

Estudio didáctico de la inundación del "Titanic"



Mariano Pérez Sobrino,
Doctor Ing. Naval
Profesor Asociado de
Teoría del Buque
de la E. T. S. de
Ingenieros Navales,
Madrid

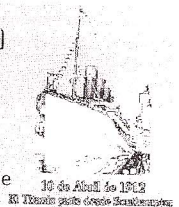
A continuación se resume la presentación que fue realizada durante la sesión que organizó la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Navales de Madrid el día 24 de Marzo de 1998 en colaboración con la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, en cuyo salón de actos se proyectó la película "Titanic", para después llevar a cabo una sesión de información técnica sobre el accidente que sufrió este buque.

En esta parte del trabajo, que ahora se presenta por escrito, se hizo un estudio sobre la inundación de este buque, con una orientación totalmente didáctica, para ser presentado de forma oral, apoyándose en un conjunto de transparencias preparadas al efecto que se van a utilizar también en este trabajo, para así tratar de reproducir lo más fielmente posible lo que allí se presentó.

La orientación didáctica se refiere a que en la presentación se utilizaron los términos y conceptos que se imparten en la clase de Teoría del Buque en el curso 5º de la especialidad de Arquitectura Naval, de manera que los alumnos, que eran los principales destinatarios de esta sesión, pudieran apreciar su aplicación a un caso tan emblemático y de tanta actualidad en ese momento.

Progreso de la inundación

23.30 h - El 14 de Abril de 1912 el *Titanic* choca contra un iceberg. El casco se rompe cerca de la flotación en proa y comienza la inundación de los pañoles y compartimentos de esa zona.



01.30 h. - La inundación ha progresado estando la proa prácticamente bajo el agua.

02.10 h. - Toda la proa está bajo el agua. Sólo la popa asoma por encima. Se han arriado los 16 botes y las tres lanchas. La estructura ha empezado a ceder.

02.20 h. - El casco ha cedido y se ha partido en dos. El buque se ha perdido bajo el agua. 1522 personas han perecido en el accidente.

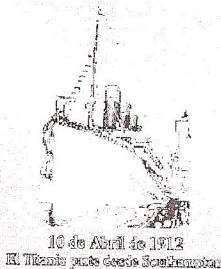
Se presentó en primer lugar el esquema aproximado del progreso de la inundación, sin pretender una exactitud que no era el objetivo. En un análisis inmediato se comprueba que existieron dos fases, la primera, bastante lenta, unas dos horas, durante la que la inundación fue progresando desde proa a popa y una segunda, mucho más rápida, aproximadamente cuarenta minutos en que se produjeron los efectos finales con el fallo final de la estructura y su hundimiento.

Esto ya nos indica la diferencia que existe entre cuando la pérdida de un buque se produce por falta de flotabilidad, que fue el caso del "Titanic", o la pérdida por falta de estabilidad, como fue el caso del "Estonia", más reciente.

Este era el tema de la tercera diapositiva, donde se recordó cómo el "Estonia" se perdió mucho más rápidamente, en el brevísimo plazo de algunos minutos, al sufrir un embarque de agua en la cubierta garaje, con la consiguiente pérdida de sus características de estabilidad. El número de vidas perdidas fue también enorme y además el número de supervivientes fue mínimo.

También este accidente ha provocado la reacción de la comunidad marítima internacional, introduciendo grandes cambios en la reglamentación sobre estabilidad, ya que desde entonces se ha desarrollado el procedimiento, que es obligatorio según los casos, para el estudio del embarque de agua en la cubierta ro-ro.

"TITANIC" estudio de su inundación



14 de Abril de 1912
El Titanic parte desde Southampton

Mariano Pérez Sobrino
Profesor ETSIN

Causas de la pérdida de un buque en caso de avería:

- Falta de estabilidad

➔ **ESTONIA (28-9-1994)**



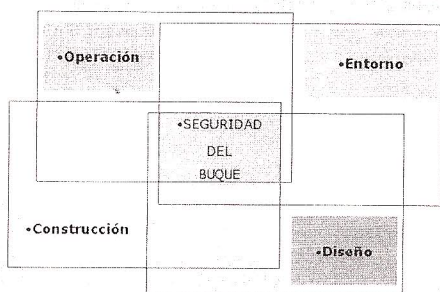
- Falta de flotabilidad

➔ **TITANIC (14-4-1912)**



No cabe duda que la seguridad del transporte marítimo, sobre todo en el caso de pasajeros es una preocupación fundamental de toda la comunidad, habiendo sufrido y siendo objeto continuo de grandes cambios y avances.

Seguridad del buque



La seguridad del buque se puede entender como la intersección coordinada de un conjunto de campos de la Ingeniería Naval, tal como se ha representado en la diapositiva, siendo las más importantes el diseño, la construcción, la operación y el medio en que el buque se desenvuelve. Todos ellos tuvieron algo que ver en el caso del "Titanic".

En el momento del proyecto, los efectos de una posible inundación por avería o daño en el casco han sido uno de los elementos que siempre se han tratado de controlar y que los reglamentos han especificado desde que han tenido vigor.

Para ello, aparte de una serie muy especializada de normas que es necesario cumplir, desde un punto de vista general se puede decir que el control de aberturas, el cálculo de las características de estabilidad y la subdivisión del buque son los pilares sobre los que se asienta la lucha contra los efectos de la inundación.

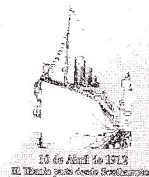
Armas del proyectista contra los efectos de la inundación

- ⊗ Control aberturas, escotillas, etc...
- ⊗ Cálculo características de estabilidad
- ⊗ Subdivisión
 - transversal
 - longitudinal



Herramientas básicas para el estudio de la inundación

- La subdivisión transversal a través de
 - > Curva de esloras inundables
- Las características de estabilidad
 - > Método determinístico
 - > Método probabilístico



En particular, en el momento en que el "Titanic" fue diseñado, no estaba universalmente reconocido el concepto que se esconde tras el establecimiento de la cubierta de compartimentado, que consiste básicamente en conseguir un volumen bajo cubierta completamente estanco, con un control total de todas las aberturas que ineludiblemente deben comunicar los espacios bajo esta cubierta con los de arriba. Para el "Titanic" fue catastrófico, ya que al superar la flotación la línea de margen en la zona de proa se fueron inundando progresivamente los compartimientos más hacia popa entrando el agua por encima de los mamparos estancos.

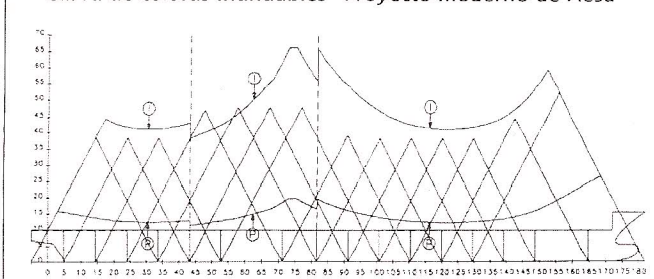
Dejando en este momento aparte lo relativo al control de aberturas que ya hemos explicado cómo afectaba al "Titanic", y a los buques similares de su época, nos centraremos en la subdivisión y en los métodos de cálculo de las características de estabilidad y trataremos de explicar, aunque sin una gran exigencia con respecto a la exactitud de los resultados numéricos, su aplicación a este buque.

Efectivamente la subdivisión transversal fue el aspecto más cuidado del "Titanic" en lo que a estabilidad se refiere. Estaba dividido en 16 zonas por 15 mamparos transversales estancos, lo que es prácticamente equivalente a la subdivisión transversal que tendría un buque de estas características hoy en día. Sin embargo, no existía ningún mamparo longitudinal, como los que se colocan actualmente en todos los buques de pasaje, como mínimo en cada banda a 1/5 de la manga.

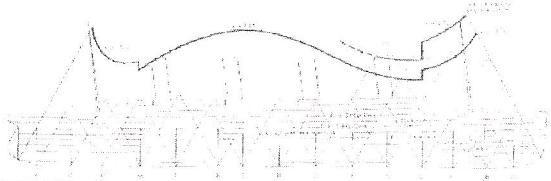
El estudio de la subdivisión transversal de una manera aislada, es decir sin tener en cuenta otros factores se hace mediante la curva de esloras inundables.

Esta curva muestra en cada punto de la eslora del barco el valor de la longitud de un compartimiento que centrado en ese punto, si se inundara llevaría al buque a una flotación de equilibrio tangente a la denominada línea de margen, que es una línea trazada 3 pulgadas por debajo de la cubierta hasta la que llegan los mamparos estancos. Es decir que nos indica la longitud máxima de la avería que puede soportar un buque sin que la flotación final quede por encima de los mamparos estancos. Siempre suponiendo que la inundación se produce de banda a banda y de forma simétrica.

Curva de esloras inundables "Proyecto moderno de Aesa"



Curva de esloras inundables "TITANIC"



En las dos figuras anteriores se han representado para comparación las curvas de esloras inundables correspondientes a un proyecto moderno de ferry de pasaje de Astilleros Españoles y al "Titanic" tomada del informe "Titanic Defended", por John B. Woodward, Marine Technology, Abril 1997.

Las líneas rectas inclinadas que parten de la base de los mamparos transversales con una pendiente de 2 permiten comprobar rápidamente el número de compartimientos que se pueden inundar en cada zona del buque sin sobrepasar la eslora inundable en ese punto. La comprobación consiste simplemente en si el punto de corte de estas líneas está por debajo de la curva.

Así vemos que el "Titanic" hubiera soportado una avería en la zona de proa de hasta cuatro compartimientos, siendo en esa zona similar a un proyecto moderno. En mi opinión en esto se basó la al parecer existente propaganda de que el buque era insumergible. Esto también hace verosímil la rápida confirmación, que se constata en la película, sobre el peligro que corría el buque, por parte del ingeniero proyectista que también iba a bordo, cuando le comunicaron que se habían dañado cinco compartimientos; sobre la base de la curva de esloras inundables y sin ninguna otra comprobación ya sabía que el buque se hundiría.

Herramientas básicas para el estudio de la inundación

- La subdivisión transversal a través de
> **Curva de esloras inundables**
- Las características de estabilidad
> **Método determinístico**
> **Método probabilístico**

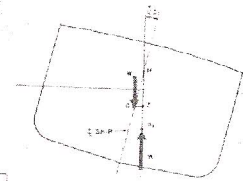
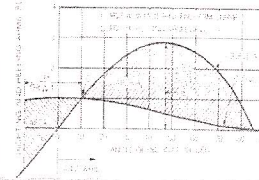


En cuanto a la determinación de las características de estabilidad de cualquier buque, existen dos enfoques que no son excluyentes sino más bien complementarios que permiten al proyectista establecer el nivel de seguridad que por estabilidad debe tener un buque.

El enfoque o método determinístico se basa en la determinación, por medio de los procedimientos establecidos dentro de los estudios de la Arquitectura Naval, de las condiciones resultantes del buque después de sufrir un conjunto de averías o inundaciones fijas y/o previamente determinadas y comparar estos resultados con los estándares exigidos por una determinada reglamentación.

Método DETERMINÍSTICO

Basado en el cumplimiento de un conjunto de estándares sobre la capacidad del buque de soportar averías o inundaciones fijas y/o previamente determinadas

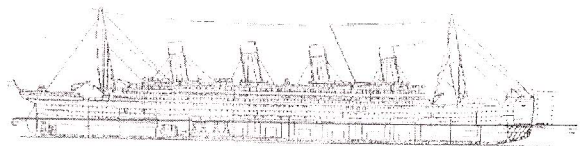


Intervienen los principios físicos del equilibrio de los sistemas aplicados al buque, con la evaluación de los parámetros más importantes, que son los momentos escorantes y adrizantes, la altura metacéntrica GM, la curva de brazos del momento adrizante GZ en función de la escora, la flotación de equilibrio, la estabilidad dinámica, etc., todo ello calculado en condiciones de avería.

Para este ejercicio y puesto que no se conocían las formas detalladas del "Titanic", sino sólo sus dimensiones principales, se desarrollaron unas formas aproximadas y se estableció una compartimentación de acuerdo con la información de que se disponía.

Método DETERMINÍSTICO aplicado al "TITANIC"

La inundación progresiva del **pique** de proa produciría la siguiente flotación de equilibrio:



Método DETERMINÍSTICO aplicado al "TITANIC"

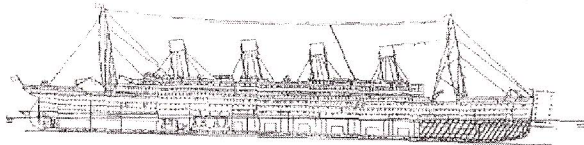
La inundación progresiva de **tres** compartimientos de proa produciría la siguiente flotación de equilibrio:



La aplicación del método determinístico a este caso se limitó a ir calculando las sucesivas flotaciones de equilibrio que se producirían al ir progresando la inundación desde el pique de proa a los demás compartimientos.

Método DETERMINÍSTICO aplicado al "TITANIC"

La inundación progresiva de **cuatro** compartimientos de proa produciría la siguiente flotación de equilibrio:



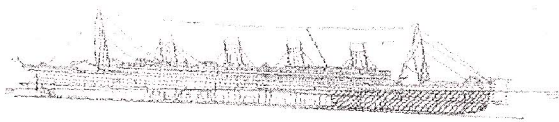
La secuencia de diapositivas, en las que se ha representado la posición adrizada del buque junto a las sucesivas flotaciones con inundación, muestra la relativamente poca notoriedad inicial de los efectos de la avería, al ser un caso de hundimiento por falta exclusivamente de flotabilidad, es decir, de pérdida de la capacidad del buque de sustentar su propio peso al ir sufriendo una inundación progresiva, sin que se apreciaran los problemas que suelen ir asociados de estabilidad.

Con cuatro compartimientos inundados se puede apreciar que no produce aún un gran ángulo de trimado por proa pero la flotación sobrepasa ligeramente la parte alta del mamparo del quinto compartimiento, por lo que la inundación proseguirá su lenta pero inexorable marcha.

Con seis y siete compartimientos inundados ya la proa está casi bajo el agua y las condiciones de la estructura debían ser extremadamente precarias debido a los enormes esfuerzos a soportar.

Método DETERMINÍSTICO aplicado al "TITANIC"

La inundación progresiva de **seis** compartimientos de proa produciría la siguiente flotación de equilibrio:



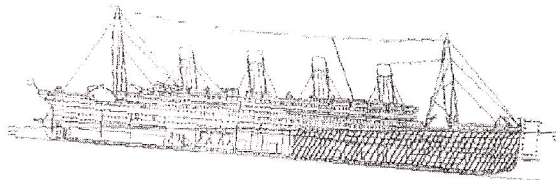
Sin duda el número máximo de compartimientos inundados antes de que cediera la estructura sería de ocho o nueve, cuando la inundación alcanza la sala de máquinas y la proa está claramente bajo el agua.

Aún así el ángulo de trimado por proa no era excesivo en términos absolutos y desde luego no parece que este tipo de inundación fuese capaz de hacer salir la popa fuera del agua.

El testimonio bastante unánime de los testigos que indicaba que la popa llegó a salir del agua parece más probable que tuviese lugar tras la deformación por pandeo de la estructura de la quilla y la consiguiente rotura de la cubierta, como se ha presentado en un estudio anterior en esta misma sesión. Al hundirse la proa debió arrastrar a la popa produciendo que ésta se colocase en una posición mucho más vertical por el efecto del empuje de espacios no inundados en la popa, espacios que probablemente colapsaron por la presión al hundirse, por lo que la popa aparece mucho más deteriorada en el fondo que la proa, que ya estaba inundada cuando se hundió.

Método DETERMINÍSTICO aplicado al "TITANIC"

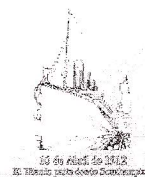
La inundación progresiva de **ocho** compartimientos de proa produciría la siguiente flotación de equilibrio:



Volviendo a las herramientas básicas para el estudio de la inundación, vamos a terminar el ejercicio numérico relativo al "TITANIC" con la aplicación del método probabilístico, que nos va a proporcionar una idea mucho más clara de sus verdaderas cualidades y de su supuesta insubmersibilidad.

Herramientas básicas para el estudio de la inundación

- La subdivisión transversal a través de
> **Curva de esloras inundables**
- Las características de estabilidad
> **Método determinístico**
> **Método probabilístico**



El denominado método probabilístico es un procedimiento que trata de responder a la pregunta: ¿cuál es la probabilidad que tiene un buque determinado de sobrevivir a una avería? La respuesta se establece a través de un número denominado "índice de subdivisión (A)", cuyo valor está limitado entre cero y uno. Un valor igual a cero implica que el buque no sobreviviría a la menor avería, por muy pequeño que fuera el daño que le causase. Un valor igual a uno significaría que el buque sería capaz de sobrevivir a cualquier avería, por muy grande que fuera el daño, como por ejemplo, la rotura del casco a lo largo de toda la eslora. Hay que decir que aunque la dimensión de la avería a que el

Método PROBABILÍSTICO

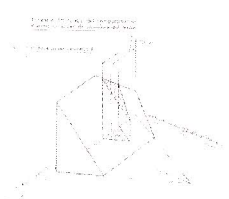
Pregunta:

¿Cuál es la probabilidad de sobrevivir a una avería?

Respuesta:

EL ÍNDICE DE SUBDIVISIÓN "A":

- > A=0 <> el buque se hunde tras el menor daño
- > A= probabilidad = $\sum p_i * s_i$
- > A=1 <> el buque sobrevive a cualquier avería



buque es sometido en este método puede variar, su tipo se ha determinado de un modo probabilístico analizando los casos más frecuentes; **sobrevivir el buque** significa que queda flotando con unas condiciones residuales de estabilidad.

El índice "A" se calcula como la suma de las contribuciones de todos los casos posibles de avería = $\sum p_i \cdot s_i$, donde p_i representa la probabilidad de que se produzca la avería y s_i la probabilidad de que sobreviva a esa avería.

El método se completa con unos requerimientos en cuanto al valor que debe alcanzar el índice A.

La Organización Marítima Internacional (IMO) es el organismo donde se proponen y discuten, precisamente puesto en marcha con una eficacia real a raíz del accidente del "Titanic", todo lo relativo a la seguridad del transporte marítimo internacional. La reglamentación relativa al método probabilístico aplicado a los buques de pasaje es conocida como Regla A.265.

Dentro del ejercicio desarrollado para esta presentación se ha aplicado esta Regla A.265 al "Titanic" y se ha comparado con el mismo proyecto moderno de AESA que utilizamos para las curvas de esloras inundables. En esta regla interviene una definición bastante detallada de elementos del buque que nos eran desconocidos y que hemos supuesto de acuerdo con los datos de la época, para el "Titanic". El resultado se puede apreciar en la tabla de la figura siguiente, resultando que este buque no alcanzaría más que un valor aproximado de 0.4 para el índice A, cuando lo requerido por la reglamentación actual sería del orden de 0.832 para el número de pasajeros embarcados en el viaje inaugural, que sería más alto si se hubiese considerado el número total de pasajeros posible.

Comparación con el "TITANIC"

IMO Regla 25	Número de pasajeros	Eslora de subdivisión	Valor Índice "A" calculado
Proyecto moderno de AESA	1620	185.11	0.96370
"Titanic"	2227	259	0.46464

Para dar una visión más completa y actual de este asunto se ha terminado el ejercicio numérico con lo que se explica a continuación. La regla correspondiente al método probabilístico aplicado a buques de carga seca se denomina Regla 25 del capítulo II del reglamento SOLAS. Aunque a los buques de carga se les aplicó más tarde el método probabilístico, sin embargo los conceptos que incluye están más depurados, lo que unido a otras circunstancias hace que, en estos momentos, esté abierto en el seno de la IMO un proceso de armonización de la reglamentación exigible en un futuro próximo a todos los buques en materia de estabilidad después de averías.

Si aplicamos esta Regla 25 a los dos casos que estamos comparando, comprobamos otra vez el pequeño valor del índice de subdivisión alcanzado por el "Titanic", o lo que es lo mismo, el gran avance que se ha realizado en cuestión de exigencias de seguridad desde su época. En esta última tabla no se han incluido los valores requeridos ya que no existe aún una reglamentación con esta formulación para bu-

ques de pasaje, pero con seguridad se exigirán índices del orden de 0.9, o incluso mayores para buques de gran número de pasajeros.

Resumen y conclusiones - 1 análisis de errores

- La arrogancia es mala consejera
 - ⊖ el *Titanic* no era insumergible
- Muchos años no son sinónimo de experiencia
 - ⊖ Se gobernó el buque en modo inadecuado
- En seguridad no se debe escatimar
 - ⊖ No había botes para todos
 - ⊖ Los botes no se llenaron

Por último y como reflexiones finales de este trabajo he pretendido resumir en unas conclusiones, reflejo de mis propias apreciaciones personales y quizás de algo de lo que he leído entre lo mucho que se ha publicado sobre este tema.

Se han tratado de presentar de manera que se pueden aplicar en muchas circunstancias, sin otra intención que extraer las tan nuestras y socorridas moralejas. Creo que las transparencias son bastante auto-explicativas y no necesitan mayores comentarios. Aunque el "Titanic" tuvo y probablemente sigue teniendo mucho de mito, hemos podido ver que el estudio de lo que realmente ocurrió permite desmitificar bastante su historia. Sin embargo, el accidente fue real y aconteció como la suma de circunstancias adversas que es difícil que se aunen pero no imposible, y que merece la pena tener en cuenta para muchas otras ocasiones, que los errores y actitudes negativas traen sus consecuencias.

Solamente y a fuer de ser fiel a lo que se dijo en la presentación, insistir en la última de las conclusiones, donde el autor quiere resaltar su apreciación de que es necesario desterrar el afán por la apariencia que, en su modesta opinión, tanto embarga a la sociedad actual, y que puede ocultar peligros enormes, como lo era el iceberg en el caso del "Titanic".

(continuará en el próximo número)

Resumen y conclusiones - 2 análisis de errores

- Las comunicaciones son esenciales
- Un buen equipo ayuda en los malos momentos
- es un error despreciar lo que no se ve
 - ⊖ en el iceberg lo importante está bajo la superficie