

Titanic: la Maniobrabilidad y la Colisión



Antonio Baquero Mayor,
Dr. Ingeniero Naval,
Prof. Titular de Teoría del
Buque de la E.T.S. de
Ingenieros Navales,
Madrid

INDICE

- 1.- Cuestiones previas. Mitos y leyendas
- 2.- Algunas precisiones técnicas de interés
- 3.- Características y dimensiones principales de carena, hélice, y timón
- 4.- Modelización matemática de la maniobrabilidad del "Titanic"
- 5.- El "Titanic", ¿tenía buena o mala maniobrabilidad?
- 6.- Radiografía de la colisión. Simulaciones
- 7.- ¿... Y si hubiera hecho otra maniobra?
- 8.- Conclusiones y culpables
9. Referencias

1. Cuestiones previas. Mitos y leyendas

En relación con el accidente y colisión del Titanic han sido extensamente difundidos un gran número de rumores y opiniones, ya desde los primeros años después del suceso, que por su carácter especulativo-esandaloso han pervivido hasta nuestros días y buena prueba de ello es que han sido recogidos en el filme de gran éxito actualmente y en muchos libros y publicaciones no técnicas.

He aquí algunas de estas "leyendas", relacionadas con la colisión, que es el objeto de este apartado, y que sin duda serán familiares para muchos lectores :

- El Armador del buque, Mr. Ismay, directivo de la White Star Line, presionó al Capitán, Mr. Smith, para que el buque navegara a su máxima velocidad (en un mar con abundantes hielos), y así poder batir el record de velocidad en el Atlántico Norte (precioso galardón en aquella época).
- El Titanic era el buque más grande jamás construido hasta la fecha y su comportamiento y respuesta en maniobras era desconocido para sus tripulantes, los cuales, debido a este desconocimiento, no tomaron las precauciones necesarias durante la navegación.
- El principal responsable del buque, el Capitán Smith, al no haber mandado nunca un barco de esta envergadura, minusvaloró los problemas de manejabilidad del mismo.
- El Titanic seguía una ruta excesivamente al Norte con objeto de acortar la distancia entre los puertos de salida y destino y llegar así a Nueva York con antelación a la fecha prevista, lo que iba a contribuir al impacto publicitario de este buque tan insólito. Esa ruta tan septentrional fue la causante de encontrar icebergs y, por tanto, de la colisión y del hundimiento.
- El proyecto hidrodinámico del buque era incorrecto. Su timón era excesivamente pequeño para un buque de su porte y por tanto la maniobrabilidad del mismo era muy deficiente, lo que fue la causa de que no pudiera salvar el iceberg y se produjera la colisión.
- La maniobra ordenada por los oficiales en el puente al avistar el iceberg fue errónea y causante, junto a la mala maniobrabilidad del barco, del choque con el iceberg. Se podían haber efectuado otras maniobras que, a buen seguro, hubieran permitido evitar la colisión.

Y quizá haya más. Como puede observarse de las argumentaciones anteriores, podría sacarse la conclusión de que el accidente del Titanic fue principalmente debido a una conjunción de incompetencias, errores imperdonables y falta de escrúpulos y de ética profesional. Naturalmente, este enfoque se ha vendido muy bien al público en general por su espectacularidad a lo largo de los años, creándose mitos y leyendas. Pero bajo el punto de vista técnico, de la Ingeniería Naval, ¿son todas ellas plausibles? ¿podemos, con los conocimientos y herramientas de cálculo actuales, establecer la frontera entre la realidad y la ficción, entre lo verdadero y lo falso?. A ello dedicaremos los siguientes puntos de este trabajo.

2. Algunas precisiones técnicas de interés

Como ya es sabido, aunque muchas veces olvidado, el "Titanic" era el segundo buque de una serie de 3 construidos por la compañía White Star (Olympic, Titanic y Britannic) a partir de 1911, para dar réplica a la compañía líder en aquellos años, la Cunard, que a partir de 1907 había comenzado a poner en servicio su triada Mauritania, Lusitania y

Aquitania. Todos ellos hacían la ruta Southampton- Nueva York con escala en Francia (Cherburgo).

La serie de la White Star era de mayor tamaño que el Mauritania et al., del orden de 25 m. más de eslora y 1 m. más de manga, aunque su desplazamiento era casi un 50% mayor que el de sus competidores. También era más lujoso y, sobre todo, más espacioso, es decir que el número y tamaño de sus salones y camarotes era sensiblemente superior.

Sin embargo, la White Star había sacrificado en el proyecto de estos buques la velocidad por la capacidad. En efecto, la "Blue Ribband" (record de velocidad en el trayecto Southampton- Nueva York) la ostentaba el Mauritania con una velocidad media en servicio de 26,3 nudos, mientras que el Titanic y sus congéneres a duras penas alcanzaban los 22,5 nudos. De aquí proviene el relativamente alto coeficiente de bloque del Titanic (0.665), que corresponde aproximadamente a una velocidad sostenida de Troost de 21 nudos, (Ref. 1). Este hecho viene a echar por tierra una de las leyendas, antes mencionadas, la de que el Armador, Mr. Ismay, presionó al Capitán para que pusiera las máquinas al máximo para alcanzar la "Blue Ribband". El Titanic, aún con todas sus máquinas a tope, era una tortuga frente al Mauritania que llevaba ya varios años navegando.

Por otra parte, hemos mencionado al principio que el Titanic era el 2º barco de la serie. En efecto, su gemelo el Olympic había entrado en servicio casi un año antes y cuando el Titanic se hundió en su viaje inaugural, el Olympic había hecho ya una buena cantidad de travesías de ida y vuelta a Nueva York sin el más mínimo percance, a excepción de una pequeña colisión en las cercanías de Southampton, que no puso en cuestión su manejabilidad. Este hecho derriba otros mitos corrientes, antes mencionados y también recogidos en la oscarizada película, ya que:

- El Titanic no era el barco más grande del mundo (era igual al más grande, el ya veterano Olympic).
- Había experiencia en el manejo de barcos de esta envergadura. El Olympic llevaba muchos miles de millas navegadas cuando se hundió el Titanic.
- El Capitán Smith no se encontró con un barco de características desconocidas hasta la fecha en la navegación mundial, porque además el Capitán del Olympic durante gran parte del año previo al hundimiento del Titanic era ... ¡ el propio Capitán Smith !. (Fig. 1)

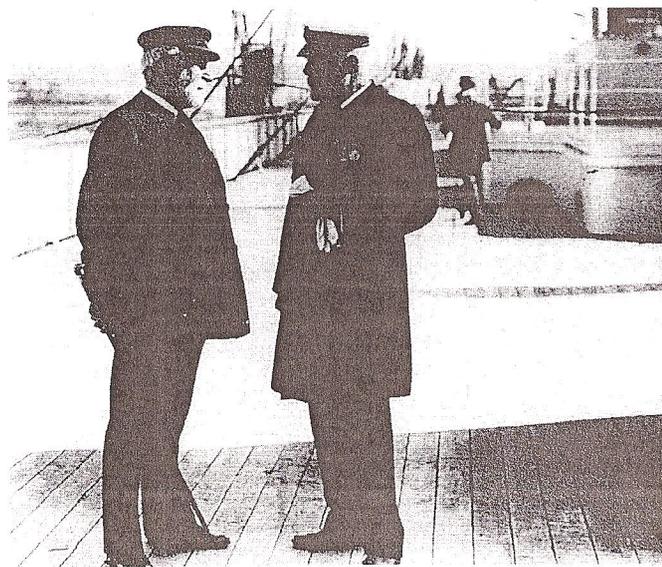


Figura 1.- Lord Pirrie, her builder, and Captain Edward J. Smith, her master, confer on the Olympic's boat deck. It is sometime during the week before she sailed on her maiden voyage on June 14th, 1911. Paint crews are aloft, touching up the buff on number four funnel. (Radio Times Hulton Picture Library)

En cuanto a la ruta seguida por el Titanic durante su trágico viaje inaugural era una ruta standard para los grandes trasatlánticos en su época (Fig. 2). La ruta seguida era aún la de invierno (mes de Abril), más al Norte que la de verano, dado que se supone que en invierno el hielo que procede de la gran banquisa de Groenlandia está aún fijo a la misma y no se ha desprendido en icebergs por el deshielo veraniego. Sin embargo el invierno ártico de 1911-12 fue extraordinariamente suave. Según los expertos en el tema es un fenómeno que se repite con un ciclo de 8 años y que a la luz de los conocimientos meteorológicos actuales probablemente tenga algo que ver con "El Niño". Esto provocó que en aquella temprana primavera hubiera muchos más icebergs sueltos que de costumbre y, sobre todo, mucho más al Sur. Además, en este fenómeno si que no existía experiencia en barcos similares: el Mauritania entró en servicio en 1907, más tarde que el anterior "Niño", por lo que probablemente ningún barco de este tamaño había navegado antes, hasta aquella primavera, entre un mar plagado de icebergs., aunque el Olympic y los competidores de la Cunard lo estaban haciendo aquellas semanas.

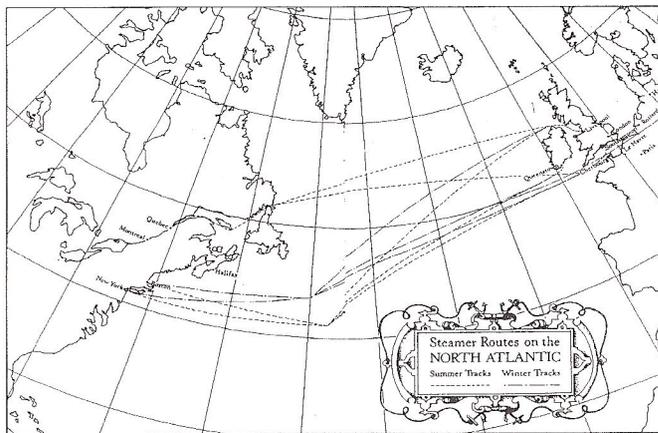


Figura 2

Respecto al proyecto del barco, el Titanic y sus gemelos fueron proyectados y construidos por el astillero "Harland & Wolff" de Belfast (Irlanda del Norte), empresa de gran prestigio no solamente en aquellos años, sino aún en nuestros días. El proyecto hidrodinámico respondía al "know-how" de aquella época y con toda seguridad se llevaron a cabo ensayos de canal de resistencia y propulsión, probablemente en el Canal del Almirantazgo en Haslar. Conviene recordar que estos estudios ya tenían entonces gran importancia, y cabe reseñar que para el Mauritania se construyó, aparte del modelo normal del Canal, un modelo especial de gran tamaño (16 m. de eslora), con el que se realizaron ensayos especiales de velocidad con modelo tripulado en una tranquila bahía cerca de Newcastle. Por lo tanto las formas del Titanic estaban bien estudiadas hidrodinámicamente desde el punto de vista de resistencia y propulsión. Sin embargo lo que con toda seguridad no se llevó a cabo fueron estudios de maniobrabilidad, aunque esto no es raro y no debe culparse a los proyectistas de "Harland & Wolff" por ello, ya que aún en nuestros días son escasos los proyectos que se someten a estudios de este tipo. La maniobrabilidad es una característica del barco que todavía suele considerarse secundaria y, en la mayoría de los casos, se da por sentado que no presentará problemas especiales. El accidente del Titanic arroja, en principio, sombras sobre estos criterios.

3. Características y dimensiones principales de la carena, helice y timón

El presente autor no ha podido conseguir un conjunto completo de planos y datos técnicos absolutamente originales del Titanic, habiendo tenido que reunir informaciones dispersas de diversas fuentes y publicaciones, planos parciales, etc. (Refs. 2, 3, 4 y 5). De todas esas fuentes se han obtenido unos valores que, si no coincidentes, sí son muy aproximados entre unas y otras. Los valores que se han tomado como definitivos, con un margen de $\pm 2\%$, se encuentran en las Tablas I, II y III.

Tabla I

Dimensiones principales de la carena	
Eslora entre perpendiculares (L)	254.75 m.
Manga (B)	28.20 m.
Calado medio (T) (Proyecto)	10.36 m.
Calado medio (T) (Colisión)	9.94 m.
Coefficiente de bloque	0.665
Posición - centro de carena	2.55 % L a popa de la maestra
L / B	9.03
B / T	2.84
Número de hélices	3

Tabla II

Características principales de la hélice central (estimadas)	
Diámetro	4.83 m.
Paso / Diámetro	1.097
Área / Disco	0.55
Número de palas	4

Tabla III

Características principales del timón	
Altura (h)	9.54 m.
Cuerda media (c)	4.09 m.
Alargamiento (h / c)	2.33
Área relativa	1.54 % de LxT
Ángulo de desprendimiento de flujo (hélice central funcionando) (*)	38 °
Ángulo de desprendimiento de flujo (hélice central parada) (*)	28 °

(*) Valores estimados por cálculo

En la figura 3 se presenta un alzado de la disposición general del buque. En la figura 4 se pueden apreciar las hélices (de 3 palas las laterales y de 4 palas la central). En la figura 5 se observa un detalle del extremo de popa, incluyendo el timón.

En la tabla II se presentan los valores estimados que podrían tener las características geométricas de la hélice central. Estos valores son necesarios para la simulación matemática de las maniobras que se presentará en apartados posteriores. Para llegar a los valores de la tabla II se ha realizado un proyecto de hélice en base a la potencia instalada aproximada (unos 55.000 CV totales), diámetro real de la hélice (próximo a 5 m.) y rpm. probables.

Como comentarios generales a las dimensiones de la carena puede destacarse el alto valor de la relación eslora / manga (9.03), comparado con los valores usuales de los buques de hoy en día. Este valor tan elevado influye, como es sabido, negativamente en la capacidad de evolución durante las maniobras (precisamente la que más necesitaba el Titanic durante su accidente), aunque bajo el punto de vista de la resistencia al avance (formación de olas) sea muy beneficiosa.

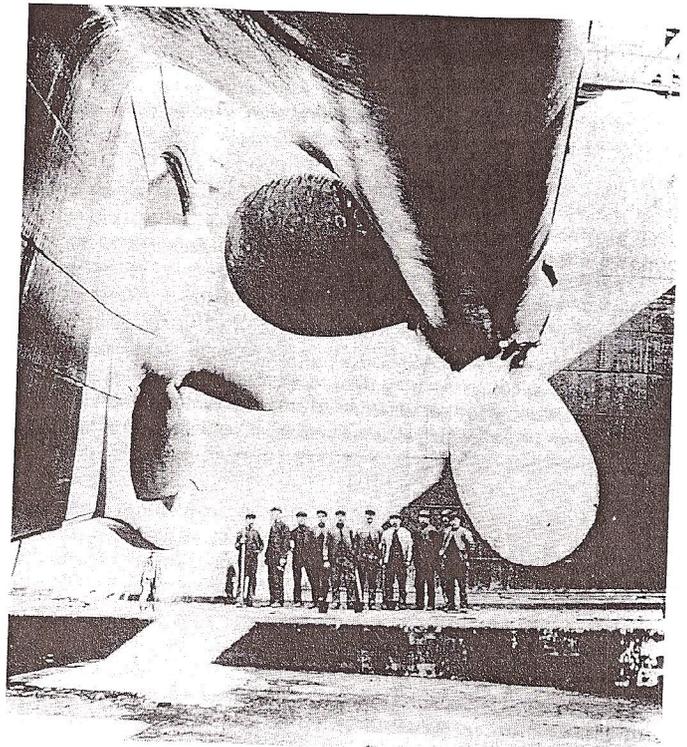


Figura 4

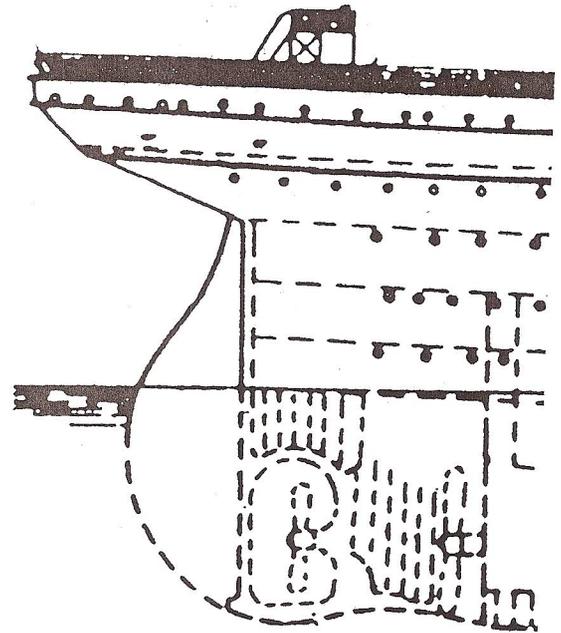


Figura 5

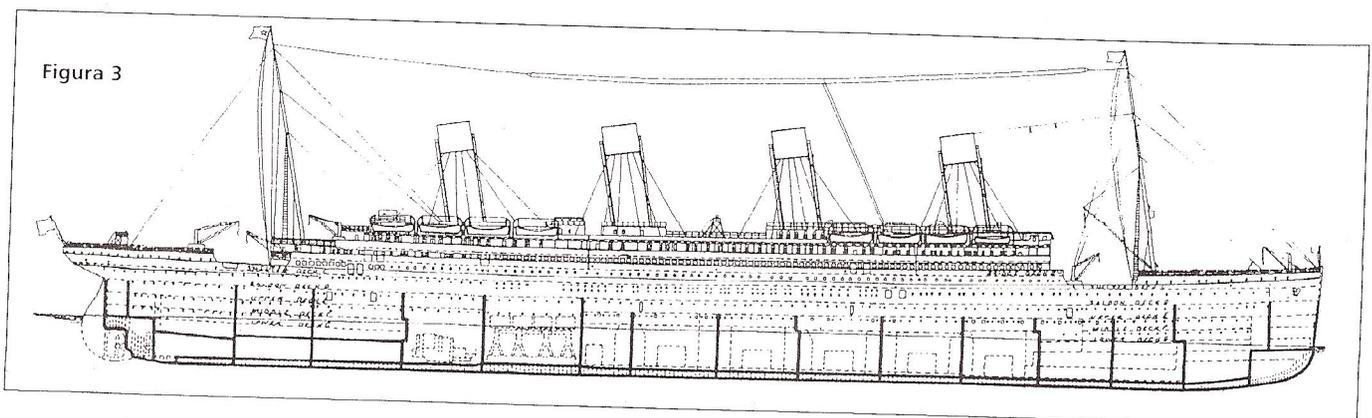


Figura 3

Respecto a las dimensiones del timón merece la pena comentar que el área relativa de la pala se encuentra en la zona baja del rango recomendado actualmente para este tipo de buques (1.5 - 2.0 % de $L \times T$) (Ref. 6), aunque es claramente superior a la mínima exigida por Sociedades de Clasificación de prestigio en nuestros días (Norske Veritas exigiría para este barco 1.28 % y el Titanic tenía 1.54 %). Lo que sí resulta, en cambio, claramente fuera de rango es la relación de alargamiento, que es muy alta en el Titanic (2.33) frente a valores no superiores a 2.0 utilizados en la actualidad. Este tipo de timones muy altos y estrechos, aunque dan una sustentación específica mayor, tienen el peligro de caer con facilidad en el fenómeno de desprendimiento masivo de flujo, cuya importancia en el accidente se enfatizará más adelante. En la tabla III se incluyen unos valores estimados del ángulo de desprendimiento, calculados según la Ref. 7.

4. Modelización matemática de la maniobrabilidad del Titanic

Dado que no se dispone de datos de ensayos con modelos ni de pruebas de mar de maniobrabilidad del Titanic (probablemente no se llegaron a hacer nunca ni unos ni otras), se ha optado por realizar una simulación numérica mediante cálculos por ordenador. Para ello se ha elegido un modelo matemático de los fenómenos dinámicos implicados (ecuaciones diferenciales del movimiento) y se han realizado las integraciones correspondientes mediante un programa de ordenador. En la actualidad no existe un modelo matemático universalmente aceptado que refleje la totalidad de los fenómenos hidrodinámicos implicados en la maniobra de un buque, dada la elevadísima complejidad de los mismos. Existen, sin embargo diversas propuestas por diferentes "escuelas" o grupos de investigadores (modelo japonés, modelo norteamericano, modelo alemán, etc). Todos ellos tienen enfoques diferentes, atendiendo al grado de simplificación de los fenómenos que sus autores hayan decidido y al tratamiento que dan a las fuerzas en carena, hélice y timón e interferencias mutuas.

Para este estudio se ha elegido el modelo del Japan Mathematical Modelling Group (J.M.M.G.), que es, sin duda, el de enfoque más racional y el más completo, aunque, a la vez, el más complejo. No es este artículo de carácter divulgativo el lugar más apropiado para extenderse con detalle en las ecuaciones matemáticas empleadas, pero existe una amplísima bibliografía sobre el tema (veáanse, p.ej. entre otras muchas referencias, las citadas como 8, 9 y 10).

Sí conviene, sin embargo, dar una breve panorámica resumida de las características del modelo matemático empleado que son las siguientes :

- Ecuaciones diferenciales no lineales (términos hasta 3º orden) del movimiento plano.
- 3 grados de libertad: Traslaciones según ejes X e Y y giro alrededor del eje Z
- Ecuación diferencial adicional de simulación del acoplamiento hélice- motor (simplificada), que permite obtener la variación de rpm durante la maniobra y la subsiguiente variación de empuje de la hélice.
- Las ecuaciones diferenciales están acopladas entre sí, es decir que todas las variables cinemáticas (velocidades lineales según X e Y y de giro alrededor de Z) influyen simultáneamente en todas las fuerzas y momentos.
- Se tienen en cuenta por separado las fuerzas hidrodinámicas actuantes en carena, hélice y timón , pero a la vez se calculan las interferencias mutuas entre los tres elementos, aspecto de capital importancia para la bondad de las simulaciones.
- Las fuerzas de inercia incluyen masas y momentos de inercia añadidos debidos al agua arrastrada.

Puede dar una idea de la complejidad del modelo matemático JMMG (a pesar de las simplificaciones que conlleva) el hecho de que, con an-

terioridad a proceder a la integración de las ecuaciones diferenciales, es preciso estimar o calcular del orden de 30 parámetros que intervienen en las mismas, relacionados con las masas añadidas, las derivadas de las fuerzas sobre la carena y los coeficientes de interacción carena-hélice-timón, siendo todos estos parámetros específicos para el buque en estudio.

5. El "Titanic", ¿tenía buena o mala maniobrabilidad?

El modelo matemático antes mencionado y el correspondiente programa de ordenador han sido validados mediante datos experimentales de los que se disponía, provenientes de los archivos del Canal de Experiencias Hidrodinámicas de El Pardo, obteniéndose aproximaciones muy satisfactorias entre las predicciones numéricas y los ensayos de maniobrabilidad con modelo libre.

A continuación se ha pasado a realizar los cálculos para el círculo de evolución del Titanic, que es la maniobra definitiva más apropiada para el presente estudio, ya que nos facilita la trayectoria del buque ante una acción sobre el timón determinada. El resultado del cálculo se presenta en la Figura 6. Se han supuesto las 3 hélices funcionando avante, una velocidad inicial de 21,5 nudos y un ángulo de timón de 35 grados, que son las condiciones ideales que hubiera desarrollado el buque en unas hipotéticas pruebas de mar.

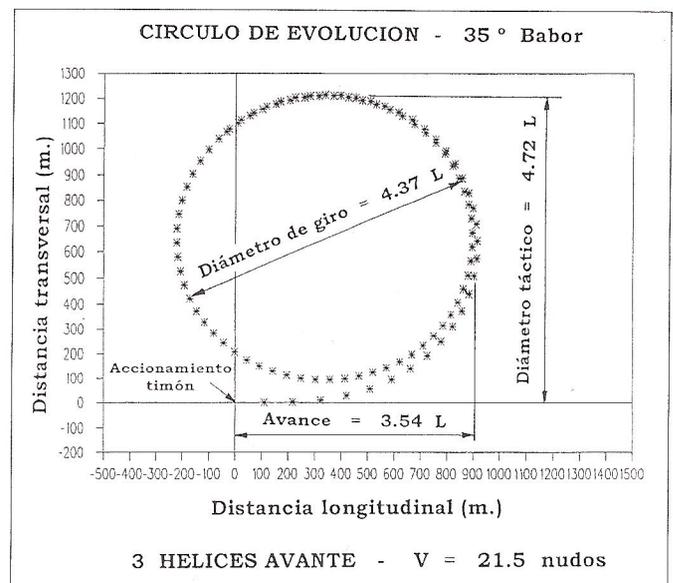


Figura 6

Sobre la trayectoria del c. de g. del buque presentada en la Fig. 6 se han medido las usuales magnitudes representativas, es decir, diámetro táctico, diámetro de giro y avance. De otros valores proporcionados por el programa se han podido determinar los índices representativos de la facilidad de cambio de rumbo, es decir el número P de Norrbín (ángulo de rumbo girado por unidad de ángulo de timón empleado cuando el buque ha navegado una eslora) y el índice "Initial Turning Ability" (distancia navegada por el buque al cambiar 10º el rumbo con 10º de ángulo de timón), que son de gran interés para el estudio de la colisión.

En la Tabla IV se presentan los resultados del cálculo frente a dos conjuntos de valores límites:

- a) Criterios oficiales de buena maniobrabilidad según diversos autores (Gertler, Nomoto, Norrbín). Estos son valores que el proyectista debería alcanzar durante el proyecto para asegurar que el buque tiene buena maniobrabilidad.
- b) Criterios oficiales de mínima maniobrabilidad de la I.M.O. (International Maritime Organization). Estos son valores que el buque ha de cumplir obligatoriamente para que las Administraciones Marítimas permitan su navegación. Representan unos mínimos

por debajo de los cuales el buque no se considera apto para navegar por consideraciones de Seguridad ante Accidentes.

Tabla IV Características de maniobrabilidad del Titanic

	Valores calculados	valores límite(1)	valores límite(2)
Diámetro de giro	4.37 L	< 3.87 L	---
Diámetro táctico	4.72 L	---	< 5.0 L
Avance	3.54 L	< 3.97 L	< 4.5 L
Número P	0.257	> 0.268	---
"Initial Turning Ability"	1.67 L	---	< 2.5 L

(1) Criterios oficiales de buena maniobrabilidad. (Autores: Gertler, Nomoto y Norbin)
 (2) Criterios oficiales de la I.M.O. (Administración Marítima Internacional)
 NOTA - Valores calculados a 21,5 nudos con las 3 hélices funcionando.

De la observación de la Tabla IV puede deducirse que el Titanic tenía una maniobrabilidad algo escasa comparada con criterios modernos de proyecto, pero que, sin embargo, cumpliría holgadamente los criterios excluyentes de la I.M.O., por lo que podría estar navegando perfectamente en nuestros días.

Como final del ejercicio sobre el grado de bondad de las características de maniobrabilidad del Titanic, se ha realizado una comparación de algunas de las mismas (diámetro de giro, avance y número P) con valores que poseen buques reales que se encuentran navegando por las rutas marítimas en la actualidad. Estos valores han sido obtenidos de informaciones bibliográficas y de la Base de Datos del Canal de Experiencias Hidrodinámicas de El Pardo.

Los resultados se presentan en las Figuras 7, 8 y 9. En ellas, cada círculo representa un buque distinto y se han marcado los valores correspondientes al Titanic. Se han incorporado a dichos gráficos unas líneas que marcan los límites para buena maniobrabilidad según los autores antes mencionados. Puede observarse que el Titanic queda fuera de la zona de "buena maniobrabilidad" en diámetro de giro y en número P y dentro de ella en avance. Sin embargo no es el único buque que queda fuera de la zona satisfactoria: bastantes buques reales actuales tendrían valores similares o incluso peores.

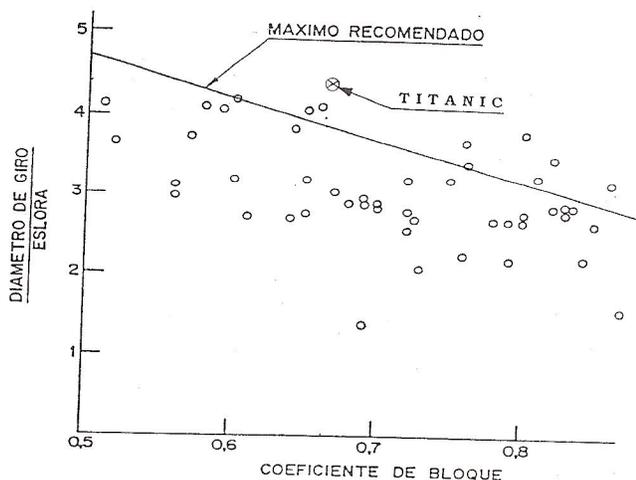


Figura 7

Como conclusión a este apartado puede establecerse que el Titanic era, en general, un buque de maniobrabilidad algo pobre comparada con los "standards" de hoy en día, pero en modo alguno desastrosa. Cumpliría perfectamente con la I.M.O., podría estar habilitado para navegar en la actualidad y, de hecho, hay buques navegando peores que él.

6. Radiografía de la colisión. Simulaciones.

Todo lo que se relata a continuación se basa en testimonios de supervivientes de la tragedia, pero la coincidencia de los mismos permite re-

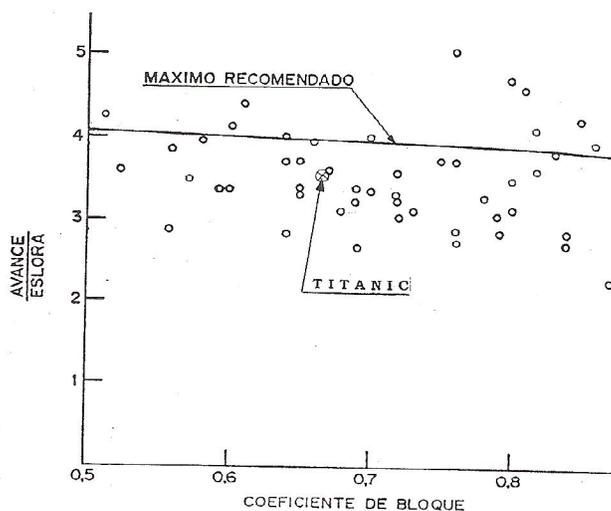


Figura 8

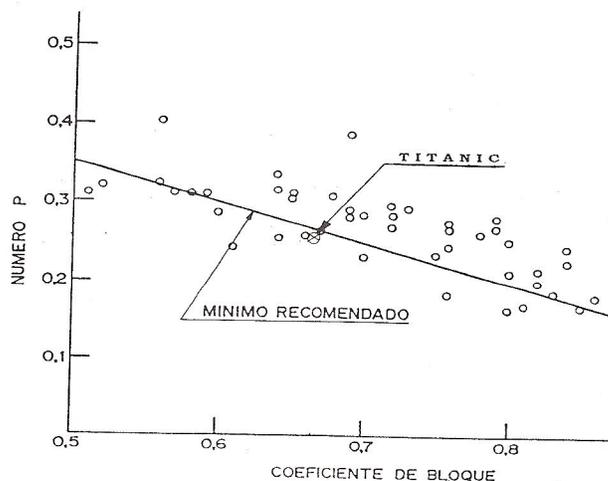


Figura 9

producir con bastantes garantías lo que ocurrió, porque entre las personas que vivieron los hechos y fueron conscientes de lo que sucedió sobrevivieron uno de los vigías y uno o dos de los oficiales y marinería que se encontraban en aquellos momentos en el puente. Los hechos fueron exactamente igual a como se relatan en el filme actual. Repasémoslos.

El Titanic navegaba a unos 21,5 nudos, es decir próximo a su velocidad máxima. Aunque se habían recibido por radio avisos de icebergs en la zona, era costumbre en los navegantes de aquella época no reducir la velocidad, salvo que hubiera niebla, lo que no sucedía la noche del 14 de Abril de 1912. El mar estaba absolutamente tranquilo, aunque no había luna y ambas cosas reducían la efectividad de los vigías porque los reflejos de la luz lunar en el hielo y la espuma de las olas batiendo contra los costados de los icebergs no existían aquella noche. Por lo tanto cabe deducir que la confianza de la oficialidad en que, de presentarse algún iceberg, sería avistado con suficiente antelación por los vigías y el barco lo eludiría sin problemas era notoriamente excesiva. Además, sorprendentemente, los vigías no iban provistos de prismáticos, lo que les obligaba a escrutar la mar a simple vista.

A las 11.40 horas de la noche, el vigía Fleet (que fue el que sobrevivió), divisó una masa oscura justo a proa del barco y alarmantemente cerca. El estimó que se encontraba a unas 500 yardas (455 m.) de su posición, lo que significaba a unos 410 m. de la roda. Lo normal en estas vigilancias era descubrir los icebergs al menos a 2000 yardas de distancia. El tamaño del iceberg era comparable, en puntal y en manga, al del propio barco. Es interesante recordar que el Titanic tenía una eslora de unos 250 m., por lo que la distancia entre el iceberg y el barco, en

el momento en que Fleet lo vió, era de menos de 2 esloras. Inmediatamente hizo sonar la campana de alarma en la cofa y llamó por el teléfono interior al puente. Allí respondió el sexto oficial Moody que estaba de guardia y Fleet le comunicó la emergencia. Moody transmitió la noticia al primer oficial Murdoch, que también se encontraba en el puente y era el jefe de la guardia. Murdoch ordenó entonces lo siguiente:

- Caña del timón todo a estribor (lo que significaba pala del timón todo a babor)
- Máquinas todo atrás
- Cerrar las compuertas estancas

Se ejecutaron con presteza las órdenes. Al cabo de unos momentos después de llevarse todo el timón a babor el barco comenzó a girar a esa banda. Sin embargo, los vigías se sorprendieron de que el barco apenas escorara (en su posición en la cofa cualquier efecto de escora era muy notable y perceptible). Sabido es que en un barco a alta velocidad, cuando se mete el timón todo a una banda, se produce una escora inicial sensible (al menos 2 ó 3 grados) a esa misma banda, debida a la fuerza del timón, que luego se convierte en escora a la banda contraria cuando el buque ya ha adquirido fuerza centrífuga.

Por otra parte, todo el personal implicado (vigías y puente) observó que el giro era extremadamente lento ("agonizingly slow" según Fleet). Finalmente, y al cabo de unos 30 segundos según los testimonios, el buque llegó a la posición del iceberg pero el giro a babor había sido insuficiente y el Titanic rozó con su banda de estribor al iceberg, tanto bajo el agua como sobre ella, ya que cayeron ciertas cantidades de hielo en cubierta. El contacto empezó muy cerca de la proa (en el pique de proa) y se extendió unos 80 m. hacia popa mientras el barco rozaba. Al final y debido al empuje del barco el iceberg retrocedió hacia estribor y el buque quedó libre.

Es de sumo interés aplicar las simulaciones matemáticas por ordenador a la maniobra que realizó el Titanic aquella fatídica noche. Sin embargo, antes de proceder a las mismas, es necesario intentar desentrañar todos los detalles y entresijos de la maniobra que llevó a cabo el buque. Hagamos la radiografía de la colisión.

Comencemos con los tiempos. Fleet descubrió el iceberg a 500 yardas de su posición (o sea a unos 410 m. a proa de la roda). Hizo sonar la campana y llamó por teléfono al puente. Habló con Moody. Este transmitió el mensaje a Murdoch, que ordenó todo a estribor y el timonel empezó a girar la rueda del timón a babor. En todo este proceso se invirtió tiempo. Aún suponiendo que todo el personal implicado actuara muy rápido, conscientes de la gravedad de la situación, parece imposible que se invirtieran menos de 10 segundos en el proceso. En esos 10 segundos el barco, a una velocidad de 21,5 nudos, había avanzado ya 110 metros.

A continuación debe empezar a moverse el timón. Es sabido que entre el accionamiento de la caña o rueda y la actuación del servo existe un desfase debido a la transmisión de señales (del tipo que sean). En los modernos servomotores electro-hidráulicos este desfase es de unos 2 segs. El servo del Titanic era, con toda probabilidad, del tipo antiguo de vapor, por lo que estimar dicho desfase en 4 segs. no parece excesivo.

Por lo tanto una estimación conservadora del tiempo transcurrido entre que Fleet vió el iceberg y la pala del timón empezó a moverse puede ser de unos 14 segs. La roda del Titanic se encontraba entonces a tan solo 265 m. del iceberg (aproximadamente 1 esloras).

Revisemos ahora la orden de "Todo Atrás" a las máquinas. Dicha orden se transmitió por el telégrafo desde el puente a la sala de máquinas. Lo que allí hicieron primero (tras unos breves segundos de reacción) fue cortar el suministro de vapor. El Titanic era propulsado por 3 hélices. Las hélices laterales eran accionadas por máquinas alternativas de vapor (que son reversibles) y la hélice central por una turbina de vapor (que no es reversible). Por lo tanto la secuencia sería: Cortar vapor a las

3 máquinas (2 alternativas y turbina); esperar algo de tiempo a que las líneas de ejes laterales disminuyeran sus revoluciones avante y entonces cambiar el sentido de admisión y dar vapor en sentido inverso; la línea de ejes central accionada por la turbina y que montaba la hélice que afectaba al timón quedaría sin vapor hasta que poco a poco se parase. Es altamente improbable que todo este proceso (es decir desde que se da la orden desde el puente por el telégrafo de máquinas hasta que las hélices laterales empiezan a girar en sentido contrario) durase menos de 1 - 1.5 min. Para ese momento el barco ya había colisionado.

La conclusión de lo anterior es que el barco no llegó a frenar antes de la colisión. Únicamente puede suponerse que las hélices no daban empuje positivo y el barco se frenaría algo por la resistencia hidrodinámica del agua sobre la carena y sobre el timón metido a una banda. Este efecto de frenada por inercia ha sido tenido en cuenta en el modelo matemático para las simulaciones, obteniéndose el resultado de que, partiendo de una velocidad inicial de 21,5 nudos, la velocidad en el momento de la colisión era del orden de 19 nudos.

Sin embargo, la orden de parar las máquinas sí tuvo una consecuencia insospechada por Murdoch. El timón pasó de encontrarse funcionando en el chorro de la hélice a funcionar en un flujo "cuasi-uniforme". Este hecho implica dos fenómenos:

- a) La velocidad media del flujo de agua que le llega al timón disminuye apreciablemente, y en mayor medida lo hace la fuerza generada por el timón, que es la que hace girar al barco, ya que varía con el cuadrado de la velocidad.
- b) El timón del Titanic tenía, como ya se ha mencionado anteriormente, una relación de alargamiento (altura/cuerda) muy alta (2.33). Los timones (y todos los perfiles de cualquier tipo, inclusive los de placa plana como el del Titanic) presentan un fenómeno de desprendimiento masivo de la capa límite en la cara de succión cuando se sobrepasa un ángulo crítico ("stall angle"). El valor de este ángulo disminuye sensiblemente cuando aumenta el alargamiento (Fig. 10), pero aumenta apreciablemente cuando el flujo que le llega es muy poco uniforme (por ejemplo, cuando se encuentra en el chorro de la hélice). Los ángulos críticos calculados para el timón del Titanic eran, como se vio anteriormente, de 38° con hélice funcionando y de 28° con hélice parada. Por lo tanto, con la hélice central avante y un ángulo de caña de 35° (standard) no se alcanzaba el ángulo crítico, mientras que con la hélice parada, a ese mismo ángulo de caña, se presentaba desprendimiento masivo de flujo.

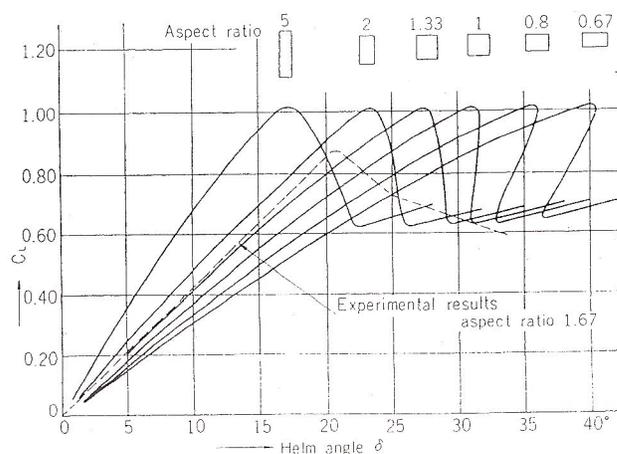


Figura 10

Este fenómeno trae consigo una reducción importante de la fuerza del timón (entre un 20% y un 40%), por igualación de las presiones entre la cara de presión y la de succión. Es por tanto un efecto muy indeseable que se combate en los timones modernos mediante la adopción de perfiles hidrodinámicos de suficiente relación espesor / cuerda y evitando timones altos y estrechos. Por sencillas estimaciones en datos ex-

HELICES PARADAS - V = 21.5 nudos

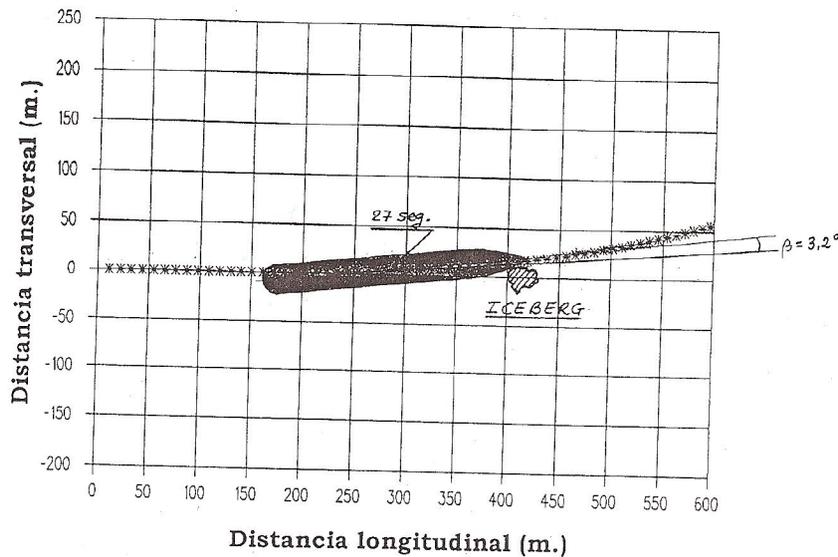


Figura 11

perimentales de timones en flujo uniforme (Ref. 11) puede deducirse que la fuerza que daba el timón del Titanic a 35° de caña, con la hélice parada, y por tanto en flujo casi uniforme, era más o menos equivalente a la que tendría con solo 20° de ángulo de caña (o sea sin llegar al desprendimiento).

Posiblemente esta era la razón por la cual Fleet no apreció escora sensible en el barco al meter el timón: La fuerza en el mismo era bastante pequeña por tener desprendimiento masivo de flujo (había rebasado el ángulo crítico al parar las máquinas).

Teniendo en cuenta todo lo expresado anteriormente (tiempos muertos hasta que el timón empezó a moverse, máquinas sin vapor, timón sin el efecto del chorro de la hélice, desprendimiento de flujo), se ha realizado la simulación por ordenador de lo que el modelo matemático indica que debía sucederle al Titanic durante la maniobra antes de la colisión. El resultado se presenta en la Figura 11, en la que el origen de coordenadas representa la posición del c. de g. del buque en el instante en que empezó a moverse el timón. Sobran los comentarios. El buque debía colisionar por su banda de estribor en la zona del pique de proa a los 27 segs. de empezar a moverse el timón, es decir, a los 41 segs. de avistar el iceberg. Así ocurrió.

7. ¿ ... Y si hubiera hecho otra maniobra ?

Tras los alentadores resultados obtenidos con la simulación de la maniobra histórica real del Titanic, es imposible resistirse a intentar simular otras maniobras que pudieran haberse realizado aquella dramática noche, aunque, claro está, con la tranquilidad de estar sentado delante de la pantalla del ordenador en vez de en el puente tomando decisiones en décimas de segundo.

La primera idea que viene a la mente, a la vista de los devastadores efectos que tuvo la decisión de parar las máquinas en la efectividad del timón, y dado que ni siquiera se consiguió frenar apreciablemente al buque, es probar qué hubiera ocurrido si se hubieran mantenido las 3 hélices avante y solamente

se hubiera ordenado meter el timón a una banda. Esta maniobra alternativa ha sido sugerida numerosas veces a lo largo de los años por expertos y no expertos y se encuentra ampliamente recogida en la voluminosa bibliografía del accidente del Titanic. Sin embargo, el presente autor no conoce que haya sido objeto de una simulación matemática como la aquí se presenta.

En la Figura 12 se encuentran comparadas las trayectorias del c.de g. del buque, la real (máquinas paradas) y la alternativa (hélices funcionando). Puede observarse que, como era de esperar, esta última abre mucho más respecto al iceberg, pero solamente a partir de los 30 segs. Si además se coloca la silueta del barco con su ángulo de deriva se coloca la silueta del barco con su ángulo de deriva correspondiente (en este caso 7° según el cálculo), como se presenta en la Figura 13, se observa que el buque también hubiera colisionado, aunque en este caso a los 36 segs. y en una zona bastante más a popa, hacia la cámara de calderas nº 2. Naturalmente la avería se hubiera extendido desde ese punto hacia popa, afectando con toda seguridad a las cámaras de máquinas. Es muy dudoso que el buque hubiera podido sobrevivir a la inundación

TRAYECTORIAS DEL C. DE G.

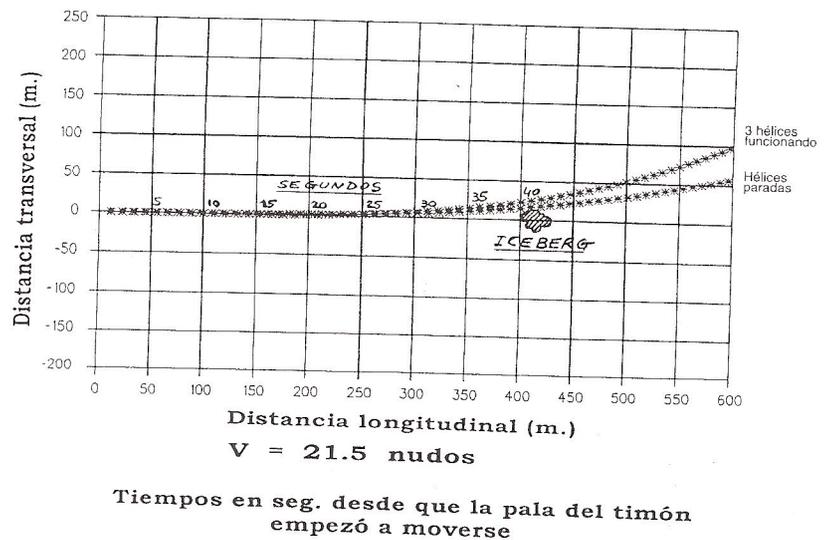


Figura 12

3 HELICES AVANTE - V = 21.5 nudos

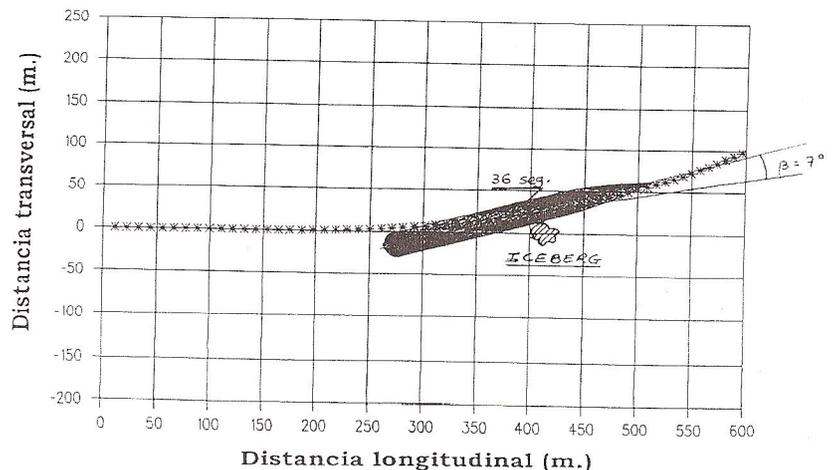


Figura 13

de esos compartimentos y, además, las tareas de abandono del buque hubieran sido mucho más penosas, ya que probablemente se hubiera cortado el fluido eléctrico al inundarse la cámara de máquinas y el arriado de los botes hubiera debido hacerse a oscuras (en el accidente real del Titanic hubo alumbrado completo de luces en todo el buque hasta pocos minutos antes del hundimiento completo, ya que la cámara de máquinas estaba intacta y se mantuvo vapor en una o dos calderas hasta el final). En consecuencia: Murdoch se equivocó, pero aunque hubiera mantenido las máquinas avante no se habría podido evitar el accidente, el barco probablemente también se habría hundido y, al faltar la electricidad durante el abandono del buque habría habido menos supervivientes.

Otra maniobra alternativa que ha tenido algún predicamento ha sido una intermedia entre las dos anteriores: parar (o dar atrás) la hélice de babor y mantener las hélices central y de estribor avante. Con esto se hubiera conseguido mantener en buenas condiciones el flujo de agua sobre el timón y, a la vez, ayudar al giro mediante el par que proporcionaría el empuje de la hélice de estribor al estar descentrado respecto a crujía. Se ha realizado la simulación correspondiente con el programa de ordenador, pero no merece la pena presentar el resultado dado que es casi idéntico al de la figura 13 (3 hélices avante). La razón es bien sencilla. Haciendo unos pequeños cálculos se obtiene que el par de giro que proporciona el eje de estribor respecto a crujía es de unas 400 ton x m, mientras que el que proporciona el timón es de 50000 ton x m, o sea 125 veces mayor. No solamente el brazo de palanca del timón es mucho mayor que el del eje de estribor, sino que la fuerza que se genera en la pala del timón, a 21,5 nudos de velocidad, es considerablemente superior al empuje de esa hélice. Por tanto, la aportación al giro del eje de estribor, a 21,5 nudos, es insignificante.

Ha sido también ampliamente sugerido que el buque navegaba a una velocidad excesiva para una zona con hielos flotantes, y que el Capitán Smith debió reducir la velocidad con objeto de tener así mayor seguridad frente a accidentes. Es un caso también fácil de simular, al poderse estimar con bastante confianza la resistencia al avance del buque y el empuje de las hélices a velocidades inferiores. Se han realizado simulaciones para 14 nudos, valor que parece razonable caso de que el Capitán Smith hubiera tomado una decisión en este sentido (no es lógico que hubiera decidido ir, por ejemplo, a 6 nudos, ya que eso hubiera sido lo mismo que pararse). En las figuras 14 y 15 se presentan los resultados, correspondientes a las dos alternativas que tenía Murdoch al avistar el iceberg, parar máquinas o seguir avante. Se observa que en el caso de parar máquinas no hay mucha diferencia respecto a lo que ocurrió a 21,5 nudos: el buque también habría colisionado en una zona cercana a la proa. En el caso de máquinas avante puede apreciarse que el buque casi consigue salvar el iceberg, pero el barrido hacia el exterior del giro que realiza la popa debido al ángulo de deriva que adopta al girar le hubiera hecho chocar en esa zona. Posiblemente ésta hubiera sido la colisión menos grave, ya que los finos de popa hubieran hecho que el casco no estuviera tan cerca del iceberg y puede ser que todo se hubiera saldado con averías en el henchimiento de estribor y rotura de la hélice de ese lado. En cualquier caso en las simulaciones puede observarse que las trayectorias a 14 nudos son casi iguales a las de 21,5 nudos (en la evolución del buque influye muy poco la velocidad), y la ventaja principal de ir más despacio es que en el tiempo muerto hasta que se empezó a mover el timón (los 14 segs. antes estimados) el barco habría recorrido menos distancia y por ello en las Figs. 14 y 15 el iceberg está más lejos.

HELICES PARADAS - V = 14 nudos

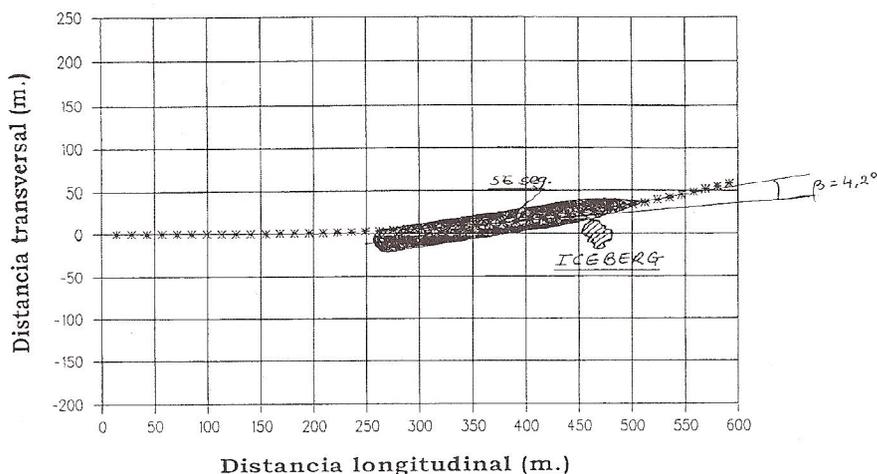


Figura 14

3 HELICES AVANTE - V = 14 nudos

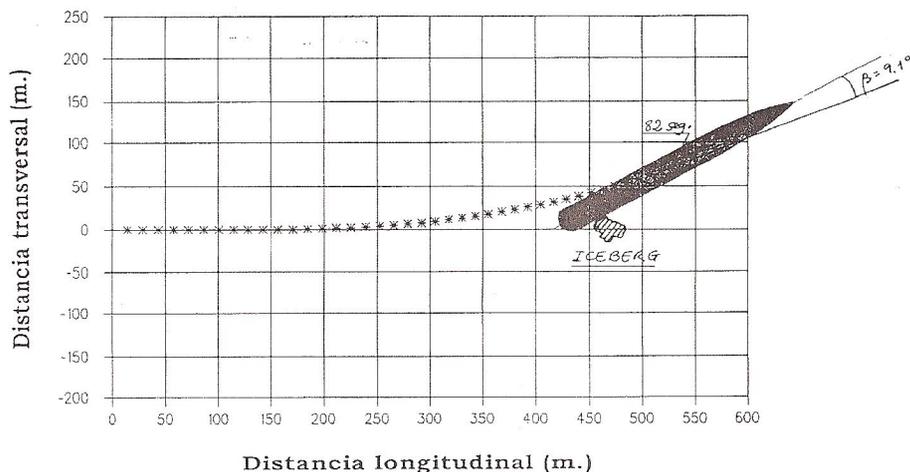


Figura 15

8. Conclusiones y Culpables

Tras todo el estudio que se ha presentado en los apartados anteriores pueden establecerse las siguientes conclusiones y evaluar el grado de responsabilidad que tuvieron en el hecho de que el barco colisionara los distintos actores del drama del Titanic:

1. El Titanic tenía una maniobrabilidad algo pobre, pero cumpliría la normativa internacional actual. Su timón no era excesivamente pequeño ni estaba mal diseñado para los conocimientos de la época. Por lo tanto el Astillero constructor (Harland & Wolff) y el Ingeniero Naval proyectista (Mr. Andrews) no fueron responsables del accidente.
2. El Titanic era un barco relativamente lento y no estaba proyectado para batir el record de velocidad. El mito de que el Armador (Mr. Ismay) presionó al Capitán para que el buque fuera a toda máquina no es sostenible y debe exonerarse a aquél de responsabilidad en el accidente.
3. El Capitán Smith tenía experiencia suficiente en un barco gemelo del Titanic, y por tanto conocía perfectamente la capacidad de maniobra de su buque.
4. Es muy dudoso que si el barco hubiera ido a menor velocidad hubiera podido evitar la colisión, salvo que navegara casi parado. Por

lo tanto no debe achacarse a la velocidad el accidente (esto queda corroborado por la conclusión nº 3) y de esta manera el Capitán Smith no debe ser considerado culpable.

5. Si no se hubiera ordenado dar marcha atrás el buque habría reaccionado más rápidamente, pero no habría evitado una colisión más a popa cuyas consecuencias habrían sido probablemente peores. Por lo tanto el Jefe de la Guardia, Mr. Murdoch, no tuvo culpa directa del accidente.
6. La clave del accidente es que el iceberg se detectó cuando estaba demasiado cerca y, tal y como se ha visto con las simulaciones por ordenador, cualquier maniobra que se hubiera intentado habría sido infructuosa.
7. Con visualización directa era muy difícil descubrir el iceberg en aquella noche sin luna y con el mar en calma. En esas condiciones, los vigías (Mr. Fleet y su compañero) no deben ser considerados responsables
8. La razón central del accidente es que los vigías no llevaban prismáticos, (hecho absolutamente insólito, incluso para aquella época, de noche y con hielos) puesto que con ellos habrían avistado al iceberg a más de 2000 yardas y con una suave y sencilla maniobra, el buque habría evitado la colisión. El Jefe de los Vigías, fuese quien fuese, debe pues ser considerado el principal responsable del accidente, y, en consecuencia, de la pérdida del Titanic.

9. Referencias

- 1.- "PRINCIPLES OF NAVAL ARCHITECTURE". Vol. II, "Resistance, Propulsion and Vibration", Section 8. Editado por SNAME (1988).
- 2.- MAXTONE - GRAHAM, J. "The Only Way to Cross". Collier Books, Nueva York (1978)
- 3.- GARZKE, W.H. et al. "The Titanic and Lusitania : A Final Forens Analysis" Marine Technology, Vol 33 , nº 4 (1996)
- 4.- BALLARD, R. D. "The Discovery of the Titanic ". Madison Press Books, Toronto (1987)
- 5.- BARNABY, K. C. " Some Ship Disasters and Their Causes " Hutchinson & Co., Londres (1968)
- 6.- ALVARIÑO, R. , AZPIROZ, J.J. y MEIZOSO, M. " El proyecto básico del buque mercante ". Fondo Editorial de Ingeniería Naval (1997)
- 7.- BAQUERO, A. " Análisis del comportamiento del buque bajo la acción del timón. Aspectos hidrodinámicos y de proyecto " Publicación nº 66 del Canal de Experiencias Hidrodinámicas de I Pardo (1981)
- 8.- HIRANO, M. " A Practical Calculation Method of Ship Manoeuvring Motion at Initial Design Stage". Journal of the Society of Naval Architects of Japan (1980)
- 10.- KIJIMA, K. et al. " Manoeuvring Characteristics of a Ship in Deep and Shallow Waters as a Function of Loading Condition " International Conference on Manoeuvring and Control of Marine Craft. Southampton (1992)
- 11.- THIEME, H. " Zur Formgebung von Schiffsrudern ". Jahrbuch Schiffbautechnischen Gesellschaft (1962)

(Continuará en el próximo número)