

# TEMAS PROFESIONALES



## EL ABANDONO DE BUQUE

Ensayos a escala real para la obtención de datos del movimiento de personas en situaciones de emergencia

José María RIOLA RODRÍGUEZ

Francisco Javier PÉREZ VILLALONGA



L futuro Naval Ship Code (NSC), normativa de seguridad para buques de guerra equivalente a la Convención SOLAS, exige demostrar, por medio de modelos de simulación matemática, que es posible evacuar a toda la dotación y abandonar el buque en un tiempo predeterminado.

El empleo de este tipo de herramientas de análisis del proceso de evacuación es frecuente en industrias como la construcción civil o la aeronáutica y, desde 2002, obligatoria en el caso de los buques de pasajeros. Sin embargo, su aplicación a los buques de guerra no está exenta de dificultades.

des dadas las especiales características de este tipo de buques junto con la falta de datos y parámetros específicos.

La Dirección General de Armamento (DGAM) y el Gabinete de Investigación Militar Operativa (GIMO) han iniciado un programa de adquisición de datos por medio de ensayos a escala real y el empleo de identificadores de radiofrecuencia (RFID), que permitirá incrementar el conocimiento de los factores que afectan al proceso de evacuación de un buque de guerra y, en definitiva, mejorar la seguridad de sus dotaciones.

## Antecedentes

Del mismo modo que el Convenio Internacional para la Seguridad de la Vida en la Mar (SOLAS) y las resoluciones de la Organización Marítima Internacional (IMO) son referentes en materia de seguridad para los buques de carga y pasaje; el futuro Naval Ship Code (NSC) lo será para los buques de guerra de los países miembros de la Organización del Tratado del Atlántico Norte (OTAN) y sus aliados.

Esta normativa está siendo desarrollada por el equipo especializado Naval Ship Safety and Classification del Maritime Capability Group MCG/6 de la OTAN, con el que colaboran un total de 25 armadas y nueve sociedades de clasificación, y está prevista su publicación como ANEP-77 a mediados de 2008.

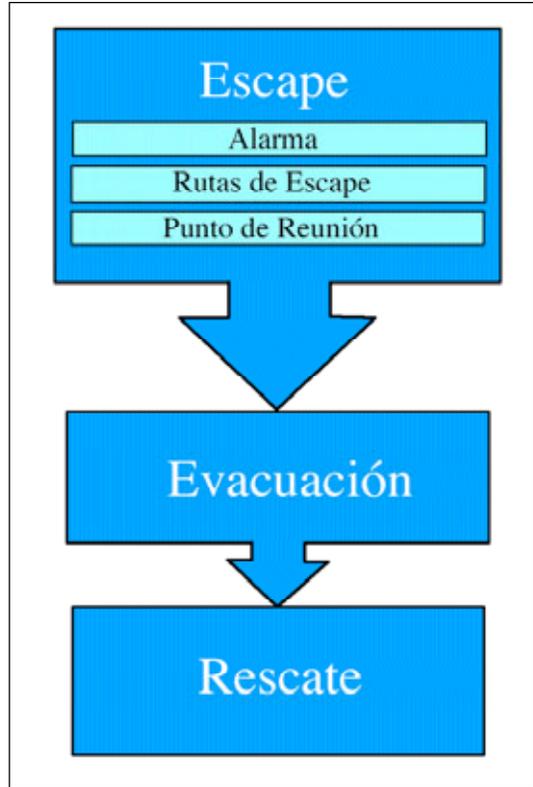
El buque de guerra se proyecta y construye tratando de maximizar su capacidad de supervivencia. Sus dotaciones son adiestradas para que, en caso de recibir daños, puedan recuperar la capacidad de combate del buque y cumplir, en la medida de lo posible, la misión asignada. Sin embargo, aunque sea una posibilidad remota y tradicionalmente considerada como el último recurso, puede llegar a ser necesario ordenar el abandono del buque para poner a salvo su dotación. El éxito del proceso de abandono del buque y las posibilidades de supervivencia de los miembros de la dotación dependen, en gran medida, de que los medios de salvamento hayan sido correctamente proyectados, construidos y mantenidos.

El Capítulo VII del NSC, denominado «Escape, Evacuación y Rescate» (EER), está dedicado al proceso de abandono del buque y los medios de salvamento, siendo éste uno de los que más directamente se perciben como relacionados con la seguridad de las dotaciones. Este capítulo, al igual que el resto del documento, sigue la metodología denominada Estándares Basados en Objetivos (GBS), por lo que, en primer lugar, define con claridad lo que se espera de los medios de EER de un buque de guerra:

«La disposición, sistemas y equipos para el Escape, Evacuación y Rescate de las personas embarcadas serán proyectados, construidos y mantenidos de tal manera que faciliten:

- El escape efectivo de todas las personas embarcadas desde los compartimentos que ocupan hasta un lugar seguro en caso de un accidente o emergencia previsible, hasta que cese la amenaza.
- La evacuación efectiva del buque.
- La recuperación efectiva de los náufragos.»

El NSC se caracteriza por adoptar normativa civil, siempre que sea posible y debidamente adaptada, especialmente aquella generada por la IMO para los buques de carga y pasaje. En este sentido sugiere que el análisis del proceso de abandono del buque de guerra se lleve a cabo siguiendo la misma metodología empleada en buques de pasajeros:



Secuencia del abandono de buque.

*(...) The Escape and Evacuation Analysis shall be undertaken in accordance with the philosophy described in IMO MSC Circular 1033 «Interim guidelines for evacuation analysis for new and existing passenger ships» (...).*

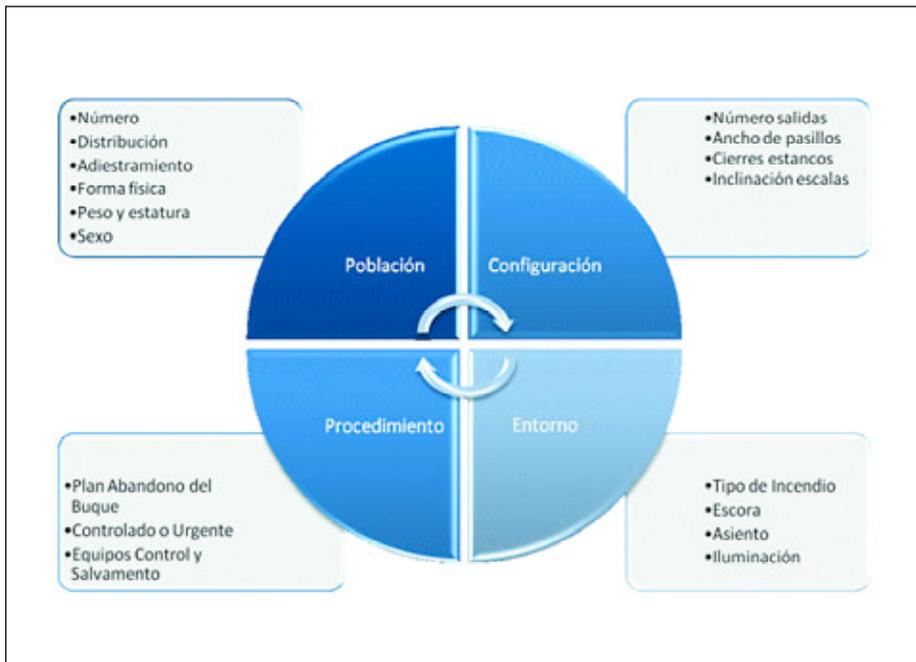
Si bien estamos ante dos áreas aparentemente similares, la evacuación del buque de pasaje y la del buque de guerra, y contamos con una metodología extensivamente empleada en el ámbito civil como es la mencionada resolución IMO, y su empleo en el ámbito del buque de guerra no es inmediata y requiere una cuidadosa evaluación de los datos y parámetros empleados en la simulación.

## El problema de la evacuación del buque de guerra

El problema de la evacuación de una estructura ocupada por individuos consiste en facilitar el desplazamiento de todas las personas, en un tiempo adecuado, hasta un emplazamiento seguro, ante la declaración de una emergencia o en previsión de la misma, con suficientes garantías de seguridad.

El tiempo en que es posible lograr el completo abandono de la estructura debe ser inferior, por ejemplo, al tiempo que es capaz de soportar la estructura de un edificio el fuego antes de colapsar o el tiempo que es capaz de mantenerse adrizado y a flote un buque averiado por una varada. El cálculo y la estimación de este tiempo es el objetivo del análisis del proceso de evacuación y el que nos permitirá analizar diferentes alternativas de diseño y optar por la solución más eficiente.

El problema de la evacuación es complejo y se caracteriza por una serie de factores, como son: la configuración de la estructura, las características de la población a evacuar, el procedimiento a seguir durante la evacuación o el entorno en el que transcurre, que modifican el comportamiento de los individuos durante su tránsito hasta un lugar seguro. De este modo, no cabe



Principales factores que afectan al cálculo del tiempo necesario para evacuar un buque de guerra.

esperar que la evacuación de un hotel ante un mismo incendio concluya en el mismo tiempo si está ocupado por adolescentes que si lo habitan personas mayores.

Los buques de guerra se caracterizan por tener pasillos estrechos, en los que abundan los elementos estructurales, equipos y material de seguridad que reducen aún más su anchura. Estos pasillos están interrumpidos por puertas y escotillas con el objeto de asegurar la estanqueidad del buque. Las cubiertas están conectadas por medio de escalas de 60 grados de inclinación que acaban en una escotilla o boca de lobo. Sus dotaciones son disciplinadas, conocen el buque, realizan frecuentes ejercicios de seguridad interior y están adiestradas para seguir el procedimiento previsto en el Plan de Abandono del Buque (PAB), dirigiéndose a las balsas que tienen asignadas.

Siendo primordial reparar las averías sufridas y continuar combatiendo, es muy probable que cuando se dé por perdido el buque y se ordene su abandono éste transcurra en condiciones extremas, debido a la extensión del fuego y la inundación.

Aunque en situaciones reales de emergencia el comportamiento humano se caracteriza por un amplio abanico de posibles conductas, existe una serie de diferencias básicas cuando el personal a evacuar son las dotaciones o tropas embarcadas en un buque de guerra. La experiencia indica que la mayoría de pasajeros no comienza a moverse inmediatamente al oír la señal de alarma, mientras que cabe esperar una reacción mucho más rápida en un buque con una dotación adiestrada.

Otra diferencia importante la encontramos en que las personas poco habituadas a un edificio o buque tratan de salir por donde han entrado, aunque exista una salida más próxima, haciendo caso omiso a señales que no les son familiares y sin prestar atención a los carteles que indican las rutas de escape.

Son, en definitiva, condiciones muy distintas a las que cabe esperar en un buque de pasajeros, en el que prevalece la seguridad del pasaje, para lo cual ha sido desarrollada la circular 1033 de IMO (1) y que el NSC sugiere emplear como referencia. Sucede, además, que tanto la metodología como los datos propuestos por IMO tienen su origen en las normas prescriptivas de la NFPA para el análisis del proceso de evacuación de edificios.

Paradójicamente, y si se desconoce el origen de la normativa, se podrían estar aplicando métodos y datos obtenidos en el campo de la edificación civil al problema que nos ocupa: el buque de guerra.

---

(1) Datos obtenidos de las escaleras, pasillos y puertas de edificios civiles en tierra y extraídos de la publicación SFPE *Fire Protection Engineering Handbook*, 2.<sup>a</sup> edición, Asociación Nacional de Prevención de Incendios (NFPA), 1995. IMO/MS C. 1033, p. 7.



Evolución de los datos y la metodología empleada para el análisis del problema de la evacuación.

### **Características del movimiento de las personas**

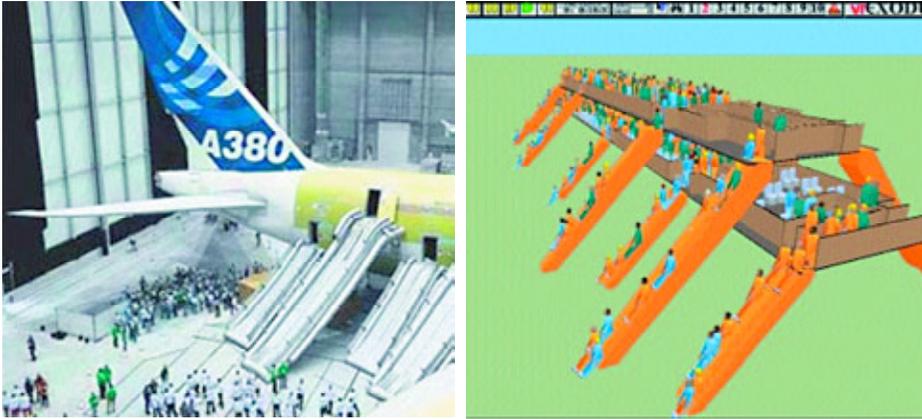
Uno de los principales retos a los que se enfrenta el ingeniero al proyectar una estructura (edificio, buque, etc.) que puede llegar a ser ocupada por un elevado número de personas es el de lograr un flujo eficiente de entrada y salida, así como de circulación por el interior de la misma en condiciones normales de operación y, al mismo tiempo, garantizar la seguridad de los ocupantes permitiéndoles alcanzar un emplazamiento seguro en caso de emergencia.

El empleo de modelos matemáticos de optimización y simulación del movimiento de personas es una herramienta cada vez más empleada, ya que permite analizar el problema de la evacuación de la estructura mucho antes de que esté construida, facilitando la introducción de modificaciones durante la fase de proyecto con un menor impacto en el coste.

En algunas industrias, como la aeronáutica, es necesario demostrar por medio de un ensayo a escala real que es posible evacuar la aeronave en un tiempo máximo, generalmente 90 segundos. Este tipo de pruebas, a pesar de ser obligatorias, presentan importantes limitaciones, como son la falta de realismo, la dificultad que existe para recrear una situación de emergencia sin poner en riesgo a los participantes, y que sólo pueden realizarse una vez finalizada la construcción de la primera unidad.

La mayor parte de los modelos de movimiento de personas durante el proceso de evacuación asignan a los individuos una velocidad inicial, que depende únicamente de sus características físicas. Esta velocidad inicial se ve alterada en función de las interacciones entre individuos (a mayor densidad de ocupación, menor velocidad de avance), interacciones con la estructura (estrechamientos, escalas, cierres, etc.) e interacciones con el entorno (baja visibilidad, presencia de humo y gases tóxicos, etcétera).

Las primeras investigaciones en este campo datan de 1937, año en el que el Instituto de Arquitectura de las Artes de la Unión Soviética publica las conclusiones de un estudio basado en la observación del flujo de personas en más de 200 edificios públicos. En este estudio se recomienda emplear una



Ensayo a escala real de la evacuación de un A-380 y simulación realizada por medio de AirExodus del Fire Safety Engineering Group de la Universidad de Greenwich .

Fuente: <http://a380.lufthansa.com> y <http://fseg.gre.ac.uk>

velocidad de circulación horizontal de 0,266 m/s y una reducción del 20 por 100 cuando descienden por escaleras.

También en la Unión Soviética, entre los años 1946 y 1948, el Instituto del Servicio de Protección Contra incendios de la Unión Soviética (VNIPO) llega a la conclusión de que un factor determinante en la velocidad de circulación es el área ocupada por las personas, y que ésta depende, en gran medida, de la edad y la indumentaria.

En 1958 el London Transport Board (LTB) publica el estudio sobre la velocidad de las personas al circular por andenes (London Transport Board, 1958). Tras analizar el movimiento de las personas en andenes y trenes, el LTB llega a la conclusión de que tanto la velocidad de circulación como el flujo van en función de la densidad de ocupación. En este caso, la velocidad inicial de las personas cuando están suficientemente espaciadas es de 1,56 m/s, disminuyendo hasta que se alcanza una densidad de ocupación de 3,6 personas/m<sup>2</sup>, momento en que se considera que existe congestión.

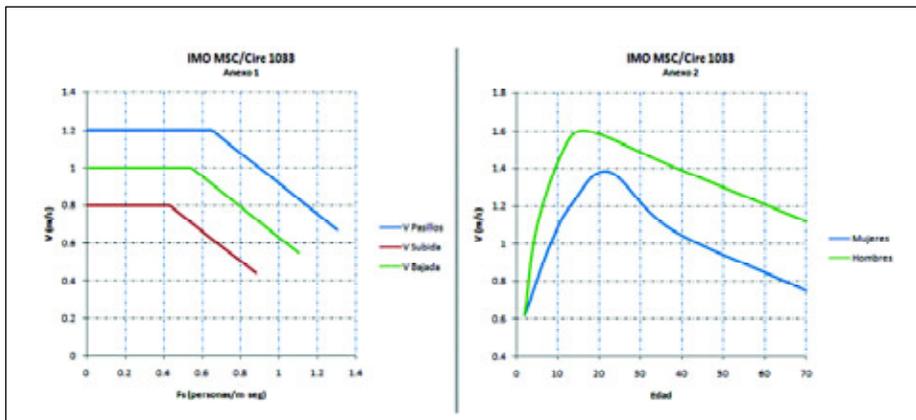
Una referencia obligada en el campo del movimiento de las personas es el trabajo de Predtechenskii y Milinskii (*Predtechenskii & Milinskii*, 1969) inicialmente publicado en Moscú y posteriormente traducido al inglés en 1978. Estos investigadores llevaron a cabo más de 3.500 experimentos y mediciones para determinar la relación entre la velocidad y la densidad de ocupación de un espacio. Según estos autores, la velocidad inicial es de 0,950 m/s y disminuye con la tasa de ocupación del recinto.

A partir de los años 70 el investigador canadiense J. Pauls observa numerosos simulacros de evacuación de edificios de oficinas y el movimiento de

multitudes durante los Juegos Olímpicos de Montreal, comparando los valores reales con los obtenidos por medio de distintos modelos teóricos. Las conclusiones de su estudio se incorporaron al SFPE *Fire Protection Engineering Handbook* de la Asociación Nacional de Prevención de Incendios (NFPA) y las velocidades que sugiere son las empleadas por la IMO MSC/Circ. 1033 (Anexo 1-Método Simplificado) para calcular el tiempo de desplazamiento de los pasajeros en un buque. La velocidad inicial es de 1,2 m/s y disminuye a medida que aumenta el número de personas o disminuye el ancho del pasillo que atraviesan. Esta circular del Maritime Safety Committe del año 2002 sirve de guía para la realización de estudios de evacuación en diversos escenarios: de día y noche o con rutas limitadas por averías.

Los investigadores Ando, Ota y Oki llevaron a cabo en 1988 una serie de experimentos en estaciones de tren densamente ocupadas, llegando a la conclusión de que la velocidad, además de depender de la densidad de ocupación, era función del sexo y la edad de los individuos. Sus conclusiones se incorporaron al anexo 2 de la IMO MSC/Circ. 1033 (Anexo 2-Método Avanzado) como valores de velocidad sugeridos para determinar el tiempo de desplazamiento en buques de pasaje por medio de simulación.

Los principales estudios sobre el movimiento de las personas en condiciones normales, como los arriba mencionados, indican que la velocidad depende en gran medida del tipo de estructura y del espacio disponible para el desplazamiento, disminuyendo por tanto a medida que aumenta el número de individuos o disminuye el ancho del espacio atravesado. El espacio disponible también puede verse alterado en función de la indumentaria que lleven los individuos e incluso por aspectos culturales. Las características físicas de los individuos, especialmente su edad y el sexo, son otros factores determinantes a considerar.



Velocidad según IMO aplicada a buques de pasajeros.

Las especiales características de los buques de guerra y sus dotaciones, que en poco se asemejan a las condiciones que podemos encontrar en las investigaciones arriba descritas, sugieren que los valores de velocidad que podemos obtener a bordo difieren de los propuestos por la IMO para su empleo en buques de pasaje. No se conocen hasta la fecha estudios específicos en buques de guerra salvo los llevados a cabo por la Escape and Evacuation Naval Authority (EENA) del Reino Unido a bordo de los HMS *Excellent* y HMS *Bristol* en 2005, cuyas conclusiones no son públicas, lo que supone una importante limitación a cualquier modelo de evacuación de este tipo de buques.

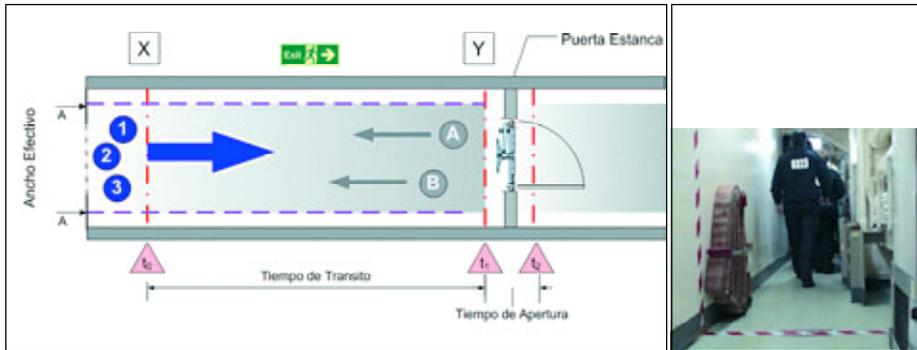
### **Ensayos a escala real en la fragata *Asturias***

Con el objeto de incrementar el nivel de conocimiento de las características del movimiento de las personas a bordo de buques de guerra se llevó a cabo una serie de experimentos a bordo de la fragata *Asturias* en los que participaron un total de 47 voluntarios: oficiales, suboficiales y marineros de la dotación distribuidos en una proporción similar a la que cabe encontrar en una unidad de superficie de la Armada. A los participantes se les entregó un dorsal para facilitar su identificación; reunidos en el comedor de marinería, se recopiló información sobre sus características físicas (edad, peso, estatura, etc.) y se les informó de la naturaleza de los ensayos, así como de la finalidad de los mismos.

Sobre la cubierta número 2 y en la cámara de calderas de popa se establecieron tres zonas de ensayos. La primera zona comprendía un tramo recto de pasillo, con una anchura aproximada de 800 mm que finalizaba en una puerta estanca cerrada. Los participantes avanzaban por el pasillo, a un buen paso sin



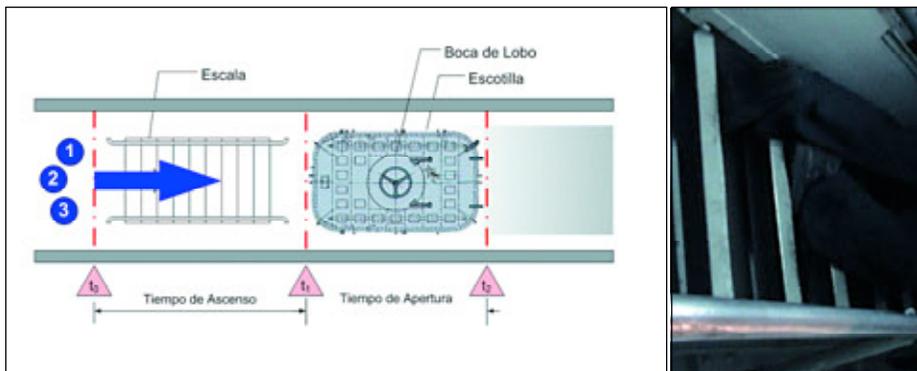
Fragata *Asturias*. Treinta años sirviendo a la Armada.



Esquema del experimento para la determinación de la velocidad de un pasillo.

llegar a correr, en grupos cada vez más numerosos, procediendo a abrir y cerrar la puerta estanca. Estos ensayos permitieron medir la velocidad a la que se desplazan por un pasillo, la dependencia de esta velocidad con las características físicas y el número de individuos que avanza a un mismo tiempo, así como estimar el tiempo necesario para abrir y cerrar completamente una puerta estanca.

Una segunda zona de experimentos se estableció en las proximidades de la escala de acceso a la cubierta principal. En esta zona los participantes debían subir y bajar por la escala, abriendo y atravesando la boca de lobo circular situada sobre la escotilla estanca. Estos ensayos permitieron medir la velocidad de subida y bajada, así como el tiempo requerido para atravesar una escotilla estanca.



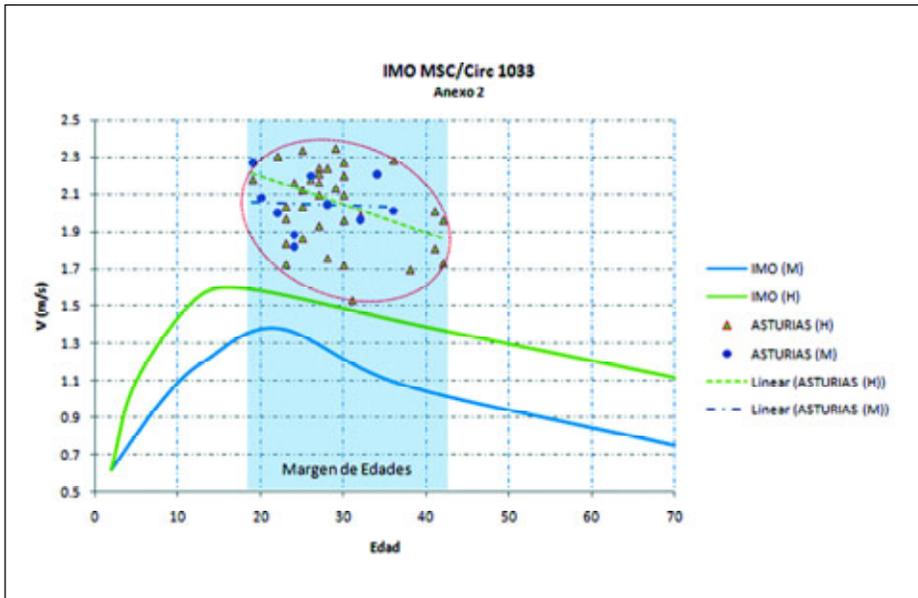
Esquema del experimento para la determinación de la velocidad en una escalera.

Finalmente, se estableció una tercera zona en el tronco de escape de la cámara de calderas popa, en la que los participantes debían ascender hasta la cubierta principal, saliendo al exterior por una escotilla estanca.

Durante una semana los miembros de la dotación de la fragata *Asturias*, a los que cabe reconocer y agradecer su excelente disposición y colaboración con las pruebas, recorrieron a buen paso las distintas zonas de ensayos definidas, lo que permitió recopilar gran cantidad de datos que fueron analizados posteriormente por medio de aplicaciones estadísticas. Además de datos inéditos, como es el tiempo necesario para abrir una puerta estanca, los ensayos a bordo de la fragata *Asturias* ponen de manifiesto que la velocidad a la que avanzan los hombres y mujeres de las dotaciones de buques de guerra está en el entorno de los 2 m/s, un 60 por 100 superior a la velocidad media estimada por IMO, y que presenta la misma tendencia a disminuir con la edad, tal y como muestra el gráfico siguiente.

### Identificación por radio frecuencia (RFID)

Con el objeto de realizar nuevas mediciones en condiciones más próximas a las que cabe esperar en una situación de emergencia, como puede ser con el



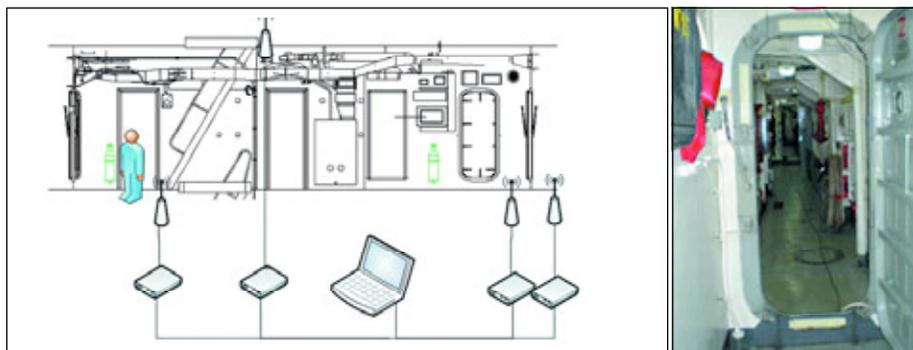
Velocidad en pasillos observada a bordo de la fragata *Asturias* comparada con la velocidad propuesta por IMO MSC/Circ. 1033 para buques de pasaje.

buque atravesado a la mar o en situaciones de baja iluminación, la Dirección General de Armamento (DGAM), a propuesta del Estado Mayor de la Armada, ha iniciado un programa para recogida de datos por medio de antenas e identificadores de radio frecuencia, en el que colabora la empresa zaragozana Inzacard S. L., especialista en sistemas de control de acceso.

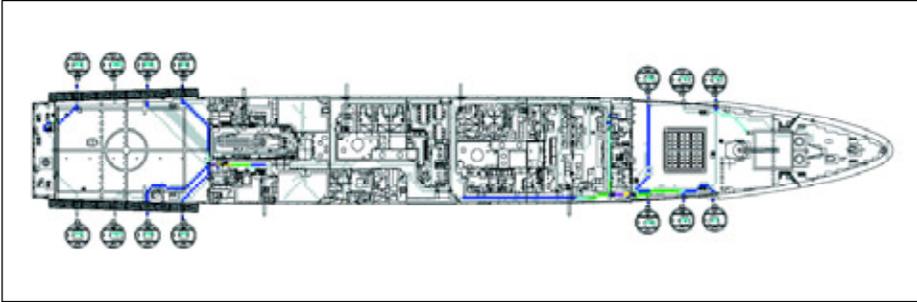
El empleo de la identificación por radio frecuencia se ha popularizado debido al abaratamiento de sus componentes, y hoy en día la podemos encontrar en las etiquetas de productos adquiridos en comercios, en el parabrisas de automóviles para el pago de peajes o implantada en animales domésticos. Su funcionamiento es simple: una etiqueta contiene los datos que identifican al objeto o individuo y genera una señal con esa información, que es captada por lectores y distribuida a un sistema informático que la almacena y emplea según las necesidades.

A finales de 2007 se probaron a bordo de la fragata *Asturias* diversas configuraciones de etiquetas y antenas de RFID de tipo activo, que transmiten y reciben en la frecuencia de 125 kHz, con un alcance de hasta tres metros. Una primera configuración, con antenas montadas en el techo de los pasillos y con etiquetas bajo los galones, fue descartada, ya que la detección dependía en buena medida de la altura del individuo. La segunda configuración, con antenas montadas sobre una fina base de metacrilato en el suelo y con etiquetas situadas en el tobillo del los individuos, ofreció muy buenos resultados, ya que con una potencia mínima de transmisión era posible detectar los momentos de paso con gran precisión.

El empleo de esta tecnología a bordo de los buques de guerra permitirá no solamente la obtención de datos imprescindibles para el análisis del problema de la evacuación, sino que también puede facilitar la labor de los equipos de control y salvamento en la localización de heridos o el establecimiento de rutas de escape dinámicas, función de la distribución de personal a bordo y las averías sufridas.



Esquema de la instalación de lectores de RFID a bordo de la fragata *Asturias*.

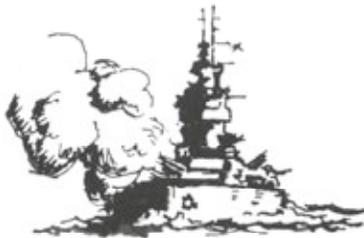


Identificación de zonas de mayor densidad de paso en la fragata *Álvaro de Bazán* por medio de la aplicación mExodus del FSEG de la Universidad de Greenwich.

## Conclusiones

Los datos obtenidos a bordo de la fragata *Asturias* están siendo empleados por el Gabinete de Investigación Militar Operativa (GIMO) en modelos de optimización que determinan cuáles son las rutas de escape más eficientes y en modelos de simulación que permiten estimar el tiempo de evacuación del buque en diversas situaciones, identificando las zonas en las que pueden producirse aglomeraciones excesivas o contraflujos que dificultan el acceso a las balsas salvavidas

Estas pruebas, y el futuro empleo de la tecnología RFID, permitirán elaborar modelos cada vez más realistas e incrementar el nivel de seguridad de las dotaciones de los buques de la Armada, cumpliendo así lo exigido por el NSC.



BIBLIOGRAFÍA

- BOXAL, P.; GWYNE, S.; FILIPPIDIS, L.; GALEA, E., y COONEY, D.: *Advanced Evacuation Simulation Software and its Use in Warships*. Human Factors in Ship Design, Safety & Operation (pp. 49-56). London (2005), UK: Royal Institution of Naval Architects.
- BOXAL, P.; RUGLEY, G.; TER BEKKE, E., y HUMPHREY, R.: *Development of a NATO «Naval Ship Code»*. Safety Regulations and Naval Class II. London (2005). The Royal Institution of Naval Architects.
- FRUIN, J.: *Pedestrian Planning and Design*. New York (1971). Metropolitan Association of Urban Designers and Environmental Planners inc.
- GALEA, E. (s. f.): *Predicting the evacuation performance of mass transport vehicles using computer models*. Recuperado el 24 de 12 de 2007, de *The Fire Safety Engineering Group*: [www.Greenwich.ac.uk/~lp03/TheFireGroup/galeamtx.html](http://www.Greenwich.ac.uk/~lp03/TheFireGroup/galeamtx.html)
- HOPPE, H.: *Based Standards - A New Approach to the International Regulation of Ship Construction*. WMU Journal of Maritime Affairs (2005) 4 (2), pp. 169-180.
- INGRAM, T. J.: *Application of Commercial Ship Maintenance Philosophy to Naval Ships*. Obtenido de American Bureau of Shipping (2007).
- International Maritime Organization. (2004). *Goal-Based New Ship Construction Standards*. IMO, Working Group on Goal-Based Standards at MSC 79. IMO.
- International Maritime Organization. (2002). *Interim Guidelines for the Evacuation Analysis of New and Existing Passenger Ships*. IMO, Maritime Safety Committee.
- International Maritime Organization. (1994). *International Convention for the Safety of Life at Sea (SOLAS)*. IMO.
- National Fire Protection Association. (1995). *Handbook of Fire Protection Engineering*. Quincy, MA: SFPE.
- PETERSEN, L.: *The Naval Ship Code. A New safety Standard for Naval Vessels?* Naval Forces mayo de 2005, pp. 90-95.
- PREDTECHENSKII, W., & MILINSKII, A.: *Planning for Foot Traffic Flow in Buildings*. National Bureau of Standards 1969. US Department of Commerce. New Delhi: Amerind Publishing.