reglamentación en la estela del "Titanic"
 - 9.1. De los medios de salvamento
 - 9.2. De la vida humana en la mar
 - 9.3. Del buque que no se hunde
 - 9.4. De los efectos en las estructuras

(Continuación del número anterior)

- 9.5. De la estabilidad en averías
- 9.6. De la subdivisión estanca
- 9.7. Del Francobordo necesario en los mercantes
- 9.8. De los mamparos estancos
- 10. Percepción del cambio tecnológico en el tiempo
- 11. Conclusiones
- 12. Reflexión final
- 13. Referencias consultadas
- 14. Bibliografía adicional

1. Introducción

Decía J. Bruhn en "Freeboard and Strength of Ships" (TINA, 1920, vol. XLII, p.70): "Desde el punto de vista de la seguridad de los pasajeros, la tripulación y la carga, es de poca importancia que un buque se hunda por falta de francobordo, estabilidad, subdivisión estanca o resistencia estructural."

Dejando a un lado otros aspectos de la Arquitectura Naval, que son tratados por otros autores en relación con este mismo tema, prestaremos atención a cuatro características que son esenciales para la seguridad y la supervivencia de un barco en la mar. Son éstas:

- la resistencia estructural del casco
- la reserva de flotabilidad o francobordo
- la anegabilidad de sus bodegas
- los medios de salvamento

2. Un reciente análisis forense

Los datos de la estructura de la cuaderna maestra del *Titanic* fueron utilizados recientemente para un concienzudo análisis forense del hundimiento. (GARZ-96)

Se recogen a continuación, y con ellos hemos estimado unos valores probables para el momento de flexión y la fuerza cortante, que podrían haberse considerado en su diseño.

Cuaderna maestra real

Eslora	850 pies (259,08 m)
manga	92 pies (28,04 m)
puntal	73,25 pies (22,32 m)
calado	34,5 pies (10,51 m)
Tensión nominal	10,6 tsi (1.670 kg/cm ²)
Desplazamiento	52.310 tons (53.147 t)
C.bloque	0,677
C.prismático	0,691
velocidad	22,3 kt

	puntal	espesor
fondo externo	0	1,0" (25,4 mm)
doble fondo	5'3"	0,6" (15,2 mm)
plancha margen	7'0"	0,6" (15,2 mm)
cabta inferior	28'3"	ineficaz
cabta intermedia	36'3"	ineficaz
cabta superior	44'9"	0,6" (15,2 mm)
cabta salón	53'9"	0,6" (15,2 mm)
cabta shelter	64'3"	0,75" (19,1 mm)
cabta puente	73'3"	1,0" (25,4 mm)
costado medio	-	0,75" (19,1 mm)

Inercia de la sección	6.480.829 in ² .ft ² (388,44 m ⁴)
eje neutro sobre base	38,78' (11,82 m)
(esto quiere decir que la cabta.puente se considera efectiva)	
módulo en cubierta	188.014 in ² .ft (36,97 m ³)
módulo en el fondo	167.118 in ² .ft (32,86 m ³)

Momento F.de John: D.L/35 52310*850/35 = 1.270.000 ft-ton (estimación)
= 393.290 m*t

F.Cortante de John: D/7 (estimación)

52310/7 = 7473 tons = 7592 t

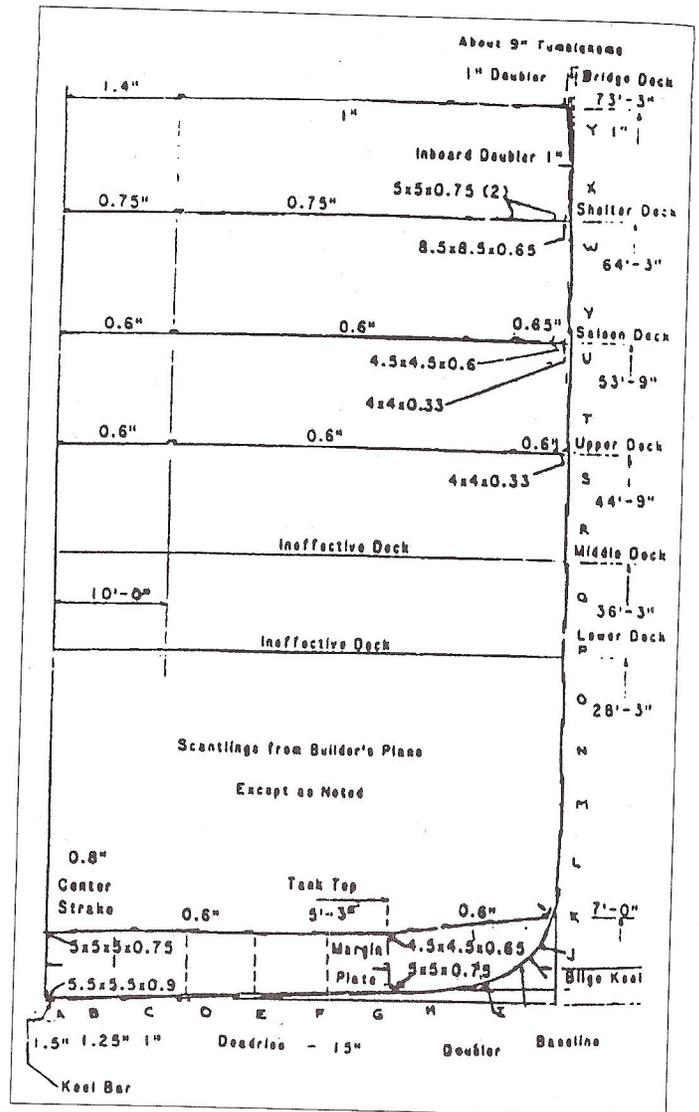


Figura 1 (GARZ-96, A-2).- Escantillado del material longitudinal de la Cuaderna Maestra del "Titanic". La cubierta principal es la superior, con un puntal de 44'-9". Las dos cubiertas inferiores son ineficaces, pero la cubierta del puente de superestructuras es efectiva en el casco-viga.

3. Las Reglas del LRS para barcos de acero 1905 - 1906

Para ayudar al seguimiento de esta presentación, se recogen en resumen las secciones de las Reglas del Lloyd's Register of Shipping para la clasificación de barcos de acero que pudieron ser aplicadas para escantillar el casco del Titanic.

Sec.1.- Los remaches, quilla, roda, codaste, puntales pueden ser de hierro

Sec.2.- Las claras y los escantillones de las cuadernas, cuadernas invertidas, vagras y planchas de mamparos se determinan con la Tabla S1 y un Numeral Transversal que se calcula:

- Para barcos con 1 o 2 cubiertas:

$$\begin{aligned} \text{Numeral Transversal} &= B/2 + H + \text{brusca} + S/2 = \\ &= \text{semimanga máxima de trazado} \\ &+ \text{puntal de quilla a cubierta superior en crujía} \\ &+ \text{medio contorno, de crujía al trancañil superior} \end{aligned}$$

- Para barcos con 3 cubiertas, se restan 7' de la suma anterior

y el TITANIC = $(46) + (73,25) + (46 + 73,25 - 1.5) - 7 = 230$
 (las Reglas del LRS 1905-1906 sólo llegan a N = 130)
 y si se tomara el puntal a la cubierta superior sólo (= 45'):
 $(46) + (45) + (46 + 45 - 1) - 7 = 175$

- Para vapores con "spar-deck" o "awning-deck" es la suma total

Los escantillones de la quilla, roda, codaste, sobrequilla, trancaniles, planchas del forro exterior y cubierta, trancaniles angulares de baos y palmejares de ángulo en bodegas se determinan mediante las tablas S2, S3, S3A, S5 y S7, y con un Numeral Longitudinal que es:

Numeral Longitudinal = Numeral Transversal * Eslora

y el "Titanic" = $230 * 850 = 195500$
 (las Reglas del LRS 1905-1906 sólo llegan a 70000)
 y con el puntal hasta la cubierta superior sólo (= 45'):
 $= 175 * 850 = 148750$

es decir: el Titanic era un barco fuera de Reglas en 1906 y que por lo tanto su proyecto debía ser aprobado especialmente por LRS de manera similar a lo que ha venido ocurriendo con los grandes petroleros entre 1965-1980, y actualmente con los barcos rápidos en aluminio, que se han adelantado a las Reglas.

Sec.3.- Acero

Tracción en el ensayo, entre 28 y 32 tsi
 Alargamiento mínimo del 20%
 Chapas para plegado en frío, no menos que 26 tsi
 Perfiles, pueden tener resistencia de 33 tsi

El acero de las planchas mayores que 10/20 pulgadas debe aguantar un plegado en frío doble (de 180 grados) de una tira cortada sin recocido, alrededor de una curva cuyo diámetro no pase de 3 veces el espesor

Los baos se contemplan en tramos hasta H = 39'
 Las bulárcamas, sólo hasta H = 28'
 Los numerales de planchas se escalonan hasta NL = 24000

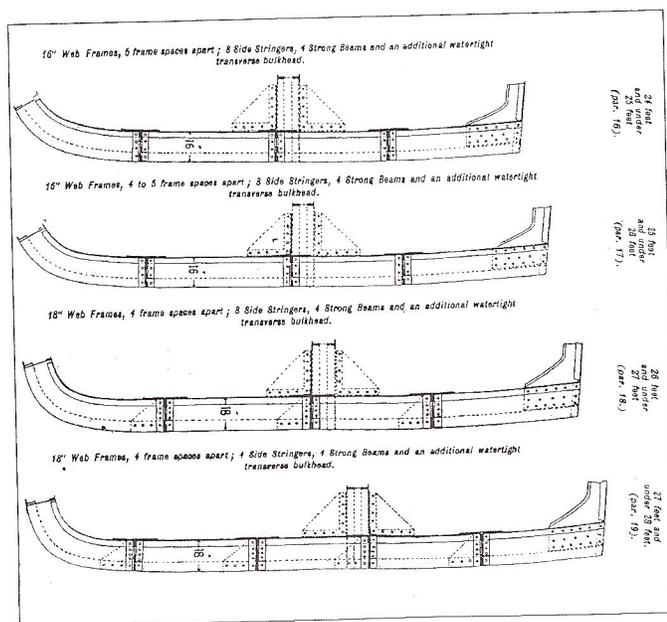


Figura 2 (LRS-06): Las Reglas del Lloyd's Register of Shipping de 1905-1906 para Barcos de Acero incluían esquemas que nos permiten conocer cómo se resolvía la estructura remachada de las cuadernas armadas con planchas ("web frames" o bulárcamas), la unión en "diamante" de un mamparo al costado y la conexión de los palmejares de costado a los mamparos de subdivisión.

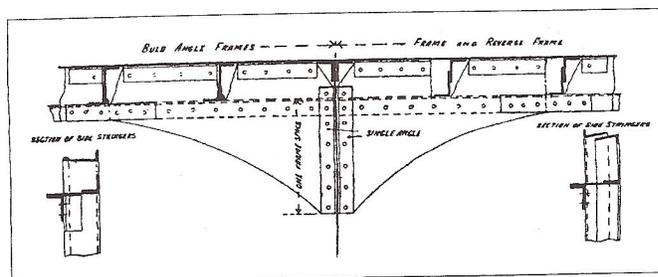


Figura 3

Sec.22.- Mamparos estancos

El número de mamparos se especifica según la eslora, pero sólo hasta 600 pies:

entre	400-470'	7 mamparos
	470-540'	8 "
	540-600'	9 "

es decir, añaden 1 mamparo cada 60 pies, lo que daría para el "Titanic" con 250 pies más, otros 5 mamparos, un total de 14.

Estos mamparos deben extenderse hasta la cubierta superior en vapores con 1, 2 ó 3 cubiertas; hasta la "spar-deck" en esos buques y hasta la cubierta principal en los buques con "awning" o "shelter-deck", en cuyo caso se prolongarán con bulárcamas o mamparos parciales en los costados hasta tales cubiertas.

Los refuerzos de mamparos se especifican hasta 60 pies de manga.

Las bulárcamas de las cámaras de máquinas y calderas se espacian hasta 4 claras, para un Numeral de 30000 "o más".

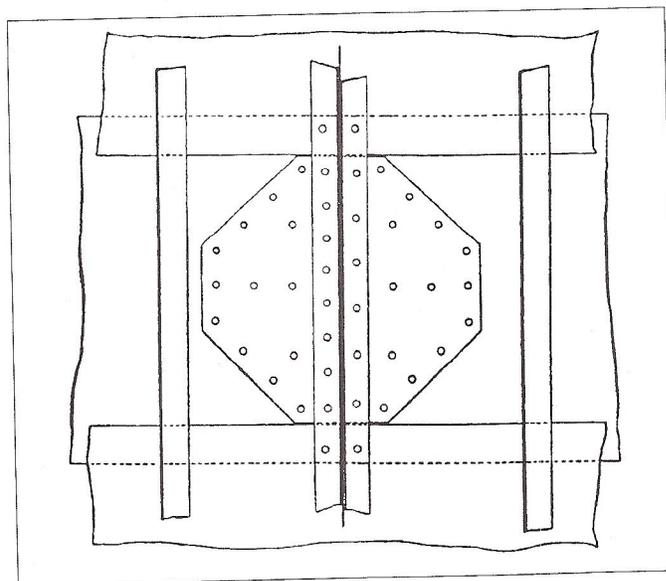


Figura 4

4. Comparación de las reglas del L.R.S. de 1906 y 1990

Una idea de la diferencia en la cantidad de conocimientos de Arquitectura Naval manejados en 1910 y hoy la puede dar la cantidad de información contenida en la Reglas del L.R.S. de ambas fechas.

Las de 1905-1906 ocupaban un solo volumen, de 19 x 24 cm, con un total de 174 páginas, incluidos índices, tablas, figuras y apéndices. Cada página tenía un máximo de 39 líneas de 105 caracteres. En total, unos 712,5 k-octetos

Las de 1990 ocupaban 7 partes con unas 150 páginas A4, cada una con un máximo de 60 líneas de 116 caracteres. Es decir, unos 73,1 M-octetos, o sea, más de 100 veces más que las de hace 90 años.

5. Escantillones del "Titanic" según el LRS de 1906 y 1990

- Medidas reales, en 1912

francobordo = 44,75-34,50 pies	10,25 pies = 3,12 m
ángulos de cabeza de sobrequilla	5 x 5 x 0,75 in
ángulos de pie de sobrequilla	5,5 x 5,5 x 0,9 in
ala de sobrequilla	0,80 in = 28 mm
quilla	1,50 in = 38 mm
aparadura	1,25 in = 32 mm
ángulo pie plancha de margen	5 x 5 x 0,75 in
ángulo de cabeza de id. id.	4,5 x 4,5 x 0,65
techo de doble fondo	0,60 in = 15 mm
cubierta superior	0,60 in = 15 mm
ángulo de trancañil cbta.superior	4 x 4 x 0,33 in
cubierta de salón	0,60 in = 15 mm
plancha trancañil id. id.	0,65 in = 16,5 mm
ángulo de trancañil cbta.salón	4,5 x 4,5 x 0,6 in
cubierta de abrigo ("shelter")	0,75 in = 19 mm
ángulo de trancañil de id. id.	8,5 x 8,5 x 0,65 in
cubierta del puente, crujía	1,40 in = 35,5 mm
cubierta del puente, resto	1,00 in = 25,5 mm
traca de cinta, doblada con	1,00 in = 25,5 mm

De acuerdo con las Reglas del LRS de 1905-1906, para el máximo Numeral Longitudinal (N = 70000) se exigían, en "n/20" pulgadas, y para L/D = 850/73,25 = 11,7:

quilla	21/20 = 27 mm
aparadura	16 = 20,5
resto forro	15 = 19
cinta	16 = 20,5
trancañil (hasta N = 57000)	11/20 = 14 mm
cubierta (hasta N = 57000)	8 = 10
sobrequilla, intercostal	9/20 = 11,5 mm
ángulos de sobrequilla y palmejares	6,5 x 4,5 x 10
ángulos de trancañil	4 x 4 x 9
id. id. cubta.superior	5 x 5 x 11
trancañil	11/20 = 14 mm
cubta.superior	10 = 13
cubta.inferior	7 = 9
Doble Fondo (para N = 80000):	
altura de la sobrequilla, pulgs.	54
espesor vagra central	14/20 = 18 mm
esp. vagras laterales	10 = 13
esp. plancha de margen	12 = 15
esp. varengas llenas	10 = 13
esp. techo crujía	12 = 15
esp. resto del techo	10 = 13
ángulos vagr.cen. con quilla plana	5 x 5 x 14
ángulos vagr.cen. con techo crujía	4 x 4 x 12
ángulos de pl.margen con forro	4 x 4 x 12
angulares invertidos resto d.f.	3,5 x 3,5 x 11

- Escantillones Mercantes básicos de LRS en 1990

L = 850 pies	= 259,08	m
B = 92 pies	= 28,04	m
T = 34,5 pies	= 10,52	m
s = 27 pulgadas = 2,25 pies	= 686	mm
S = aprox. 4 * s	= 2745	mm
Cb	= 0,677	-
Disposición de la Estructura:	Transversal	

Resistencia Longitudinal

factor de estiba general =	1,39 m ³ /t
MF-ola =	277.224 m ³ *t

Z-min =	27,178 m ³
sigma S-ola máx. =	10,2 kg/mm ²
sigma Sc-combinada máx. =	16,6 kg/mm ²
MF-a.t. máx. =	223.930 m ³ *t
Q-ola =	24908 t
Tau-máx. =	11,2 kg/mm ²

Cubierta resistente: 21,6 mm = 0,85 in

Fondo y pantoque: 21,4 mm = 0,84 in

Costado:	en D/4 alto:	17,1 mm = 0,67 in
	en D/2 medio:	15,3 " = 0,60 in
	en D/4 bajo:	17,1 " = 0,67 in
	Cinta:	20,1 " = 0,79 in

6. La seguridad en el "Titanic"

Los pescantes de botes que llevaba el Titanic eran del tipo Welin, que permitían añadir otro bote dentro del buque sin cambiar el aparejo; es decir, el Titanic estaba preparado para una normativa que se avecinaba más exigente. (BARN-68)

Llevaba 3560 chalecos salvavidas, 48 boyas, 16 botes en los pescantes, 4 balsas plegables tipo Engelhart.

Los botes eran 14 de madera de 30 pies, certificados para 65 personas cada uno, y 2 lanchas de emergencia.

En total, incluidas las balsas plegables había 1.178 plazas en las embarcaciones de salvamento.

De acuerdo con la Merchant Shipping Act (Life Saving Appliances) de 1894, que tabulaba las plazas de salvamento en función del arqueo hasta las 10.000 trb, a razón de 10 pies cúbicos por persona, tenía que llevar medios para 922 personas; como llevaba para 1.178 tenían un exceso del 22% sobre lo requerido por la BoT.

El que la tabla se detuviera en 10.000 trb a pesar de haberse llegado en el Olympic y el Titanic a 46.328 trb lo justificaban sir Alfred Chalmers y sir Walter Howell, de la BoT, aduciendo que:

- entre 1892 y 1901 navegaron a América más de 3,25 millones de pasajeros, casi todos en barcos ingleses: sólo 73 murieron en la travesía
- entre 1902 y 1911, se transportaron a EEUU más de 6 millones de pasajeros, y sólo 9 habían muerto

La BoT tampoco obligaba a los armadores a instalar más de 4 mamparos estancos.

Lord Mersey, presidente de la Comisión Especial de Investigación del Titanic, echó la culpa del desastre al retraso de la BoT en actualizar sus normas, que tenían ya; más de 25 años!

7. El "Titanic" y los Convenios de SOLAS

7.1. El Convenio de 1914

El análisis del "Titanic" a la luz de las Reglas de 1914, que nunca fueron ratificadas por causa de la Gran Guerra, nos permite valorar algunos aspectos de su seguridad.

- Art.XXI: su doble fondo no llegaba a los 9,3 pies (B/10), y parece ser que la C.C.4 se inundó precisamente por la vuelta del pantoque. Pero hasta B/10 hubiera sido insuficiente si se hubiera roto más arriba.

- Art.V-X: la curva de esloras inundables, con los valores de "criterio de servicio" y "permeabilidades" apropiadas, cumpliría la subdivisión de las Reglas de 1914.

- Sin un criterio de servicio, el factor de subdivisión sería de 0,34, que se doblaría por ser menor que 0,5, para dar 0,68, con lo que sus mam-

paros estarían bien situados para inundar dos compartimientos, y los cuatro compartimientos de proa.

- Aunque no era requerido, en el "Olympic" se subieron los mamparos hasta la cubierta D (salones), mejorando así su inundabilidad.

7.2. El Convenio de SOLAS-1929

El criterio de servicio de 1929 para el "Titanic" daría 77, con lo que su factor de subdivisión sería 0,39, y estaría aún en mejor posición que con respecto al SOLAS-1914.

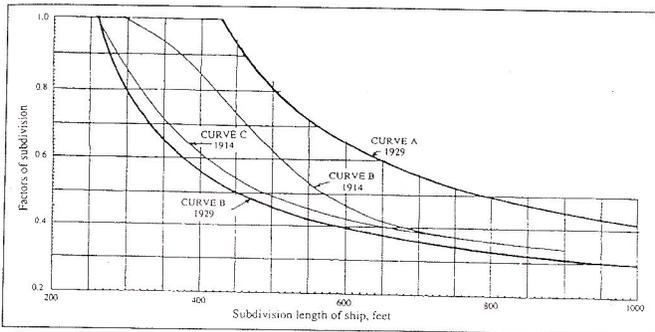


Figura 5 (WOOD-97, 2): El punto que representa la posición del "Titanic" se marca para una eslora de subdivisión de 850'. La curva "B" es para buques de carga, la "C" para pasaje. Se observa cómo la reglamentación posterior aumentó las exigencias de compartimentación, al reducir un poco más los valores del "factor de subdivisión".

7.3. El "Titanic" en relación con otros transatlánticos

A la luz del SOLAS-1929, el "Titanic" resulta similar, y desde luego comparable con los transatlánticos mejores de 1946: los "Europa", "Manhattan", "Comte de Savoia", "Rex", "America" y "Normandía".

* Transatlánticos mayores entre 1900-1940

	año serv	despl tñs	núm. pas.	L ft	B ft	D ft	tsi nomin
Kaiser Wilhelm	1903	26200	1870	683	72	52,5	-
Lusitania	1907	37960	2296	760	88	60,4	10,6
Olympic	1911	52310	2440	850	92	73,2	10,6
Aquitania	1914	53180	3230	865	96,5	73,5	8,4
Berengaria	1914	63060	3990	880	98	82	10,0
Leviathan	1914	63823	3599	907	100	83	10,0
Majestic	1922	64509	4000	912	100	83	-
Europa	1929	31050	2200	888	102	79,4	9,62
Comte di Savoia	1932	39998	2200	802	95,8	79,9	8,24
Normandie	1935	69043	1972	962	118	101	7,79
Queen Mary	1936	77376	2038	965	118	92,5	9,3

8. Un estudio premonitorio del "Titanic"

Tan sólo dos semanas antes del hundimiento del "Titanic", el 29 de Marzo, Alex Welin, el constructor de los pescantes que aquél llevaba, presentaba ante la INA un estudio que iba a resultar premonitorio. (WELI-12)

Advertía de la necesidad de atender a las necesidades de salvamento de barcos de pasaje cada vez más grandes. Describía y proponía soluciones con el pescante Welin.

Con los pescantes Welin de doble acción la Board of Trade admitió que 1/4 y hasta 1/3 de los botes se estibarán por el interior de los otros y sin embargo se pudieran considerar "listos debajo del pescante"

Analizaba las mejoras que pueden conseguirse en la operación de arriar los botes de 80-100 pies con el naufragio del "Pericles" en Australia, en

1910, por encalladura, muy similar al Titanic en su hundimiento, en sólo 25 minutos y también con gran asiento por la proa.

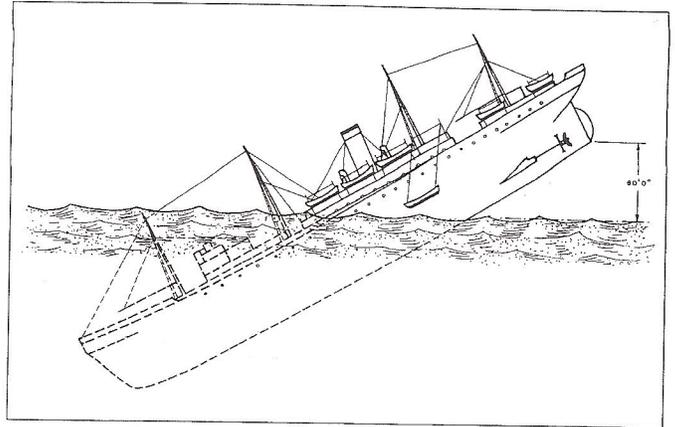


Figura 6 (WELI-12, 7): La posición de fuerte asiento por la proa del barco del esquema es la misma que tomó el "Titanic" al hundirse, donde el talón del codaste se eleva 80 pies sobre la mar. La posibilidad de esta situación y los problemas que se producirían eran bien conocidos por los ingenieros navales.

9. Investigación y Reglamentación en la estela del "Titanic"

En el Annual Report to the Council (DANA-13), el Presidente de la INA, al recordar el "terrible desastre que se llevó al TITANIC en su viaje inaugural el pasado Abril", lo calificaba de:

"... sin paralelo en los anales de la navegación, tanto por la magnitud de las pérdidas como por las circunstancias excepcionales que llevaron a ellas lo que causó que la opinión pública pidiese una investigación inmediata."

Y añadía:

"El Gobierno nombró una Comisión especial bajo la presidencia de Lord Mersey, ayudado por el Prof. Biles. El Informe de la investigación arroja luz sobre las causas del desastre y hace sugerencias para evitar daños parecidos en el futuro.

Además de esa Comisión, la Board of Trade nombró en Mayo de 1912 dos Comisiones, una sobre Mamparos, presidida por A. Denny, y la otra sobre Botes y Pescantes, presidida por J. Biles, la mayoría de cuyos miembros son de la INA."

Citaba también que en Oct. 1912 la Board of Trade había presentado al Parlamento un borrador de Reglas para la Seguridad de la Vida en la Mar, que se estaba discutiendo con los armadores.

Las consecuencias de la pérdida del *Titanic* fueron inmediatas, porque:

- Era el mayor buque a flote cuando se construyó
- Su eslora era de 852' = 259,687 metros
- Su porte era de 46.328 TRB
- El *Titanic* cumplía, y de sobra, con la normativa vigente.

Las conclusiones de las dos Comisiones especiales nombradas por la BoT se discutieron en la Conferencia Internacional de 1913-1914 sobre Seguridad de la Vida en la Mar y en las siguientes.

El Convenio Internacional de 20 de enero de 1914 fue el resultado del trabajo continuo durante tres meses de un gran número de comisiones y subcomisiones, de técnicos de EEUU, Gran Bretaña, Francia, Bélgica, Italia, Noruega, Rusia, Alemania y Austria-Hungría.

Aunque sus recomendaciones nunca entraron en vigor, inspiraron toda la reglamentación internacional posterior:

- todos los buques de pasaje debían llevar botes salvavidas en número y tamaño suficientes para poder acomodar a todas las personas a bordo

- se estableció el Servicio de Patrulla de Hielo del Atlántico Norte, en cooperación internacional

El Convenio debía ratificarse antes del 31 de Diciembre de 1914, y por causas de la Guerra sólo fueron signatarios cinco países: Gran Bretaña, España, Noruega, Holanda y Suecia. Francia lo aprobó en 1920. Entró en vigor en diciembre de 1915, con algunas modificaciones propuestas por una segunda Comisión el 6 de agosto de 1915

En España se adoptó el Reglamento para la Construcción de Buques de Pasaje por R. D. de 12 de noviembre de 1919.

En 1920 se celebró una Conferencia angloamericana en Washington para debatir las reglas de 1914 que resultaban muy severas, como venía proponiendo el Prof. Abell en la INA. Allí se trataron los temas de:

- lo buques mixtos
- la compartimentación de la proa
- el criterio de servicio, que dependía de:
 - el número de personas transportadas
 - la eslora del buque
 - la relación entre estas dos cantidades
 - el escantillonado de los mamparos

El año siguiente, en diciembre de 1921 se reunieron en Londres los dos países más Francia y Bélgica, y se establecieron los acuerdos que sirvieron de base para las soluciones de la Conferencia para la SeViMar y la Subdivisión de Barcos de 1929.

9.1. De los medios de salvamento

En la reunión de la SNAME del 21 de noviembre de 1912, W.D. Forbes (FORB-12) declaraba:

"Hace falta una catástrofe para que se tomen medidas para evitar que se repita; y causa extrañeza que la muerte de 1.500 personas de una vez sea un golpe para el mundo, cuando las mismas muertes a la vez en un número igual de sitios no despierta ningún comentario".

"El mayor avance en botes salvavidas ha sido el tanque de aire independiente de los botes metálicos".

Y daba cuenta de que se habían realizado muchos ensayos de pescantes y botes tanto en los EEUU como en Inglaterra, a partir del "Titanic".

9.2. De la vida humana en la mar

Por su parte, P.A. Hillhouse (HILL-13) presentaba en la reunión de la INA de 24 de junio de 1913 un pensado estudio sobre la Seguridad de la Vida en la Mar del que podemos destacar:

"La vida humana en la mar es como media segura en exceso".

"Lo que ocurre es que los grandes desastres dejan una falsa impresión de peligro e inseguridad".

En el Atlántico Norte, entre 1892-1911 se hicieron entre Gran Bretaña y EEUU unas 95.000 travesías con unos 350.000 tripulantes y más de 9.390.000 pasajeros. De estos 95.000 viajes, sólo en 165 hubo pérdidas de vidas: en total 1.057 tripulantes y 80 pasajeros. Sólo 33% de los accidentes fueron por hundimiento, varada o colisión, y sumaron el 83% de los muertos.

Una vez resuelta la "zozobra" por inestabilidad, el "hundimiento" (foundering) es la causa que mejor puede prevenir el arquitecto naval. Y está controlada por el Francobordo y por la Subdivisión estanca - Y ayudan las construcciones sobre cubierta.

"Un barco insumergible es imposible, a menos que su densidad media, con carga, sea menor que la del agua".

La extensión de la inundación se controla con la subdivisión del casco por mamparos transversales y longitudinales y por cubiertas estancas.

En el Vol. II, 1861, de las Transactions de la INA, Charles Langley ya abogaba por disponer cubiertas estancas para limitar la inundación en caso de rotura del pantoque.

La Comisión de Mamparos de 1891 emitió la norma de "dos compartimientos" que ha sido muy difícil de cumplir por muchos barcos. Ahora se espera el Informe de la segunda Comisión de Mamparos, que está trabajando.

En caso de roturas locales o varadas, la seguridad se puede conseguir con mamparos más altos o más próximos; pero si hay una rotura del forro, lo que importa es la longitud de la rotura y no la proximidad de los mamparos.

Si embargo, en caso de colisión, generalmente es un sólo mamparo el afectado, e interesa que los compartimientos sean lo más pequeños que se pueda.

Los mamparos longitudinales deben estudiarse en función de la escora que se produce por avería en una banda. Los más eficaces son los cercanos a los costados.

El doble fondo debe llevarse tan arriba como se pueda, formando un forro interno.

Las cubiertas estancas son el medio más eficaz y ligero de subdivisión.

Cuando hay espacios separados por barreras estancas es fundamental que el agua no se propague por conductos, tuberías, ventilaciones, etc.

Las puertas estancas deben poderse cerrar simultáneamente y desde el puente.

Los "dispositivos salvavidas" sólo son importantes cuando llega el momento de "abandonar el buque".

En los accidentes navales de 1892-1911, sólo en 30 de 35 barcos de pasaje había "botes para todos a bordo". Y tres cuartos de las muertes ocurrieron en tres desastres en los que el número de plazas en los botes era superior al número de personas a bordo.

En abril de 1912 todos los vapores de carga llevaban "botes para todos" en cada banda, y el 80% de los barcos de pasaje llevaban plazas en botes para todas las personas a bordo.

Los "botes para todos" en el *Olympic* eran 68, y en el *Aquitania*, 92. Es fácil imaginar el problema de acomodarlos a bordo si cada bote medía 30 x 9 pies, y pesaba 2 toneladas. Aún más difícil es organizar los puntos de reunión y de embarque, y poder arriarlos todos desde cualquiera de las bandas, zafándolos y sacándolos de sus estibas en el interior.

Las recomendaciones finales de la reciente "Comisión de Botes y Pescantes" han sido:

- el número de personas por bote debe ser limitado por su estabilidad, y por su capacidad medida con la Regla de Stirling, y no por su tamaño y unos coeficientes;
- parece seguro ir a botes más grandes, que midan hasta 50' x 15' x 6'-8", con un peso de 28 toneladas y pueda llevar cada uno 250 personas;
- los botes con cubiertas y tanques de flotación se podrán estibar unos metidos en otros;
- podrán aceptarse balsas para el 25% de las personas en el certificado del buque;
- los pescantes tendrán engranajes para poder operar incluso con escoras importantes;
- los botes de motor serán opcionales; no más de 2 por banda, con combustible para 100 millas.

"Pero no debe olvidarse que la vida humana no puede estar en la mar absolutamente segura; desde luego no más que en la tierra."

En la Discusión del trabajo de P.A. Hillhouse, W. HOVGAARD comentó que:

- hay dos clases de naufragios bien distintas: por hundimientos y por colisiones;
- las dos formas requieren distinto tratamiento, pues cada una afecta a una zona distinta del casco, y ambas dejan entre sí un cinturón alrededor de la flotación, o la mitad del puntal;
- las encalladuras se solucionan con un doble fondo adecuado;
- las colisiones requieren un doble costado, con mamparos longitudinales intactos a 6-7 pies, que formen celdas estancas;
- como la mitad del puntal es más segura, hay que poner una cubierta estanca en esa altura.

El nuevo buque de la Cunard, el "Aquitania" (1914), con turbinas de triple expansión y 4 hélices, fué rediseñado para incorporar los nuevos criterios de la subdivisión estanca en el tráfico del Atlántico Norte, con cubiertas estancas y añadiendo mamparos longitudinales. Tenía 865 x 97 x 64,5 (34) pies y desplazamiento de 49.500 toneladas, con 23 nudos.

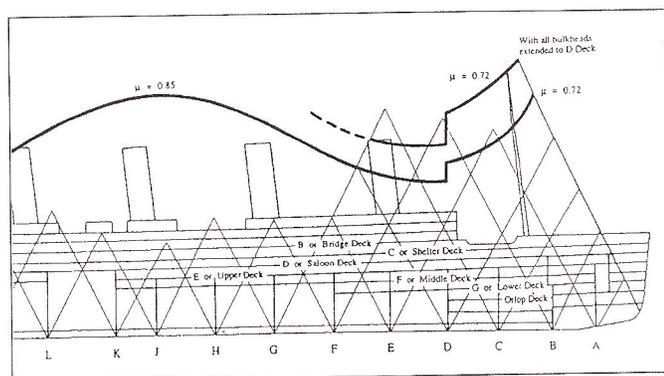


Figura 7 (WOOD-97, 1): El uso de la cubierta "D" (de salones, por encima de la superior) como cubierta de compartimentación o de mamparos habría aumentado las esloras inundables de proa del "Titanic" en 1 compartimiento.

9.3. Del buque que no se hunde

En los EE.UU. G.W. Dickie (DICK-13) se preguntaba en la reunión de SNAME del 12 de diciembre de 1913 si era posible construir un barco de pasaje que no zozobrara ni se hundiera bajo ninguna de las averías conocidas.

"Este problema ha ocupado la mente de muchos, si no todos, los eminentes arquitectos navales desde que el desastre que se llevó al "Titanic" en 1912".

"Sólo en condiciones excepcionales, sería posible arriar 80 a 90 botes y si hubiera un buque avisado a menos de 200 millas podrían ser recogidos."

Explicaba que en el nuevo buque de pasaje, proyecto suyo, el "Congress", lo había dotado de más botes, lo que le obligó a aumentar 25 tons en la cubierta, y a aumentar la manga de 53 pies a 54-9 para conseguir estabilidad, llevando los botes a 35 pies sobre la flotación. Pero si tuvieran que abandonar el buque entre Seattle y San Francisco los 850 pasajeros, habría muchas pérdidas de vidas. Permanecer a bordo del barco sería más seguro que abandonarlo.

En un ejercicio práctico, muy habitual en los EEUU, estudiaba el proyecto y simulaba la respuesta de un buque de:

eslora	800 pies
manga	90 "
calado	33 "
c. bloque	0,64
desplazamiento	42.130 tons,

es decir, muy cercano al "Titanic"

Lo subdividía con doble fondo y doble carena de 4', 2 cubiertas estancas, 12 mamparos sin aberturas, y ventilación.

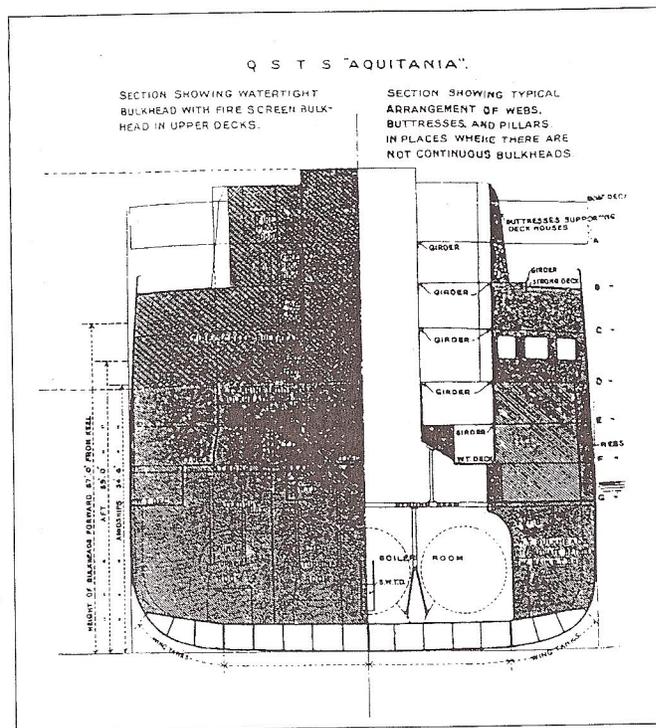


Figura 8 (HILL-13, 8): El "Aquitania" de la Cunard era mayor que el Titanic y fue el primero que lo siguió. Su compartimentación estanca incluía una envolvente de las salas de calderas y cubiertas estancas sobre ellas, que permitían la inundación de 5 compartimientos extremos. La figura muestra el reforzamiento especial de estas cubiertas y de los mamparos parciales hasta el costado.

Analizaba los escenarios de varada y colisión, y añadía el fuego.

Y acababa sugiriendo que si el proyecto era "inhundible" no tenía por qué llevar tantos botes.

9.4. De los efectos en las estructuras

Otro autor estadounidense, W. Gatewood, presentaba en la misma reunión de SNAME de diciembre de 1913 (GATE-13) un estudio sobre los efectos de la seguridad en las estructuras.

"Los progresos en construcción naval y navegación, y la ayuda de los faros, han hecho el viaje por mar realmente más seguro que por tierra".

Los peligros a los que el barco debe enfrentarse, y los remedios más eficaces e inmediatos, son:

- vías de agua: estanqueidad del forro
- tempestades: resistencia estructural, estanqueidad, estabilidad, control
- hielos: reforzado específico
- varadas: doble fondo, subdivisión estanca
- colisiones: subdivisión estanca
- incendios: eliminar material combustible

Y acababa asegurando que: "Hasta el hundimiento del Titanic se creía que un buque era seguro si admitía la inundación de dos compartimientos cualesquiera, lo que se cumple en muy pocos barcos de hoy".

9.5. De la estabilidad en averías

En diciembre de 1912 la INA encargó al Armstrong College (de la Univ. Durham) una investigación sobre la Estabilidad de los Barcos en Avería. Los resultados se presentaron en la reunión de la INA del 3 de abril de 1914, y se resumen a continuación.

La **estabilidad** no fué tenida en cuenta en las Curvas de Esloras Inundables sugeridas por la Comisión de Mamparos de la BoT en 1890.

Hubo sólo dos trabajos presentados a la INA que trataron la estabilidad:

- 1867, de F.K. Barnes, quien analizaba la estabilidad de un paralelepípedo inundado;
- 1912, de Prof. Flamm sobre "The Unsinkability of Modern Sea-Going Ships", con barcos-cajón de diversas dimensiones, inundados.

Estudia la variación de la estabilidad inicial, GM, al inundarse los compartimientos a lo largo de la eslora.

Descubre que el efecto en GM es de ganancia, con carga homogénea, y de pérdida con carga concentrada abajo.

Estudia el efecto de las formas y las proporciones, de las cubiertas estancas y las escotillas.

A. Denny informó que en la Conferencia Internacional de 1913 no se presentó ningún barco que se hubiera inundado por el pantoque y que hubiera zozobrado, como tampoco lo hizo el Titanic.

9.6. De la subdivisión estanca

En 1915 publicó J.S. Welch en Tr.INA (WELC-15) un extenso informe sobre la Subdivisión Estanca de Buques, que recogía su método empírico de cálculo que había aprobado la Conferencia de 1913-1914. Incluía las definiciones y una línea de margen variable con la eslora, más baja para barcos más largos.

Antes de la Conferencia Internacional de 1913-1914 no existía más que un reglamento de subdivisión de barcos mercantes: el **Reglamento Alemán de 1891**, elaborado tras la catástrofe del "Elbe", que había sido hecho a partir del de 1890 de la BoT y que fue modificado en 1907.

El **grado de seguridad** para buques que llevaran más de doce pasajeros variaba con la velocidad, la eslora y el criterio de servicio.

Señalaba la oposición entre la rentabilidad y la seguridad, ya que ésta requería mamparos altos y la carga pide bodegas amplias, con pocas escotillas y chigres y entrepuentes diáfanos para llevar pasajeros (entonces, "emigrantes").

La Conferencia de 1913-14 se limitó a exigir lo mínimo y en forma de criterios-guía, determinando:

- que la subdivisión debía crecer con la eslora
- que el criterio de servicio exigía el subdividir más los barcos más rápidos y con más pasaje hasta el transatlántico puro
- que la interpolación entre el barco de doce pasajeros y el transatlántico puro se hiciera usando una función continua.

Sólo esta última disposición ya mejoraba el resultado de la subdivisión por el Reglamento Alemán, que dejaba libre la interpolación de manera que se hacía por criterios comerciales, no de seguridad.

Francia discutió que el **grado de seguridad** que ofrecía el compartimentado dependía de dos hipótesis totalmente gratuitas:

- aceptar una cierta **permeabilidad**
- definir un **francobordo mínimo averiado**, o línea de margen

La "curva de esloras inundables" hubiera permitido en el Titanic compartimientos de 80 m si no estuvieran limitados por el LRS a 27,5 m. Los mamparos más separados daban lugar a mayores calados y debían ser más altos.

La "longitud inundable" se obtenía dividiendo la eslora geométrica por la permeabilidad. La "longitud admisible" era menor, dividiendo la "inundable" por un coeficiente de subdivisión que era mayor cuanto más seguridad se pidiera, según un "**criterio de servicio**".

En el Reglamento Alemán de 1891 sólo se distinguían dos clases de buques: "Schnell-Dampfer" (vapores rápidos o transatlánticos) y "Frachtpassagier-Dampfer" (vapores de carga y pasaje).

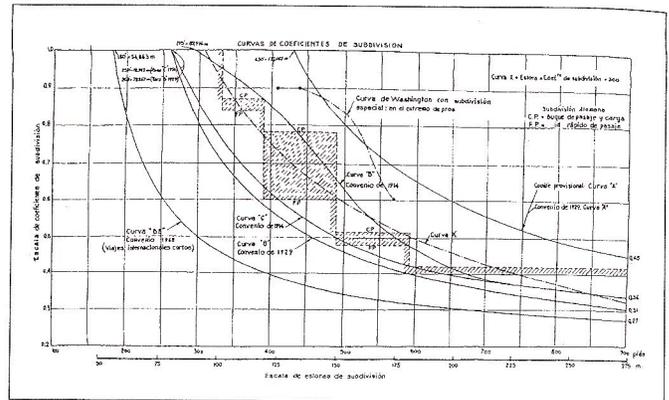


Figura 9 (CGG-53, 733): Se comprueba la posición del "Titanic" entre las curvas de los diversos convenios que representan los coeficientes de subdivisión del Reglamento Alemán de 1891 y los de 1914, 1929 y 1948. Las curvas "B" son para barcos de carga y pasaje; las "C" sólo para pasaje.

No prosperaron las propuestas francesas de incorporar el tratamiento de los dobles fondos y la subdivisión transversal con compartimientos laterales para conservar la estabilidad, pues contó con la oposición de A. Denny, que llegó a negar que un transatlántico moderno pudiera dar la vuelta por el través (zozobrar). El Convenio se limitó a fijar en 28 m la longitud máxima de un compartimiento.

En ese mismo año, Finley (FINL-15) analizaba el efecto de incorporar al casco una cubierta estanca intermedia.

El efecto de esta cubierta estanca se valoraba en los estudios que se presentaron en 1913. Los enfoques de los soluciones que se proponen, y los mismos modelos de análisis, están influidos sin duda por los métodos de cálculo que tenían disponibles, casi siempre gráficos.

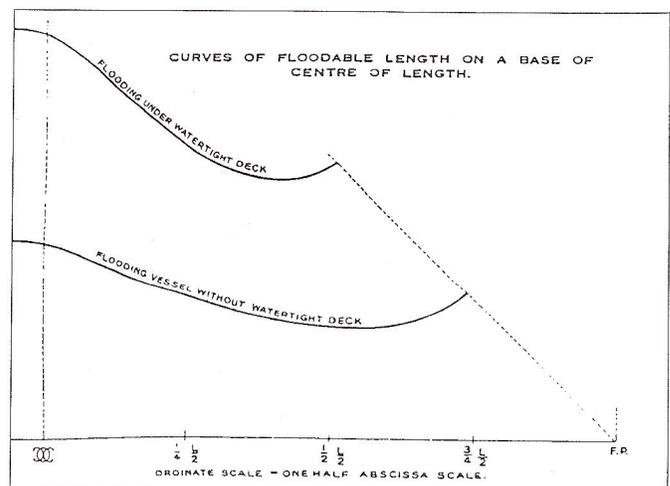


Figura 10 (FINL-15, 2)

9.7. Del Francobordo necesario en los mercantes

Los principios fundamentales se recogieron en el informe de la Primera Comisión de Líneas de Carga, en 1885.

W. Watts presentaba ante la reunión de la INA de 1916 los Trabajos de la Comisión de Francobordo entre 1912-1915. (WATT-16).

Las modificaciones de 1906 fueron criticadas en Inglaterra, por lo que se nombró una Comisión de 1913-15 para analizar el efecto del francobordo en las pérdidas de buques y de vidas humanas.

Se halló que el francobordo no había tenido influencia alguna, por lo que se propusieron las mismas Reglas de 1906 para que fueran aceptadas como Reglamento Internacional.

Se estudió también el efecto de la Resistencia Estructural en la seguridad del buque.

Una Subcomisión presidida por el Prof. Abell tuvo en cuenta tanto la Resistencia Longitudinal como la Resistencia Transversal de los buques. En su presentación a la INA (ABEL-16), explicaba los fundamentos y criterios que justificaban la adopción de las fórmulas de la ILLC. Asimismo, se discutieron las fórmulas para hallar módulos, inercias y tensiones máximas admisibles, a las que aportaba otras soluciones T.C. Tobin.

Se destacaba la importancia de:

- la rigidez de la viga-casco, como función de la relación de la eslora al puntal hasta la cubierta resistente
- la resistencia a la flexión longitudinal, medida por el módulo de la sección
- la resistencia del forro exterior a los esfuerzos cortantes, medida por el espesor del forro
- la posibilidad de abollamiento local del forro, medida por la relación entre el espesor del forro y la clara de cuadernas
- la resistencia transversal del casco
- la resistencia de las cuadernas en las bodegas

Posteriormente, el análisis de las pérdidas de buques y la gran variedad de sus características llevó a proponer algunas modificaciones en las Reglas de la BoT 1906:

- el francobordo debía darse para el calado de verano
- se mediría desde la cara alta de la cubierta en el costado
- el francobordo básico requería un arrufo normal mucho mayor
- el arrufo normal sería mayor para cubierta corrida que con castillo
- el arrufo en la proa debía ser doble que en la popa
- las superestructuras debían tener una altura mínima para poder reducir el francobordo
- el francobordo se debía basar en un coeficiente de bloque medido a un calado igual al 85% del puntal, y no relacionado con el coeficiente de arqueado bajo cubierta
- la reducción por superestructuras se ligaba con:
 - la relación de su longitud con la eslora
 - la posición y disposición en la eslora
 - los medios de cierre

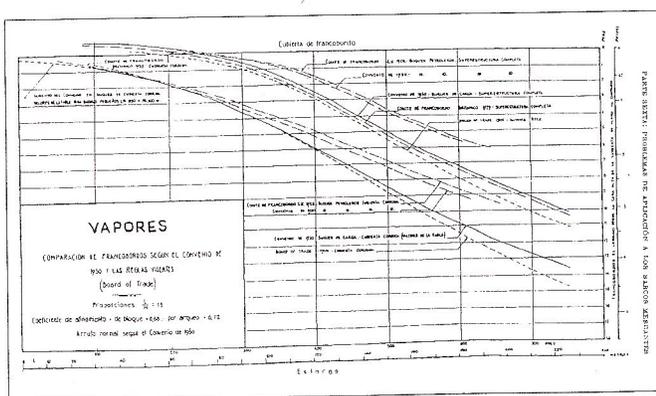


Figura 11 (CGG-53, 678): Las curvas muestran la evolución de las exigencias de las Reglas de Francobordo para barcos mercantes de vapor de distinto tipo, desde 1906 a 1930, y la posición que hubiera tenido el "Titanic". Ilustran con claridad el "aprendizaje" de la tecnología naval a lo largo de este importante cuarto de siglo que incluye la experiencia de Gran Guerra Europea y primera mundial.

9.8. De los mamparos estancos

En la reunión de 1916 de la INA, A. Denny (DENN-16) presentaba el Segundo Informe sobre el Trabajo de la Comisión de Mamparos entre 1912-1915, que se refería a los barcos de pasaje locales y barcos de car-

ga, con menores exigencias que para los barcos de pasaje transatlánticos e internacionales que cubriera el Primer Informe.

Los sistemas de subdivisión se ordenaban por su facilidad de instalación en barcos mercantes ordinarios:

- mamparos transversales
- cubiertas estancas
- forro interno
- mamparos longitudinales

Por su parte, J. Foster King (KING-16) abordaba la cuestión fundamental de la resistencia de la estructura de los mamparos estancos en la inundación, y discutía los resultados de experimentos llevados a cabo con distintos mamparos reales.

Se limitaron tanto la flecha máxima, para que los remaches y el calafateo permanecieran eficaces, como la deformación permanente bajo carga.

Se tenía también en cuenta el posible efecto de las deformaciones en los elementos y equipos que podían estar adosados al mamparo.

La repercusión práctica de las conclusiones de la Comisión de mamparos fué el tema desarrollado en la misma reunión por A.T. Wall. (WALL-16)

Entre los efectos que produciría la aplicación de las Reglas de Mamparos, unos afectaban al coste y otros al peso de acero:

- Acero adicional en:
 - más mamparos transversales
 - mayores escantillones de los mamparos
 - mayor área de cada mamparo
 - mayores escantillones de las cubiertas de mamparos
 - mayores escantillones del túnel de ejes
 - mayores escantillones alrededor del túnel de ejes
 - extra brazolas y troncos de escotillas
 - mamparos contr-incendios
 - pozos de llenado
 - troncos de salida de socorro
 - troncos a las escotillas de cubiertas de mamparos
 - mayor extensión del doble fondo
- Puertas estancas:
 - mayor número de ellas
 - sistemas de operación más complicados
 - no se usa madera entre las cuadernas
 - aislamiento ignífugo entre lana y puerta
 - salidas de socorro para pasaje y tripulación
 - más aparejos de carga por haber más bodegas
 - recogida de cenizas y fango
 - mayores potencias de bombas
 - más área de cubierta con los pozos
 - más válvulas y mecanismos para descargar al costado
 - descargas especiales de costado

10. Percepción del cambio tecnológico en el tiempo

Debe destacarse la variable tiempo en esta evolución de las normas y de los conocimientos. La percepción del progreso es la misma que la del retraso, o lo que es lo mismo de la necesidad de modificar una tecnología.

Entre 1890 y 1910 hay 20 años que, trasladados a 1998 con una corrección de la exponencial del tiempo-tecnológico, equivaldrían a unos 10 años.

Supongamos que, a partir de 1800 es el

$$\text{ESTADO-TECNICO} = (a) * [\text{TIEMPO} \wedge (b)]$$

$$\text{Cambio Técnico Instantáneo en un Intervalo de Tiempo} = (b) * (a) * [Ti \wedge (b-1)] * \text{Intervalo de Tiempo}$$

Relación entre Cambios Técnicos en dos Instantes de Tiempo = $(T2/T1)^{(b-1)}$

Supongamos $(a) = 1$.

Si se toma el tiempo en siglos y a partir de 1800, con $(b=2)$ el cambio técnico en N años del año 2000 es el **doble** que en el mismo periodo del año 1900; es decir, que la velocidad de progreso tecnológico es hoy el doble que hace 100 años, y vemos la tecnología de hace 10 años como en 1910 se vería la de 1890. Si el origen se pone en 1700, la relación sería de 1,5 con el mismo exponente $(b=2)$.

Si el exponente fuera $(b=3)$, entonces sería 4 veces mayor la velocidad en 2000 que en 1900, desde 1800, y 2,25 desde 1700. Pero si el exponente es $(b=1,5)$ entonces la relación con base 1800 sería de 1,4 veces, y con base 1700, de 1,25.

11. Conclusiones

Los datos y las reflexiones anteriores, podemos resumirlas en las siguientes conclusiones:

- el "Titanic" es un mito social, no un punto singular naval
- los "Olympic" siguieron la estela que abrió el "Lusitania"
- antes y después, hubo otros desastres navales más graves
- su Tecnología Naval era de lo más avanzado en su época
- respondió en su naufragio por encima de lo reglamentado
- la Arquitectura y la Ingeniería Naval no se convulsionaron
- fue un catalizador para establecer Convenios Internacionales.

12. Reflexión final

En el caso del "Titanic", como en muchos otros hitos del progreso tecnológico, podemos decir con el Duque de la Rochefoucauld que:

"El hombre juicioso conserva lo que vale y no lo pone en riesgo; así pues, el progreso es de los insensatos".

Y proponemos estas dos reflexiones nuestras:

"A menudo, la arquitectura naval ha progresado más de la mano del vicio y de la desgracia que de la normalidad" (tales han sido los casos de negreros, piratas, opio, droga, el "Titanic", el "Estonia", el "Exxon Valdez", la "A.Killian", etc.).

"Los cambios en construcción naval nunca han sido catastróficos por más que, a veces, hayan sido inducidos por catástrofes: siempre se ha respetado la evolución suave basada en la experiencia comprobada durante años. Podríamos decir que la construcción naval, al resolver los productos más valiosos, ha sido la más conservadora de las técnicas".

13. Referencias consultadas

Contemporáneas

LRS-06. Lloyd's Register of British and Foreign Shipping.- Rules and Regulations. Años 1903-1904 y 1904-1905

FORB-12. Forbes W.D.- "Notes on Life-Saving Appliances", Transactions of The Society of Naval Architects and Marine Engineers, v. LIV, 1912, pp.127-150

WELL-12. Welin, A.- The Arrangement of Boat Installations on Modern Ships", Transactions of the Institution of Naval Architects, v. LIV, 1912, pp.211-218

DANA-13. Dana R.W. (Ed).- "Annual Report of the Council", Transactions of the Institution of Naval Architects, v. LV, 1913, Part.1, pp.xxxviii-xxxix

HILL-13. Hillhouse P.A.- "On Safety of Life at Sea", Transactions of the Institution of Naval Architects, v. LV, 1913, pp.16-27

DICK-13. Dickie G.W.- "On the Possibility of Building a Large Passenger Liner that Would not Under any of the Known Mishaps at Sea Lose her Buoyancy or Stability and Sink", Transactions of The Society of Naval Architects and Marine Engineers, v. LV, 1913, pp.25-30

GATE-13. Gatewood W.- "Structure of Vessels as Affected by the Demand for Increased Safety", Transactions of The Society of Naval Architects and Marine Engineers, v. LV, 1913, pp.31-45

Peskett L.- "On the Design of Steamships from the Owner's Point of View", Transactions of the Institution of Naval Architects, v.LVI, 1914, pp.173-192

BRIM-14. Brimblecombe P.Y.- "The Stability of Ships in Damaged Conditions", Transactions of the Institution of Naval Architects, v.LVI, 1914, pp.193-207

WELC-15. Welch J.J.- The Watertight Subdivision of Ships", Transactions of the Institution of Naval Architects, v.LVII, 1915, pp.1-30

FINL-15. Finlay K.G.- "The Increase of Safety Afforded by a Watertight Deck", Transactions of the Institution of Naval Architects, v.LVII, 1915, pp.31-40

WATT-16. Watts W.- "The Load Lines of Merchant Ships: Work of the Load Line Committee (1915)", Transactions of the Institution of Naval Architects, v.LVIII, 1916, pp.1-15

ABEL-16. Abell W.S.- "Some Questions in Connection with the Work of the Load Line Committee", Transactions of the Institution of Naval Architects, v.LVIII, 1916, pp.16-36. ("Discussions", pp.36-50)

DENN-16. Denny A.- Subdivision of Merchant Vessels: Reports of the Bulkhead Committee, 1912-15", Transactions of the Institution of Naval Architects, v.LVIII, 1916, pp.150-154

KING-16. King F.- "Strength of Watertight Bulkheads", Transactions of the Institution of Naval Architects, v.LVIII, 1916, pp.155-165

WALL-16. Wall A.T.- "Some Effects of the Bulkhead Committee's Reports in Practice", Transactions of the Institution of Naval Architects, v.LVIII, 1916, pp.166-187. ("Discussions", pp.188-209)

Reid J.- Notes from a Collision Investigation", Transactions of the Institution of Naval Architects, v.LVIII, 1916, pp.210-20

Posteriores

S.H.Y.- "Titanic, Naufragio del", Enciclopedia General del Mar, Garriga, Barcelona, 1966, pp.487-490

BARN-68. Barnaby K.C.- Some Ship Disasters and Their Causes, Hutchinson of London, 1968, pp.102-121

Actuales

BALL-86. Ballard, R.D.- "A Long, Last Look at Titanic", National Geographic Society, v.170, n.6, Dec.1986, pp.698-727

BALL-87. Ballard, R.D.- "Epilogue for Titanic", National Geographic Society, v.172, n.4, Oct.1987, pp.454-463

OXFO-88. Oxford Companion to Ships and the Sea. P.Kemp (ed.). Oxford University Press. 1988

GARZ-96. Garzke W.H. et al. - "The Titanic and Lusitania: a Final Forensic Analysis", *Marine Technology*, v.33, n.4, Oct.1996, pp.241-289

WOOD-97. Woodward J.B. - "Titanic Defended", *Marine Technology*, v.34, n.2, Apr.1997, pp.119-124

14. Bibliografía adicional

Baer T: Finding the Titanic. *Mech. Engng.*, 108 (1986), p. 44 (Mar.) Ballard R D: The Discovery of the Titanic, 1987. Hodder & Stoughton. London

Beesley L: The Loss of the SS Titanic. Its story and its lessons, 1972. 7 C's Press Incorporation

Bonsall T E: Titanic, 1987. Gallery Books. USA

Brodje L, Inmarsat: GMDSS: system in troubled waters - a personal reflection, Third International GMDSS Conference. Plymouth, UK 20-21 March 1995. Paper 5.

Brown D K: Why did Titanic break into two pieces?, RINA, The Naval Architect, Jan 1991 E28

Bullock S F: A Titanic Hero, Thomas Andrews, Shipbuilder, 1973. 7 C's Press Limited. United States of America

Cahill R A: Disasters at Sea - From the Titanic to Exxon Valdez, 1990. Century. Kent

Collective: Titanic Souvenir Collection, 1911-1912. Unknown Publ. London, UK

Davie M: The Titanic, the full story of a tragedy, 1986. Bodley Head. London

Eaton J P, Haas C A: Titanic - Triumph and Tragedy, 1986. Patrick Stephens Ltd. Sparkford

The Engineering Council: The Engineering Council Guidelines on risk issues, 1993. The Engineering Council. London

Garzke W H, Yoerger D R, et al.: Deep underwater exploration vehicles; past, present and future. SNAME, Centennial Meeting; 15-17 Sept 1993; New York, USA.

Godino Gil, Carlos. - "Teoría del Buque y sus Aplicaciones". Vol II: Evaluación del Arqueo y el FrancoBordo; SeViMar, Gustavo-Gili. Barcelona, 1953

Harrison L: A Titanic Myth - The Californian Incident, 1992. Leslie Harrison. London

Haws D: White Star Line (Oceanic Steam Navigation Company), 1990. Starling Press Ltd. Gwent

Hutchings D F: RMS Titanic - 75 Years of Legend, 1990. Kingfisher Publications. Southampton

Hutchings D F: Titanic - A Modern Legend, 1993. Waterfront Publications Ltd. Blandford Forum, UK

IMarE: 80th anniversary of the sinking of RMS Titanic - a tribute to the engineering staff, 1992. IMarE. London

Lightoller Comdr: Titanic and Other Ships, 1992. Withy Grove Press. Manchester, UK

LLP: The Deathless Story of the Titanic, 1985. Lloyd's of London Press Ltd. London

Lord W: A Night to Remember, 1956. Longmans. London

Lord W: The Night Lives On, 1986. Viking Press. New York, USA

Lynch D: Titanic - An Illustrated History, 1992. Hodder & Stoughton Ltd. London, UK

MacInnis Dr J: Titanic - In a New Light, 1992. Thomasson-Grant, Inc. Charlottesville, USA

MAIB: Report Type & No - Marine Accident Investigation Branch - MAIB RMS Titanic - Reappraisal of Evidence Relating to SS Californian, 1992. DoT. Southampton, UK

Marcus G: The Maiden Voyage, 1969. Allen & Unwin. London

MER: Discoveries bring sonar into the limelight, MER Nov 1985 44

Mills S: Britannic - The Last Titan, 1992. Waterfront Publications. Poole, UK

Monney N T: A Technically Plausible Scenario for the Salvage of the TITANIC. *Ocean Science Engng.*, 11 (1986/87), p. 115 (No.3/4)

Padfield P: The Titanic and the Californian, 1965. Hodder & Stoughton. London

Protasio J: To the Bottom of the Sea, 1990. Robson Books Ltd. London

Reade L: The Ship That Stood Still - The Californian and Her Mysterious Role in the Titanic Disaster, 1993. Patrick Stephens Ltd. Sparkford, UK

Stenson P: Lights; The Odyssey of C H Lightoller, 1984. London. Hardback

Subtech-93: The design and operation of underwater vehicles, 1983. Soc for Underwater Tech. London

SWS: Ocean Liners of the Past - The White Star Liners Olympic and Titanic, 1970. Patrick Stephens Ltd. London

Ulster Titanic Society: Titanic at Home, international convention report 1997, 1997. Ulster Titanic Association. Bangor, Northern Ireland

Watkins G: The starting platform in the steam age, MER May 1979 36-37

White Star Line: White Star Line - Royal and United States Mail Steamers - Olympic and Titanic, 1911. Ulster Folk and Transport Museum. Belfast, UK Winocour J et al.: The Story of the Titanic as Told by its Survivors, 1960. Dover. USA

Woodward J B: The lights of the TITANIC. SNAME, *Marine Technology*, v 30 n 2, April 1993, p 100

WOOD-97. Woodward J B: TITANIC defended. SNAME, *Marine Technology*, v 34 n 2, April 1997, p 119

xxx: 'Titanic' - target of opportunity, US Naval Institute Proceedings Aug 1987 pp 56-63

xxx: The Titanic disaster - questions in the aftermath, *Safety at Sea* Sep 1988 33-37

xxx: Viewing 'Jason's' voyages to the bottom of the sea, *Mechanical Engineering* Nov 1989 pp 36-42