



BOLETÍN TÉCNICO DE INGENIERÍA



Mayo 2018
Número 14



**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE INGENIEROS DE ARMAS NAVALES**

(ETSIAJ-JEPER-DIENA)



MINISTERIO DE DEFENSA

Edita:



NIPO: 083-17-202-1 (edición en línea)

NIPO: 083-17-203-7 (impresión bajo demanda)

Este Boletín se puede solicitar en papel en la modalidad de impresión bajo demanda.

Los números editados se pueden consultar en formato electrónico en:

<https://publicaciones.defensa.gob.es/revistas.html>

App Revistas Defensa: disponible en tienda

Google Play (<http://play.google.com/store>) para dispositivos Android, y en AppStore para iPhones y iPads.

A NUESTROS COLABORADORES

El acuse de recibo de los artículos enviados por nuestros estimados colaboradores no supone, por parte del BOLETÍN, compromiso de publicación. Normalmente no se devolverán los originales ni se sostendrá correspondencia sobre ellos hasta transcurridos seis meses de la fecha de su recibo, en cuyo momento el colaborador que los desee podrá reclamar la devolución.

Los originales habrán de ser inéditos, escritos en *Word* y se entregarán por vía informática (*Internet, Lotus Notes*) o grabados en CD. La extensión del texto no sobrepasarán las seis páginas y se presentará escrito a un espacio. La Redacción se reserva la aplicación de las correcciones ortográficas o de estilo que considere necesarias.

Las siglas y acrónimos se aclararán con su significado completo la primera vez que se utilicen (excepto las muy conocidas: ONU, OTAN, etc.) y deben corresponder a su versión en español cuando la haya (OTAN en lugar de NATO, Marina de los Estados Unidos en vez de *US Navy*, etcétera).

Las fotografías, gráficos e ilustraciones se acompañarán con un pie o título y tendrán una resolución de 300 dpi como mínimo, preferiblemente en formato JPG. Si no son del propio autor, se citará su procedencia y el autor realizará los trámites precisos para que se autorice su publicación. El BOLETÍN no se responsabilizará del incumplimiento de este requisito. Las ilustraciones enviadas en papel pasarán a formar parte del archivo del BOLETÍN y sólo se devolverán en casos excepcionales.

Se citará la bibliografía consultada.

Al final del artículo se incluirá el nombre y apellidos del autor, su categoría o profesión, el NIF, la dirección completa, con distrito postal, el número de teléfono y su dirección de correo electrónico.

Maquetación:

M^a José Pizarro García

Índice:

EDITORIAL	Pág. 3
IN MEMORIAM	Pág. 4
TECNOLOGÍAS DEL SIGLO XXI	Pág. 5
CF (CIA) Dr. D. José M ^a Riola Rodríguez	
INFLUENCIA DEL NIVEL DE PARTICIPACIÓN EN EL RESULTADO DE UNA ENCUESTA DE PRESTIGIO	Pág. 12
CF (CIA) Dr. D. Pedro Antonio Casas Alcaide	
«EQUIPOS» DE AYUDA AL «ATRAQUE» Y «AMARRE» DE LOS «BUQUES»	Pág. 21
CC (CIA) Dr. D. Raúl Villa Caro	
TELECOMUNICACIÓN SUBMARINA: ANÁLISIS DE UN CANAL ACÚSTICO SUPERFICIAL	Pág. 27
Dr. D. Vicente Gallego Muñoz	
LA ANTIGÜEDAD, ES UN GRADO... O MÁS SI CABE	Pág. 37
TN (CIA) D. Héitor Martínez Grueira	
EL EFECTO SQUAT, UN PELIGRO OCULTO	Pág. 49
AN (CIA) D. Miguel Rodríguez Hernández	
RESISTENCIA AL AVANCE	Pág. 53
AN (CIA) D. Rafael Blasco Aznar	
EL PANEL HÍBRIDO SÁNDWICH: UNA ALTERNATIVA EN LAS CONSTRUCCIONES NAVALES	Pág. 57
AN (CIA) D ^a . Victoria González García	
POWER TO GAS	Pág. 61
AN (CIA) D ^a . Carlota Peralta Alonso	
PORPOISING	Pág. 66
AN (CIA) D. José Ignacio Suárez Feito	
LA CONSTRUCCIÓN DE UN BUQUE CIVIL VS LA CONSTRUCCIÓN DE UN BUQUE MILITAR	Pág. 69
AN (CIA) D ^a María Galdón Navarro	
CONSTRUCCIÓN NAVAL MODULAR INTEGRADA	Pág. 74
AN (CIA) D. Yeray Manuel Estévez Cerviño	
BIOGRAFÍA	Pág. 78
D. ANTONIO SARMIENTO Y MARTÍNEZ DE VELASCO	

Foto portada:

<<http://es.freeimages.com/photo/segelmasten-mest-sails-3-1505602>>

EDITORIAL

**El Capitán de Navío del Cuerpo de Ingenieros
Comandante-Director de la ETSIAN**

Estimados amigos y compañeros:

Una vez más y fieles a nuestra cita ya tenemos el primer BTI del año 2018.

Como podréis comprobar, hemos introducido en este número una docena de artículos de gran calidad. No obstante siguen siendo mayoría los dedicados a temas de construcción naval. Animamos al resto a que nos remitáis artículos, para compensar, relacionados con el resto de las áreas de ingeniería.

En cualquier caso, muchas gracias a todos por vuestra colaboración.

En lo que respecta a la Escuela, ya estamos finalizando el curso de formación para los futuros ingenieros del Cuerpo con la realización de las prácticas pertinentes. Ahora estamos a la espera de que se publique el proceso selectivo para la incorporación de 20 nuevos ingenieros para el curso que viene.

Por otra parte, ya hemos remitido a la ANECA, a través de las Autoridades correspondientes, el documento para la solicitud de verificación del futuro Máster en Ingeniería de Armas Navales. Esta nueva titulación, si nada lo impide, empezará a rodar en septiembre de 2019 para los Oficiales del CGA que ya disponen de la titulación de grado en ingeniería mecánica por la Universidad de Vigo. Esta verificación es imprescindible para la inclusión del título en el RUCT.

Y ya hemos empezado el proceso análogo para el doctorado. Trataremos de tenerlo finalizado antes de fin de año.

Ah, y que no se me olvide, ya se ha designado al nuevo Comandante-Director de la ETSIAN. Mi más efusiva enhorabuena al CF Francisco Javier Pérez Villalonga que, si todo va bien, tomará el relevo en enero de 2019.

Antes finalizar y para todos aquellos que no lo sepan, el BTI es visible a través de la dirección de internet <[http://www.armada.mde.es/ArmadaPortal/page/Portal/ ArmadaEspañola/mardigital_revistas/prefLang_es/09_boletin_etsian](http://www.armada.mde.es/ArmadaPortal/page/Portal/ArmadaEspañola/mardigital_revistas/prefLang_es/09_boletin_etsian)>. También se puede acceder a través de la dirección intranet <[http://www.fn.mdef.es/intranet/page/intranet/armada/Documentacion/ Documentacion--14_1_Revistas_Publicaciones](http://www.fn.mdef.es/intranet/page/intranet/armada/Documentacion/Documentacion--14_1_Revistas_Publicaciones)> y pulsar a continuación el enlace sobre «Revistas y Boletines de la Armada», que lleva, en una nueva ventana, a la primera de las direcciones. Por publicidad que no quede.

Como siempre, si alguien no recibe el Boletín que lo comunique para subsanar el error. De la misma forma, se admiten sugerencias, críticas y demás.

Antes de despedirme, solamente desearos un feliz verano y que disfrutéis del bien merecido permiso. A la espera de vuestras noticias, un fuerte abrazo para todos.

IN MEMORIAM



El pasado 14 de enero nos dejó el CF (CIA) (EOF) JUAN CARLOS SOLER HERNÁNDEZ, Subdirector y Jefe de Estudios de la ETSIAN, tras una larga y dolorosa enfermedad.

El CF Soler era Ingeniero Aeronáutico y tras superar el proceso selectivo correspondiente, ingresó en la Armada el 1 de septiembre de 1997 para realizar el curso de formación de acceso al Cuerpo, recibiendo el despacho de Alférez de Navío el 16 de julio de 1998.

A lo largo de su vida militar, ocupó diversos destinos y en diferentes empleos, relacionados fundamentalmente con el apoyo logístico, habiendo estado destinado en el Arsenal de Ferrol y en la Jefatura del Apoyo Logístico.

En diciembre de 2015 asciende a Capitán de Fragata y es nombrado Subdirector y Jefe de Estudios de la ETSIAN, cargo que ocuparía hasta su fallecimiento.

Desde la Dirección de la ETSIAN queremos rendir este pequeño homenaje a alguien que durante su estancia en la Escuela se hizo querer por todos y se entregó en cuerpo y alma a su destino hasta el final.

Siempre permanecerás en nuestro recuerdo.

TECNOLOGÍAS DEL SIGLO XXI

CF (CIA-EOF) D. JOSÉ MARÍA RIOLA RODRÍGUEZ

Doctor Ingeniero Naval por la UPM

SDG. GESPRO

Para introducir con criterio las tecnologías de Defensa, se debe resaltar que durante la mayor parte del siglo pasado, los diferentes ejércitos por medio de sus adquisiciones y desarrollos, fueron los promotores de la mayoría de las tecnologías presentes. La necesidad de capacitación tecnológica para hacer frente a los conflictos bélicos del pasado siglo fue un enorme motor de numerosas transferencias tecnológicas a la sociedad civil. Entre los ejemplos más comunes que suelen nombrarse están el radar, sonar, energía nuclear, tecnología espacial, distintos tipos de propulsión, microondas, fibra óptica, etc.

Esta tendencia continuó sin cambios hasta la década de los años 70, pero esta realidad se invirtió disminuyendo la transferencia tecnológica hacia la sociedad civil, aunque con exitosas excepciones como Internet o el GPS, complementándose con transferencias en sentido contrario, fruto de los desarrollos en las áreas de electrónica y tecnologías de la información y comunicación. Con el fin de la guerra fría, los presupuestos de defensa comienzan a disminuir y las numerosas tecnologías desarrolladas en el mundo civil inundan los sistemas, desarrollos y aplicaciones de la defensa. Esta evolución, con su mencionado cambio de tendencia, se representa en la figura 1 [9], donde para complicarlo más, distintos retos como la emergencia de las amenazas asimétricas o las biológicas están imponiendo la necesidad de desarrollos muy rápidos, baratos y flexibles orientados a los nuevos sistemas.

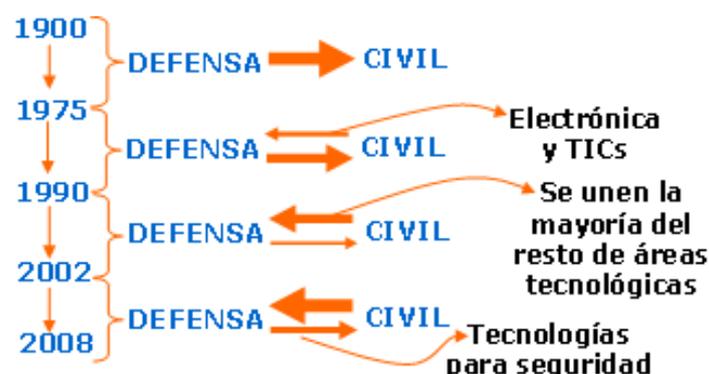


Figura 1: Transferencias tecnológicas civil-militar (Fuente: SOPT)

Al hablar de tecnología, reconocemos que el acceso a internet o al teléfono móvil nos ha cambiado la forma de vivir, el modo de trabajar, buscar un restaurante o interactuar con los amigos. Y sabemos que Whatsapp, Facebook, LinkedIn, Twitter o Instagram son ejemplos de unas realidades totalmente arraigadas en nuestro mundo social. Estos son ejemplos que nos llevan a otra manera distinta de comunicarnos, gracias a los desarrollos tecnológicos que se han llevado a cabo en el mundo digital en el que nos encontramos. El culpable de todo este cambio es el fulminante desarrollo de las Tecnologías de la Información y Comunicación, las conocidas TICs, en cuya definición podríamos encontrar a los elementos vinculados al almacenamiento, la protección, el procesamiento y la transmisión de la información, y que de un modo u otro modulan a la sociedad en su actual entorno digital. Así que las TIC, sinónimo de rapidez, eficiencia, seguridad y globalidad, con sus cambios continuos y sus desarrollos tecnológicos están empujando a la sociedad, y a las tecnologías de defensa en una mayor medida, a una continua e imparable transformación.

1. Evolución a corto, medio y largo plazo

El mayor problema de escribir sobre estudios prospectivos en tecnología [5] es que nos empeñamos en presentar un futuro muy parecido al presente pero acentuando algunos rasgos considerados como importantes o esenciales, analizando las tendencias actuales para poder deducir las consecuencias de la evolución prevista. Pero por desgracia sabemos que las tecnologías son disruptivas [4] y nos sorprenderán con un futuro radicalmente distinto al presente, lo que hace que todas las empresas y los Organismos Públicos, en especial las Fuerzas de Seguridad y Defensa, deberán darle cada vez más importancia a sus sistemas de vigilancia tecnológica y a la publicación de sus estrategias tecnológicas, como la ETID [3], para favorecer las adquisiciones a su propia base tecnológica nacional.



Figura 2: Publicaciones de estrategias tecnológicas (Fuente: SOPT)

Enfocando esto a nuestros propios ejércitos, tenemos que éstos basan sus operaciones en la experiencia, en mejorar la guerra ya pasada, y enfocar los esfuerzos en mejorar los sistemas de armas actuales más que en desarrollar o detectar nuevas tecnologías. Particularmente, se espera que gracias a las TIC se consiga un control todavía más estrecho sobre los escalones inferiores consiguiendo una mayor precisión y eficacia en las operaciones, al optimizar el número de personas y tipo de armas, fundamentalmente de ataque próximo y autodefensa, y que serán auxiliados con equipos que pueden desplegarse y ser operados desde varios miles de kilómetros.

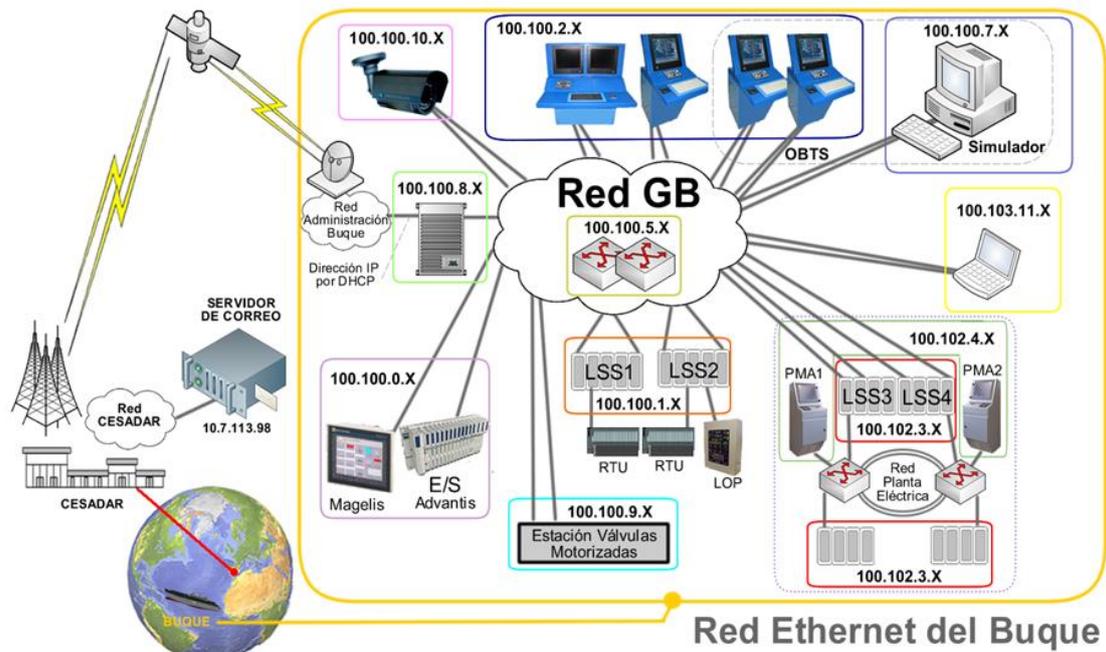


Figura 3: Infografía M2M aplicada a un buque de guerra (Fuente: DGAM)

Muchos de los cambios en las comunicaciones vendrán de la mano de una mejor conexión con el lanzamiento de los celulares de quinta generación «5G», ahora que todavía estamos intentando adaptarnos al 4G. Esta nueva tecnología se basa en una nueva generación de redes de banda ancha que ofrecerá una capacidad 10 veces mayor que la actual y con su menor latencia permitirá una mejora en el control de los sistemas. La segunda en importancia es lo que se conoce como «*Internet de las cosas*» que conseguirá juntar y que se comuniquen entre sí los elementos que usamos habitualmente en una red. Esta tecnología requiere de comunicaciones entre los distintos equipos conocidos por su acrónimo «*M2M*» que deberá permitir a todos los dispositivos intercambiar la información conveniente y realizar acciones de forma autónoma. Otra palabra tecnológica «*Big Data*» o almacenamiento de grandes cantidades de datos para su posterior análisis, lo que llevará al desarrollo de lo que conocemos como *inteligencia artificial*, término que se aplica cuando una máquina imita nuestras funciones cognitivas como aprender o resolver problemas. Esto se pone en valor cuando hablamos de mantenimiento y ciclo de vida de las plataformas militares (buques, aviones, carros...), y de hecho todos los países están haciendo inversiones en instalaciones receptoras de estos datos, como puede ser el Centro de Supervisión y Análisis de Datos Monitorizados de la Armada (CESADAR) que recoge los datos de los buques desplegados por la Armada Real de España en todo el planeta y es la base de sus sistemas predictivos de mantenimiento (figura 3).

También en la próxima década esperamos poder disponer de pantallas flexibles en nuestros dispositivos, el acceso a la realidad virtual, los chips *neuromórficos* inspirados en el cerebro humano, la disposición de cámaras de 360° o tejidos sensorizados también llamados *inteligentes* que nos podrán informar del estado corporal de nuestros soldados. En el campo de la ingeniería biónica los avances se basarán en nanotecnología (figura 4) a nivel celular y en chips implantados dentro de la piel que al ser detectados nos permitirán identificarnos ante una medida de control o seguridad.

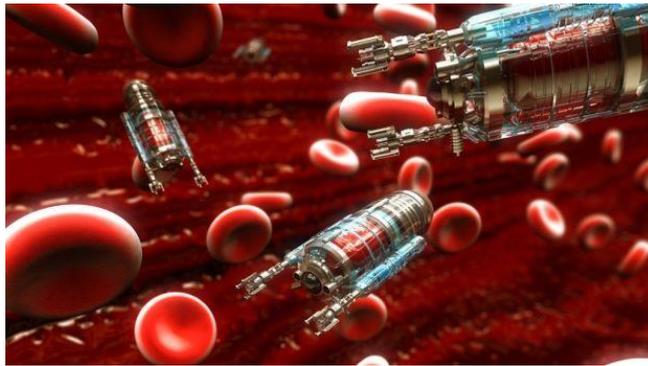


Figura 4: Nanotecnología (Fuente: UPM)

En el mundo de los sistemas no tripulados o UXVs (Unmanned Vehicles), a diferencia del enorme crecimiento en el empleo en el ámbito aéreo UAV (air) y en menor medida en el ámbito naval, USV (surface) y UUV (underwater) según trabajen sobre o bajo el mar, los terrestres UGVs (ground) están teniendo un empleo más limitado en aplicaciones muy concretas. La tendencia es dotar a los sistemas no tripulados de mayor inteligencia y autonomía, aplicando tecnologías robóticas que eviten que los sistemas deban ser pilotados remotamente. Todo induce a prever que en la próxima década el peso de los sistemas no tripulados y la robótica en el ámbito de defensa va a ser determinante.

En lo referente al ámbito naval [7], algunas de sus aplicaciones de mayor desarrollo son la inteligencia, vigilancia y reconocimiento (ISR), donde los UUVs y USVs completan las capacidades en localizaciones inaccesibles desde otras plataformas. Equipados con múltiples sensores, son muy útiles en aplicaciones en el ámbito militar, la vigilancia de infraestructuras críticas (puertos, gasoductos, redes telefónicas submarinas, etc.) o efectuando operaciones de recolección de datos hidrográficos, oceanográficos o ambientales. En el ámbito exclusivamente militar, UUVs y USVs son muy útiles en el rastreo y neutralización de minas, reduciendo la exposición al riesgo de buques e infantes, pero también ofrecen capacidades en la guerra naval de superficie y submarina, equipados con armamento de diversa índole o con dispositivos de designación de objetivos para ataques balísticos que permiten realizar operaciones tácticas sin participación humana. Y por último, también son utilizados para misiones de guerra electrónica que permitan proteger o inhabilitar sistemas electrónicos. La siguiente figura, muestra un UAV de reciente adquisición.



Figura 5: UAV Skeldar (Fuente: Armada España)

La robótica y la automática están consideradas como los elementos que van a cambiar sustancialmente la manera de llevar a cabo nuestras operaciones [1], lo que ha supuesto que dediquen importante cantidades económicas a su desarrollo. Particularmente, los exoesqueletos son englobados dentro de este grupo, aun-

que incorporan a bordo un operador humano, que controla o supervisa en mayor o menor medida su funcionamiento. La principal aplicación en la que la robótica terrestre tiene un adecuado grado de madurez es la detección de IEDs, en la desactivación de explosivos con robots teleoperados o en ambientes con contaminación nuclear, radiológica, biológica o química (NBQR), en la que dotados de sensores miden las condiciones ambientales. En recientes declaraciones del Mando de Adiestramiento y Doctrina norteamericano apuntaba a que, entre los planes a largo plazo (2030-2040), están estudiando reducir en un 25 por ciento el número de soldados de las brigadas y sustituirlos por robots.

Si hablamos de tecnologías de seguridad y control de acceso a sistemas e instalaciones críticas tenemos a los sistemas biométricos como el lector de huellas que ya se ha extendido a móviles de gama alta y se irá extendiendo al resto, lo que disparará su uso y le hará un sistema de seguridad habitual. El auge de la seguridad biométrica hará que al usuario se le facilite acceder a servicios; la huella fue sólo el primer paso y con el desarrollo de este tipo de tecnología, el requerir información de biométrica adicional como el escáner de iris se implantará en soportes ahora menos habituales.



Figura 6: Seguridad por lector de iris (Fuente: HI-Iberia)

También esperamos una profunda revolución basada en los nuevos materiales [8], como por ejemplo el grafeno, un compuesto del carbono que gracias a que es un buen conductor, doscientas veces más resistente que el acero y mucho menor peso, nos permitirá medios de transporte más resistentes y ligeros, que reducirán enormemente su consumo y aumentará mucho su autonomía o que los cables de fibra óptica sean cientos de veces más rápidos que los actuales. Así, la creación de nuevos materiales nos proveerá de una alta variedad de recursos para muchas de las aplicaciones que marcarán el futuro de la humanidad como los viajes espaciales o la computación cuántica. Personalmente, si tuviera que apostar por una tecnología disruptiva que cambiará nuestra manera de operar, destacaría a las «smartdust» o minúsculas partículas microelectromecánicas conectadas de forma inalámbrica y autónomas energéticamente, invisibles al ojo humano y con suficiente capacidad de cómputo para revolucionar nuestra vida, sensibles a la luz, temperatura, localización, presión, vibraciones, magnetismos o determinadas composiciones químicas. Se trata de dispositivos milimétricos que pueden llevar acciones sin intervención humana que no sólo sensorizarán nuestro entorno, sino que podrán llevar a cabo acciones sin intervención humana en base a la información que captan. De hecho Stephen Hawking ya las ha propuesto enviar al espacio mediante un cañón láser que las impulse prácticamente hasta el infinito.

La ley de Gordon Earle Moore expresa que aproximadamente cada año y medio o dos años se duplica el número de transistores en un microprocesador [6], y aunque no sea muy exacta la fecha, se espera que antes de llegar a la década del 2030, la humanidad verá reiniciarse por primera vez un ordenador tan rápido y con tantas conexiones que supere la inteligencia del cerebro humano o lo que en términos informáticos se conoce como *singularidad*, y no contentos con eso, para finales de la década de los 20s un solo computador sobrepasará el poder cerebral de todos los seres humanos juntos o *la singularidad de la singularidad*. Si tienen más inteligencia y de la memoria mejor no hablar, nuestra futura relación con ellos es ahora impredecible.

Si somos algo más futuristas y nos vamos a intentar predecir lo que nos encontraremos en la *siguiente década*, la que empieza en el *año 2030*, nos atrevemos a decir que tendremos a nuestra disposición tecnologías como la traducción inmediata automática que nos permitirá hablar en su idioma en cualquier parte del planeta, la televisión en 3D, disfrutaremos expectantes de seguirla primera misión espacial a Marte y conseguiremos descifrar el código cerebral para tener una conexión plena con él que nos revelará por qué y cómo los 85.000 millones de neuronas se disparan y conectan entre sí para que podamos generar ideas, emociones, recuerdos o comportamientos. También veremos circuitos hechos con bacterias, factorías espaciales y un enorme desarrollo de la automática con múltiples robots con usos muy específicos, como pueden ser los que guíen a los ciegos, la ralentización del metabolismo humano que permitirá un significativo avance para los futuros viajes espaciales, el diseño a medida de nuestros animales domésticos, la construcción y el uso de ascensores espaciales y la creación de una sociedad tan conectada que, como en la película, podremos denominarla *Matrix*.

Y ya siendo todavía más futuristas, y para la década de los años 2040 en que nos moveremos dentro de una población de más de 10.000 millones de personas sobre la Tierra, esperamos poder disfrutar de la primera ciudad lunar con un servicio de transporte regular, el desarrollo de al menos una colonia autosuficiente de científicos en Marte, el éxito de extraer energía nuclear de fusión, la extracción de minerales en los asteroides o la completa desaparición del agujero de la capa de ozono.

2. Seguridad

Bank i-Moon, Secretario General de Naciones Unidas, señaló en el prólogo del informe sobre el impacto futuro de las tecnologías TIC, presentado en junio del 2015 que *«pocas tecnologías han sido tan poderosas como las tecnologías de la información y la comunicación en la remodelación de las economías, las sociedades y las relaciones internacionales. El ciberespacio toca todos los aspectos de nuestras vidas. Los beneficios son enormes, pero estos no vienen sin riesgo. Hacer un ciberespacio estable y seguro sólo puede lograrse mediante la cooperación internacional, y la fundación de esta cooperación debe ser el derecho internacional y los principios de la Carta de la ONU...»*.

La globalización ha permitido utilizar la comunicación y a sus medios como unas herramientas para ser unos fenómenos mucho mayores que los propios ámbitos locales, pudiendo tener acceso a todo el planeta y ejercer una influencia a nivel mundial. Nada más clarificador en este tema como la influencia conseguida con las páginas webs y los vídeos de los terroristas yihadistas que realizan documentales, traducen a varios idiomas su contenido, añaden efectos especiales y consiguen una gran cobertura de enfrentamientos y masacres, etc. Estos grupos terroristas no serían tan poderosos si no tuvieran el seguimiento mediático de los grandes medios de comunicación que hacen de altavoz instantáneo a cada una de sus dolorosas campañas de terror. Insistiendo en la relación entre las TIC y seguridad, entendemos que el terrorismo y el crimen organizado continuarán existiendo durante las próximas décadas como elementos de subversión, coacción y desestabilización sociopolítica, y que sin duda tendrán relación con la llegada de una enorme variedad de tecnologías TIC como las comunicaciones encriptadas, la robótica, la visión nocturna o el uso de drones, que aumentarán significativamente la amplitud de sus amenazas de violencia.

Ya en Europa, el sector de las tecnologías de la información y la comunicación representa casi el 5% de la economía y genera una cuarta parte del total del gasto empresarial, lo que implica que la inversión en productos TIC es la responsable de la mitad del crecimiento de su productividad. Pero además, entiende que la seguridad depende de sus logros tecnológicos y en palabras de Federica Mogherini, directora de la Agencia de Defensa Europea [2] *«sabemos que gracias a la Unión Europea, nuestro continente ha vivido un período de paz sin precedentes. Sin embargo, la creciente inestabilidad, tanto en la vecindad de Europa como a nivel mundial, por un lado, y las nuevas amenazas para la seguridad en las que concurren factores económicos, medioambientales y tecnológicos, por otro, representan retos de primer orden para nuestra seguridad. Los ciudadanos se sienten cada vez más preocupados por su seguridad y miran a la Unión en busca de protección. Si queremos estar a la altura de sus expectativas, es preciso que la seguridad y la defensa desempeñen un papel más prominente en el futuro del proyecto europeo»*.

3. Conclusiones

Este artículo ofrece una visión sobre cómo el mundo de la defensa se adapta a la evolución existente en su entorno, tanto a la evolución de las tecnologías como a las necesidades y oportunidades de aplicación de éstas a los intereses de defensa. Así, se destaca cómo el futuro pasa tanto por el descubrimiento y desarrollo de nuevas tecnologías, como por el aprovechamiento y aplicación de los desarrollos civiles para defensa. Es labor del Ministerio de Defensa, no sólo anticiparse a los riesgos y amenazas, sino contribuir a la mejora de las capacidades tecnológicas e industriales para la defensa y de uso dual.

Desde un punto de vista tecnológico, los futuros sistemas de armas se harán empleando planteamientos flexibles y dinámicos, aprovechando los posibles factores multiplicadores y la innovación constante en un entorno cooperativo en los ámbitos civil y militar. La fragmentación en la investigación y desarrollo de ambos ámbitos, aún imperante en ciertos campos de actuación lastran la competitividad y reducen la eficacia en las inversiones en I+D+i. En la actualidad estamos siendo testigos de este cambio de paradigma tecnológico, y como ejemplo de ello es la incorporación de los ámbitos de seguridad y defensa al programa marco de investigación europeo H2020, y es que en definitiva debemos preguntarnos *¿existe alguna tecnología que no sea dual?*

A modo de resumen, y si pensamos en términos de seguridad y defensa para la década del 2040, deberemos pensar en que todo será más eficaz, rápido y letal. La guerra de la tecnología de la información será la base de todo tipo de nuevos sensores y la tecnología de procesamiento de datos hará que lo que se conoce habitualmente por «*situational awareness*» o mejor para nosotros *conciencia situacional*, es decir, conocer dónde estás y dónde el posible enemigo, para poder actuar en consecuencia antes de que los otros lo hagan, será más real y más decisivo que nunca.

En la misma línea, tendrán un enorme peso las armas robóticas y si nos preguntamos por el soldado de a pie, se espera un enorme avance en las pilas de combustible que le permitirán llevar encima algún tipo de terminales de ordenadores y sensores, que complementado con los tejidos inteligentes y los nuevos materiales le proporcionarán unas seguras y ligeras armaduras que nos darán un aspecto de *cyborg*, entendiéndose por ello que el auge de guerras distintas como la guerra biológica que deberá dotarles de múltiples sensores. En esas circunstancias, no parece irreal pensar en máquinas controlando y luchando contra otras, donde las personas tengan un carácter casi residual en el campo de batalla.

4. Referencias bibliográficas

- [1] Agencia Europea de Defensa. (2007). *EDA Long Term Vision*.
- [2] Agencia Europea de Defensa. (2008). *European Defence Research & Technology Strategy*.
- [3] Lega, J. (2010). Presentación de la ETID 2010. *Boletín de Observación Tecnológica en Defensa*, nº 29.
- [4] López-Vicente, P. (2009). Tecnologías Disruptivas, Mirando al Futuro Tecnológico. *Boletín de Observación Tecnológica en Defensa*, nº 25.
- [5] Martínez-Piquer, T. (2008). Investigación y Tecnología. La Agencia Europea de Defensa: Pasado, Presente y Futuro. Monografía del CESEDEN nº 107.
- [6] Moore, G.E. (1965): Cramming more components into integrated circuits. *Electronics*, vol. 38, nº 8.
- [7] Riola, J.M. (2009). Especial «Research & Technology Organization RTO de la OTAN». *Boletín de Observación Tecnológica en Defensa*, nº 23.
- [8] Riola, J.M. y Agrelo, J. (2009). Las Estrategias de la EDA. *Boletín de Observación Tecnológica en Defensa*, nº 22.
- [9] Riola, J.M. y González-Muñoz de Morales, G. (2009). I+D+i de Defensa: los Observatorios Tecnológicos. *48º Congreso de Ingeniería Naval e Industria Marítima*, Vigo, España.

INFLUENCIA DEL NIVEL DE PARTICIPACIÓN EN EL RESULTADO DE UNA ENCUESTA DE PRESTIGIO

CF (CIA-EOF) D. PEDRO ANTONIO CASAS ALCAIDE

Doctor Ingeniero Naval por la UPM
Ramo Técnico de Plataforma Navales

Resumen.- En este documento se presenta un ejercicio sencillo de teoría básica de probabilidades orientado a facilitar una valoración objetiva de la influencia que puede llegar a tener el nivel de participación esperable al llevar a cabo una encuesta de prestigio como las que se realizan periódicamente en la Armada Española.

1. Introducción

Durante una conversación informal se suscitó una controversia interesante: hasta qué punto puede influir el nivel de participación esperable al llevar a cabo una encuesta de prestigio en el seno de una organización como la Armada Española. Algunos no consideraban útil participar si el número de evaluados conocidos por el encuestado no superaba cierto umbral y, por el contrario, otros pensaban que abstenerse resultaba esencialmente perjudicial, por muy bajo que fuera dicho número.

Esta conversación despertó la curiosidad del autor sobre la posibilidad de abordar el problema de forma racional y objetiva, tras lo cual pronto quedó claro que la mejor vía de actuación pasaba por enfocar el asunto desde un punto de vista probabilístico.

Es evidente que un tratamiento riguroso y exhaustivo de esta problemática ha quedado en todo momento fuera de la intención del autor. Sin embargo, mediante una aproximación más bien de tipo heurístico ha sido posible alcanzar una serie de conclusiones que merece la pena presentar, aunque solo sea por lo novedoso que probablemente resultará el tema para los lectores de la revista.

En este documento se desarrollará un modelo probabilístico para valorar de la forma más sencilla y objetiva posible la influencia que puede llegar a tener, en los resultados esperables de una encuesta de prestigio, el nivel de participación de los encuestados, y en base a dicho modelo, llevar a cabo un ejercicio numérico que permita identificar los patrones de comportamiento más razonables desde el punto de vista de la organización.

En todo lo que sigue se hará uso de las definiciones que aparecen a continuación:

- Encuestado identificado con el sistema: Aquel cuyo criterio de clasificación coincide con el formalmente asumido como óptimo por la organización a la que pertenece.
- Encuestado de carácter anómalo: Aquel cuyo criterio de clasificación difiere sustancialmente del formalmente asumido como óptimo por la organización a la que pertenece.
- Umbral de actuación: Número mínimo de evaluados que cada uno de los encuestados identificados con el sistema necesita conocer para considerar útil su participación.
- Ordenación ideal: Ordenación en la que quedarían los evaluados aplicando con todo rigor el criterio formalmente asumido como óptimo por la organización a la que pertenecen.

Se hace notar que en la exposición presentada a continuación se ha supuesto que el número de encuestados se mantiene al menos un orden de magnitud por encima del número de evaluados (al final del documento se incluye un anexo con información sobre los detalles de dicha exposición).

2. Modelo probabilístico

Para establecer un modelo probabilístico lo más sencillo posible se hará uso de las siguientes hipótesis:

H2.1.- La encuesta consistirá en que cada encuestado emita un solo voto a favor del que, según su criterio, más lo merezca de entre todos los evaluados.

H2.2.- Se da por sentado que hay un criterio formalmente asumido como óptimo por la organización que realiza la encuesta y que dicho criterio es claro y entendible por todos los encuestados.

H2.3.- Salvo que no se conozca a nadie o que no se alcance el umbral de actuación (en cuyo caso no se emitirá voto alguno), cada encuestado elegirá siempre a un ganador de entre el grupo de evaluados que conozca. A continuación se considerará el experimento de elegir al azar un encuestado y un evaluado y observar si:

- El primero conoce o no al segundo.
- El voto del primero beneficia o no al segundo.

Teniendo en cuenta lo anterior es fácil ver que la probabilidad de que el encuestado vote precisamente por el evaluado nº X (según la ordenación ideal) dependerá esencialmente del valor que adopten las siguientes probabilidades:

P_H Probabilidad de que el encuestado esté identificado con el sistema

P_C Probabilidad de que el encuestado conozca al evaluado

P_U Probabilidad de que el encuestado conozca a un número de evaluados igual o superior a su umbral de actuación

P_X Probabilidad de que el evaluado sea el nº X según la ordenación ideal

P_D Probabilidad de que el encuestado vote por el evaluado (dado que es el nº X de la ordenación ideal)

Aplicando el teorema de la probabilidad total (ver referencia [1]) resulta inmediato establecer el árbol de probabilidades de la figura 1 y, a partir de este último, calcular la probabilidad de que el encuestado, ya sea de los identificados con el sistema o de carácter anómalo, vote por el evaluado nº X según la ordenación ideal (P_{XT}).

$$P_{XT} = P_H P_C P_U P_X P_D + (1 - P_H) P_C P_X P_D \quad (2.1)$$

Si se asume que P_H y P_C son independientes entre sí y que, junto con el número total de evaluados (N), constituyen los datos de entrada del modelo, a la vista de la ecuación 2.1 parece claro que la solución del problema pasará por valorar P_U , P_X y P_D .

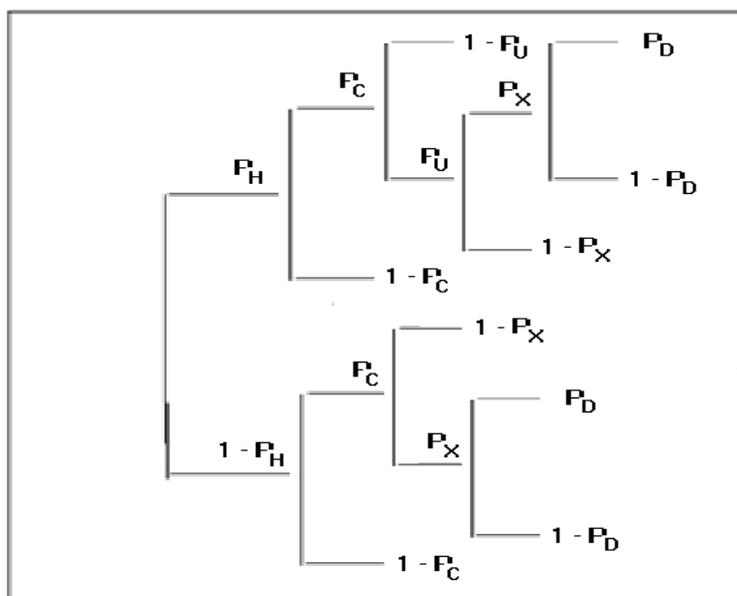


Figura 1. Árbol de probabilidades usado para calcular el valor de P_{XT} .

Empezando por P_X , y salvo que haya circunstancias especiales que puedan perturbar los resultados del experimento citado al inicio de este epígrafe, es de esperar que la proporción que guarda cada evaluado con el número total correspondiente (de 1 a N) se mantenga al margen de que sean conocidos o no por los encuestados, de lo cual se concluye que dicha probabilidad responderá a la siguiente expresión:

$$P_X = \frac{1}{N} \quad (2.2)$$

A partir de este punto, se hará uso de una hipótesis simplificadora adicional:

H2.3bis.- Los encuestados elegirán siempre a su ganador de entre un grupo de personas de tamaño constante e igual al número medio de evaluados conocidos por cada encuestado (E).

Siguiendo con el cálculo de P_U , habrá que plantear las dos opciones siguientes:

- ALFA: Los encuestados identificados con el sistema participarán en la encuesta solo si el número de evaluados conocidos iguala o supera cierto umbral de actuación.
- BRAVO: Los encuestados identificados con el sistema participarán en la encuesta en todo caso, independientemente de cuál sea el número de evaluados conocidos.

Para la opción ALFA es posible demostrar (ver anexo) que, al menos en una primera aproximación, el valor de P_U será igual al porcentaje de encuestados identificados con el sistema cuyo umbral de actuación (U) no supere a E , lo cual convierte a dicho porcentaje en un dato de entrada del modelo.

Para la opción BRAVO la situación resulta mucho más sencilla, pues bastará con hacer P_U igual a 1 bajo cualquier circunstancia.

Y para el cálculo de P_D , habrá que distinguir si el encuestado es de carácter anómalo o si, por el contrario, es uno de los identificados con el sistema.

En el primer caso, se asumirá adicionalmente que estos encuestados darán su voto de forma totalmente aleatoria, lo cual parece razonable a falta de datos más concretos en este sentido. A partir de aquí, es fácil ver que la probabilidad buscada coincidirá con el inverso del número medio de evaluados conocidos por cada encuestado.

$$P_D = \frac{1}{E} \quad (2.3)$$

No conviene olvidar que el comportamiento de cualquier encuestado anómalo resultará esencialmente impredecible, y en este sentido, cabría la posibilidad de que:

- Pudiera votar incluso por evaluados totalmente desconocidos
- No votase por nadie, conocido o desconocido
- Aplicase un criterio de voto común con otros encuestados anómalos aunque distinto al formalmente asumido como óptimo por la organización

Dada la naturaleza ilustrativa de este trabajo, ninguna de estas tres alternativas será contemplada en el modelo.

Para los encuestados identificados con el sistema, el cálculo de P_D exigirá la introducción de dos nuevas hipótesis, en correspondencia con cada uno de los dos casos que se han considerado como más significativos.

H2.4.- Aunque pueda haber varios evaluados conocidos superficialmente por cada encuestado, solo uno (por término medio) lo será con el suficiente nivel de profundidad como para ser juzgado ecuanímente.

Dado que el encuestado votará inevitablemente a favor del único evaluado que conoce en profundidad (ver hipótesis H2.3), el valor de P_D tendrá que ser necesariamente constante e igual a 1.

Obsérvese que la hipótesis H2.4 implica tomar E igual a 1, y por tanto, P_C igual a $1/N$ (ver anexo).

H2.5.- Aunque pueda haber de nuevo varios evaluados conocidos superficialmente por cada encuestado, solo dos (por término medio) lo serán con el suficiente nivel de profundidad como para ser juzgados ecuánimemente.

Teniendo en cuenta que cualquier encuestado identificado con el sistema debería ser capaz de juzgar a los dos evaluados que conoce en profundidad respetando la ordenación ideal (ver hipótesis H2.2), es posible obtener la siguiente expresión (ver anexo):

$$P_D = \frac{N - X}{N - 1} \quad (2.4)$$

En donde X es el puesto de cada evaluado según la ordenación ideal.

Obsérvese que la hipótesis H2.5 implica tomar E igual a 2, y por tanto, P_C igual a $2/N$ (ver anexo).

Y finalmente, combinando toda la información hasta aquí presentada, resulta posible obtener la tabla 1.

Tabla 1.- Modelos matemáticos obtenidos (PXT) para cada uno de los dos casos considerados (H2.4 y H2.5) y de las dos opciones posibles (ALFA y BRAVO).

H2.4 ALFA	H2.4 BRAVO
$\frac{1}{N^2} [1 + P_H(P_U - 1)]$	$\frac{1}{N^2}$
H2.5 ALFA	H2.5 BRAVO
$\frac{1}{N^2} \left[1 + P_H \left(2P_U \frac{N - X}{N - 1} - 1 \right) \right]$	$\frac{1}{N^2} \left[1 + P_H \left(2 \frac{N - X}{N - 1} - 1 \right) \right]$

3. Ejercicio numérico

Tomando por ejemplo P_H igual a 0,8, N igual a 4 y P_U igual a 0,5, es posible confeccionar la tabla 2 a partir de la formulación que aparece en la tabla 1.

Y al analizar la tabla 2 es posible obtener las siguientes conclusiones:

- En el caso H2.4 ALFA la encuesta no serviría para nada, ya que el criterio de todos los encuestados que han participado resulta aleatorio.
- En el caso H2.4 BRAVO la encuesta tampoco serviría para nada, aunque el nivel de participación mejora al votar todos los encuestados identificados con el sistema.
- En el caso H2.5 ALFA la encuesta cumpliría con su finalidad, dado que el criterio de los encuestados identificados con el sistema ya no es aleatorio.
- En el caso H2.5 BRAVO la encuesta cumpliría con su finalidad de forma todavía más satisfactoria al votar todos los encuestados identificados con el sistema.

Se ve, por tanto, que en los dos primeros casos de la tabla 2 la encuesta no sirve para nada a efectos prácticos, siendo imposible diferenciar al mejor de los evaluados al margen de que participen o no los encuestados identificados con el sistema.

Tabla 2.- Probabilidad de que un encuestado elegido al azar vote por uno de los evaluados (enumerados según la ordenación ideal) elegido también al azar, para cada uno de los 2 casos considerados (H2.4 y H2.5) y de las 2 opciones posibles (ALFA y BRAVO).

	Evaluado nº1	Evaluado nº2	Evaluado nº3	Evaluado nº4
H2.4 ALFA	0,0375	0,0375	0,0375	0,0375
H2.4 BRAVO	0,0625	0,0625	0,0625	0,0625
H2.5 ALFA	0,0625	0,0458	0,0292	0,0125
H2.5 BRAVO	0,1125	0,0792	0,0458	0,0125

Sin embargo, en los dos últimos casos (cuando cada encuestado conoce en profundidad a dos evaluados por término medio) la encuesta cumple su objetivo, y además, tanto mejor cuanto mayor es la participación de los encuestados identificados con el sistema.

Finalmente, se llama la atención del lector sobre dos puntos interesantes:

El primero es que incluso en el caso más útil de todos (H2.5 BRAVO), el porcentaje esperable de votos conseguido por el mejor de los evaluados según la ordenación ideal (un 11% aproximadamente) queda muy por debajo del 25% esperable si la encuesta fuese completamente efectiva. Si se piensa detenidamente, este hecho constituye en realidad una ventaja inesperada, pues permite clasificar a todos los evaluados según su posición en la ordenación ideal a pesar de que la encuesta se ha planteado en términos enormemente simples (ver hipótesis H.2.1).

El segundo pasa por preguntarse si la participación de los encuestados identificados con el sistema que conozcan a un solo evaluado es simplemente irrelevante o si, por el contrario, resulta perjudicial y por tanto desaconsejable.

A continuación se dará una respuesta en base a la formulación presentada en la tabla 1 y analizando dos situaciones límite:

- Cuando todos los encuestados identificados con el sistema participan, al margen de cuál sea el valor de la fracción de los que conocen a un solo evaluado (F_1).
- Cuando la participación de los encuestados identificados con el sistema no incluye a los que conocen a un solo evaluado, dado que estos últimos se abstienen de votar.

En la primera de estas dos situaciones se tendría en un extremo (para F_1 igual a 0) el caso H2.5 BRAVO y en el otro (para F_1 igual a 1) el H2.4 BRAVO. Suponiendo que la probabilidad P_{XT} variase linealmente con F_1 (lo cual parece razonable al menos en una primera aproximación), es inmediato obtener la siguiente expresión:

$$P_{XT} = \frac{1}{N^2} \left[1 + P_H \left(2 \frac{N-X}{N-1} - 1 \right) (1 - F_1) \right] \quad (3.1)$$

En la segunda de las dos situaciones arriba planteadas se tendría en un extremo (para F_1 igual a 0) el caso H2.5 BRAVO y en el otro (para F_1 igual a 1) el H2.4 ALFA con P_U igual a 0, es decir, con la participación exclusiva de los encuestados de carácter anómalo. Suponiendo nuevamente que la probabilidad P_{XT} variase linealmente con F_1 , es inmediato obtener la siguiente expresión:

$$P_{XT} = \frac{1}{N^2} \left[1 - P_H + 2P_H \frac{N-X}{N-1} (1 - F_1) \right] \quad (3.2)$$

Si ahora se coge cualquiera de estas dos últimas expresiones y se obtiene el gradiente de P_{XT} respecto de X (Δ), se llegará exactamente el mismo resultado en ambos casos:

$$\Delta = 2P_H \frac{F_1 - 1}{N^2(N - 1)} \quad (3.3)$$

Y dado que este gradiente es precisamente lo que permite clasificar a los distintos evaluados a pesar del ruido introducido por los encuestados anómalos, el hecho de que sea el mismo tanto con la ecuación 3.1 como con la 3.2 indica que la participación de los encuestados identificados con el sistema que conozcan a un solo evaluado será completamente irrelevante: ni facilita ni dificulta que la encuesta cumpla su objetivo.

4. Conclusiones y comentarios finales

De todo lo expuesto hasta el momento pueden extraerse varias conclusiones interesantes:

- Para que la participación de un encuestado identificado con el sistema resulte útil en alguna medida, debe conocer en profundidad a dos o más de los evaluados.
- En caso contrario (cuando conozca en profundidad como mucho a uno de los evaluados), su participación será irrelevante tanto si vota como si no.
- Los encuestados de carácter anómalo solo producen ruido (aumentan el nivel de aleatoriedad de los resultados) o, en el peor de los casos, ordenaciones espurias (ajenas por completo a la ordenación ideal).
- El hecho de que la encuesta no sea completamente efectiva constituye una ventaja inesperada, pues permite clasificar a todos los evaluados según su posición en la ordenación ideal a pesar de la simplicidad con la que ha sido planteada.

Además, conviene resaltar varios puntos interesantes:

El primero es que cualquier encuesta constituye un proceso complejo que exigirá técnicas de análisis complejas y que, por supuesto, no responderá exactamente a ninguno de los modelos incluidos en la tabla 1 del epígrafe 2. No obstante, parece razonable esperar que dichos modelos, aun habiendo sido desarrollados para situaciones idealizadas, puedan combinarse en la elaboración de un ejercicio sencillo (como por ejemplo el del epígrafe 3) que permita extraer conclusiones de utilidad práctica.

Por otro lado, cabe la posibilidad de que un porcentaje elevado de los evaluados tengan méritos muy similares, y en este caso, la encuesta dará lugar inevitablemente a resultados aleatorios a pesar de que se cumpla la hipótesis H2.2.

Finalmente cabe decir que el mayor mérito de este trabajo (si es que tiene alguno) ha sido el de mostrar que, mediante planteamientos simples de tipo heurístico, resulta posible introducir cierta racionalidad en ámbitos donde normalmente se funciona por pura intuición.

5. Referencias bibliográficas

- [1] Walpole R. y Myers R., 1986, Probabilidad y estadística para ingenieros, *Nueva Editorial Interamericana*.

ANEXO
INFORMACIÓN AUXILIAR REFERENTE AL PUNTO 2

A.1.- Valoración de la probabilidad P_U (para la opción ALFA)

Si se considera el experimento de elegir al azar un encuestado y observar si conoce o no a cierto evaluado elegido también al azar, es evidente que podrá repetirse un número de veces igual al producto de M por N (siendo M el número total de encuestados y N el de evaluados), y contabilizando el resultado obtenido en todos y cada uno de dichos experimentos podrán calcularse de forma inmediata los 4 conceptos siguientes:

$$P_{\alpha} = \frac{\alpha M_{\alpha}}{\sum_{\pi=0}^N \pi M_{\pi}} \quad (\text{A.1.1})$$

$$P_C = \frac{\sum_{\pi=0}^N \pi M_{\pi}}{MN} \quad (\text{A.1.2})$$

$$P_{\alpha B} = \frac{M_{\alpha}}{M} \quad (\text{A.1.3})$$

$$E = \frac{\sum_{\pi=0}^N \pi M_{\pi}}{M} \quad (\text{A.1.4})$$

En donde todos los símbolos son conocidos excepto los tres siguientes:

- M_{α} (número de encuestados que conocen exactamente a α evaluados).
- P_{α} (probabilidad de que el número de evaluados conocidos por un encuestado sea igual a α dado que conoce al evaluado del experimento).
- $P_{\alpha B}$ (probabilidad de que el número de evaluados conocidos por un encuestado elegido al azar sea igual a α).

Sustituyendo la expresión A.1.2 en la A.1.4 se obtiene el resultado siguiente:

$$E = NP_C \quad (\text{A.1.5})$$

Introduciendo ahora las ecuaciones A.1.2, A.1.3 y A.1.5 en la A.1.1 se obtiene lo siguiente:

$$P_{\alpha} = \frac{\alpha P_{\alpha B}}{E} \quad (\text{A.1.6})$$

Y usando esta última expresión, puede calcularse la probabilidad de que el número de evaluados conocidos por el encuestado sea igual o mayor a un cierto valor K (P_K):

$$P_K = \sum_{\pi=K}^N P_{\pi} \quad (\text{A.1.7})$$

Una vez establecida la expresión A.1.7, se llama la atención del lector sobre un tema importante: tomando P_C , N y K constantes, la variabilidad que pueda tener P_K será fruto exclusivamente de la variabilidad que exhiba la distribución de probabilidades $P_{\alpha\beta}$ correspondiente a la variable aleatoria α (número de evaluados conocidos por un encuestado elegido al azar).

En relación con la forma de la distribución de probabilidades arriba citada, una primera alternativa pasaría por suponer que los experimentos citados al inicio de este punto fuesen independientes, lo que llevaría a una distribución de tipo BINOMIAL (ver referencia [1]).

Introduciendo esta última en la ecuación A.1.7 se obtendría lo siguiente:

$$P_K = \sum_{\pi=K}^N \frac{\pi}{E} \left[\frac{N!}{\pi! (N - \pi)!} P_C^\pi (1 - P_C)^{N-\pi} \right] \quad (\text{A.1.8})$$

Al objeto de simplificar al máximo los desarrollos matemáticos (dada la naturaleza ilustrativa del trabajo) se optará por una alternativa más sencilla, la cual consistirá en aceptar la hipótesis H2.3bis.

Esto conduce a que todos los términos de la distribución de probabilidades sean nulos salvo el correspondiente a E , que sería igual a 1, y bajo estas circunstancias es fácil ver que la expresión A.1.7 se transformará en una función escalón tal y como la que aparece a continuación:

$$P_K = \begin{cases} 1 & \Leftrightarrow K \leq E \\ 0 & \Leftrightarrow K > E \end{cases} \quad (\text{A.1.9})$$

Teniendo ahora en cuenta que U no es constante (pues variará según sea el encuestado elegido), el uso de esta última expresión permitirá calcular P_U como el porcentaje de encuestados identificados con el sistema para los que $U \leq E$.

A.2.- Valoración de la probabilidad P_D (bajo la hipótesis H2.5)

Acudiendo de nuevo a los experimentos citados al inicio del epígrafe A.1, y tomando N igual a 4, resulta inmediato identificar cada una de las 6 posibles combinaciones de 4 elementos tomados de 2 en 2 y confeccionar la tabla A.1 (se asume que los encuestados han desechado a cualquier evaluado que no sea conocido con la suficiente profundidad como para ser juzgado ecuánimemente).

En relación con esta tabla, es importante comprender que si cada una de las 6 posibles combinaciones incluidas en la misma se repartiese de forma más o menos regular entre todos los encuestados (lo cual parece razonable al menos en una primera aproximación), el cálculo de probabilidades que se haga con los datos de dicha tabla será extrapolable a todo el conjunto de encuestados.

Tabla A.1.- Representación gráfica de las 6 combinaciones posibles para 4 evaluados (enumerados según la ordenación ideal) tomados de 2 en 2: las casillas con rombo indican los casos en que el encuestado conoce al evaluado.

	π	$\pi+1$	$\pi+2$	$\pi+3$	$\pi+4$	$\pi+5$
Evaluado n°1	<>	<>	<>			
Evaluado n°2	<>			<>	<>	
Evaluado n°3		<>		<>		<>
Evaluado n°4			<>		<>	<>

Si se tiene en cuenta ahora que cualquier encuestado identificado con el sistema debería ser capaz de juzgar a los evaluados que conoce en profundidad respetando la ordenación ideal (ver hipótesis H2.2), es evidente

que de lo que se tratará realmente será de calcular la probabilidad de que el evaluado nº X (según la ordenación ideal) sea el mejor de entre los conocidos por el encuestado.

Usando la tabla A.1 a los efectos arriba indicados, y extrapolando los resultados obtenidos a partir de la misma a todo el conjunto de encuestados, resulta inmediato establecer la siguiente casuística:

- El evaluado nº 1 resultará el mejor para 3 de cada 3 encuestados que lo conozcan, con lo que la probabilidad de obtener el voto será igual a 1.
- El evaluado nº 2 resultará el mejor para 2 de cada 3 encuestados que lo conozcan, con lo que la probabilidad de obtener el voto será igual a 2/3.
- El evaluado nº 3 resultará el mejor para 1 de cada 3 encuestados que lo conozcan, con lo que la probabilidad de obtener el voto será igual a 1/3.
- El evaluado nº 4 no resultará nunca el mejor para ninguno de los encuestados que lo conozcan, con lo que la probabilidad de obtener el voto será igual a 0.

Y si se elaboran tablas análogas a la A.1 para otros valores de N distintos (pero manteniendo el número medio de evaluados conocidos en profundidad igual a 2), es fácil colegir que la probabilidad buscada responderá a la expresión siguiente:

$$P_D = \frac{N - X}{N - 1} \quad (\text{A.2.1})$$

En donde X es el puesto de cada evaluado según la ordenación ideal.

«EQUIPOS» DE AYUDA AL «ATRAQUE» Y «AMARRE» DE LOS «BUQUES»

CC (CIA-ETO) D. RAÚL VILLA CARO

Ingeniero Naval y Oceánico / Capitán de la Marina Mercante
Doctor Ingeniero Naval y Oceánico por la Universidad de A Coruña
ICOFER

1. Introducción

El atraque y desatraque de buques son maniobras que entrañan mucho riesgo en el mundo naval, lo que explica el por qué la mayoría de los accidentes se producen en puertos. Por ello existen muchos factores que se deben tener en cuenta durante el transcurso de estas operaciones, tales como la presencia de buques en las inmediaciones, las condiciones meteorológicas, las estructuras del propio muelle, etcétera. Esta diversidad de factores implica que se trate de una maniobra compleja, que muchas veces exige auxilio de prácticos y remolcadores, lo que a su vez supone un gasto extra para la empresa armadora.

En el momento de atracar un buque existen numerosos elementos de seguridad que protegen tanto al buque como al muelle. Entre ellos se deben destacar las defensas, que se encargan de absorber la energía cinética provocada por el buque en el impacto inicial con el muelle, para que el atraque sea lo más seguro posible. De esta forma estos elementos pueden evitar cualquier tipo de daño. Pero cuando hablamos de buques de gran porte, el depender exclusivamente de estas defensas para absorber el impacto podría ser demasiado arriesgado, ya que en el caso de que la velocidad del barco fuera excesiva, las defensas podrían ser incapaces de absorber el exceso de energía provocado por el impacto, y producir daños, bien en el casco del buque o bien en el cantil del muelle. Por ello los sistemas de atraque y amarre de los buques, formados por dispositivos que hasta ahora habían evolucionado muy poco, hoy en día se están actualizando gracias a algunas empresas que están llevando a cabo innovaciones en las maniobras de aproximación del buque y posterior amarre, con la inclusión de novedosos sistemas automatizados de ayuda en estas maniobras.

Adicionalmente, cada año las empresas portuarias gastan mayores cantidades de dinero en la reparación de buques, defensas y otras instalaciones de atraque, dañados como consecuencia de los impactos recibidos durante las maniobras. Esto probablemente ocurra porque el atraque y amarre del buque sean las operaciones más peligrosas y dificultosas para el responsable del gobierno del buque, es decir, para su comandante o capitán. Por ello están surgiendo nuevos y revolucionarios sistemas de atraque y amarre que intentan finalizar con la «soledad» ante la que se enfrentaban los «encargados» de atracar los buques.



Figura 1. Buque atracado (Fuente: <www.prosertek.com>)

En consonancia con lo anteriormente descrito, se demuestra que cada vez juega un papel más importante la automatización en los buques, y en esa línea se están desarrollando herramientas que proporcionen al capitán información adicional para realizar las maniobras de atraque y amarre, de forma más eficaz. De esta forma se están diseñando y fabricando sistemas de asistencia al atraque consistentes en dispositivos láser dispuestos en estructuras verticales del muelle, dirigidos hacia los buques. Cada láser envía la información a través de un ordenador situado en tierra, que muestra a través de una gran pantalla la distancia a la que se encuentra el buque del muelle y su velocidad. La distancia es la medición más importante aportada, ya que en la mayoría de los buques se obtiene a «ojo mariner», por lo que son mediciones imprecisas y sujetas a fallos de factor humano. Y unida a esta automatización del atraque hoy en día nos encontramos con sistemas revolucionarios de amarre que incluso prescinden de las estachas.

2. Sistemas de ayuda al atraque «DAM»

Una vez que un buque de gran porte comienza la maniobra de atraque, generalmente auxiliado por sus hélices de maniobra en proa, se va situando paralelo al muelle, al tiempo que controla su velocidad, la cuál debe ser prácticamente nula cuando el buque se encuentre en su posición de atraque. Tras esta dificultosa y laboriosa maniobra, se dan las amarras correspondientes para afirmar al buque en su posición de atraque y amarre.

Para prevenir accidentes, y gracias a la tecnología láser, los sistemas de ayuda al atraque permiten controlar y facilitar las operaciones de acercamiento y atraque de los barcos, lo que a su vez proporciona lecturas de velocidad y distancia muy precisas. Estas lecturas se muestran en grandes paneles electrónicos en el propio muelle, para que el personal de a bordo pueda disponer de esta información. Todo el sistema de medición analiza los datos obtenidos por los sensores a través de un software propio y proporciona, además de los datos en tiempo real, avisos y alarmas in situ, en caso de prever peligro de colisión.

Para auxiliar en estas situaciones de dificultad, existe un sistema denominado «DAM», desarrollado por una compañía vizcaína del grupo Prosertek, llamada Kareletik, que permite monitorizar en los muelles de los puertos una serie de datos que pueden auxiliar en las maniobras de aproximación y atraque de los barcos. Estos nuevos datos son de gran utilidad para el capitán responsable de atracar el buque.

Entre las ventajas que se obtienen por el uso del sistema DAM, se podrían destacar las siguientes:

- Optimización y mejora de la eficiencia en las maniobras de atraque y desatraque, reduciendo posibles daños que pudieran aparecer en muelles, defensas y buques.
- Aumento de la seguridad y reducción de riesgos en las operaciones de atraque y desatraque.
- Posibilidad de realización de estadísticas y de almacenamiento de histórico de datos, para su análisis posterior.
- Cumplimiento de las normativas UNE-EN 1532 y UNE-EN 1472, relacionadas con el interfaz necesario, entre buque y tierra, para instalaciones de GNL (gas natural licuado).

Por todo lo anteriormente citado, el sistema DAM se ha convertido en uno de los sistemas de ayuda al atraque más avanzados y precisos, gracias a la utilización de tecnología láser que proporciona situaciones precisas e instantáneas que reducen los riesgos de accidentes. El DAM está dotado de una serie de sensores de medición (velocidad buque, distancia al muelle, tensión amarras, rendimiento defensas, velocidad y dirección del viento, etcétera), conectados a un software que analiza en tiempo real todas las variables posibles, con el fin de evitar accidentes en buques y en muelles de atraque. Este sistema permite que las operaciones de atraque y desatraque se lleven a cabo con mayor rapidez, y está dotado de una serie de alarmas de aviso. El sistema permite que este equipo sea capaz de monitorizar una serie de variables, referentes a la posición «in situ» del buque. Como ya se ha mencionado, los datos de los sensores de medición pueden ser observados desde el puente de gobierno del buque, o desde el propio muelle, a través de grandes paneles electrónicos instalados a tal efecto en los muelles. De esta forma los datos están disponibles para las tripulaciones y para los operarios de los muelles.



Figura 2. Paneles del DAM indicando distancia al muelle y velocidades en proa y popa del buque
(Fuente: <www.prosertek.com>)

3. ¿Qué es el BAS?

Se trata de un software desarrollado por Prosertek (software Dockmoor) gracias al cual se ha obtenido uno de los sistemas de ayuda al atraque más avanzados dentro de los existentes en el mercado. Este sistema permite monitorizar las operaciones de atraque y amarre en las terminales marítimas, proporcionando información que permite mejorar y garantizar la posición de atraque del buque. Este sistema permite la obtención de maniobras más seguras y efectivas. El «BAS» es un sistema integral que proporciona datos del estado de la maniobra en tiempo real. De esta forma los operadores disponen de mayor información, existiendo la posibilidad de que puedan tomar medidas correctoras si se exceden los límites prefijados. La información que este software proporciona puede ser visualizada a través de plataformas, tales como un panel digital dispuesto en el muelle, monitores portátiles remotos (incluso Smart-phones), monitores en puente de gobierno, o vía web.

Esta aplicación se fundamenta en los siguientes módulos:

- Dockmoor control: cerebro del sistema que recoge la información y la transforma en datos.
- Dockmoor viewer: interface software que monitoriza los datos del atraque en tiempo real y configura el sistema de alarmas del buque.
- Dockmoor web: servidor web que permite el acceso mediante explorador web a través de internet.
- Base de datos: almacén donde se almacenan los datos y la configuración del sistema.
- Hardware: servidor, tarjetas de comunicación, puestos de control, unidades portátiles, sensores y equipos de medida.

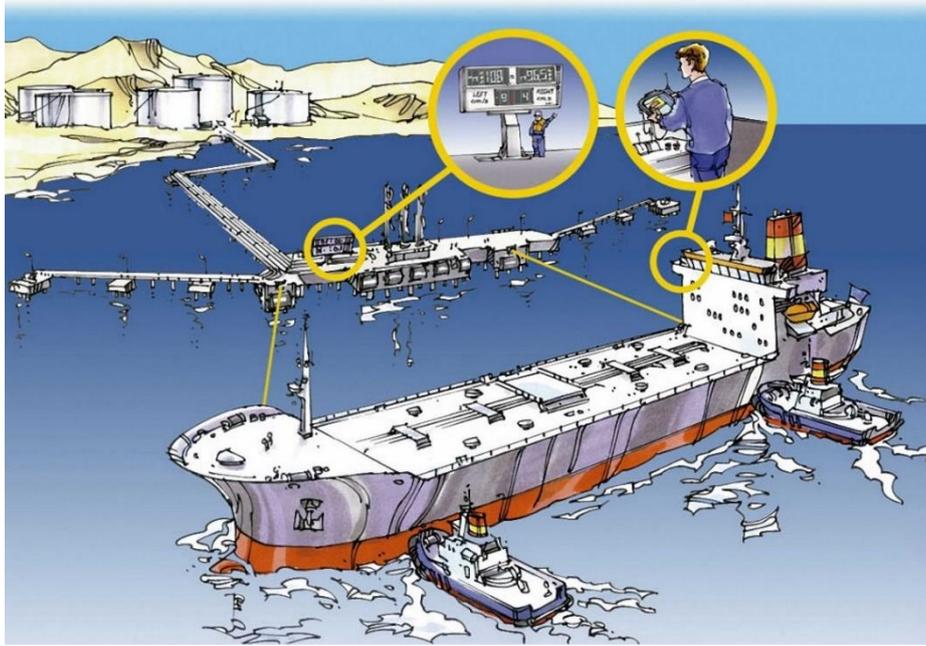


Figura 3. PC's software DAM (Fuente: <www.prosertek.com>)

4. Ventajas derivadas de la utilización del sistema DAM

Aunque ya se han comentado, de forma general, las ventajas principales de este sistema, se podrían añadir las siguientes:

- Incremento del control de la seguridad y de la protección de las estructuras.
- Reducción de costes referentes a daños en muelles, defensas y buques, gracias a la reducción del número de siniestros.
- Monitorización en tiempo real, registro de datos, informes, reproducciones e históricos.
- Contribución a una navegación más segura.
- Mayor eficiencia en el transporte marítimo.
- Aprovechamiento de un sistema de gestión de la información que ofrece información en tiempo real al personal del puente y a los operarios del puerto.
- Medición de alta precisión con tecnología láser.
- Análisis inteligente en tiempo real de las múltiples variables que confluyen en un atraque.
- Información «in situ» en tiempo real tanto en el muelle como en el buque.
- En definitiva, mayor seguridad para el barco, el muelle y el medio ambiente.

5. Monitorización del atraque y desatraque

Por medio de la monitorización se puede llevar a cabo la medición de la distancia, de la velocidad de proa y popa del buque, así como del ángulo formado por el barco respecto a la línea de defensas. La monitorización se efectúa en tiempo real, reproduciendo a escala una imagen del muelle y del buque, mientras que los datos de la aproximación y alejamiento del buque respecto al muelle se representan de forma numérica y gráfica. También se puede ver en los monitores el comportamiento de las defensas, así como los datos de energía y reacción a que están sometidas.

El sistema consta de dos sensores láser, un servidor/PC central con monitor y varias opciones de visualización de datos. El práctico y operadores del buque interpretan los datos recibidos para actuar en consecuencia, permitiendo de esta forma un atraque efectivo y seguro.



Figura 4. Monitorización atraque (Fuente: www.prosertek.com)

6. Sistemas revolucionarios de amarre y defensas

Una vez se tiene al buque en el lugar exacto de atraque, existen ganchos de amarre que pueden medir la tensión de las líneas de amarre, gracias a un sensor de carga del que disponen. Los datos medidos por estos sensores son transferidos a un ordenador central situado en el muelle, que permite las lecturas. Este tipo de ganchos se pueden observar en la derecha de la figura 1 de la introducción de este artículo.

El sistema más revolucionario de amarre existente, no es otro que aquel que no utiliza «amarras» para la maniobra. Y es que aunque no lo parezca, esta operación técnicamente es posible si se consigue trincar el buque al muelle con algún tipo de dispositivo, aunque este no disponga de amarras. Y entre esos sistemas, en estos últimos años destaca el sistema de amarre por vacío. Este sistema representa un salto importante en la tradición del amarre, ya que no exige instalaciones específicas en el barco y permite la adhesión directa del muelle a la mayoría de los cascos de los buques. El modelo, de cara al muelle, tiene la gran ventaja del almacenamiento retráctil (recogido), cuando no está en uso. Esto permite al equipo el poder permanecer detrás de la línea de defensas para resguardarse del impacto inicial, durante el acercamiento previo al atraque. Cuando se activa el sistema, la estructura de soporte de la ventosa se extiende hacia el exterior y la conexión de amarre por vacío se afirma en escasos treinta segundos. Este sistema está diseñado para usarse en a la mayoría de los buques y cuenta con varias características importantes que incluyen:

- Actuación en tres grados de libertad.
- Posicionamiento de Buques.
- Control mediante monitorización en tiempo real a través de redes informáticas, y registro de los datos obtenidos.

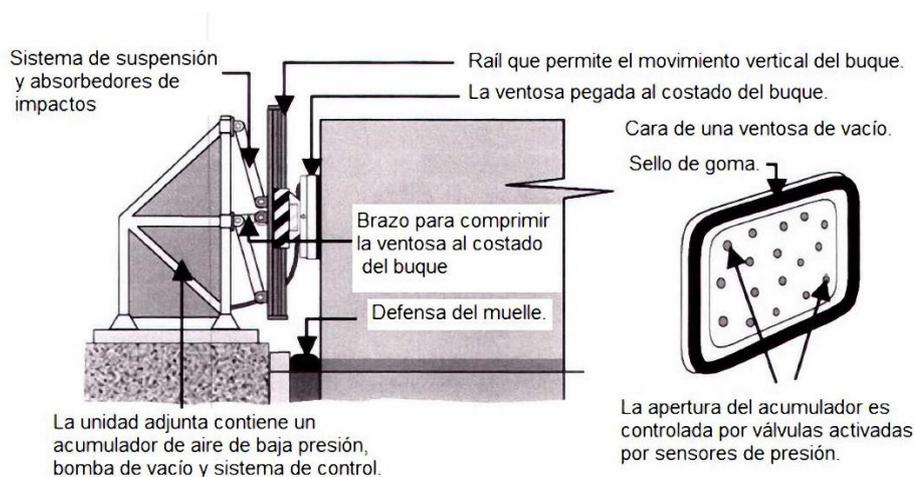


Figura 5. Dispositivo de amarre por vacío (Fuente: Cavotec)

Los sensores de estos sistemas miden continuamente la carga en las ventosas mientras estas se encuentran sujetas al buque, por lo que el sistema puede ser monitorizado y operado a distancia, desde un ordenador situado en el puente de mando y en la sala de control del puerto.

Las ventajas que puede aportar este nuevo sistema de amarre son las siguientes:

- Reducción del número de accidentes acaecidos en las maniobras por ruptura de las estachas, lo que conlleva una reducción de los accidentes del personal.
- Incremento de la velocidad de las operaciones de atraque y desatraque, lo que supone un ahorro de tiempos en las operaciones de carga y descarga.
- Mejora de la maniobrabilidad del buque mientras se realiza el atraque.
- Versatilidad en lo referente a la instalación en muelles.
- Posibilidad de control de las tensiones existentes en las estachas.
- Reducción del tiempo necesario de uso de remolcadores y prácticos.
- Reducción del tiempo de funcionamiento de la propulsión del buque y de los remolcadores, lo que implica menores emisiones contaminantes en los puertos.

7. Bibliografía

- Carral Couce J., Carral Couce L., Fraguela Formoso, J, Villa Caro R., 2015. Anchor Windlasses, a design proposal to standardise regulations, International Journal of Maritime Engineering (RINA Transactions Part A).
- Carral Couce J., Carral Couce L., Fraguela Formoso, J, Villa Caro R., 2015. Standardising the design and production of mooring winches through more cohesive regulations: a necessary step, International Journal of Maritime Engineering (RINA Transactions Part A).
- EXPONAV. (24 de noviembre de 2017). "SISTEMAS" de ayuda al "ATRAQUE" de los "BUQUES". Obtenido de <http://www.exponav.org/sistemas-de-ayuda-al-atraque-de-los-buques/>
- Prosertek. (9 de junio de 2016). Sistemas de asistencia al atraque: un plus de seguridad. Obtenido de <https://prosertek.com/es/blog/sistemas-asistencia-al-atraque-plus-seguridad/>
- Villa-Caro, R., Carral, J.C., Fraguela, J.Á., López, M., Carral, L. (2018). A REVIEW OF SHIP MOORING SYSTEMS. Brodogradnja: Teorija i praksa brodogradnje i pomorske tehnike, 69(1). DOI: 10.21278/brod69108
- Villa-Caro R., 2014. Revolución en los sistemas de amarre de los buques, Revista General de Marina num. Abril pp. 475-490
- Villa-Caro R., 2015. Sistemas de amarre en buques: situación actual y evolución futura. RUC Universidade da Coruña (<<http://hdl.handle.net/2183/14759>>)
- Villa Caro, R., Carral, L., & Fraguela, J. (2014). Estudio de viabilidad técnica para la implantación de novedosos sistemas de amarre en buques en el puerto de Ferrol (España). II Congreso Panamericano de Ingeniería Marítima, Portuaria y Naval (CIMYN) y I Congreso de Corrosión. Panamá: IPIN. DOI:10.13140/2.1.3864.5443

TELECOMUNICACIÓN SUBMARINA: ANÁLISIS DE UN CANAL ACÚSTICO SUPERFICIAL

D. VICENTE GALLEGO MUÑOZ

Doctor Ingeniero Armas Navales por la ETSIAN
ISDEFE

1. Introducción

El actual desarrollo de las comunicaciones inalámbricas constituye uno de los ejes sobre los que se apoya la rápida evolución de las sociedades del siglo XXI. Prácticamente la totalidad de los modernos sistemas de comunicaciones utilizan como soporte y como canal de transmisión, respectivamente, las ondas electromagnéticas (ondas EM en adelante) y el medio atmosférico. Existe una excepción frente a esta norma general: los sistemas de comunicación submarinos [1,2]. Las ondas EM se atenúan con rapidez en el agua del mar, debido a su elevada conductividad, con un coeficiente de absorción aproximado dado por [3] $\alpha_{dB} = 1400 \cdot (f(\text{kHz}))^{1/2}$, dB/km., en donde f es la frecuencia. Esto hace que no sea posible la utilización de ondas EM más allá de unos pocos metros. En los últimos años se han propuesto técnicas alternativas [4], con el objeto de crear un sistema «wifi» submarino, por medio de ondas de luz coherente (láser visible) o utilizando ondas de radiofrecuencia. Sin embargo, el sonido submarino sigue siendo el soporte casi exclusivo de los cada vez más sofisticados sistemas de transmisión de datos en redes submarinas.

Para superar las difíciles condiciones ambientales del canal submarino, ya muy conocidas en el campo del sonar, se emplean métodos de modulación digital con distintos niveles de complejidad [5,6,7,8]. Entre otros, se tiene la modulación en fase de la portadora (PSK), con sus diferentes modalidades, modulación binaria por desplazamiento de fase de portadora (BPSK) o la modulación en cuadratura de la fase de portadora (QPSK); modulación de amplitud en cuadratura, (QAM), en la que se codifican tanto la amplitud como la fase de la portadora y la modulación por desplazamiento en frecuencia (FSK), que utiliza dos o más frecuencias diferentes para cada símbolo.

En este trabajo se estudia la evolución del módulo de la función de transferencia de un canal submarino específico en función de la frecuencia de la señal acústica. Se analiza la influencia de diferentes parámetros representativos de dicho canal sobre la banda óptima de frecuencias acústicas para disponer de un enlace submarino lo más fiable y robusto posible entre dos nodos que operan en cotas cercanas a la superficie del mar. El artículo se centra en la influencia dicha superficie sobre las características de este canal de comunicación. Por ahora no se tiene en cuenta la influencia del fondo pues se considera que la necesidad de comunicación se presenta en un entorno de aguas muy profundas. La dimensión horizontal del canal de comunicaciones es por tanto comparable con la dimensión vertical del escenario acústico submarino. En un trabajo posterior se ampliará el análisis para un escenario de aguas superficiales con inclusión de tipos de fondo específicos.

El lector puede pensar en aplicaciones ya clásicas, tales como comunicaciones entre buques de superficie y buques submarinos de gran tamaño, pero es interesante plantear la necesidad de enlaces de comunicaciones entre un buque nodriza y un vehículo autónomo, no tripulado y de pequeño tamaño, tanto de superficie como submarino, los cuales estarán cada vez más presentes en el futuro de las operaciones submarinas. Como es obvio, también se pueden considerar comunicaciones entre dos de estas plataformas no tripuladas. Con el objeto de extender demasiado el análisis no se definen niveles de fuente específicos para el proyector de señal (SL, expresión en dB de la potencia de salida de una fuente submarina en el argot del sonar). Por tanto, no se considerará en detalle el ruido ambiental presente en el canal, pues sólo sería útil para determinar la razón de potencias (Señal/Ruido) específica en la ubicación del hidrófono receptor. Como ya se ha citado, el análisis se centra en la determinación de la banda de frecuencias óptima en cuanto a la transmisión de señal. Para tener en cuenta la influencia del ruido ambiental sobre dicha banda óptima será suficiente recordar las características del ruido submarino esperable en una zona de aguas profundas. En el rango de frecuencias considerado aquí, entre 100Hz y 20kHz, el ruido ambiental estará dominado por el ruido generado en la superficie del mar [9]. Los espectros de Knudsen [9,10,11], presentan el nivel espectral de ruido

para cada frecuencia, y para todos los estados de la mar. Como valores representativos se tienen: para $S=0$, $NL_e = 50 \text{ dB re. } 1\mu\text{Pa}/\sqrt{\text{Hz}}$ en $f = 300\text{Hz}$, para $S=6$, $NL_e = 75 \text{ dB re. } 1\mu\text{Pa}/\sqrt{\text{Hz}}$ en $f = 400\text{Hz}$. A partir de estos valores máximos el nivel desciende a razón de -17dB/década si aumenta la frecuencia. Para frecuencias más bajas, hasta 100Hz , el nivel desciende 2dB en el primer caso y 5dB en el segundo.

2. Modelo acústico para el canal de transmisión submarina

En la Fig.1 se representa de forma esquemática el canal de comunicaciones que se desea analizar. Se supone que el proyector acústico es una fuente esférica que emite una señal armónica de frecuencia $\omega = 2\pi f$. Esta onda de sonido puede llegar al receptor por dos caminos diferentes, uno directo, cuya longitud se denomina R_1 , y otro indirecto, que incluye una reflexión agua-aire en la superficie del mar con el consiguiente cambio de fase de 180° para la onda de presión acústica [9]; la longitud recorrida en este segundo camino es R_2 .

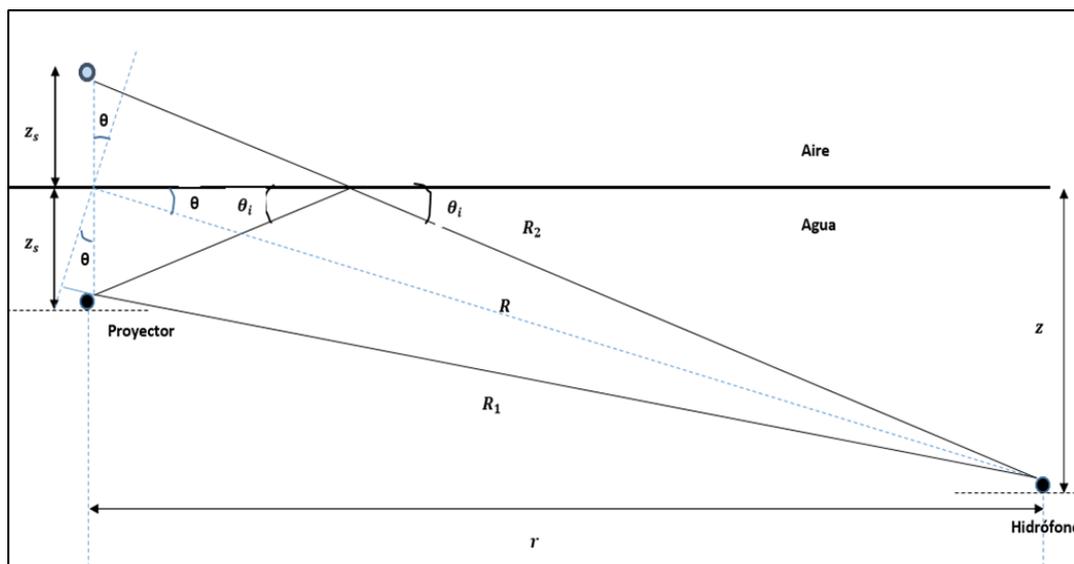


Figura 1. Trayectorias acústicas aproximadas en el canal. Velocidad del sonido constante

Magnitudes

El canal se considera útil siempre que su longitud sea lo suficientemente grande como para presentar un interés práctico real. Además, sus dos nodos (proyector fuente e hidrófono receptor) se suponen ubicados en profundidades accesibles, en relación con las tecnologías actualmente disponibles. La profundidad de la fuente es z_s , la profundidad del receptor es z y el alcance horizontal es r .

Estado de la superficie

Un factor determinante es el estado de la superficie del mar, influido por las condiciones meteorológicas, fundamentalmente por viento. La relación de magnitud entre la altura de las olas y la longitud de onda acústica determinará si la superficie del mar se comporta como un reflector de sonido (superficie horizontal) o como un dispersor de sonido (superficie rugosa). En el primer caso se tiene que el ángulo de incidencia y el de reflexión tienen el mismo valor, θ_i en la Fig. 1 y el sonido sigue una trayectoria fácilmente predecible a partir del ángulo de salida desde el proyector. En el segundo caso, la intensidad acústica se dispersa en todas direcciones después de incidir sobre la superficie.

En general se utiliza el criterio de Rayleigh para distinguir entre los dos posibles estados de la superficie. Si se cumple la desigualdad $\lambda/4 > kh_{rms}\text{sen}\theta_i$, la superficie del mar ya no se considera horizontal y debe

tenerse en cuenta la modificación del campo acústico debido al fenómeno de dispersión. El factor que cuantifica la porción de sonido reflejado de modo coherente en la dirección especular cuando existe dispersión viene dado por la expresión [10]:

$$\mu(\theta_i) = e^{-2(kh_{rms}\sin\theta_i)^2} \quad [1]$$

En donde $k = 2\pi f/c$ es el número de onda para la frecuencia acústica de trabajo f , en m^{-1} ; c es la velocidad del sonido en el agua en m/s ; h_{rms} es el valor eficaz de la altura de las olas en la superficie en m ; $\lambda = c/f$, es la longitud de onda acústica en m ; θ_i es el ángulo rasante de incidencia sobre la superficie del mar, expresado en radianes.

Absorción de potencia acústica por el agua del mar

La absorción de la energía acústica bajo el agua depende fuertemente de la frecuencia. Como aquí se trata de determinar la banda de frecuencia óptima del canal submarino, es fundamental cuantificar dicha absorción. Para ello se utiliza esta expresión [10]

$$\alpha = \left(\frac{8 \cdot 10^{-5}}{0.9 + f^2} + \frac{0.03}{3000 + f^2} + 4 \cdot 10^{-7} \right) \cdot \frac{f^2}{8.686}, \text{ dB/km} \quad [2]$$

En donde f es la frecuencia acústica de la señal en kHz

Dimensión del proyector

Se considera puntual y que genera una señal acústica que incide sobre la superficie en forma de ondas prácticamente esféricas. Para que esta suposición sea válida debe cumplirse la relación $z_s \gg (a^2/c) \cdot f$, siendo a es el radio de una fuente esférica ideal [9]. Por ejemplo, para una señal con $f = 20\text{kHz}$ y una fuente de radio $a = 25\text{cm}$, la profundidad mínima a la que se deberá situar para que la onda emitida sea cuasi esférica en la superficie será de $z_s = 0.83\text{m}$; para $f = 100\text{Hz}$ y $a = 5\text{m}$, $z_s = 1,67\text{m}$ (tomando $c = 1500\text{m/s}$).

Determinación de los parámetros de las trayectorias

Una vez determinadas las ubicaciones de los dos transductores en el canal, con los datos de sus cotas respectivas, z_s y z , así como la distancia horizontal r de separación entre ellos, es preciso calcular los parámetros de las trayectorias reales correspondientes a los recorridos R_1 y R_2 de la Fig. 1. En los libros de texto sobre acústica submarina [9,11], se aborda el problema partiendo de una geometría como la planteada en dicha figura, trayectorias rectas convergentes en el receptor que se aproximan después por dos rectas paralelas para calcular la diferencia de camino recorrido por el sonido. Es el clásico problema de la fuente imagen, con un modelo del campo acústico basado en el caso ideal de c constante y superficie horizontal con $h = 0$. En este artículo se presenta un tratamiento algo más realista que tiene en cuenta el gradiente de la velocidad del sonido con la profundidad; entonces el sonido no se propaga en líneas rectas y debe recurrirse al cálculo de trayectorias del modelo de propagación por rayos o de acústica geométrica [9,10,11,12]. Las expresiones analíticas de este modelo relacionan la profundidad y el alcance horizontal con el ángulo de la trayectoria en cada punto. En la Fig.2 se ilustran las diferentes curvaturas de las trayectorias reales del sonido, en función del signo del gradiente de la velocidad de éste, c , con la profundidad. Se ha exagerado dicha curvatura para facilitar su visualización. En concreto, para la trayectoria correspondiente al recorrido R_1 son de aplicación las expresiones siguientes [12]:

$$r = -R_0 \cdot (\text{sen}\theta_{11} - \text{sen}\theta_{12}) \quad [3]$$

$$z - z_s = -R_0 \cdot (\cos\theta_{12} - \cos\theta_{11}) \quad [4]$$

$$R_1 = -R_0 \cdot (\theta_{11} - \theta_{12}) \quad [5]$$

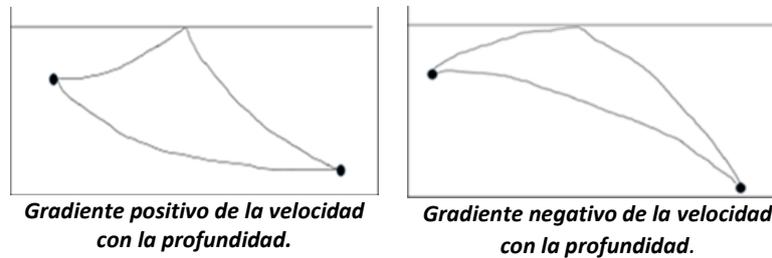


Figura 2. Trayectorias acústicas reales dentro del canal.

En donde θ_{11} es el ángulo descendente de salida para el rayo de sonido que desde el proyector llegará directamente hasta el receptor. El ángulo θ_{12} es el ángulo de llegada al hidrófono de este mismo rayo. r es el alcance horizontal entre ambos transductores y $(z - z_s)$ es la diferencia entre la cota del hidrófono y la cota del proyector. El parámetro R_1 representa la longitud del arco de circunferencia recorrido por el sonido en su trayectoria real. R_0 es el radio de curvatura de dicha trayectoria, dado por la expresión aproximada

$$R_0 = -\frac{c_0}{g \cos\theta_0} \cong -\frac{c_0}{g} \quad [6]$$

El parámetro g representa el gradiente de la velocidad del sonido ($g > 0$ si c aumenta con la profundidad, $g < 0$ si c disminuye con la profundidad). c_0 es la velocidad del sonido en un punto de referencia para la trayectoria (normalmente el punto inicial) y θ_0 es el ángulo de la trayectoria en ese mismo punto. Se ha optado por aproximar el coseno de este ángulo por la unidad ya que la dimensión horizontal del canal será en cualquier caso de mucha mayor magnitud que su dimensión vertical y los ángulos implicados tendrán valores muy pequeños.

Para la trayectoria denominada R_2 se trata primero el caso de la parte ascendente desde la fuente hasta la superficie, por medio de las ecuaciones

$$r_a = -R_0 \cdot (\text{sen}\theta_{1a} - \text{sen}\theta_{2a}) \quad [7]$$

$$z_s = -R_0 \cdot (\cos\theta_{2a} - \cos\theta_{1a}) \quad [8]$$

$$R_a = -R_0 \cdot (\theta_{1a} - \theta_{2a}) \quad [9]$$

En donde θ_{1a} es el ángulo ascendente desde el proyector y θ_{2a} es el ángulo de incidencia sobre la superficie; r_a y z_s son, respectivamente, la distancia horizontal y la diferencia de profundidad entre ambos puntos. El parámetro R_a representa la longitud del arco de circunferencia recorrido. La trayectoria descendente desde la superficie hasta el receptor queda determinada a su vez por

$$r_b = -R_0 \cdot (\text{sen}\theta_{1b} - \text{sen}\theta_{2b}) \quad [10]$$

$$z = -R_0 \cdot (\cos\theta_{2b} - \cos\theta_{1b}) \quad [11]$$

$$R_b = -R_0 \cdot (\theta_b - \theta_{2b}) \quad [12]$$

En donde θ_{1b} es el ángulo descendente desde la superficie y θ_{2b} es el ángulo de llegada al receptor; r_b y z son, respectivamente, la distancia horizontal y la diferencia de profundidad entre ambos puntos. El parámetro R_b representa la longitud del arco de circunferencia recorrido. La longitud de la trayectoria R_2 viene dada por

$$R_2 = R_a + R_b \quad [13]$$

En total se contabilizan 10 ecuaciones con 12 incógnitas. El sistema de ecuaciones a resolver se completa con las dos expresiones

$$r = r_a + r_b \quad [14]$$

$$\theta_{2a} = \theta_b = \theta_i \quad [15]$$

Llegados a este punto es preciso resolver el sistema de ecuaciones para determinar los parámetros geométricos de las trayectorias del sonido. Se pueden seguir dos estrategias para ello. Dadas las magnitudes esperables de los radios de curvatura (muy grandes) y de los ángulos de propagación respecto a la horizontal (muy pequeños) se puede optar por aproximar las funciones trigonométricas por su desarrollo en serie de Taylor y resolver el sistema de ecuaciones resultante o bien resolver el sistema tal como está e introducir la aproximación $z_s, z \ll R_0$ en el desarrollo de la Ec. [15], de la cual se extraen los valores de r_a y de r_b . Se ha comprobado que la solución obtenida es más precisa si se elige la segunda posibilidad y por tanto es la que se ha elegido.

A partir de las Ecs. [3] y [4] se obtienen los valores para los ángulos θ_{11} y θ_{12}

$$\theta_{11} = a \sin \left(\sqrt{r^2 / 4R_0^2 + (z - z_s)^2 / \beta R_0^2} - \beta / 4 - r / 2R_0 \right) \quad [16]$$

$$\theta_{12} = a \sin \left(\sqrt{r^2 / 4R_0^2 + (z - z_s)^2 / \beta R_0^2} - \beta / 4 + r / 2R_0 \right) \quad [17]$$

Del mismo modo, a partir de las Ecs. [7], [8], [10], [11], [14] y [15] se obtienen:

$$r_a = z_s / (z + z_s) \quad [18]$$

$$r_b = z / (z + z_s) \quad [19]$$

$$\theta_{1a} = a \sin \left(\sqrt{r_a^2 / 4R_0^2 + z_s^2 / \beta_a R_0^2} - \beta_a / 4 - r_a / 2R_0 \right) \quad [20]$$

$$\theta_{2a} = a \sin \left(\sqrt{r_a^2 / 4R_0^2 + z_s^2 / \beta_a R_0^2} - \beta_a / 4 + r_a / 2R_0 \right) \quad [21]$$

$$\theta_b = a \sin \left(\sqrt{r_b^2 / 4R_0^2 + z^2 / \beta_b R_0^2} - \beta_b / 4 - r_b / 2R_0 \right) \quad [22]$$

$$\theta_{2b} = a \sin \left(\sqrt{r_b^2 / 4R_0^2 + z^2 / \beta_b R_0^2} - \beta_b / 4 + r_b / 2R_0 \right) \quad [23]$$

Expresión analítica para el campo acústico

Finalmente, si se tienen en cuenta todos los puntos anteriores, se pueden escribir las expresiones analíticas para las dos ondas armónicas que se superponen en el receptor como [9,10,11]:

$$p_1(r, z_s, z, t) = j\omega\rho \frac{S_\omega e^{jka}}{(1+jka)} \frac{e^{-jkR_1}}{4\pi R_1} e^{-\alpha(f)r} e^{j\omega t} \quad [24]$$

$$p_2(r, z_s, z, t) = -\mu(\theta_i) j\omega\rho \frac{S_\omega e^{jka}}{(1+jka)} \frac{e^{-jkR_2}}{4\pi R_2} e^{-\alpha(f)r} e^{j\omega t} \quad [25]$$

En las expresiones anteriores se ha empleado una fórmula específica para la magnitud de salida de la presión en una fuente esférica ideal de radio a , que incluye el parámetro velocidad volumétrica de fuente para una frecuencia dada, $S_\omega = 4\pi a^2 V_0$, en donde V_0 es la amplitud de la velocidad de vibración de la superficie esférica de la fuente (considerada como fuente mono-polar. Como ya se ha mencionado más arriba, el coeficiente de reflexión aplicable a la superficie del mar es $R(\theta_i) \cong -1$ y se incluye también el factor de dispersión $\mu(\theta_i)$ para tener en cuenta el efecto de la rugosidad de la superficie, así como el coeficiente de absorción $\alpha(f)$.

3. Análisis de dos casos prácticos

Variables y parámetros considerados en el proceso

En este apartado se analizan dos casos para el canal de comunicaciones submarino. En el Caso I, el proyector se sitúa a 10 m de profundidad y el hidrófono receptor a 5 m de profundidad. La distancia horizontal entre ambos es de 2 km. En el Caso II, el receptor se sitúa a 150 m de profundidad y la distancia horizontal con el proyector es de 500 m. Como puede apreciarse, a pesar de que las dos situaciones pueden definirse como un canal superficial ya que se sitúan en una zona de aguas muy profundas, el Caso I representa un canal más «horizontal», muy cercano a la superficie mientras que el canal II es un enlace acústico más «vertical», con el receptor alejado de la superficie. El objetivo es efectuar una comparativa de estas dos geometrías para verificar el rendimiento de los dos canales en términos de frecuencia.

El análisis se hará por medio de simulación numérica con las ecuaciones presentadas anteriormente. La magnitud dependiente que se analiza es la función de transferencia del canal, esto es, la evolución del módulo del campo de presión acústica en el hidrófono, con la frecuencia como variable independiente. Como es habitual en acústica submarina, la función de transferencia se presentará en dB, de acuerdo con la expresión

$$TL = -20 \cdot \log_{10} \left(\frac{|P_1(f) + P_2(f)|}{|P_0|} \right) \quad [25]$$

En donde P_0 representa la presión acústica de salida en el proyector cuasi-puntual y esférico, y viene dada, a partir de las Ecs. [23] y [24] por la expresión:

$$P_0 = j\omega\rho \frac{S_\omega}{(1+jka)} \cdot e^{jka} \quad [26]$$

Como parámetros cuya influencia sobre la respuesta del canal interesa evaluar se han elegido los siguientes:

- Alcance horizontal: $r = 500m, 2000m$ y $4000m$.
- Diferencia de profundidad entre proyector e hidrófono:
 - Caso I: $z_s = 10m, z = 20m$ y $z_s = 10m, z = 5m$.

- Caso II: $z_s = 10m, z = 125m; z_s = 10m, z = 150m$ y $z_s = 10m, z = 175m$.
- Altura de las olas en la superficie: $h = 0.25m, 1m, 2m$ y $2.5m$
- Gradiente de c en la capa superficial de la columna de agua:
 - $g = 0.017s^{-1}, g = 0.00s^{-1}$ y $g = -0.05s^{-1}$

Metodología del análisis

Se representa la evolución con la frecuencia de la función de transferencia del canal: para cada caso se muestran 4 gráficas, cada una de ellas correspondiente a uno de los parámetros enumerados en el punto anterior. En ellas se añade, a efectos de comparación (salvo en el caso del parámetro distancia) la función de transferencia equivalente para un canal acústico en campo libre, con propagación esférica ideal, según la ecuación:

$$TL_{ref} = -20 \cdot \log_{10}(|P_1(f)/P_0|) \quad [27]$$

Finalmente se presenta una gráfica comparativa de la función de transferencia para las dos configuraciones "estándar" de los dos casos considerados, para dos alcances diferentes: $r = 500m$ y $r = 2000m$.

Resultados

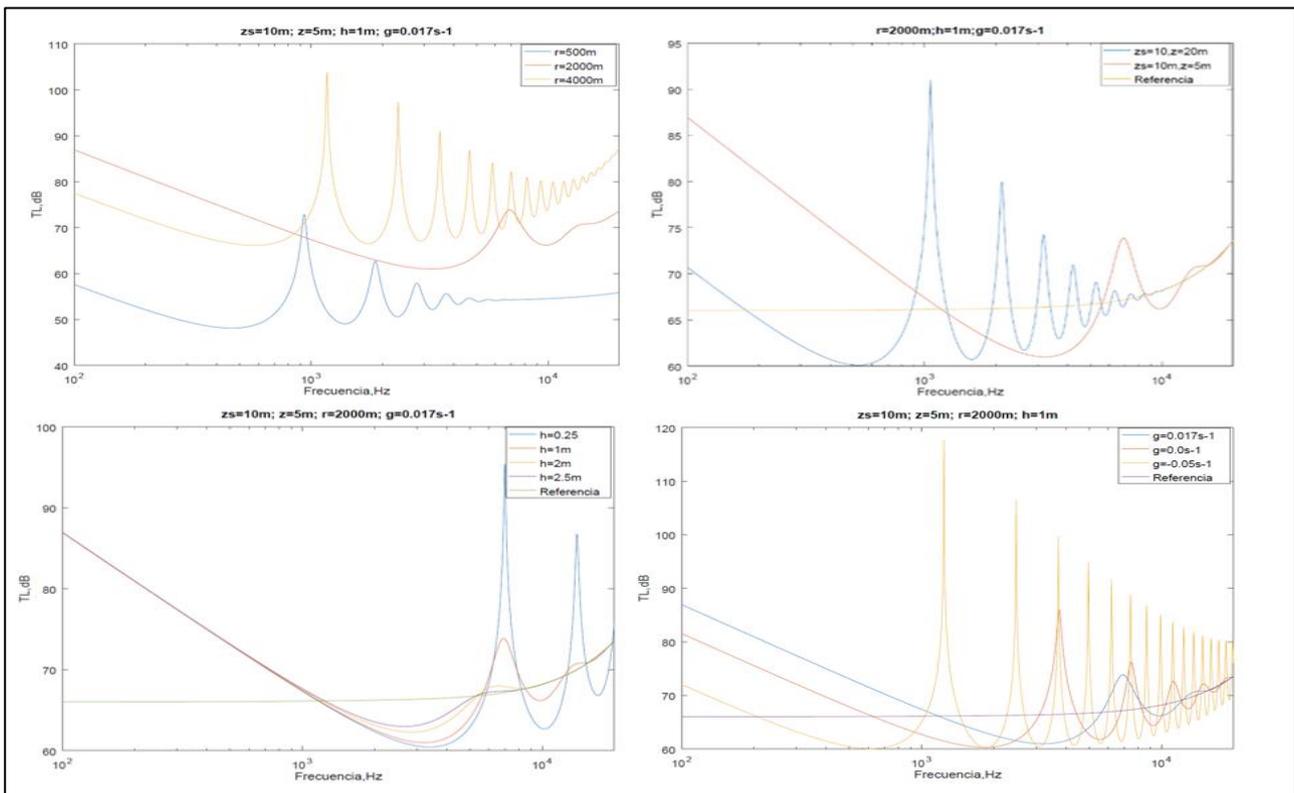


Fig. 3. Función de transferencia del canal. Análisis paramétrico del Caso I:

Sup. Izq.: Alcance horizontal.

Sup. Dcha.: Cotas de profundidad de proyector y receptor.

Inf. Izq.: Altura media de las olas de la superficie;

Inf. Dcha: gradiente de c con la profundidad.

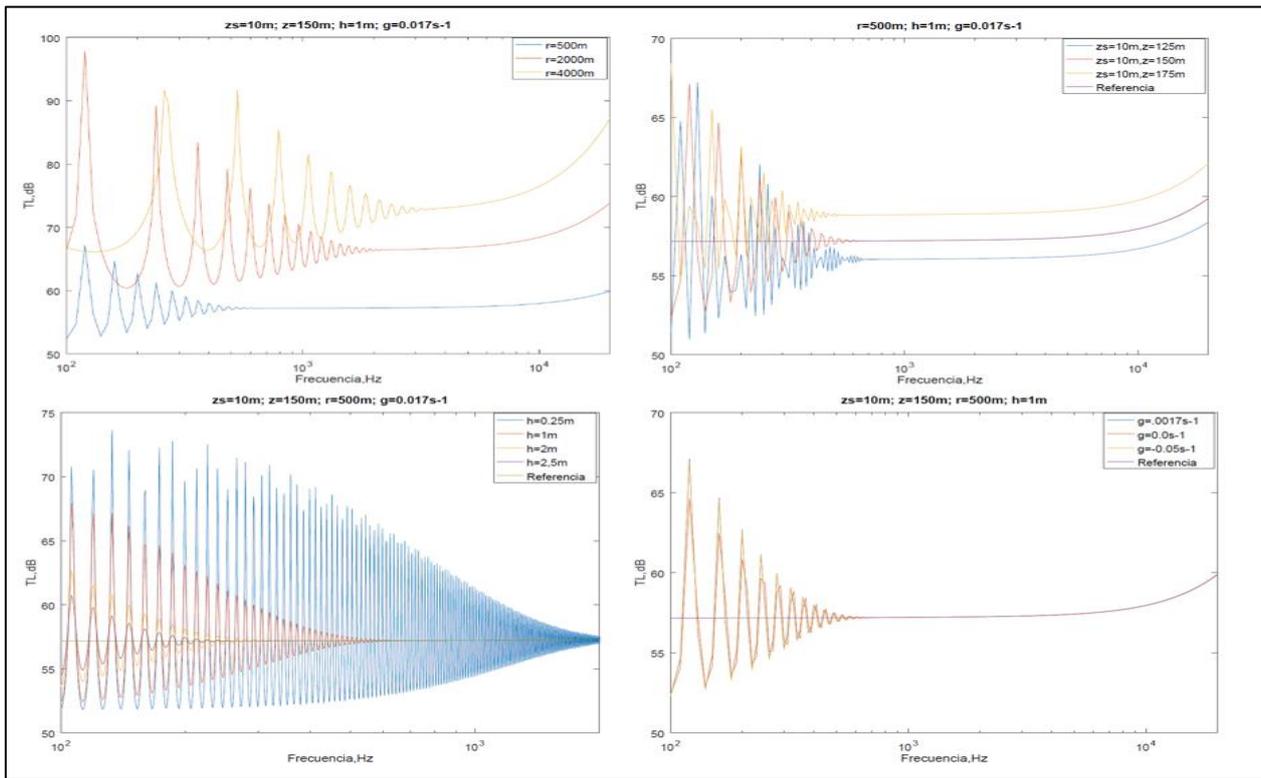


Fig. 4. Función de transferencia del canal. Análisis paramétrico del Caso II:
 Sup. Izq.: Alcance horizontal.
 Sup. Dcha.: Cotas de profundidad de proyector y receptor.
 Inf. Izq.: Altura media de las olas de la superficie.
 Inf. Dcha.: gradiente de c con la profundidad.

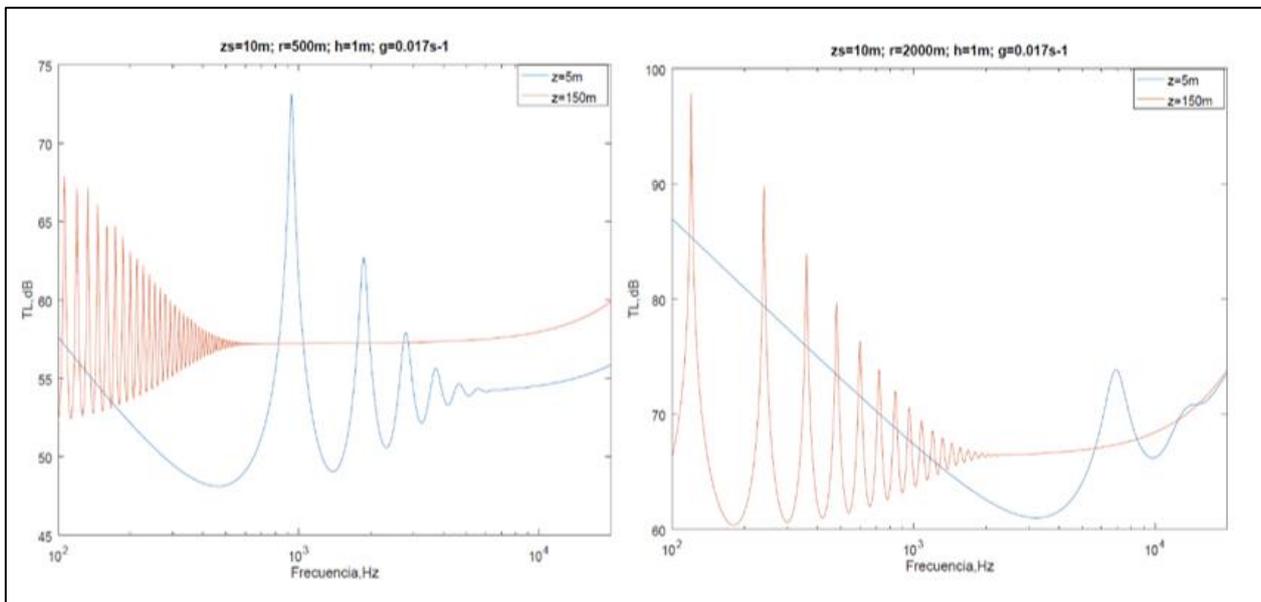


Fig. 5. Función de transferencia del canal. Comparación de Casos I y II. Izq. $r=500m$; dcha, $r=2000m$

Comentarios

En las gráficas citadas se presenta el nivel de pérdidas del canal en función de la frecuencia. También se compara dicho nivel con el equivalente para el caso de propagación esférica en campo libre. Es evidente que cuanto menor sea la altura de la gráfica, mejor será la transmisión acústica a través del canal. Particularmente interesantes son las situaciones en las que las pérdidas quedan por debajo de las correspondientes al caso de campo libre. En estas regiones espectrales, la presencia de la superficie genera un refuerzo del campo acústico, debido a la interferencia constructiva entre las dos señales que llegan al receptor. Ocurre lo contrario para las partes del espectro con interferencia destructiva y alto nivel de pérdidas de transmisión, que deben ser evitadas en la transmisión de señal. Cuanto más anchas sean las bandas de frecuencia de señal reforzada y cuanto más desplazadas estén hacia las altas frecuencias (parte derecha de las gráficas) tanto mayor será la capacidad de transmisión de datos del canal por unidad de tiempo. Además, interesa que estas «ventanas» de transmisión tengan un nivel de respuesta lo más homogénea posible, para reducir los procesos de ecualización asociados al procesado de la señal.

Caso I.

Influencia del alcance horizontal (Fig.3. Sup. Izq.): En la distancia más corta, el nivel espectral es uniforme a partir de 5kHz. Al aumentar la distancia, aparte de aumentar las pérdidas, la ventana de transmisión uniforme tiende a desaparecer. *Influencia de la profundidad (Fig.3. Sup. Dcha.):* Desplazamiento de la ventana principal de transmisión a medida que se reduce la diferencia de profundidad entre los nodos, acercando el hidrófono a la superficie. *Influencia de la altura de olas (Fig.3. Inf. Izq.):* Cuando aumenta se van difuminando los máximos y mínimos del campo acústico, la ventana de transmisión se extiende, suavizándose, pero aún con nivel no homogéneo. *Influencia del gradiente de c (Fig.3. Inf. Dcha.):* A medida que se reduce el gradiente, la ventana principal se desplaza hacia las bajas frecuencias (3.5kHz \rightarrow 2kHz \rightarrow 650Hz), mientras aparecen cada vez más ventanas secundarias en la zona de altas frecuencias.

Caso II.

Influencia del alcance horizontal (Fig.4. Sup. Izq.): Para el alcance más corto (500m) existe una ventana uniforme desde 500Hz hasta casi más allá de los 10kHz. A medida que aumenta la distancia dicha ventana se estrecha por los dos extremos, mientras aumentan las pérdidas de transmisión. *Influencia de la profundidad (Fig.4. Sup. Dcha.):* A menor profundidad del hidrófono, hay menos pérdidas y el borde inferior de la ventana se desplaza hacia las bajas frecuencias. *Influencia de la altura de olas (Fig.4. Inf. Izq.):* Si aumenta, la ventana de transmisión se ensancha por su borde inferior. En este sentido, es beneficioso un estado de la superficie del mar más agitado (aunque pueda generar problemas de fluctuación temporal del nivel de señal en el receptor, debido al movimiento continuo de la superficie, aparte de un mayor nivel del ruido generado por ésta). *Influencia del gradiente de c (Fig.4. Inf. Dcha.):* A diferencia del caso anterior, la variación de g prácticamente no tiene ningún efecto sobre la respuesta del canal.

Comparación general entre los dos casos.

En el Caso II hay mayor separación entre nodos y las pérdidas son mayores a igualdad del resto de condiciones. Para $r = 500m$ (Fig.5. Izq) el Caso I proporciona dos ventanas de transmisión, una de ellas en muy bajas frecuencias y con nivel no uniforme; la otra en altas frecuencias, similar a la del Caso II, pero sólo a partir de 5kHz (desde 0.5kHz para el II). Se compensa la menor extensión de la ventana con menos pérdidas de transmisión (entre 5 y 10dB menos). Para $r = 2km$ (Fig.5. Dcha.) se pueden extraer conclusiones similares, aunque la transmisión del canal es peor debido al aumento del alcance. Hay una ventana para cada configuración, una de transmisión más alta, pero con nivel muy variable (Caso I) mientras que la otra es totalmente uniforme, pero con mayores pérdidas (Caso II). La anchura espectral es prácticamente igual para ambas.

4. Conclusiones y trabajos futuros

Se ha comprobado la dependencia de la función de transferencia del canal respecto de la configuración geométrica del mismo, así como la influencia de las condiciones ambientales para una determinada configuración. La respuesta en frecuencia del enlace acústico cambia según estas variables. Si los nodos son portátiles, móviles, puede considerarse ajustar su ubicación con el objeto de optimizar la transmisión de datos según las características tanto del proyector como del hidrófono. Por otra parte, si se dispone de transductores de banda ancha, puede ajustarse la frecuencia o frecuencias portadoras de modo que se aproveche la banda espectral óptima para una configuración determinada del canal. En cualquier caso, la banda de frecuencias óptima, su ubicación precisa en el espectro y su anchura, varían con un conjunto de factores que deben tenerse en cuenta, tal como se ha constatado con el análisis numérico presentado.

En la misma línea del trabajo realizado, se pueden modelizar nodos emisores y receptores multi-elemento (arrays). También se puede extender el análisis al caso de aguas superficiales, en cuyo caso, a todos los fenómenos considerados aquí habrá que añadir la influencia del fondo marino, y de sus características específicas, sobre la respuesta del canal de comunicaciones.

5. Bibliografía

- Camila M. G. *et al.*: "A Survey of Underwater Wireless Communication Technologies" Journal of Communication and Information Systems, Vol. 31, No. 1, 2016. Disponible en Internet: <<https://jcis.sbrrt.org.br/jcis/article/viewFile/362/300>>.
- "Underwater Acoustic Communication Market: Global Forecast until 2023". Reportlinker.com. January 2018. 140 pages. ID: 5297452. Resumen disponible en Internet: <<https://www.prnewswire.com/news-releases/the-underwater-acoustic-communication-market-is-expected-to-grow-from-usd-131-billion-in-2017-to-usd-286-billion-by-2023-at-a-cagr-of-138-between-2017-and-2023-300588506.html>>
- Waite, A.D. *Sonar for practising engineers*. John Wiley & Sons, LTD 2002.
- Lanzagorta, M.: "Underwater Communications. Synthesis Lectures on Communications". U.S. Naval Research Laboratory. Morgan and Claypool Publishers. October 2012, 129 páginas. Disponible en Internet: <<https://doi.org/10.2200/S00409ED1V01Y201203COM006>>
- "A new era of digital underwater communications". North Atlantic Treaty Organization. Newsroom. News. 27 Apr. 2017 -Last updated: 27 Apr. 2017 14:50. Disponible en Internet: <https://www.nato.int/cps/en/natohq/news_143247.htm>
- Akyildiz, I.F.; Pompili, D. and Melodia, T.: "Underwater Acoustic Sensor Networks: Research Challenges," Ad Hoc Networks (Elsevier), vol. 3, no. 3, pp. 257-279, March 2005.
- Demirors, E. *et al.*: "Software-defined Underwater Acoustic Networks: Toward a High-rate Real-time Reconfigurable Modem," IEEE Communications Magazine, vol. 53, no. 11, pp. 64 - 71, November 2015.
- Zhou, S. and Wang, Z.-H.: *OFDM for Underwater Acoustic Communications*. John Wiley and Sons, Inc., 2014.
- Urick, R.J.: *Principles of Underwater Sound*. Third Edition. Peninsula Publishing (1983).
- Kinsler, Lawrence E. *et al.*: *Fundamentals of Acoustics*. John Wiley & sons. 4th Edition. 2000.
- Brekhovskikh L.M. and Lysanov, Yu. P.: *Fundamentals of Ocean Acoustics*. Third Edition. AIP Press. Springer Verlag. 2003.
- Medwin, H. and Clay, C.S.: *Fundamentals of Acoustical Oceanography*. Academic Press. 1998.

LA ANTIGÜEDAD, ES UN GRADO... O MÁS SI CABE

TN. (CIA-EOF) D. HÉITOR MARTÍNEZ GRUEIRA
GIMOE

Resumen

A la hora de velar por el análisis y modelado de un proceso real que afecte a un contingente determinado, como primer paso, resultará imprescindible comprender el fenómeno en sí, para posteriormente identificar qué variables intervienen realmente y por último, acometer su parametrización.

En este artículo se presentará la metodología con la que analizar el proceso de evacuación de la dotación de un buque y lograr identificar pormenorizadamente qué variables influyen en el proceso y cómo deberán manipularse, para tratar posterior modelado.

1. Introducción

Controlar y mejorar la calidad de un proceso, se ha convertido en una estrategia esencial para una amplia gama de agentes como son los fabricantes, distribuidores, empresas, instituciones públicas, etc., puesto que en definitiva la calidad fundamenta la ventaja competitiva frente a sus adversarios comerciales.

La introducción a la metodología del diseño de experimentos constituye el ciclo más temprano de un proceso de investigación, en el que se trata la evaluación de los distintos parámetros intervinientes, al objeto de identificar cuales sustentarán un proceso de optimización, como herramienta más importante si cabe, de la metodología 6σ .

La aplicación efectiva de un *Diseño Estadístico de Experimentos* (DEE) sólido, nos permitirá emplear una metodología que abarca el estudio de los diferentes procesos que contribuyen a la obtención de un producto final optimizado, de calidad, de gran confiabilidad y mejor rendimiento.

Para ello será menester aplicar un diseño factorial, resumido en un diseño de dos niveles (2^k), puesto que estos diseños son particularmente útiles para determinar qué variables intervienen fehacientemente en un proceso de estudio y su grado de implicación. Este diseño puede contrariar fácilmente una hipótesis inicial planteada, validando la ínfima o nula influencia de alguna de las variables que intervienen del proceso de estudio.

De acuerdo con el principio o regla de *Pareto*¹, presupone inicialmente que el ochenta por ciento (80%) de las consecuencias, suelen estar debidas a un veinte por ciento (20%) de las causas. Si a esta premisa le unimos la siempre patente limitación de los recursos disponibles, deberá velarse porque su asignación resuelva el mayor abanico posible de consecuencias, es decir, optimizar la asignación de recursos con el fin de alcanzar el mayor rendimiento del proceso.

En otro orden, a la hora de tratar esta problemática velando por determinar qué factores y en qué grado, se lograría minimizar los efectos adversos identificados, restringiremos el estudio únicamente a aquellas variables que realmente intervienen en las consecuencias, aunque ello implique el tratamiento de variables de dificultoso control.

Para ello se ha empleado tradicionalmente, el diseño de una población muestral o de control, en base a muestreos estratificados y en función de ciertas características poblacionales, sobre cuyos datos obtenidos se procede a aplicar técnicas de análisis de la varianza (*ANalysis Of VAriance*, **ANOVA**). Actualmente disponemos de otras metodologías y técnicas, mediante las cuales es posible adentrarse en el diseño de experimentos igualmente representativos y sin necesidad de recurrir a estas técnicas de análisis, un tanto complejas.

¹ Vilfredo Federico Pareto (1846-1923), filósofo, economista e ingeniero italiano.

Por todo ello, en este artículo se procederá a describir la metodología del DEE y aplicación, al objeto de dar a conocer incidiendo en sus características y mostrando su potencia de resolución, así como su capacidad de inferir el necesario conocimiento.

2. Actualidad

El tema de evacuación de buques ha cobrado gran protagonismo en la Armada, con el objetivo de dar cumplimiento a la nueva normativa OTAN con su *Naval Ship Code (NSC, ANEP-77)*, en aras de estandarizar con esta normativa a las nuevas construcciones proyectadas.

Esta normativa recoge como hito más relevante, la publicación por primera vez de un capítulo (VII) dedicado al *Escape, Evacuación y Rescate (EER)*, dotándosele de este modo de un valor prioritario.

Desde la *Subdirección General de Planificación, Tecnología e Innovación (SDGPLATIN)* de la *Dirección General de Armamento y Material (DGAM)* se ha suscitado un gran interés este tipo de normativas y en particular, desde la última convocatoria del programa COINCIDENTE, que ha sido seleccionado de entre más de doscientos proyectos presentados.

Desde el punto de vista tecnológico, resulta muy atractiva la parametrización y configuración de un sistema con las características propias del personal de Armada, así como el desarrollo de modelos matemáticos capaces de diseñar, optimizar y simular con un grado de validación suficientemente representativo, una situación de emergencia.

Para lograr la parametrización correcta de las variables implicadas, así como para desarrollar un proceso de simulación con un nivel de aceptación representativo, se justifica la necesidad de recurrir al diseño de una gama de ensayos, cuyos datos tendrán que ser analizados de tal modo, que las conclusiones obtenidas justifiquen su validez y por supuesto, se ajusten a la resolución del problema.

Ante esta problemática presentada a la Armada, se gestó un proyecto de investigación dirigida a cualquier buque de la Armada en situación de servicio activo o en fase de diseño, dirigido por el *Gabinete de Investigación Militar Operativa y Estadística de la Armada (GIMOE)*, dadas sus capacidades y su labor investigadora. Esta labor de investigación se inicia con el correspondiente DEE y el posterior análisis de datos recopilados, al objeto de disponer de una batería de datos suficiente para llevar a cabo la parametrización de la herramienta de simulación establecida por normativa, maritimeEXODUS y desarrollar un modelo de evacuación para la dotación durante fase de abandono de buque.

Este modelo dará lugar a su vez, a la implementación de un procedimiento que incluya un patrón de rutas óptimas de evacuación, en función de una gama de averías definidas y su probabilidad de ocurrencia. Así mismo y mediante la utilización herramienta de simulación mencionada, se hace posible identificar los probables cuellos de botella que se producirían por la afluencia masiva de miembros de la dotación, en determinadas ubicaciones del buque.

3. Problemática

Todos estos ensayos, análisis y procedimientos, fueron diseñados y dirigidos únicamente a dotaciones propias de un buque. Razón por ello, que en cumplimiento del referido capítulo de la normativa de seguridad (ANEP-77), tendría que desarrollarse un estudio que se dirigiese en igual medida, al diseño de un procedimiento de evacuación para dotaciones embarcadas en un buque militar.

Aunque un buque haya sido debidamente adaptado por su naturaleza o funcionalidad, a las características específicas de su dotación embarcada, la capacitación de estas dotaciones en materia de seguridad a bordo no puede equiparse a la que ostenta una dotación propia de buque. Los referidos contingentes embarcados, están formando normalmente por:

- la dotación de un estado mayor embarcado,
- los miembros de una unidad sanitaria,
- la dotación de vuelo de la/s aeronave/s embarcada/s;

- el contingente de IM embarcado en buques anfibios, que por entidad y volumen pasa a constituir la dotación más relevante, si cabe en los buques anfibios.

A pesar de que estos contingentes están constituidos por personal militar debidamente adiestrado, las dotaciones embarcadas no disponen del mismo nivel de preparación, conocimiento del entorno, experiencia o capacidad de respuesta, que el que dispensa una dotación propia para tratar de afrontar una avería de cierta entidad.

Aunque una dotación embarcada adolezca de las mencionadas aptitudes, tampoco debe caerse en el error de considerar a estos contingentes como si de una dotación de pasaje de un buque civil se tratase, puesto que estos contingentes disponen de un adiestramiento básico y de un conocimiento suficiente del entorno, como para afrontar con éxito un proceso de evacuación.

De acuerdo a lo expuesto y en cumplimiento de la normativa vigente, al disponerse de un estudio al uso, dirigido a la optimización de las rutas de escape y de los desplazamientos de las dotaciones propias durante el proceso de evacuación de un buque de guerra cualquiera; se justifica plenamente la necesidad de desarrollar un estudio equivalente y para este caso, dirigido a las dotaciones embarcadas.

4. Planteamiento

Al igual que la dotación propia de un buque de guerra, una dotación embarcada puede ser modelada en función de unos determinados factores o variables perfectamente parametrizadas, las cuales condicionarán o restringirán el desplazamiento de un individuo a lo largo del buque establecido. La parametrización de estas variables puede realizarse en función de unas determinadas características como pueden ser la edad, el sexo, la amplitud de los corredores, las restricciones de visibilidad producidas por una avería determinada o incluso, por unas condiciones atmosféricas claramente adversas.

Como resultado del proyecto GIMOE07² dirigido al análisis de dotaciones propias, se adquirió el suficiente conocimiento en esta temática, gracias a diferentes análisis realizados sobre imágenes y datos captados, así como encuestas y entrevistas realizadas.

Así mismo, durante la ejecución de los ensayos panificados durante el proyecto, ya se vislumbraban indicios que daban pie a creer que el estudio podría sustentarse en función de unas variables muy concretas. Acorde a estos indicios, surge la oportunidad de aplicar un diseño factorial, mediante el desarrollo de un DEE con el que tratar de discernir qué factores influyen realmente en el estudio y el grado en el que lo hacen.

Como consecuencia de ello, se procede a hacer uso de los datos captados durante los ensayos realizados durante el mencionado proyecto, al objeto de identificar qué factores inherentes a los ensayos planificados inciden realmente en los resultados obtenidos.

5. Metodología

Esta metodología del DEE implementada, fue desarrollada por la industria automovilística japonesa de los años ochenta. Con ella se trataría la identificación de aquellos factores que mayor influencia ostentasen, partiendo de una gama de experimentos diseñados al efecto, al objeto de procurar tratar sus consecuencias, mitigarlas o en el caso posible, neutralizar sus efectos adversos.

Para ello y como no podría ser de otra manera, en un primer momento será necesario identificar los diferentes factores que pueden intervenir en el caso de estudio y cuyos efectos inciden en los resultados. Para ello, se procede a implementar un *diagrama de Ishikawa*³, para identificar los diferentes factores:

² Proyecto de estudio para la evacuación de dotaciones durante el abandono de buque. (GIMO, 2007)

³ Diagrama de raspa de pescado o de causa-efecto. Dr. Kaoru Ishikawa (1915-1989)

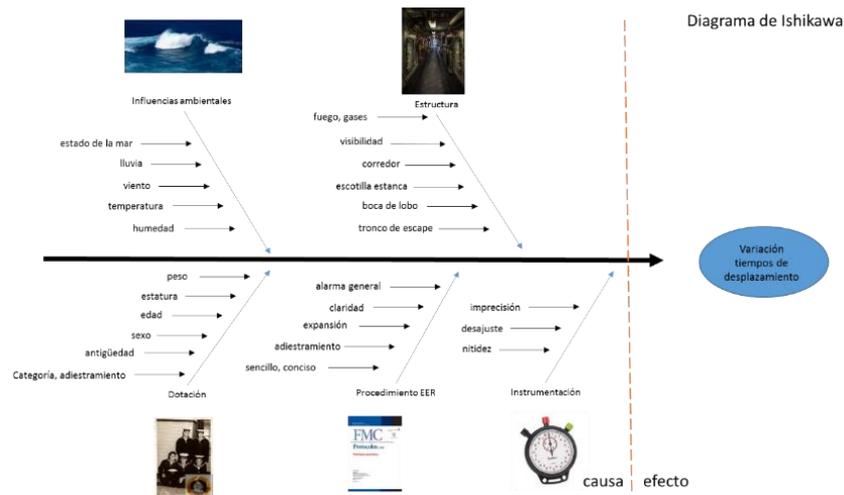


Figura 1. Diagrama Ishikawa, factores que intervienen sobre una plataforma naval

A la vista de gran cantidad de factores identificados, se tratará de reducir lo máximo posible la selección del número de factores candidatos, al objeto de experimentar con ellos y tratar de diseñar un experimento abordable. A razón por ello, que los primeros factores en excluirse, sean aquellos que resulten incontrolables (p.e. factores ambientales), además de aquellos que no puedan ser parametrizados (p.e. factores procedimentales).

Por otro lado y dado que la labor desarrollada se ejercita en una plataforma naval ya construida, no da lugar a tratar modelados estructurales alternativos a los del buque de estudio, ni tampoco a escenarios poco apropiados o que pongan en peligro a la plataforma o incluso, a su dotación.

Siguiendo la exposición, resta únicamente seleccionar aquellos factores asociados a las características profesionales y antropométricas de la población, es decir, las características de las dotaciones, sobre las que se ejercitarán los experimentos. En este sentido, la selección de individuos se formulará acorde a ciertos factores identificados como: *edad*, *peso*, *altura*, *sexo*, *antigüedad* y *categoría profesional*.

Para ejercitar un diseño factorial, se delimitarán los niveles de significación que parametrizarán los factores de estudio y con ello se delimitarán igualmente, los experimentos realizados en función de estos factores y niveles de significación, definidos.

– **Influencia de las variables o factores de estudio**

Teniendo en cuenta que tal y como establece la metodología de diseño factorial [n^f], el número de ensayos totales resultará del número de niveles (n) definido y que en nuestro estudio será de ($n=2$), elevado al número de factores (f) designados [2^f].

Con objeto de diseñar un experimento abordable, se procede a reducir en la medida de lo posible el número de factores de estudio, siempre que ello no incida en la pérdida de potencia de análisis de los factores seleccionados. De este modo se procede aplicando las siguientes medidas:

- Se procura la integración de los factores peso y altura (kg/m^2), en un único factor validado y ampliamente empleado por la comunidad médica, como es el índice de masa corporal (**IMC**).
- Considerándose equivalente el grado de adiestramiento que presentan los miembros de la oficialidad y suboficialidad, en lo que a protocolos de emergencia de una plataforma naval militar se refiere, se procede integrando ambas categorías en un mismo nivel, para el factor **categoría**.
- Con objeto de definirse un umbral límite de nivel para los restantes factores identificados, a excepción del factor **sexo**, se procede calculando de la media aritmética de los datos aportados por los miembros de control, para los respectivos factores seleccionados.

De acuerdo con esta cadena de consideraciones y tras la definición de los diferentes factores, así como de sus correspondientes niveles de significación, se construye el siguiente cuadro:

Factor	Nivel alto	Nivel bajo
IMC: (peso/altura ²)	Superior a la media	Inferior a la media
Edad (años)	Superior a la media	Inferior a la media
Sexo	Hombre	mujer
Antigüedad (años)	Superior a la media	inferior a la media
Categoría	Oficial-Suboficial	Marinería

Tabla 1. Enumeración de factores y niveles correspondientes

En esta fase de desarrollo de la metodología empleada, comienza a vislumbrarse los primeros inconvenientes. El primero de ellos se presenta como consecuencia del bajo ratio de representación de los miembros de la dotación, del sexo femenino. Tal y como puede corroborarse con la siguiente tabla, que muestra la distribución de miembros de una dotación cualquiera, estratificada por categorías profesionales, empleos militares y sexo; se hace patente la incidencia de representatividad, mostrando una tendencia que desgraciadamente y en mayor o menor medida, se replica en los distintos destinos a flote.

SEXO CATEGORÍA	Hombres		Mujeres		Totales	
	Núm.	%	Núm.	%	Núm.	%
Capitán de Fragata	1	0,071			1	0,071
Capitán de Corbeta	1	0,071			1	0,071
Teniente de Navío	4	0,286			4	0,286
Alférez de Navío	8	0,571			8	0,571
Oficiales	14		0		14	0,078
Subteniente	2	0,071			2	0,063
Brigada	4	0,143			4	0,125
Sargento Primero	8	0,286			8	0,250
Sargento	14	0,500	4	1,000	18	0,563
Suboficiales	28		4		32	0,179
Cabo Mayor	1	0,010			1	0,008
Cabo Primero	35	0,337	7	0,241	42	0,316
Cabo	25	0,240	8	0,276	33	0,248
Marinero	43	0,413	14	0,483	57	0,429
Tropa	104		29		133	0,743
TOTALES	146	0,82	33	0,18	179	1

Tabla 2. Ratios distribución efectivos de dotación de un buque militar (Fuente: SIPERDEF)

Como consecuencia de este bajo ratio de representación, el número de mujeres se muestra como insuficiente a la hora de tratar acometer la construcción un DEE en condiciones, donde la variable *sexo* opere como un factor independiente. Razón por la que se procede a prescindir del factor *sexo* en la estructura del DEE y por lo tanto, no se tendrá en cuenta a la hora de realizar el diseño de la gama de ensayos.

Identificados los inconvenientes y aplicando las medidas descritas respecto a los factores y sus correspondientes niveles de significación, el diseño multifactorial resultante estará compuesto por un cuatro factores constituidos en dos niveles de significación, resultando un total de dieciséis experimentos ($2^4=16$) que constituirán el DEE definitivo.

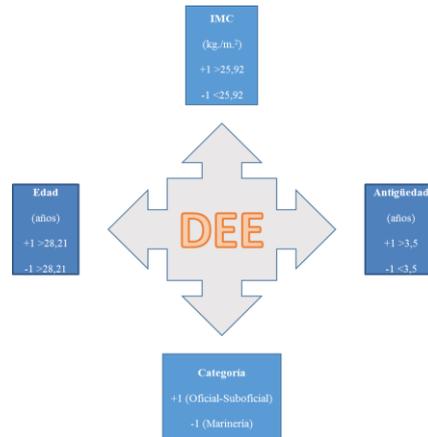


Figura 2. Diagrama de factores y niveles resultantes, DEE.

– Tratamiento y depuración de datos.

Disponiendo de los datos aportados por el proyecto del GIMO07, es menester en primera instancia proceder a su depuración y análisis previos, antes de pasar al diseño del experimento en sí.

Inicialmente se procede a la depuración de datos ausentes o fuera de rango, mediante diferentes técnicas que pueden identificar aquellos elementos que fomenten la generación de ruido (*outliers*). Así mismo y tras este proceso, se hace imprescindible verificar previamente, que estos datos superen el correspondiente test de normalidad.

Para ello se procedió exportando los datos al paquete estadístico (MINITAB v.14). Los datos mostrados en las siguientes figuras, se corresponden con los tiempos tomados en dos ensayos idénticos e independientes, en los se medía el desplazamiento del grupo de control por un corredor del buque de estudio, en el que se veían obligados a atravesar una puerta estanca que se encontraba abierta.

A tenor de que la prueba de normalidad seleccionada (*test Anderson-Darling*), que exige la obtención de un ($p\text{-valor} > 0,05$) para la superación del test, se verifica en las siguientes figuras que ambas pruebas superan este test de normalidad con cierta amplitud. Dicho de un modo más técnico, puede afirmarse conceptualmente que los datos aportados no disponemos de indicios suficientes como para poder rechazar la hipótesis nula y por tanto, se acepta (H_0), de modo que ambas muestras superan la prueba de normalidad.

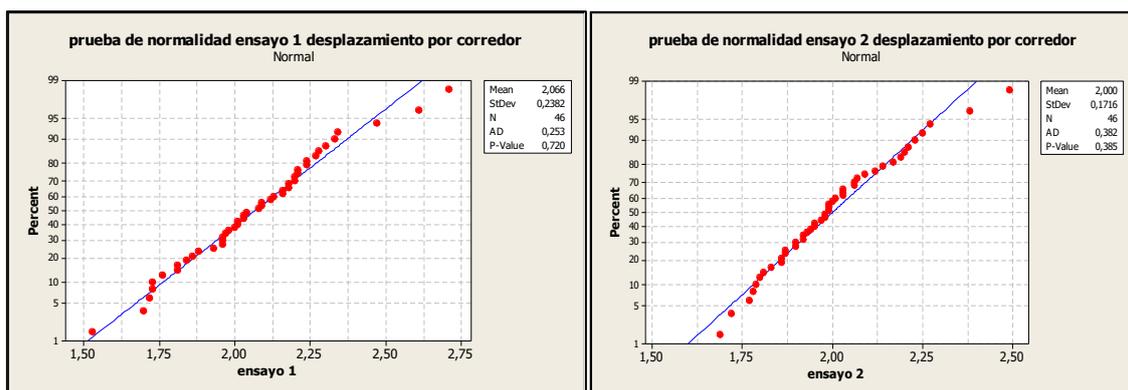


Figura 3. Prueba de Normalidad, test Anderson-Darling ($p\text{-valor} > 0,05$)

Una vez validada esta prueba, ya disponemos de unos datos depurados y válidos con los que nos podremos enfrentar a la siguiente fase, que tratará el desarrollo del DEE.

– Desarrollo del DEE

Disponiendo de unos datos adecuados para un estudio al uso, el primer paso que define la metodología del DEE, pasa por la construcción de *la matriz del plan de experimentos multifactorial*, en la que se plasman los ensayos que constituyen el experimento de diseño, mediante la combinación de los diferentes factores, por sus correspondientes niveles.

Como paso previo a la construcción de esta tabla, es necesario delimitar una tabla como la que se muestra a continuación, en la que en primera instancia se identifican los diferentes factores seleccionados, empleando para ello el sistema binario de numeración (segundo bloque de columnas por la izquierda).

El uso de un sistema binario de representación, nos permitirá realizar de un modo más sencillo, realizar la permutación de los factores definidos y con ello, identificar perfectamente las distintas combinaciones o configuraciones de ensayos, definiendo el experimento de diseño.

Identificador decimal del experimento	2 ⁰	2 ¹	2 ²	2 ³	Matriz del plan de experimentos													
	1	2	4	8	Factores				Interacciones									
	A	B	C	D	A	B	C	D	AB	AC	AD	BC	BD	CD	ABC	ABD	BCD	ABCD
0	0	0	0	0	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1	1	1	-1	-1	-1	1
1	1	0	0	0	1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1	1	-1	-1
2	0	1	0	0	-1	1	-1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1	1	1	-1
3	1	1	0	0	1	1	-1	-1	-1	1	-1	-1	-1	1	-1	-1	1	1
4	0	0	1	0	-1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1
5	1	0	1	0	1	-1	1	-1	-1	1	-1	-1	1	-1	-1	1	1	1
6	0	1	1	0	-1	1	1	-1	-1	-1	1	1	-1	-1	-1	1	-1	1
7	1	1	1	0	1	1	1	-1	1	1	-1	1	-1	-1	1	-1	-1	-1
8	0	0	0	1	-1	-1	-1	1	1	1	-1	1	-1	-1	-1	1	1	-1
9	1	0	0	1	1	-1	-1	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	-1	1	1
10	0	1	0	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	-1	1	-1	1	-1	-1	1
11	1	1	0	1	1	1	-1	1	1	-1	1	-1	1	-1	-1	1	-1	-1
12	0	0	1	1	-1	-1	1	1	1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	-1	1
13	1	0	1	1	1	-1	1	1	-1	1	1	-1	-1	1	-1	-1	-1	-1
14	0	1	1	1	-1	1	1	1	-1	-1	-1	1	1	1	-1	-1	1	-1
15	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Tabla 3. Tabla de plan de experimentos.

Con el objeto de definir e identificar los diferentes factores que intervienen en el DEE, se aporta la siguiente tabla, en la que se muestran los conceptos de los factores de estudio, sus niveles de significación y la magnitud en los que se evalúan estos.

Plan de ensayos multifactorial completo 2 ⁴					
		Factor	Nivel	Valor	Ud
A		IMC	1	>25,92	kg/m ²
			-1	<25,92	kg/m ²
B		edad	1	>28,21	años
			-1	<28,21	años
C		antigüedad	1	>3,5	años
			-1	<3,5	años
D		categoría	1	Oficial-Suboficia	-
			-1	Marinería	-

Tabla 4. Tabla plan de ensayos multifactorial.

Como paso siguiente, se recopilan las mediciones tomadas y se calculan su media aritmética (y_{media}) y desviación típica ($y_{desv.}$), para a cada uno de los experimentos realizados. Así mismo, se necesita formular el cálculo de estas mismas variables de centralización y dispersión, para las mediciones obtenidas en el ensayo (y_m , s_m).

Respuesta			
Mediciones			
Y_0	Y_1	Y_{media}	$Y_{desv.}$
2,18	2,01	2,10	0,12
2,04	1,90	1,97	0,10
1,72	1,86	1,79	0,10
2,27	2,25	2,26	0,02
2,16	1,98	2,07	0,13
2,33	2,20	2,27	0,10
2,20	1,94	2,07	0,18
1,96	1,92	1,94	0,03
2,16	1,99	2,08	0,12
1,93	1,99	1,96	0,04
2,28	2,21	2,24	0,05
1,53	1,69	1,61	0,12
2,16	2,00	2,08	0,11
2,00	2,00	2,00	0,00
1,98	2,19	2,09	0,15
1,81	1,77	1,79	0,02

Tabla 5. Mediciones de réplicas de ensayos DEE

A continuación se procede a obtener las medias las respuestas de nivel alto y bajo, es decir, las medias de los valores medios (y_m) donde el factor o la iteración de referencia toma como respuesta un valor alto (+1) o bajo (-1) respectivamente.

$$M_{+j} = \sum_{i=1}^{2^4} t(i,j) * \bar{y}_i \cdot \sqrt{[t(i,j) > 0]} ; M_{-j} = \sum_{i=1}^{2^4} t(i,j) * \bar{y}_i \cdot \sqrt{[t(i,j) < 0]}$$

La diferencia obtenida entre las distintas medias, cuantifica el *efecto*⁴ que obtiene cada uno de los factores o iteraciones, que constituyen el ensayo.

$$[\text{Efecto } j = (M_{+j} - M_{-j})]$$

Media de las respuestas a nivel alto (M+)	1,97	1,97	2,04	2,06	1,99	2,03	1,92	2,00	2,02	2,01	1,98	1,96	2,04	0,08
Media de las respuestas a nivel bajo (M-)	2,06	2,06	2,00	1,98	2,05	2,01	2,12	2,04	2,02	2,03	2,06	2,08	2,00	1,94
Efecto	-0,09	-0,09	0,04	0,08	-0,06	0,01	-0,19	-0,04	0,00	-0,02	-0,08	-0,12	0,04	-1,86

Tabla 6. Respuestas de nivel y efecto de factores e interacciones

Por último, resta calcular la tabla de *contribuciones básicas*⁵ (Cb) de los factores e interacciones definidas, en las que se lleva a cabo la sustracción sobre la interacción correspondiente, del *efecto* (E) de todas aquellos factores o interacciones que forman parte de ella, tal y como se aprecia en la siguiente tabla.

$$Cb_j = \text{MIN}_j(\sum_{i=1}^{\text{interacciones}} \sum_{j=1}^{\text{factores+interacciones}} (E_{(i,j)} - E_i)), \sqrt{[E_{(i,j)} \text{ in } E_i]}$$

Finalmente, la *contribución básica* dirigida a cada uno de los factores o interacciones, estará formada por el menor de sus valores calculados, excluyéndose por supuesto su valor de *efecto*.

⁴*Efecto*.- variable que recoge la diferencia entre las medias de los resultados obtenidos en ensayos ante un nivel bajo y alto de respuesta. Si el resultado de esta variable resulta negativo, constata que al disminuir el valor del factor o interacción que representa, aumentar el valor de respuesta y viceversa.

⁵*Contribución básica*.- variable que muestra el grado de importancia o influencia en valor absoluto, entre factores y en ausencia de dependencias con sus respectivas interacciones. Este concepto contrasta con el *efecto*, el cual muestra la influencia que posee el mismo de manera combinada o lo que es lo mismo, dependiendo de otros factores o interacciones.

		Cálculo de la contribución básica													
		A	B	C	D	AB	AC	AD	BC	BD	CD	ABC	ABD	BCD	ABCD
Efecto		-0,09	-0,09	0,04	0,08	-0,06	0,01	-0,19	-0,04	0,00	-0,02	-0,08	-0,12	0,04	-1,86
-ABCD		1,77	1,77	1,90	1,94	1,80	1,88	1,67	1,82	1,86	1,84	1,79	1,74	1,90	
-BCD			-0,13	0,00	0,04				-0,08	-0,04	-0,05				
-ABD		0,04	0,03		0,20	0,07		-0,07		0,12					
-ABC		-0,01	-0,01	0,11		0,02	0,09		0,04						
-CD				0,06	0,10										
-BD			-0,09		0,08										
-BC			-0,05	0,08											
-AD		0,10			0,27										
-AC		-0,10		0,02											
-AB		-0,03	-0,03												
Contribución básica		-0,10	-0,13	0,00	0,04	0,02	0,09	-0,07	-0,08	-0,04	-0,05	1,79	1,74	1,90	-1,86

Tabla 7. Cálculo de la contribución básica de factores e interacciones

Resultados

Con el objeto de lograr disertar el análisis pormenorizado del DEE realizado, se procede a construir un gráfico de barras, a modo de representar el *efecto* y la *contribución básica*, de los diferentes factores e interacciones que conforman del experimento.

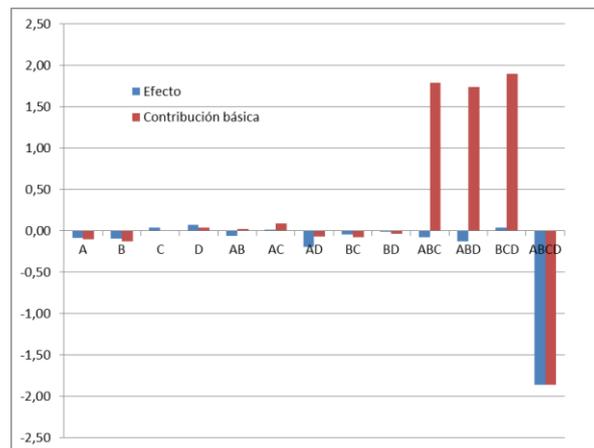


Figura 4. Diagrama de barras, efecto y contribución básica

Tras la representación gráfica de los resultados extraídos de tablas anteriores, resaltamos las siguientes conclusiones obtenidas del análisis, practicado únicamente a los factores de estudio:

1. El factor (**A**, *IMC*) presenta un **efecto negativo**, es decir, cuanto menor sea su valor mejor será el comportamiento del experimento.
2. El factor (**B**, *edad*) presenta un **efecto negativo**, es decir, cuanto menor sea su valor mejor será el comportamiento del experimento.
3. Factor (**C**, *antigüedad*) NO presenta **contribución básica** respecto de los restantes factores, por cuanto este factor podrá ser excluido sin afectar al estudio.
4. El factor (**D**, *categoría*) presenta un **efecto positivo**, es decir, cuanto mayor sea su valor mejor será el comportamiento del experimento.
5. Respecto de las interacciones dobles, cabe reseñar la interacción (**AD**; *IMC, categoría*) como la que presenta un mayor efecto y para este experimento, negativo, por cuanto menor sea su valor, mejor será el comportamiento del experimento.

Tal y como puede corroborarse nuevamente en la *Tabla 3*, donde se muestra la distribución de una dotación cualquiera, estratificada por categorías profesionales, empleos militares y sexo; se confirma la baja representatividad del factor *categoría profesional*, respecto del nivel de significación que agruparía las categorías de

Oficial y Suboficial, como consecuencia de tratarse de una organización jerárquica y cuya característica se replica en cualquiera que sea el destino observado.

A tenor de las conclusiones previas, el modo de proceder pasa por la exclusión del factor (**C**, *antigüedad*) y realizar un proceso idéntico fundamentado en los factores (IMC, edad y categoría profesional), al objeto de verificar si este factor de modo independiente, sustentaría igualmente el estudio. Será precisamente en este punto, donde se identifica un nuevo inconveniente, auspiciado por el bajo ratio de representación de miembros de las categorías profesionales de Oficiales y Suboficiales, respecto de la categoría de Tropa tal.

Como consecuencia al bajo ratio de representación de miembros de la oficialidad y suboficialidad entre la dotación, su número se muestra insuficiente a la hora de acometer la construcción un DEE en condiciones y donde la variable *categoría* opere como un factor independiente. Razón por ello, que se procederá prescindiendo del factor *categoría*, en pos del factor *antigüedad* para la estructura del DEE, siendo este último factor a tener cuenta para realizar el diseño de la gama de ensayos.

– Replanteamiento del DEE

Reflejados los inconvenientes identificados y aplicando las medidas aplicadas al respecto, sobre factores y sus correspondientes niveles de significación, el diseño multifactorial resultante quedaría finalmente estructurado en base a tres factores con dos niveles de significación, por cuanto el DEE definitivo estará constituido en total por ocho ($2^3=8$) experimentos.

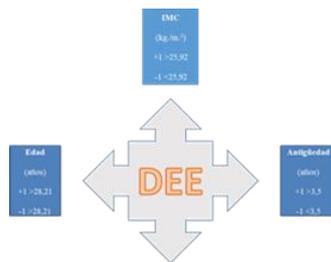


Figura 5. Diagrama de factores y niveles, DEE definitivo

En este sentido se procede a replantear el DEE construido, incluyéndose el factor *antigüedad* nuevamente en el experimento y en sustitución del factor *categoría*. Esta tesis trataría de responder a una supuesta carencia de datos, suplantándose con el factor (**C**, *antigüedad*) en su nivel de significación positivo, a los contingentes de mayor antigüedad e inherentemente, a las categorías de Oficiales y Suboficiales que en principio recogería a los contingentes de mayor antigüedad, independientemente del grupo de control seleccionado.

Plan de ensayos multifactorial completo 2^3					
		Factor	Nivel	Valor	Ud
A		IMC	1	>25,92	kg/m ²
			-1	<25,92	kg/m ²
B		edad	1	>28,21	años
			-1	<28,21	años
C		antigüedad	1	>3,5	años
			-1	<3,5	años

Tabla 8. Tabla de definición de factores y niveles

A partir de este punto, se reproduce el mismo proceso descrito en el desarrollo del DEE con los datos disponibles, obteniéndose finalmente diferentes resultados cuyos valores se proceden a representar mediante el mismo diagrama de barras.

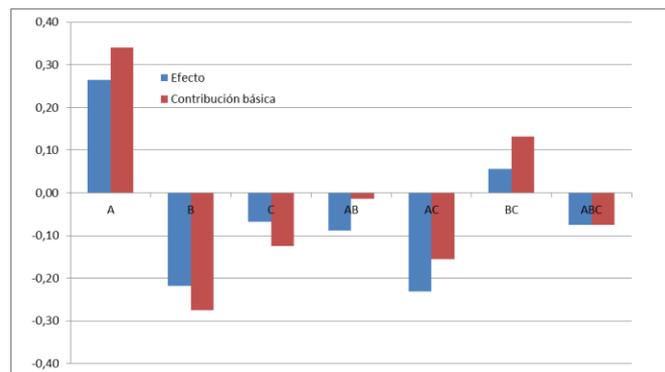


Figura 5. Diagrama de barras, efecto y contribución básica, definitivos

6. Conclusiones

Al objetivo de no extender este artículo innecesariamente, se procede a enunciar las conclusiones extraídas del DEE implementado finalmente, siguiéndose las mismas directrices del inicial salvo por la suplantación de factores.

Retomándose la definición de los conceptos de *efecto* y *contribución básica*, acordes a los factores e interacciones que constituyen el diseño, se extraen estas conclusiones:

- De acuerdo con el concepto de *efecto negativo*, que presentan los factores (**B**, *edad*) y (**C**, *antigüedad*), se constata que cuanto menor es su nivel de significancia de manera individual o conjunta, mayor es el valor de respuesta que se obtiene.
- De acuerdo con el concepto de *efecto positivo*, que presenta el factor (**A**, *IMC*), se constata que cuanto mayor es su nivel de significancia, mayor será el valor de la respuesta obtenida.
- Desde el punto de vista conjunto (*efecto*), la interacción (**AC**, *IMC-antigüedad*) es la que mayor influencia presenta en este DEE definitivo, siendo esta igualmente negativa.
- Desde el punto de vista individual (*contribución básica*), el factor (**A**, *IMC*) es el que mayor influencia o importancia presenta, en este DEE.

7. Resumen

Mediante el empleo de la metodología del DEE, se identifica claramente el ahorro que supone en análisis, diseño y trabajo, respecto a los muestreos estratificados tradicionales, cuyos tamaños de muestreo resultaban realmente grandes para trabajar dentro de unos márgenes exigidos a todo estudio serio que se precie. Al mismo tiempo, esta metodología basada en un diseño multifactorial, logra identificar claramente los factores que intervienen decisivamente en el estudio, así como el grado y modo con el que intervienen.

A la vista de las premisas y conclusiones ya enumeradas de este estudio, podemos destacar que el factor (**A**, *IMC*) es el que mayor influencia aporta al estudio, siendo esta positiva. De este modo, cuanto mayor es el IMC del individuo, mayor será el tiempo empleado en el ensayo de referencia y que versa como ya se ha descrito, en el desplazamiento de un miembro de la dotación por el corredor de una plataforma naval, viéndose obligado a cruzar una puerta estanca que se encuentra abierta.

En otro sentido, los factores (**B**, *edad*) y (**C**, *antigüedad*), presentan este mismo orden de prelación respecto a su influencia en el estudio que nos compete, siendo esta negativa. Es decir, cuanto menor sea la edad y/o antigüedad del individuo, mayor será el tiempo empleado en la realización del mencionado ensayo.

Todas estas conclusiones alcanzadas que no dejan de ser claramente lógicas, que en este caso vienen avaladas por el correspondiente estudio; lo que me lleva a recordar lo que mi padre siempre me decía: «*a antigüedad, é un grao*».

Por mucho que me pese él tenía razón y ello queda confirmado por este proceso empírico, además de cuantificado en grado y modo que lo hace.

8. Bibliografía

- Montgomery Douglas C. (2009), *Introducción al control estadístico de calidad*. (John Wiley & Sons, Inc.) ISBN 978-0-470-16992-6
- Montgomery Douglas C., Runger George C. (2011), *Probabilidad y Estadística aplicada para ingenieros*. (John Wiley & Sons, Inc.) ISBN-13: 978-0-470-05304-1
- Martínez Grueira, Heitor (2017), *DEE, adquisición de datos y estudio del desplazamiento para evaluación de dotaciones embarcadas*, CUD-UAH.
- <<http://gio.uvigo.es/asignaturas/gestioncalidad/GCal0405.DiagramaPareto.pdf>>

EL EFECTO SQUAT, UN PELIGRO OCULTO

AN (CIA-EOF) D. MIGUEL RODRÍGUEZ HERNÁNDEZ

Arsenal de Cartagena

1. Introducción

El efecto squat, también conocido como «trimado dinámico», es el incremento adicional de calado de un buque en relación con el nivel estático del agua, producido por el movimiento del barco a una velocidad determinada. En este artículo se profundizará sobre dicho fenómeno, sus causas, consecuencias y posibles accidentes marítimos producidos por dicho efecto.



Buque hidrográfico «Malaspina» navegando

2. El efecto squat

Navegar no es un medio de transporte habitual. Se puede usar por hobby, necesidad, trabajo o para relajarte del mundo terrestre. Unos lo aman, otros lo odian, pero nunca crea indiferencia. De todas formas, hay unos peligros inherentes en el uso de dicho medio tales como, tormentas, pérdidas de la estabilidad en alta mar, incendio o inundación, entre otros. Muchas veces queda en el olvido el efecto squat, causante de conocidos accidentes marítimos.

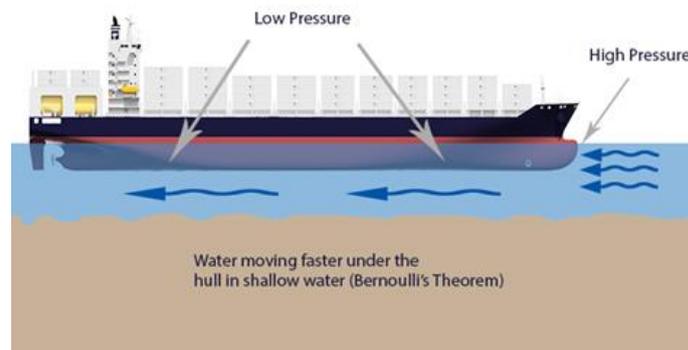
Siempre se ha tenido constancia del fenómeno del incremento de calado y asiento en los buques en su navegación por canales estrechos y aguas poco profundas. Pero dicho fenómeno también puede producirse por navegar a velocidades elevadas cierta en aguas libres, produciéndose su incremento de calado respecto a su posición en reposo. Pero este hecho ha sido ignorado por su escasa importancia o por su incompleto conocimiento a lo largo de los años.

Si la velocidad es cero, es decir el buque está en reposo, el efecto squat nunca aparecerá. Este fenómeno está más presente en aguas restringidas y aguas someras. En dichas aguas la peligrosidad reside en el aumento de calado, y por lo tanto, el aumento de poder sufrir una varada debido a la disminución de la presión del agua que circula por la obra viva del buque.

Hemos hablado de aguas restringidas. Así pues, se entiende por aguas restringidas como toda la zona por la cual un buque, a pesar de poder navegar, su maniobrabilidad está limitada por factores externos. Estos factores son el agua bajo la quilla y la superficie navegable, es decir, la relación entre calado del buque y la profundidad y la relación entre la manga del buque y el ancho de la zona navegada. Cuando el cociente de dichas relaciones sea más cercano a 1, estaremos navegando en aguas más restringidas [1].

Para entender mejor este efecto es necesario hacer referencia al principio de Bernoulli, el cual demuestra que las condiciones de un líquido se mantienen siempre constantes dentro de un mismo recorrido, se basa en la conservación de la cantidad de movimiento.

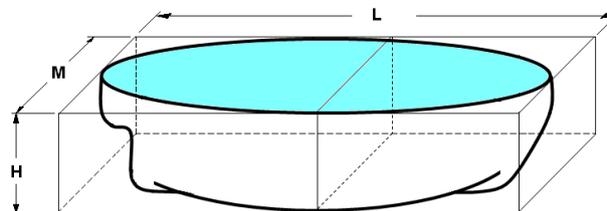
$$\frac{V^2 \rho}{2} + P + \rho g z = \text{constante}$$



Al navegar en aguas de poca profundidad, se produce una aceleración y aumento de la velocidad del agua por la quilla del buque. Debido al Principio de Bernoulli, se produce una disminución de la presión en dicha zona y, por lo tanto, un descenso de la quilla.

Dicho efecto depende de muchos factores, entre ellos depende de las características del buque, como es el caso del coeficiente del bloque. No todos los buques presenta el mismo hundimiento. El coeficiente de bloque se puede definir como la relación del volumen de la carena de un casco y el paralelepípedo que lo contiene.

$$C_b = \frac{\text{Vol. de carena}}{\text{Vol. del paralelepípedo}} = \frac{V_c}{L \times M \times H}$$



Así pues en aguas someras (aguas poco profundas, de profundidades menos de 30 m) los buques con un coeficiente de bloque mayor de 0.7 triman de proa. Un ejemplo de buques con dicho coeficiente (también llamado en forma de «U») son los petroleros, cargueros o gaseros entre otros. Por otro lado, en aguas someras, los buques con un coeficiente de bloque menor de 0.7 triman de popa. En este caso se les conoce como los buques en forma de «V» y podemos nombrar a los ferries, portacontenedores o buques de guerra [2].

En aguas restringidas o canales estrechos, el coeficiente de bloque tiene una importancia menor; ya que prácticamente todos los buques triman de popa independientemente de la forma que presenten. La carga también influye en la manera en la que se presenta el fenómeno squat, es decir, si la carga está situada en la popa, el trimado se producirá en la popa.

El cálculo físico del squat producido puede calcularse de distintas maneras. Una de ellas es el empleo de la fórmula de de Huuska/Guliev/Icorels [3], que se expresa de la siguiente manera:

$$d_1 = 2,4 \cdot \frac{\nabla}{L_{pp}^2} \cdot \frac{F_{nh}^2}{\sqrt{1 - F_{nh}^2}} \cdot K_s$$

Tenemos que ∇ es el volumen del desplazamiento del buque (m^3), L_{pp} es la eslora entre perpendiculares del buque (m) y K_s el coeficiente adimensional para canales sumergidos o convencionales. Para zonas sin restricciones laterales tenemos que $K_s = 1.00$.

Una incógnita importante es el número de Froude

$$F_{nh} = \frac{V}{\sqrt{g h}}$$

de la profundidad. Cuando alcanza la unidad, se llega a la velocidad crítica, valor en donde la resistencia al desplazamiento alcanza valores muy elevados. La mayoría de buques no pueden superar dicha resistencia con la potencia que tienen. La mayoría de buques navegan a velocidades que producen un número de Froude entre 0.6-0.7.

A efectos prácticos, el efecto se reduce a que la variación en metros del calado de un buque depende directamente del cuadrado de la velocidad que lleva el buque en esos momentos. Por lo tanto, la velocidad del buque es uno de los factores más importantes.

Dado el hundimiento del calado que produce el efecto squat, es de vital importancia el reconocimiento por parte de la tripulación de cuándo se produce el efecto o saber si estamos en aguas restringidas debido a su mayor peligrosidad. Podemos destacar, un cambio en la ola patrón entre la proa y la popa, el buque se vuelve más lento al realizar alguna maniobra, las revoluciones del motor disminuye en aguas restringidas respecto a las no restringidas. De esta manera, la velocidad del buque también decrece en aguas restringidas. También se pueden apreciar algunas vibraciones en el casco del buque [4].

Como hemos mencionado anteriormente, el efecto squat depende de muchos factores como la profundidad del agua, el coeficiente de bloque, la velocidad de navegación y, no menos importante, si se está navegando en aguas restringidas o no restringidas.

Pero, por desgracia, la única forma que se conoce actualmente de disminuir o eliminar que suceda el efecto squat consiste en la reducción inmediata de la velocidad. Se ha demostrado que reduciendo la velocidad a la mitad, el efecto squat se reduce en un cuarto.

El más importante y catastrófico accidente marítimo relacionado con dicho efecto fue el que le sucedió al «Herald of Free Enterprise» en 1987, produciendo 193 víctimas [5].

El buque tenía 132 metros de eslora, dos cubiertas ro-ro y capacidad para 1.300 pasajeros y 350 vehículos.

El ferry se hundió en la noche del 6 de marzo de 1987, momentos después de salir del puerto belga de Zeebrugge, debido a que tenía que realizar una ruta no habitual (la ruta Dover-Zeebrugge). Surgieron problemas de marea para colocar la rampa de la Cubierta E en dicho puerto, por lo que se tuvo que realizar un asiento aproante de cuatro pies lastrando dos tanques para poder trabajar.



Al zarpar, el contraalmirante olvidó de cerrar las compuertas de proa, zarparon 0.90m aproado. Debido a que la cubierta ro-ro albergaba todos los vehículos, era habitual ver al zarpar las compuertas abiertas. Pero el buque perdió maniobrabilidad, ingresando en aguas pocas profundas.

El aumento de velocidad y la navegación por las aguas pocas profundas, produjeron el efecto squat. La proa descendió 2 m adicionales que sumándose a los 0.90 m y al seguir estando las compuertas abiertas, facilitó una entrada brusca de agua. Por consiguiente, se produjo el hundimiento del buque.

Debería ser un fenómeno muy presente por toda la tripulación de los buques. Todas sus características y consecuencias deberían «ser una pregunta de examen» para poder navegar.

En el ámbito militar es de suma importancia en las operaciones de desembarco de infantería marina debido a su navegación en aguas someras. Además, los buques hidrográficos, que se encargan de realizar la carta náutica del fondo marino, necesitan disminuir lo máximo posible el efecto squat para que sus mediciones sean lo más exactas posibles.

3. Referencias bibliográficas

- [1] <<http://www.atmosferis.com/navegacion-en-aguas-restringidas-aparicion-del-efecto-squat-o-asiento-dinamico>>. Consultado 01/04/2017.
- [2] Herreros Sierra, M.; Zamora Rodríguez, R.; Pérez Rojas, L. El fenómeno squat en áreas de profundidad variable y limitada. Madrid.
- [3] González, Harry (2012). Trimado Dinámico SQUAT.
- [4] Zahalka, P (2005). SQUAT. Bremen.
- [5] <<http://www.exponav.org/el-efecto-squat-y-el-hundimiento-del-herald-of-free-enterprise/>>. Consultado 03/04/2017.

RESISTENCIA AL AVANCE

AN (CIA-EOF) D. RAFAEL BLASCO AZNAR

Arsenal de Cartagena



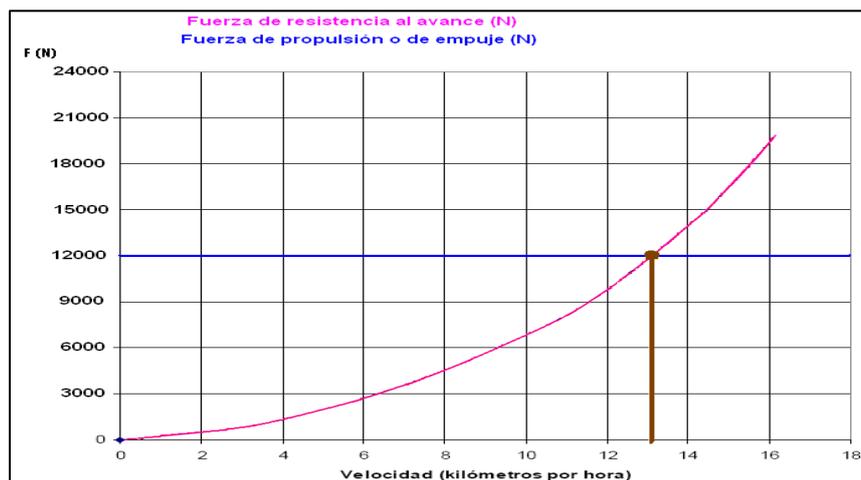
Fragata Méndez Núñez (Fuente: Armada)

1. Introducción

Cuando un buque se desplaza, aparecen diferentes tipos de fuerzas que se oponen a su avance.

La característica principal de la resistencia total al avance es que es una función dependiente de la velocidad del propio buque elevada a un exponente superior al cuadrado y que, en determinadas circunstancias, puede alcanzar hasta la sexta potencia.

En la gráfica se representan las curvas de fuerza de resistencia al avance y efectiva de propulsión. El punto estable, donde se igualan las fuerzas, nos da la velocidad constante del buque para esas fuerzas. Es en esta gráfica en la cual nos fijaremos a la hora de determinar la propulsión necesaria que ha de disponer el buque.



Centrándonos en el objeto de este artículo pasamos a tratar la principal resistencia que actúa sobre el buque, **la resistencia por fricción**. No obstante a continuación se enuncian las resistencias que actúan sobre el buque.

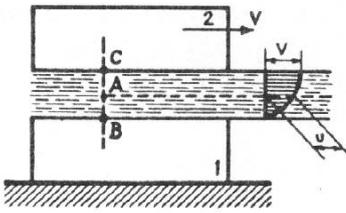
Las principales resistencias que opone el agua al movimiento de los buques en aguas tranquilas son:

- La **resistencia viscosa**, que se puede descomponer en resistencia de fricción y resistencia de presión por fricción (también conocida por resistencia de presión, resistencia directa, resistencia de remolino y resistencia de presión de estela)
- La **resistencia por formación de olas**.

2. Resistencia por fricción

Se produce por la fricción directa entre el agua y el casco. Como es sabido, el agua no desliza sobre el casco, sino que una delgada lámina de agua permanece pegada a la obra viva (**tensión superficial**). La contribución de cada punto del casco a la resistencia de fricción (tracción o tensión tangencial del fluido, en inglés *skin*

friction) es proporcional (mediante el coeficiente de viscosidad η) a la tasa a la que varía la velocidad del fluido a medida que nos alejamos del barco.



$$dF = \eta \cdot dS \cdot \frac{dv}{dn} \quad F = \eta \cdot S \cdot \frac{dv}{dn} \approx k \cdot \eta \cdot S \cdot v$$

$$F = \mu N \rightarrow \mu = k \eta \frac{S}{N} v = k \frac{\eta v}{p}$$

Empíricamente se ha encontrado que es proporcional a la superficie S de la parte mojada de la carena, a la densidad ρ del agua y a la velocidad del barco v elevada a una potencia no entera:

$$R_f = K_f \cdot \rho \cdot S \cdot v^{1,825}$$

K_f es un coeficiente de fricción dependiente de la rugosidad de la superficie y la velocidad v ha de expresarse en metros/segundo.

Es de destacar que el valor del exponente al que va elevado la velocidad se refiere a carenas limpias; con carenas sucias, el coeficiente puede superar el valor de 2.

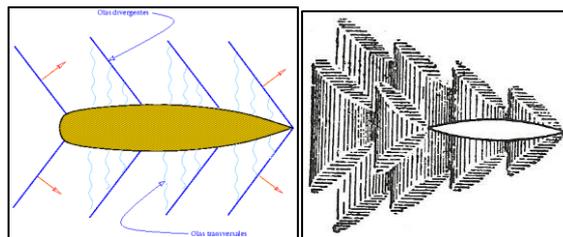
Es evidente que, dado que la resistencia por fricción actúa en la superficie del casco, la reducción de superficie mojada redonda en una disminución de esta componente de la resistencia.

Esta resistencia es la más importante, por su magnitud comparada con las otras, de las resistencias que se oponen al movimiento del barco. R_f es del orden del 80% de la resistencia total para velocidades del barco moderadas. Para velocidades mayores, el porcentaje respecto al total disminuye, llegando a ser del orden del 40%.

3. Resistencia por formación de olas

El buque en su marcha origina unos desequilibrios en la superficie del agua que traen como consecuencia la formación de olas superficiales. La energía que produce estas olas es suministrada por el buque, lo que provoca una resistencia al movimiento del buque. Se generan distintos tipos de olas en la superficie del agua:

- **Olas divergentes de proa y de popa:** las de proa, llamadas bigotes, son generadas por el choque frontal de las amuras con el agua. Como resultado aparecen frentes de las olas de orientación sensiblemente paralela a la amura y cuyo sentido de avance es normal a aquella. Las divergentes de popa se deben al vacío creado en el agua por las aletas. Su orientación y sentido de avance son similares a las de proa.
- **Olas transversales:** se generan a lo largo de toda la eslora del buque, consecuencia de los desequilibrios de presión creados en el agua a diferentes profundidades. Aunque los focos generadores de olas transversales son continuos a lo largo de la eslora, los principales son dos, uno a proa y otro a popa. En ambos extremos se generan sendas olas cuyas crestas son de orientación normal a la línea de crujía y avanzan en sentido contrario al del buque, aproximadamente a su misma velocidad. Los trenes de ondas vienen limitados por las olas divergentes.



La ola transversal de proa tiene su primera cresta algo a popa de la roda. La ola de proa por su parte nace con un seno un poco antes de la popa y su primera cresta está por la popa. Puede afirmarse sin demasiado error que la distancia entre las dos primeras crestas de ambas olas es la eslora del barco.

La longitud de ola o distancia entre crestas consecutivas tiene por valor:

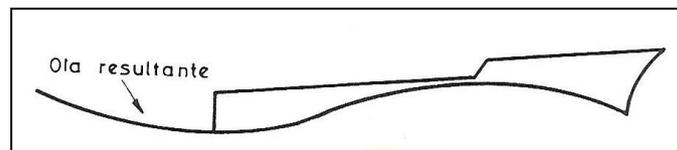
$$L = 0,17 \cdot v^2$$

L es la longitud de ola en metros y V la velocidad de la ola en nudos. La longitud de ola aumenta, pues, con el cuadrado de la velocidad de la misma velocidad que coincide con la del buque.

Las olas generadas a proa y a popa se combinan hacia popa y firman una ola resultante cuya amplitud es indicativa de la energía suministrada (y perdida) por el buque por esta causa. Si en la estela coinciden las crestas y los valles, la ola resultante será de gran tamaño. Si por el contrario en la estela coincide la cresta de la ola de proa con un valle de la de popa y viceversa, la ola resultante es pequeña.

A medida que la velocidad de la embarcación aumenta la longitud de ola se incrementa y la resultante en la estela va siendo alternativamente grande y pequeña, dependiendo de la diferencia de fases.

La mayor resistencia a la marcha se da cuando la longitud de ola es el doble de la eslora por lo que la popa se hunde en el seno formado por la propia ola. Tanto el propulsor como las formas del buque no están diseñados para navegar de esta manera. Se muestra este caso en la figura siguiente:



Si se sobrepasa la velocidad del caso anterior, la embarcación se va enderezando montándose en la cresta de la propia ola. A estas velocidades la resistencia por formación de olas cae.

4. Conclusiones

Actualmente, atendiendo a los precios del combustible, lo que se busca es una mejora de las formas y materiales de fabricación de los buques.

Existen diferentes métodos para reducir la resistencia por fricción de los buques como son: *inyección de polímeros en el agua, empleo de sustancias surfactantes, control electromagnético de turbulencia, inyección de microburbujas, recubrimientos superficiales*.

Los cuatro primeros métodos se encuentran en fase experimental con lo cual, comercialmente llegarán a largo plazo. Sin embargo el método de los recubrimientos superficiales es el más desarrollado y sobre el cual nos vamos a centrar. Además éstos nombrados anteriormente presentan problemas medioambientales, y añadiendo los ya existentes en un buque, quizás en estos momentos no sean del todo adecuados aplicarlos. En cuanto a los recubrimientos superficiales, se está experimentando con las siguientes soluciones: *superficies hidráulicamente lisas, similares a la piel de los delfines; superficies rugosas, con escamas similares a la piel de un tiburón; pinturas y recubrimientos especiales*.

A pesar de que los resultados de las dos primeras técnicas son satisfactorios los mecanismos para el desarrollo de las superficies son complicados y en ambos casos el diseño de la superficie, su fabricación y sobre todo su mantenimiento hacen que este sistema resulte muy caro y prohibitivo para la mayoría de las aplicaciones, pudiendo engrosar el conjunto de métodos a medio-largo plazo, salvo aplicaciones puntuales.

Por el contrario, el tercer caso nombrado, el uso de pinturas y recubrimientos especiales, no es tan ambicioso en las cifras de ahorro esperadas, pero tiene la virtud de su aplicación prácticamente inmediata, a muy corto plazo, con un precio similar a cualquier sistema actualmente empleado y con unas garantías de resultados económicos y medioambientales garantizados.

Entre los recubrimientos hay que destacar: *aluminio sin pintura, pintura autopulimentable de nueva generación, pintura a base de silicona, pintura de poliuretano bicomponente, recubrimiento plástico fluoropolimérico sustituto de la pintura.*

5. Bibliografía

- J.A. Aláez Zazurca “Resistencia viscosa de buques”, CEHIPAR, Publicación-46, 1972.
- L.Larsson, E. Baba, “Ship Resistance and Flow Computation”, Advances in Marine Hydrodynamics, Ed.M. Ohkusu, 1996.
- J. Torralbo Gavilán, M. Martí Pi, “Tratamientos superficiales: sistemas de aplicación de pintura utilizados en los astilleros”, Facultad Náutica de Barcelona, Universidad Politécnica de Cataluña, 2016.

EL PANEL HÍBRIDO SÁNDWICH: UNA ALTERNATIVA EN LAS CONSTRUCCIONES NAVALES

AN (CIA-EOF) D^a. VICTORIA GONZÁLEZ GARCÍA
Arsenal de Las Palmas

1. Introducción

En las industrias marítimas existe un interés creciente en el diseño y fabricación de estructuras cada vez más ligeras, que permitan la explotación de buques más veloces, con mayor capacidad de carga, mayor autonomía y un menor consumo de combustible.

La competencia en precios en la industria naval ha sido tradicionalmente muy fuerte y se ha incrementado durante los últimos años. Para mantener la posición en el mercado y ganar nuevos contratos, los astilleros han de esforzarse en aumentar la productividad y eficiencia, rebajando los costes.

En todas las tentativas de mejorar la competitividad se suele dar poca importancia a los materiales empleados, aunque éste es uno de los más importantes factores de coste.

Los actuales retos en la investigación y la tecnología naval se centran en el desarrollo de plataformas modulares más ágiles y medioambientalmente más eficientes con una amplia capacidad de operación automatizada al máximo y con un ciclo de vida de coste reducido que incluya un diagnóstico inteligente, aspecto en el que los materiales híbridos cuentan con la gran ventaja de poder embeber fibras ópticas para la monitorización en su propia estructura.

En el caso de los buques destinados a las operaciones militares, además capacidad para asegurar su operatividad en las diferentes localizaciones de los teatros de operaciones tácticos y estratégicos, focalizando estos esfuerzos en la predicción y control de los movimientos de la plataforma, en su maniobrabilidad, en la minimización de los registros térmicos, acústicos y magnéticos, en la mejora de diseño y construcción de cascos, estructuras y propulsores y en general en todo aquello que mejore la capacidad de respuesta de la plataforma.



Ilustración 1 Corbeta sueca Helsingborg de la clase Visby [3].

Es decir, nuevas funciones que requieren nuevos materiales, puesto que los materiales convencionales no son capaces de cubrir las necesidades tecnológicas que estas nuevas aplicaciones demandan. [1]

2. Materiales alternativos

Centrados en el objetivo de la reducción del peso de los buques construidos con la tecnología y materiales actuales, cabe plantearse dos alternativas relacionadas entre ellas que son la construcción de estructuras

más ligeras, en base a remplazar los refuerzos tradicionales con elementos con mayor rigidez a flexión y la construcción con materiales ligeros con una rigidez específica más elevada.

En ambos casos, las construcciones tipo sándwich son las más frecuentes, y se fabrican con pieles de aluminio y un núcleo de chapa corrugada unida mediante adhesivos de fusión en caliente, o una combinación de pieles de acero o aluminio con un núcleo de poliuretano inyectado, o núcleos de espuma de aluminio, madera de balsa e incluso hormigón ligero. [2]

3. Caracterización de un panel híbrido sándwich

Los paneles sándwich son la síntesis del concepto de material híbrido. En ellos se combinan dos o más materiales con una geometría y escala específicas, conformando las caras y el núcleo unidos mediante adhesivos que proporcionan continuidad estructural, para proporcionar a la estructura una rigidez y resistencia elevadas con un peso lo menor posible.

La separación de las caras por el núcleo incrementa el momento de inercia I y el módulo de la sección Z del panel, a costa de un mínimo incremento en el peso, obteniéndose una estructura eficiente para soportar cargas de flexión y pandeo.

Las caras soportan la mayoría de la carga, de manera que han de ser rígidas y resistentes; constituyen la cara externa del material híbrido y han de ser resistentes a la acción medioambiental. El núcleo ocupa la mayor parte del volumen, debe ser ligero y lo suficientemente rígido y resistente para soportar las tensiones de cortadura, de manera que el panel en su conjunto funcione como un conjunto resistente.

Hasta este momento hemos hablado de un panel sándwich como una estructura constituida por caras de material A unidas y soportadas por un núcleo de material B, cada uno con su densidad y módulo de elasticidad propio. Pero el conjunto debe considerarse como un material con sus propiedades y características, lo que resulta útil para comparar este material híbrido con materiales monolíticos convencionales.

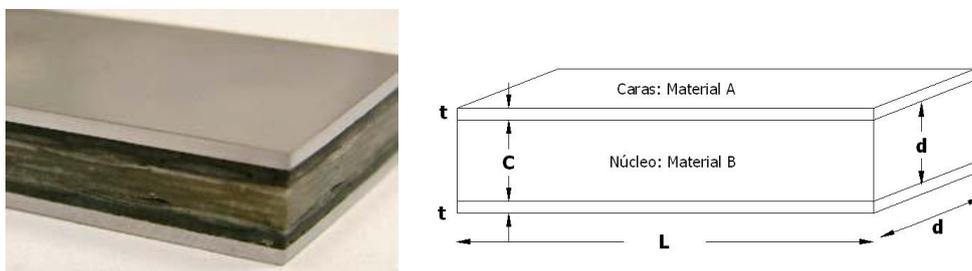


Ilustración 2 Geometría del panel sandwich [2]

Para hacerlo debemos analizar las prestaciones del sándwich y usaremos como criterio la rigidez a flexión por unidad de anchura, S_w , dividida por la masa por unidad de área, m_a .

La rigidez a flexión del panel por unidad de anchura, S_w , viene dada por

$$S_w = (EI)_{\text{sand}} = \left[\frac{1}{12} (d^3 - c^3) E_c \right] \left\{ \frac{1}{1 + \frac{BE_c tc}{2G_n L^2}} \right\}$$

donde las dimensiones, d , c , t y L corresponden a las indicadas en la ilustración 1, E_c es el módulo de Young del material de las caras y G_n es el módulo de rigidez a cortadura del núcleo. La constante numérica B depende del tipo de carga considerado.

La ecuación anterior es el producto de dos términos. El primero, entre corchetes, sería el valor obtenido si la rigidez a flexión fuera el único modo de deformación considerado. El segundo término, entre llaves, es un

factor de ponderación, menor que la unidad, de la rigidez debido al efecto de la cortadura en el núcleo. Si el núcleo resiste de manera adecuada las tensiones de cortadura, el segundo término puede ser despreciado.

Considerando el panel sándwich como un todo, se puede definir un módulo aparente, el módulo de un material homogéneo con la misma rigidez a flexión que el sándwich, esto es

$$(EI)_{\text{sand}} = \frac{1}{12} (d^3 - c^3) E_c = \frac{1}{2} t d^2 E_c = \tilde{E} \frac{d^3}{12}$$

donde $d^3/12$ es el momento de inercia de un panel homogéneo de espesor d .

Suponiendo en primera aproximación que $t \ll d$, resulta un módulo de Young aparente

$$\tilde{E} = \frac{6t}{d} E_c$$

El panel tiene una densidad, ρ , que es una media ponderada de las densidades del material de las caras y del núcleo

$$\rho = \frac{2t}{d} \rho_c + \left(1 - \frac{2t}{d}\right) \rho_n$$

Si el núcleo es lo suficientemente ligero, el segundo término es pequeño frente al primero, obteniéndose en tal caso la siguiente expresión que expresa el módulo de Young aparente en función del correspondiente al del material seleccionado para las caras externas y al cociente de densidades entre núcleo y caras.

$$\tilde{E} \approx 3 \left(\frac{\rho}{\rho_c} \right) E_c$$

Si el material de las caras es mucho más pesado que el material del núcleo, la relación de densidades en esta última ecuación es prácticamente la unidad, de manera que la rigidez aparente resulta estar relacionada con la rigidez de las caras por un factor 3.

Dicho de otra manera, el panel sándwich a flexión es aproximadamente tres veces más eficiente que el más eficiente de los materiales compuestos con refuerzo de fibras, incluso cuando las fibras están alineadas en dirección normal al eje de flexión. [2]

Esto es, por supuesto, una idealización. El núcleo siempre se deforma algo a cortadura y tiene una cierta masa. La conclusión más relevante es que el criterio de excelencia para un diseño de peso mínimo para una rigidez impuesta viene dado por la relación de propiedades $E^{1/3}/\rho$, y en esta situación la disposición de los materiales A y B formando un panel sándwich sobrepasa en prestaciones a cualquier otra geometría de híbrido A+B. [1]

4. Conclusión

En este artículo se ha tratado de poner de manifiesto cómo nuevos materiales están irrumpiendo en la construcción naval para proporcionar soluciones constructivas y de diseño que los materiales tradicionales no son capaces de alcanzar.

Las estructuras de materiales híbridos fibra-metal combinan lo mejor de cada una de sus componentes, para ofrecer soluciones inteligentes con prestaciones incrementadas capaces de atender a unos requisitos funcionales y ambientales exigentes, contando con menor peso, mayor facilidad de manejo, menor coste de fabricación y mantenimiento.

De este modo, es posible combinar la elevada resistencia al impacto y durabilidad, junto con facilidad de mecanización y fabricación típicas de los materiales metálicos, con una elevada resistencia y rigidez específicas en la dirección de la fibra, así como una buena resistencia a la fatiga, característica de los materiales compuestos.

Los materiales híbridos abren nuevas posibilidades a la hora de conseguir prestaciones inalcanzables para los materiales tradicionales. La utilización de materiales de distinta naturaleza, combinados a una escala adecuada y con una organización jerárquica de sus componentes da lugar a la aparición de propiedades no cubiertas por los materiales tradicionalmente empleados en diversas ramas de la ingeniería.

El diseño y fabricación de materiales híbridos es una tecnología emergente que ya ha dado sus frutos en campos de aplicación concretos y que será, sin duda, terreno de nuevos descubrimientos y aplicaciones en las décadas próximas.

La combinación de capas o láminas sucesivas de materiales logra multiplicar las propiedades en el material híbrido, haciéndolas mucho mayores que las de cada uno de los componentes por separado.

Finalmente es posible reseñar la gran capacidad que presentan estos materiales en su aplicación para la construcción naval militar como en las embarcaciones del servicio marítimo de la guardia civil o en las corbetas suecas de la clase Visby.

5. Referencias bibliográficas

[1] Herreros, M.A., Suárez, J.C., Pinilla, P., Miguel, S., López, F., y Diez de Ulzurrun, I. Malecón: un nuevo material híbrido laminado fibra-metal para construcción naval. *47º Congreso de ingeniería naval e industria marítima*.

[2] Herreros Sierra, M. A. Los nuevos materiales en la construcción naval. Compuestos e híbridos. *XXVIII Semana de estudios del mar*.

[3] Sandön G., (30, junio, 2008) Fotografía del HMS Helsingborg K32. Recuperado de <https://en.wikipedia.org/wiki/Visby-class_corvette>

POWER TO GAS

AN (CIA-EOF) D^a. CARLOTA PERALTA ALONSO

Arsenal de la Carraca

1. Introducción

El hidrógeno es el primer elemento de la tabla periódica, siendo su número atómico igual a la unidad y su masa atómica 1,00794 uma. En condiciones normales se presenta en estado gaseoso con una densidad de 0,0899 kg/Nm³ lo que dificulta su transporte, al igual que sucede en estado líquido, pues tiene una densidad de 0,0708 kg/Nm³. Además de esto, presenta unos límites de explosión de 4,0 a 75,0 % (concentración de H₂ en aire) y límites de detonación de 18,3 a 59,0 % (concentración de H₂ en aire). Por lo tanto, se tendrán que tener ciertas consideraciones debido a sus propiedades puesto que este compuesto atacará al material que lo contiene, en este caso, los metales [1].

El objetivo de este trabajo es demostrar que existe un medio de transporte rápido, seguro y fiable que permitirá transportar el hidrógeno en grandes cantidades sin originar grandes costes si hubiese que establecer nuevas infraestructuras.

Los gasoductos, también llamados canalizaciones de gas, están orientados a grandes volúmenes y a una demanda continua, que no pueden ser atendidos por los métodos de distribución habituales, ya sean por carretera mediante camiones, o por mar mediante buques. Esto lleva a la necesidad de proximidad entre la planta de producción del gas y el punto de consumo (industria petroquímica, producción de acero, etc.)

Actualmente el hidrógeno se transporta a diferentes presiones dependiendo de la tubería por la que circula, variando entre 0,34 y 10 MPa [2], cuando el hidrógeno se transporta como gas comprimido la presión estará entre 1 y 3 MPa [3]. Por lo tanto el material más común para transportar el hidrógeno es el acero inoxidable austenítico, debido a que la fragilización y la corrosión no afecta gravemente a este acero.

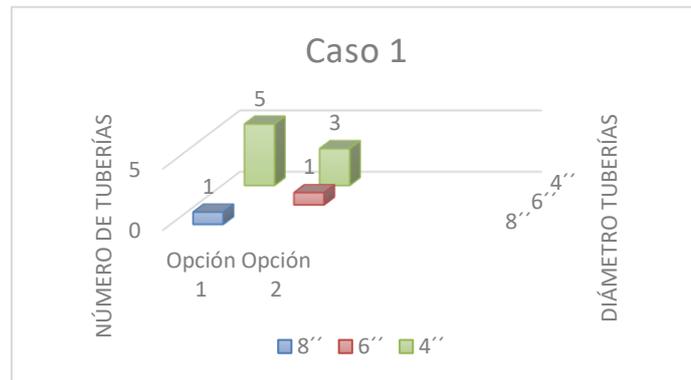


Figura 1. Submarino S80

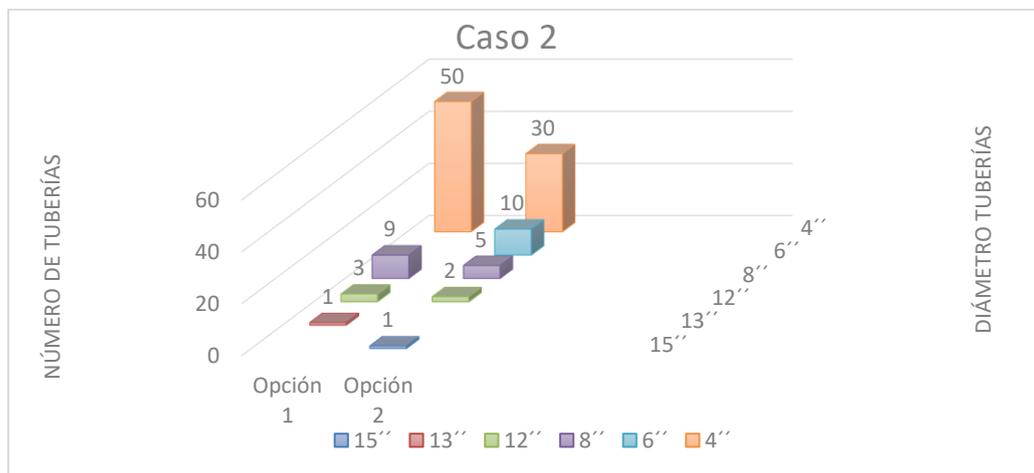
2. Modelo teórico en diferentes poblaciones

Debido al aumento de interés en el posible uso de hidrógeno como fuente alternativa de energía se realizó un estudio donde se mostraron los diferentes casos posibles de transporte del hidrógeno dependiendo de la población.

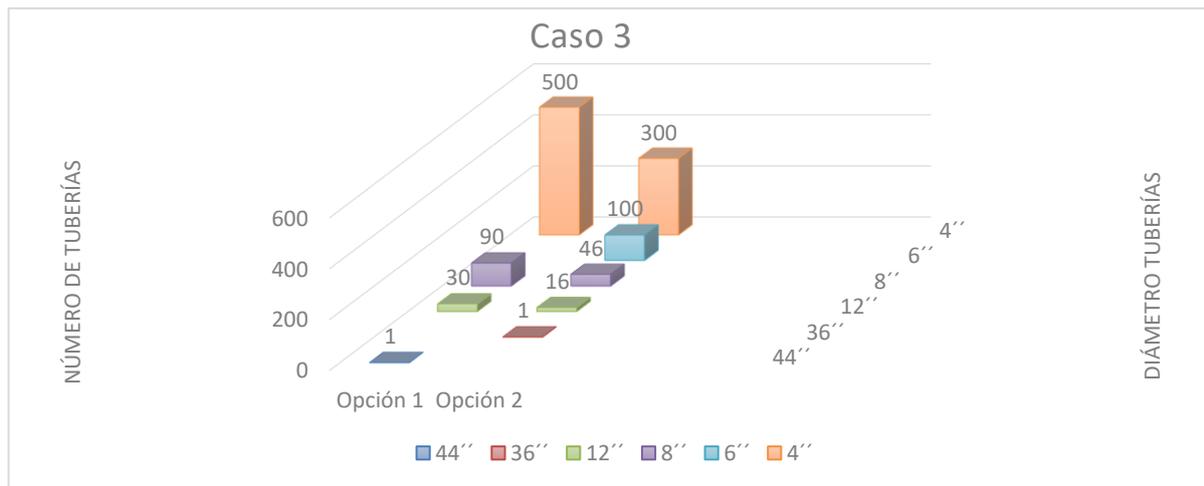
En los siguientes gráficos, se muestran las tuberías necesarias, en paralelo o en serie, para suministrar hidrógeno a diferentes poblaciones, dependiendo del diámetro de la tubería por la que se va a transportar el hidrógeno. En la Opción 1 la presión de origen es de 6,89 MPa (1000 psi) y la pérdida de carga del fluido es 2,06 MPa (300 psi), sin embargo los valores de presión de origen y pérdida de carga en la Opción 2 respectivamente son de 24,62 MPa (3600 psi) y 2,06 MPa (300 psi).



En el Caso 1, el número de habitantes es de 100.000 personas y se estima que la demanda de hidrógeno para este caso sería de 3.000 kg/h.



En el Caso 2, la población rondaría la cifra de un millón de personas y por tanto la demanda sería de entorno al 30.000 kg/h de hidrógeno, reflejándose un aumento en el número de tuberías necesario para un posible consumo de hidrógeno en esa área metropolitana



Por último, en el Caso 3 se estimaría para 10.000.000 de personas una demanda de 300.000kg/h de hidrógeno, y por consiguiente el número de tuberías con respecto al caso anterior ha aumentado un 10% más, debido al aumento de población y consumo, por lo que este último caso conllevaría una gran infraestructura. Y por este motivo nació power to gas

3. Power to gas

Por lo general, transportar el hidrógeno vía gasoductos no es complejo, siendo uno de los problemas la construcción de una nueva red general de tuberías, necesitando un desembolso muy elevado, por lo que, una de las soluciones que se está promoviendo es la de aprovechar la distribución de gas natural por inyección del hidrógeno en los gasoductos y separando la mezcla de gas natural e hidrógeno en el punto de destino. Sin embargo, las redes que transportan gas natural llevan muchas décadas funcionando y a consecuencia de esto muchos de los diferentes aceros presentan un nivel de fragilización frente al hidrógeno. Los aceros con una alta resistencia, como por ejemplo el X70 o superior, están aleados con materiales que pueden ser atacados por el hidrógeno produciendo graves problemas de fragilización [4]. Generalmente estos problemas de fragilización aparecen a presiones superiores a 7 MPa, que resulta ser la presión límite en la línea de las tuberías que transportan gas natural, puesto que la red básica de distribución del gas natural es de 6 MPa y la red de distribución secundaria está comprendida entre 1,6 y 6 MPa [5]. Por este motivo estas líneas son idóneas para transportar el gas natural enriquecido con el hidrógeno, incluso si los materiales de construcción no son los más aconsejables para transportar el compuesto.

El porcentaje en la mezcla recomendado para esta situación es de alrededor del 10% de H₂, teniendo en cuenta las siguientes limitaciones [6]:

1. Si se inyecta en almacenamientos subterráneos donde puedan existir bacterias sulfato reductoras, se puede fomentar la producción de H₂S.
2. Los depósitos metálicos para almacenamiento de gas natural comprimido sólo permiten concentraciones de hidrógeno del 2%.
3. Las turbinas de gas de las centrales térmicas o de cogeneraciones pueden trabajar con concentraciones de hidrógeno del 1 al 5%, si bien se está trabajando para incrementar ese porcentaje hasta el 15%.
4. Algo similar ocurre con los motores de gas natural. En este caso se está trabajando con los sistemas de regulación de los mismos para permitir concentraciones mayores.
5. Los procesos de análisis cromatográficos estándar no son capaces de determinar con precisión las concentraciones de hidrógeno.

En la Figura 2, se muestra el procedimiento llamado «power to gas», P2G, que permite generar hidrógeno a partir de las energías renovables, solar o eólica, cuando existe una escasa demanda de estas energías y se

puede utilizar esa energía para producir hidrógeno, e inyectarlo en la red de gas natural directamente o convertirlo en metano (gas sintético) mediante la reacción de Sabatier [6]:

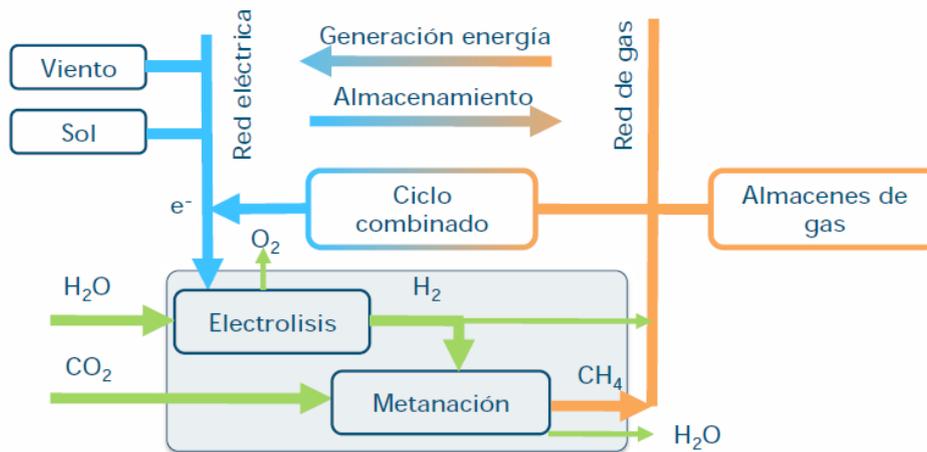


Figura 2. Power to gas [6]

3.1. Reacción de Sabatier

Una de las opciones que se plantean a la hora de transportar el hidrógeno es metanizarlo mediante la reacción de Sabatier, que implica reaccionar el dióxido de carbono con el hidrógeno para producir metano que puede ser posteriormente almacenado durante períodos más largos de tiempo y distribuirlo en la red de gas natural [7].

El químico francés Paul Sabatier, fue el descubridor de la reacción química que ahora el Departamento de Hidrógeno y Energía del Instituto EMPA ha conseguido optimizar mediante catalizadores con un tipo de zeolita que absorben el agua resultante en la reacción química [8]

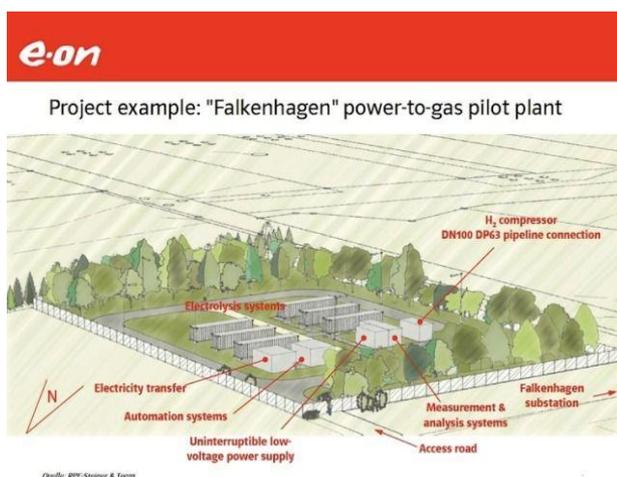
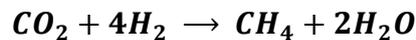


Figura 3. Planta P2G Falkenhagen [9]

3.2. Planta P2G en Falkenhagen

La planta de "power to gas" de la empresa E.On situada en Falkenhagen, Alemania, recibe la energía de un parque eólico situado en las proximidades de la planta y debido a que esta planta produce un excedente de energía, se aprovecha la energía sobrante para hacer funcionar el equipo de electrolisis que transforma el agua en hidrógeno, el cual se inyecta en el sistema regional de distribución de gas natural. Con una capacidad de 2 MW puede producir hasta 360 m³ de hidrógeno por hora [9].

En 2013 se realizó la primera prueba en la planta de Falkenhagen donde se introdujo hidrógeno en la red de gas natural. Esta prueba tuvo una duración de tres horas y la planta produjo 160 m³ de hidrógeno, los cuales se introdujeron en el sistema de distribución de gas natural [10].

En 2014 la planta piloto confirmó un gran rendimiento inyectando más de 2·10⁶ kWh de hidrógeno en la red de suministro de gas natural.

En 2015 se pretende que entre en funcionamiento la segunda planta piloto en Reitbrook próxima a Hamburgo cuyos equipos de electrolisis serán más compactos y eficientes [9].

4. Aplicaciones actuales del hidrógeno

El uso del hidrógeno durante décadas ha sido muy común en la industria química, refino, metalúrgica, vidrio o electrónica, entre otros [11], por lo que este método de transporte mediante canalizaciones no es nada nuevo.

5. Referencias bibliográficas

- [1] *Los números del Hidrógeno*. Asociación del Hidrógeno [en línea]. <www.aeh2.org>
- [2] *Distribución por gasoductos. Generación de Energía a partir del Hidrógeno* [en línea]. <<http://web.ing.puc.cl/~power/alumno14/hidrog/trans-almac-dist.htm>>
- [3] *Distribución del hidrógeno. Transporte como gas comprimido*. Energética del hidrógeno. Contexto, Estado actual y Perspectivas de futuro. Clara Fernández-Boñados Badía [en línea]. <<http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/3823/fichero/3.3+Distribuci%F3n+del+Hidr%F3geno.pdf>>
- [4] *Natural gas pipelines for hydrogen transportation. European Network and Center of Expertise on Hydrogen and its Applications*. Laurent Bedel - Michael Junker. 13-16 Junio 2006, Lyon, Francia [en línea]. <<http://www.cder.dz/A2H2/Medias/Download/Proc%20PDF/POSTERS/%5BGIV%5D%20Liquid%20&%20gaseous%20storage,%20delidevy,%20safety,%20RCS/222.pdf>>
- [5] *Transporte de gas natural en España*. Gas Natural Fenosa [en línea] <<http://www.gasnaturalfenosa.es/es/conocenos/mas+que+gas+y+electricidad/que+hacemos/en+gas+natural/1297099597464/transporte.html>>
- [6] *El Almacenamiento de la electricidad. Almacenar electricidad en el gas natural: Power to Gas*. Juan Puertas. Director de Redes GNFE. (Barcelona, 7 de Abril 2014).
- [7] *Producen gas natural sintético a partir de excesos de electricidad renovable*. Investigación, Noticias 07/01/2014 [en línea] <<http://www.elcorreo.com/innova/investigacion/20140107/natural-electricidad-201401071344-rc.html>>
- [8] *Obtención más eficaz de gas natural sintético a partir de electricidad sobrante*. Química, Noticias 01/04/2014 [en línea] <http://noticiasdela-ciencia.com/not/9982/obtencion_mas_eficaz_de_gas_natural_sintetico_a_partir_de_electricidad_sobrante/>
- [9] *La planta power to gas de E.ON inyecta más de 2 millones de kWh de hidrógeno en la red de gas*. Publicado en Infraestructuras 02/09/2014 [en línea] <http://www.eonespana.com/es/sala-de-prensa/notas-de-prensa/2014/9/2/la-planta-power-to-gas-de-eon-inyecta-mas-de-2-millones-de-kilovatios-hora-de-hidrogeno-en-la-red-de-gas.html>>
- [10] *La planta de P2G de E.ON inyecta hidrógeno al sistema de gas natural por primera vez*. Publicado en Gas 13/06/2013 [en línea] <<http://www.eonespana.com/es/sala-de-prensa/notas-de-prensa/2013/6/13/la-planta-de-power-to-gas-de-eon-inyecta-hidr-geno-al-sistema-de-gas-natural-por-primera-vez.html>>
- [11] *Aplicaciones convencionales del hidrógeno y pilas de combustible*. La economía del hidrógeno. G. San Miguel, J. Dufour. Grupo de Ingeniería Química y Ambiental. Escuela Superior de Ciencias Experimentales y Tecnología, Universidad Rey Juan Carlos. <http://www.aecientificos.es/empresas/aecientificos/documentos/LA_ECONOMIA_HIDROGENO_2.pdf>

PORPOISING

AN (CIA-ETO) D. JOSÉ IGNACIO SUÁREZ FEITO

E.N.M.

En las últimas décadas la navegación ha experimentado una auténtica revolución tecnológica, con el desarrollo de nuevos tipos de buques de diseños cada vez más específicos y adaptados a su navegación y función. Sin duda una de las más espectaculares innovaciones es la de los buques de alta velocidad.



Debido a su creciente demanda en el mercado actual, se crea la necesidad de realizar una serie de estudios específicos para este tipo de embarcaciones que proporcionen información de cómo navegan, qué parámetros en su geometría son los más influyentes, qué tipo de fenómenos aparecen y qué impacto producen (olas, medioambiente y mundo marino). Y a raíz de esto, elaborar una serie de criterios de impacto medioambiental, consideraciones de seguridad, normativas a tener en cuenta en el momento de la construcción de este tipo de embarcaciones como criterios de estabilidad, francobordo, calado, desplazamientos, etc.

Se considera una embarcación como planeadora cuando el empuje hidrodinámico es mucho mayor frente al hidrostático. A medida que va aumentando la velocidad, también van aumentando las fuerzas hidrodinámicas. El fenómeno del *porpoising* suele aparecer en embarcaciones ligeras planeadoras y a altas velocidades. Se trata de unas oscilaciones que aparecen en forma de cabeceo, en el sentido vertical de la embarcación, de una amplitud regular o que puede ir aumentando con el tiempo. Si no se corrige este fenómeno puede terminar provocando un hundimiento de la proa en el agua o que la embarcación se eleve totalmente en el aire, provocando importantes danos estructurales, materiales y a los tripulantes.

El *porpoising* es el fenómeno más estudiado aunque se hace difícil su predicción en el momento de diseño del buque o su corrección una vez construido.



Existen guías de trabajo, como por ejemplo las que realizaron *Day* y *Haag*, en que se determina que los factores más influyentes en este tipo de inestabilidad son el ángulo de trimado, el centro de gravedad longitudinal, la velocidad y el ángulo de astilla muerta. A partir de eso, se estableció una relación entre el ángulo de trimado y el coeficiente de sustentación que permitió predecir el momento en que se produce el *porpoising* en una embarcación y los límites de las zonas estables e inestables.

Un método de cálculo admitido es el *Powersea* [1] base de cálculo las expresiones desarrolladas por Tullio Celano en «*The Prediction of Porpoising Inception for Modern Planing Craft*» de 1998 [2]:

$$\tau_{crit.} = 0.1197 * \beta^{0.7651} * \exp(15.7132 * ((C_L/2)^{1/2}) * \beta^{-0.2629})$$

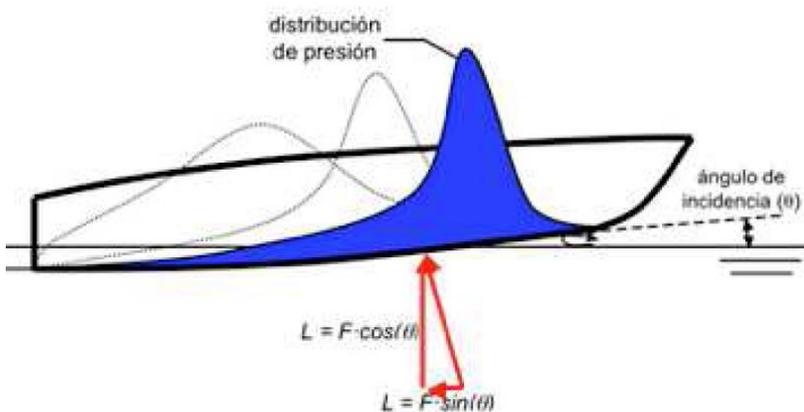
La relación entre C_L , C_Δ y C_V es:

$$(C_L/2)^{1/2} = (C_\Delta^{1/2})/C_V$$

Los datos más significantes son:

V (nudos)	V (m/s)	Cv	$(C_L/2)^{1/2}$	T _{equilibrio} (°)	T _{critico} (°)
10	5.14	0.948	0.6127	4.527	87.408
20	10.29	1.896	0.3064	6.486	11.082
30	15.43	2.845	0.2042	5.154	5.567
40	20.58	3.793	0.1532	3.844	3.946
50	25.72	4.741	0.1225	2.98	3.209
60	30.86	5.689	0.1021	2.528	2.797
70	35.98	6.511	0.0879	2.231	2.481

Para empezar, se determinara como deberá ser el fondo de la embarcación para que tenga las formas adecuadas para este tipo de embarcaciones. Este puede ser de 3 tipos: cóncavo, plano o convexo.



Observando esta figura en la que aparecen los efectos que producen una embarcación con el fondo cóncavo, se observa que el centro y la distribución de presiones se adelantan y se pronuncian más. Este tipo de fondos provocan una mayor resistencia por presión (comparado con los fondos planos), además, producen un mayor trimado de la embarcación, haciéndola muy sensible a pequeñas variaciones del ángulo de incidencia o de cualquier pequeña perturba-

ción. Este tipo de formas suelen inducir a la inestabilidad de cabeceo o *porpoising*.

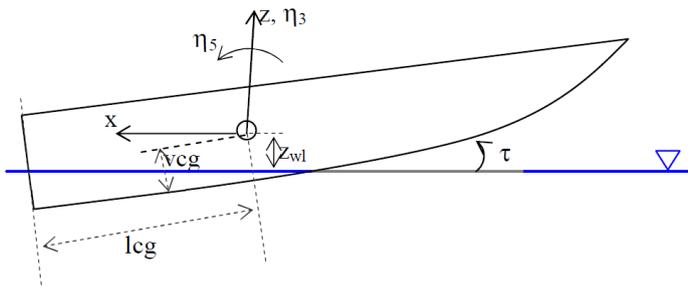
Además de los criterios de diseño comentados anteriormente existen distintas soluciones que suelen usar este tipo de embarcaciones para incrementar el empuje, reducir el área mojada, reducir la resistencia al avance, etc. Entre estas soluciones se encuentran los *spray rails*, los *flaps* y los *steps*. Posiblemente el que mayor rendimiento saca en cuanto al *porpoising* son los *flaps*: se sitúan a popa, bajo el espejo, en la dirección de avance del barco. Son superficies inclinadas que provocan un aumento de la sustentación y por lo tanto un cambio en el trimado, reduciendo así la componente de resistencia de presión de origen viscoso.

Su funcionamiento es parecido al de los *spray rails*, ya que cuando actúan tienen una cara activa en donde aparecen altas presiones. Estos suelen tener un ángulo de incidencia variable para permitir controlar el trimado de la embarcación de manera dinámica.

Las embarcaciones de planeo son esencialmente vehículos marinos que derivan su sustentación fundamentalmente de las presiones hidrodinámicas que actúan en sus fondos relativamente planos y anchos. Sin embargo, al mismo tiempo que los cascos de planeo introducen la habilidad para operar a altas velocidades a través de la superficie del agua, también pueden ser víctimas de inestabilidades dinámicas, las cuales se manifiestan tanto en respuestas verticales como transversales. En casos moderados, estas inestabilidades pueden significar una simple molestia, pero en los casos más extremos pueden conducir fallos estructurales catastróficos, a volcar el barco y a producir daños personales importantes. La inestabilidad dinámica más común, conocida como *porpoising*, resulta de la oscilación



altamente acoplada, en un plano vertical, de los movimientos verticales (*heave*) y de cabeceo (*pitch*) del barco y que puede ser de amplitud constante o creciente.



Estudios referentes al fenómeno del *porpoising* realizados por *Perring* (1933), *Day&Haag* (1952), *Clement&Blount* (1962), *Savitsky* (1964 & 1976) [3], *Friedsma* (1969) [4], *Martin* (1978) y otros, utilizando tanto ensayos de canal como en pruebas a escala real, han demostrado que el fenómeno del *porpoising* es función de la velocidad, de la carga, del asiento dinámico, del LCG (posición longitudinal del centro de gravedad) y del ángulo de astilla muerta.

Referencias bibliográficas

- [1] Manual de Powersea.
- [2] Tullio /Celano, III «*The Prediction of Porpoising Inception for Modern Planing Craft*» Naval Academy Annapolys MD, 1998.
- [3] Savitsky, Daniel. «*Hidrodynamic Design of Planing Hulls*», Marine technology. Vol1.No1.1964.
- [4] Fridsman, Gerard, «*A systematic Study of the Rough-Water Performance of Planing Boats*», Stevens Institute of technology Hoboken, New Jersey, 1969.

LA CONSTRUCCIÓN DE UN BUQUE CIVIL VS LA CONSTRUCCIÓN DE UN BUQUE MILITAR

AN (CIA-MOEOF) D^a. MARÍA GALDÓN NAVARRO

Arsenal de las Palmas

Cuando pensamos en un barco, visualizamos un elemento capaz de flotar en una superficie fluida como es el agua del mar. Este elemento se puede asemejar a una viga capaz de soportar esfuerzos parecidos a los que soportaría cualquier viga de cualquier edificio que vemos mientras paseamos por la calle con la diferencia de que esta viga-barco no tiene una cimentación sólida como puede tener un edificio, sino que se mantiene flotando y deslizándose sobre el agua.

De manera muy simplificada, podemos decir que un edificio se mantiene en pie gracias a la acción de la gravedad y a las reacciones que ejerce el suelo sobre él mientras que un barco flota en el agua según el principio de Arquímedes *«todo cuerpo sumergido en un fluido experimenta un empuje vertical hacia arriba igual al peso del fluido desalojado»*.

Mientras un edificio se mantendrá prácticamente estático durante toda su vida, un barco debe tener la capacidad de recuperar la posición de equilibrio cuando se desplaza de ella, de otra manera, zozobraría hasta volcar, lo que supondría, en el peor de los casos, un naufragio. En la estabilidad influyen los pesos y la forma del buque. El buque debe ser un elemento completamente estanco pues su estabilidad en el mar depende, entre otras cosas, de su capacidad para mantener el agua fuera de sus límites. Debe tener la solidez suficiente para soportar los esfuerzos a los que va a estar sometido durante su vida (como se verá más adelante: esfuerzos cortantes, momentos de flexión, presión hidrostática, cargas estáticas... [1]) lo que exige una estructura del casco robusta para resistir los esfuerzos de la acción de los diferentes estados de la mar y de los pesos que transporta. El buque debe tener una flotabilidad adecuada que le permita mantenerse a flote a pesar de que algunas de sus partes se encuentren inundadas. Favorecen a esta cualidad una buena división estanca en su interior, así como una obra muerta elevada. Llevará una velocidad que irá en función de las formas del buque, de la potencia y del medio de propulsión (motor o vela). Y por último, una facilidad de gobierno que se requiere en razón de la necesidad de movimiento del buque en todas direcciones.

A la hora de construir un barco, lo primero que habrá que diseñar será su casco, siendo la base de su estructura y el elemento que delimita el espacio interior y lo separa y protege del exterior. Dice Antonio Crucelaegui ¹ que el diseño del casco consiste en lo siguiente: *«1. Partiendo de un conjunto de parámetros dados por el futuro usuario, se diseñan cuatro perfiles básicos que determinan la forma: el perfil extremo del casco -visto en planta irá enmarcado por la eslora y la manga máxima-, el perfil del casco a la altura de la línea de flotación, el área transversal en función de la coordenada longitudinal, y la vista en alzado del casco.*

2. Con esa información y teniendo en cuenta por tanto los momentos (de arrufo y quebranto, en condiciones de aguas tranquilas y olas) un software genera automáticamente un conjunto de secciones transversales, que definen la forma del casco, según métodos basados en un entramado de cuadernas. El programa nos proporcionará una serie de líneas que iremos adaptando a las necesidades y diseño de nuestro barco.



Figura 2. Construcción del forro y armazón de un barco



Figura 1. Arquímedes

¹ Doctor Ingeniero Naval, profesor titular de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Navales de la Universidad Politécnica de Madrid.

3. Posteriormente se interpola entre las secciones anteriores, utilizándose un proceso iterativo en que el usuario modifica parámetros de diseño si la superficie obtenida no es lo suficientemente suave y alisada y posee ondulaciones. [2].»

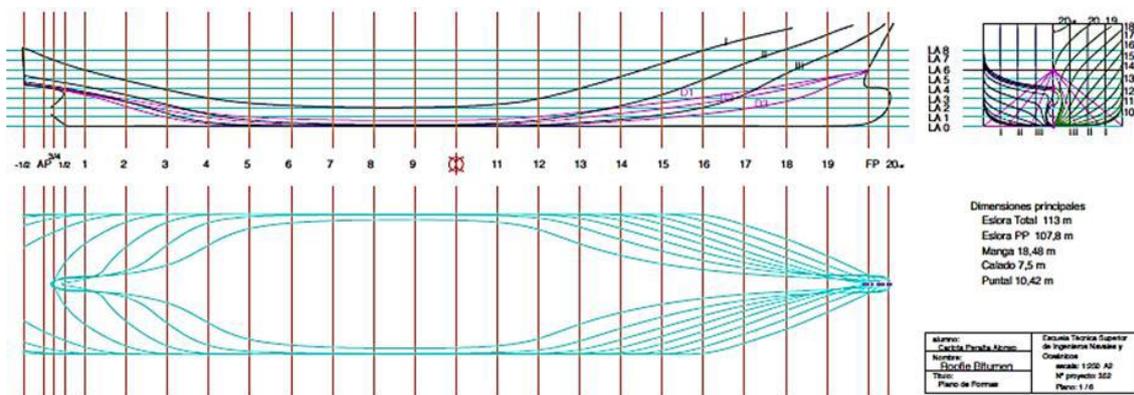


Figura 3. Líneas obtenidas del programa informático

Como hemos dicho, al tratar el barco como una viga, hemos tenido que calcular unos esfuerzos que introduciremos en el software. Estos esfuerzos se calcularán para aguas tranquilas y con olas como sigue:
Momento flector mínimo para quebranto y arrufo:

$$M_{\text{flector quebranto}} = 0,01 \cdot C_{WV} \cdot L_{PP}^2 \cdot B \cdot (11,97 - 1,9 \cdot C_B)$$

$$M_{\text{flector arrufo}} = -0,05185 \cdot C_{WV} \cdot L_{PP}^2 \cdot B \cdot (C_B + 0,7)$$

Esfuerzo cortante mínimo:

$$Q_{\text{ag. tr}} = \pm 0,4 \rho g \cdot B_{\text{local}} \cdot l_{tk} \cdot T_{sc}$$

Cargas totales estáticas:

$$P_{\text{hys}} = \rho g \cdot (T_{LC} - z)$$

A la hora de calcular la estructura de un buque, contamos además con las denominadas Sociedades de Clasificación, que certifican el cumplimiento de la normativa a aplicar en la construcción y confirman que los buques verifican dicho reglamento. Además, aportan una guía para los diseñadores y promueven la seguridad de la vida humana en la mar.

Hasta aquí podemos decir que la construcción de cualquier tipo de buque se realiza de manera similar, atendiendo a las mismas características de navegabilidad y cálculos para la construcción de la *viga-buque*. A partir de aquí, la construcción de un buque civil y uno militar, cambia. Mientras los buques civiles han ido evolucionando en función del desarrollo mercantil y necesidades de ocio, el buque militar ha evolucionado según la transformación de la guerra a lo largo de la historia.

«Las naves mercantes han ido aumentando su tamaño (desplazamiento) para satisfacer las necesidades económicas mundiales. Ahora la demanda de productos entre naciones y el intercambio de mercancías entre ellas es tal que la flota mercante ha aumentado su presencia en la mar de manera considerable (de los 70 millones de toneladas que había alcanzado antes de la Segunda Guerra Mundial hasta los 80 millones en 1950, expandiéndose continuamente hasta nuestros días).» [3]

Los buques militares han ido adquiriendo características nuevas e incorporando tecnología que nunca incorporarán (por las necesidades que cubren) los buques civiles.

Un buque militar tiene que cumplir una serie de requisitos que se englobarán en lo que conocemos como *survivability*², que es lo que hace que el barco siga funcionando tras un accidente o ataque enemigo. Entre las variables a tener en cuenta se encuentran la susceptibilidad para ser detectado y alcanzado, la vulnerabilidad tras el accidente o ataque y la capacidad para recuperarse tras el evento adverso. Estas se relacionan mediante la siguiente expresión:

$$P_S = 1 - P_H \cdot P_{K/H}$$

Donde:

P_S = probabilidad de supervivencia del buque.

P_H = probabilidad de susceptibilidad.

$P_{K/H}$ = probabilidad de vulnerabilidad.

Si bien un buque civil deberá contar con mecanismos para alcanzar un grado de supervivencia adecuado, el buque militar llegará a un nivel superior de la misma, aplicando tecnología y métodos específicos. La implantación de estos sistemas ha de hacerse al inicio del proceso de diseño. De esta manera, se ahorrarán costes posteriores durante el ciclo de vida.³

En cuanto a las características físicas de la estructura, algunas son específicamente diferentes a las que corresponden a buques civiles y la mayoría de ellas se centran en otorgar al buque la capacidad de mantenerse a flote tras un ataque enemigo. Por ello, el escantillonado⁴ del buque militar es más laborioso.

Toda la estructura estará reforzada. La estructura de un barco puede ser longitudinal (cuando los elementos estructurales principales sean los que coincidan en dirección con la longitud mayor del casco, o sea, la eslora), transversal (cuando coincidan con la longitud más corta, la manga) o mixta. En un buque de guerra, esta estructura estará reforzada en ambas direcciones.

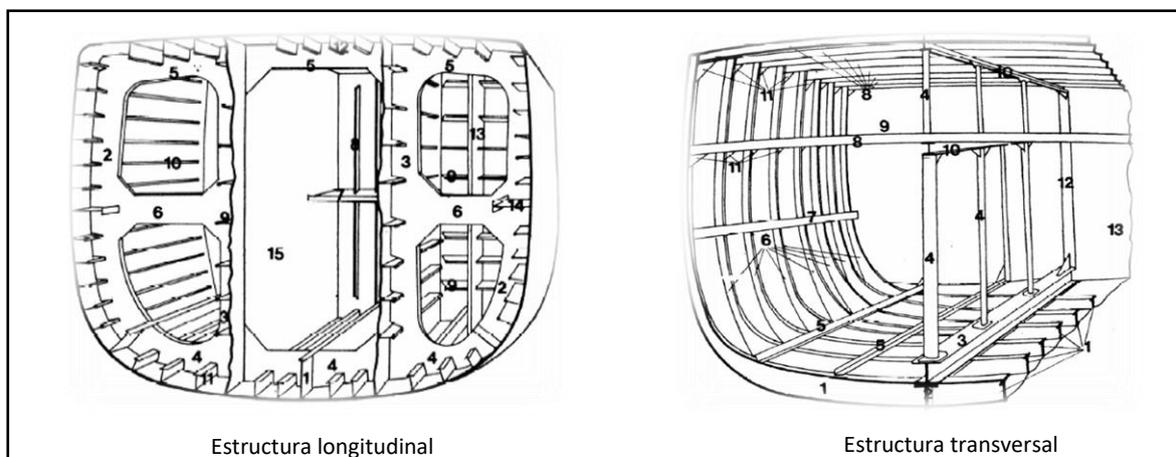


Figura 4. Esquema de las distintas tipologías de estructuras de un buque

La estructura del buque militar estará más compartimentada y la distancia entre cuadernas (elementos estructurales transversales del buque) será menor. De esta manera, en caso de impacto o colisión que provoque la apertura del casco y la consecuente introducción de agua en el interior, será posible aislar los compartimentos inundados evitando así una mayor acumulación de agua (que afectaría directamente a la estabilidad

² Capacidad de un Sistema de combate de continuar llevando a cabo la misión para la que fue diseñado en un ambiente hostil. OTAN 2003

³ Las mayores oportunidades de reducir los costes del ciclo de vida se producen en las etapas tempranas del Programa (OTAN 2009).

⁴ Cálculo de las dimensiones principales de un buque.

del buque). Para ello habrá que tener en cuenta los mamparos de subdivisión y los contraincendios, así como las rutas de escape. Además, la clara entre cuadernas deberá adecuarse a la forma y dimensiones del buque. *«Mientras más tiempo permanezca a flote un buque tras una avería, más eficaz será la evacuación y las operaciones de búsqueda y rescate. Es por ello que a la hora de calcular la estructura de un buque, habrá que tener en cuenta la cantidad de agua que pueda entrar en el barco. Y en el caso de los buques militares, no habrá que pasar por alto la posibilidad de la rotura del casco, ya sea por accidente o ataque enemigo, para lo cual se toman las medidas antes comentadas.»* [4]

En cuanto a la normativa, los reglamentos y reglas de las Sociedades de Clasificación antes mencionadas para los buques mercantes están fijados dentro del marco de la legislación internacional supervisada por la OMI⁵, particularmente en la Convención Internacional para la Seguridad de la Vida Humana en el Mar (SOLAS), surgido tras el hundimiento del Titanic.

Mientras este convenio y las reglas desarrolladas por las Sociedades de Clasificación son completamente aplicables a los buques civiles, en los buques de guerra aparecen además otras normativas más estrictas (surgidas principalmente tras los hundimientos producidos en los buques americanos en la Segunda Guerra Mundial) que intentan compaginar seguridad y capacidad militar. Será el gobierno dueño del buque militar y las autoridades correspondientes los que establezcan el nivel de seguridad exigible a estos barcos.

El Naval Ship Code (NSC)⁶ establece unas normas mínimas de seguridad desarrolladas a partir de los conceptos comentados al principio: *«las características de flotabilidad, francobordo, estabilidad y subdivisión serán proyectadas, construidas y mantenidas para proporcionar la adecuada reserva de estabilidad, permitir que las dotaciones desarrollen su trabajo sin impedimento, proporcionar la adecuada estabilidad para evitar el vuelco del buque y evitar ángulos de escora que impidan el adecuado funcionamiento de los medios de salvamento y proteger a las personas embarcadas y a los equipos esenciales ante las averías y emergencias previsibles hasta que la última persona alcance un lugar seguro o cese la emergencia»*. Para ello tiene en cuenta distintos tipos de averías: [5]

Tipo de buque afectado	Peor avería según NSC	Probabilidad de sufrir desgarró en el fondo	Probabilidad de sufrir fuego	Probabilidad de sufrir una explosión	Probabilidad de sufrir colisión
Buque de asalto anfíbio	Desgarro en el fondo	Elevada	Baja	Media	Alta
Fragata	Desgarro en el fondo	Media	Elevada	Alta	Baja
Portaaviones	Desgarro en el fondo	Baja	Alta	Elevada	Media
Ro-Ro	Desgarro en el fondo	Alta	Media	Baja	Elevada

Figura 5. Explicitación de las averías del NSC.

Como conclusiones podemos decir que la manera en la que se inicia el diseño de un buque civil y uno militar es prácticamente igual, ambos se consideran estructuralmente una viga que estará sometida a unos esfuerzos. A partir de unas dimensiones básicas y gracias a programas informáticos y a las Sociedades de Clasificación, iremos dándole la forma y dimensiones definitivas al buque en función de las necesidades y el uso al que irá destinado. El buque de guerra deberá además cumplir unas características específicas que no necesitará cumplir el buque civil por lo diferente de las finalidades para las que fueron construidos. Estas características se basan en la capacidad de supervivencia del buque militar a la hora de enfrentarse a un ataque

⁵ Organización Marítima Internacional.

⁶ Estándar basado en objetivos que determina un nivel mínimo de seguridad para buques navales.

enemigo y las posteriores consecuencias de este ataque. Para reunir y homogeneizar todas estas características contamos con normativa y herramientas como SOLAS o el NSC.

Referencias bibliográficas

- [1] Martín Domínguez, Ricardo (1969): *Cálculo de estructuras de buques*. Madrid.
 - [2] CRUCELAEGUI CORVINOS, Antonio: *Geometría y representación de carenas. Diseño asistido por ordenador. Vol 1*. Material docente de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Navales de la U.P. de Madrid. Pás.110.
 - [3] Fernández Muñoz, Luis (2009): *Evolución del transporte marítimo internacional. Aplicación al mediterráneo occidental*. Granada.
 - [4] Pérez Fernández, Rodrigo (2015): *Estudio de estabilidad de buques. Desde los criterios más importantes hasta cómo aplicarlos en función del tipo de barco*. Sevilla.
 - [5] NATO STANDARD ANEP-77 (2014): *NAVAL SHIP CODE Edition E Version*.
- Organización Marítima Internacional (2002): *Edición refundida del Convenio internacional para la seguridad de la vida humana en el mar, 1974, y su Protocolo de 1988*. Londres.

CONSTRUCCIÓN NAVAL MODULAR INTEGRADA

AN (CIA-MOEOF) D. Yeray Manuel Estévez Cerviño

Arsenal de Ferrol

1. Introducción

Desde 1980 la construcción naval en España ha sufrido un cambio radical. Los trabajos de construcción de buques previos a esta fecha tenían lugar en las gradas de los astilleros, donde se iba erigiendo el barco pieza a pieza, como si de un edificio se tratase. El avance técnico y de planificación permitió la construcción de buques a partir de módulos que incorporan las instalaciones y los sistemas integrados. De esta manera, se consigue un proceso productivo menos costoso, más rápido y con una calidad superior. Este nuevo método fue evolucionando hasta la actual construcción naval integrada.

El término modularidad se puede aplicar en diferentes campos. Las fragatas de la clase Absalon de la armada danesa, botado su primer buque en 2005, empezaron a utilizar un sistema modular, denominado STANFLEX, que permitía en el espacio de carga llevar tanto una plana mayor, como una compañía de infantería o un hospital. (Perez, 2016) Este sistema se basa en unos módulos de quita y pon que se cambian según sea necesario. Este artículo se centra en la modularidad como sistema constructivo de buques de guerra, abarcando su evolución histórica hasta la actualidad. (Figura 1)

Se podría dividir la evolución de construcción naval militar contemporánea en cuatro etapas. La primera de ellas se caracteriza por el montaje en grada de todos los elementos estructurales y de armamento. Posteriormente empieza la prefabricación de bloques estructurales en taller, técnica que sería mejorada en la tercera etapa, incorporando más elementos y trabajos de armamento en el bloque. Actualmente la construcción naval integrada basa su eficacia en el progreso simultáneo de trabajos de estructura, armamento y pintado, sin olvidar la construcción modular utilizada en etapas anteriores. (Rodríguez Lorenzo)

Es interesante para este artículo tratar la gran evolución de la construcción naval en los años 80 y sus antecedentes, para entender las tendencias actuales de la fabricación de buques de guerra.



Figura 1. Bloque de un buque en un astillero de Navantia. <www.abc.com>

2. El salto a la construcción modular

La incorporación de la construcción modular, que en España parecía un método muy novedoso y que permitiría a la factoría de Bazán dar un salto importante a nivel nacional e internacional, en realidad, existía en los talleres alemanes desde los años 40, que incluso tenían una distribución de trabajo similar a la propuesta por

la empresa española. Esto no quita mérito a la actual Navantia que ha obtenido y está obteniendo unos grandes resultados con este método.

En el año 1943, la Kriegsmarine buscaba un submarino de altas prestaciones en un período corto de tiempo. De conseguirlo o no dependería el desenlace de la guerra submarina.

El ingeniero Oelfken y su equipo presentaron un proyecto al almirante Dönitz, que tomó la decisión de la construcción del buque, que sería denominado «Tipo XXI». El objetivo era la construcción del mayor número de submarinos en el menor tiempo posible.

Hay que tener en cuenta que la Segunda Guerra Mundial estaba en pleno apogeo, y los bombardeos aliados eran constantes. Para paliar este problema el Ministerio de Armamento ideó la construcción del submarino por módulos o bloques, que posteriormente serían ensamblados en los astilleros. De esta forma, cada bloque era construido independientemente por firmas diferentes.

El submarino Tipo XXI se dividió en los 8 bloques que se detallan a continuación. Bloque 1, popa, con los timones de profundidad y dirección, los ejes de cola y las hélices; bloque 2, cámara de motores eléctricos; bloque 3, cámara de motores diésel; bloque 4, alojamientos de popa; bloque 5, cámara de control; bloque 6, alojamientos de proa; bloque 7, cámara de torpedos posterior y mecanismos de recarga; bloque 8, cámara de torpedos y tubos; y la vela que forma un módulo aparte. (Figura 2)

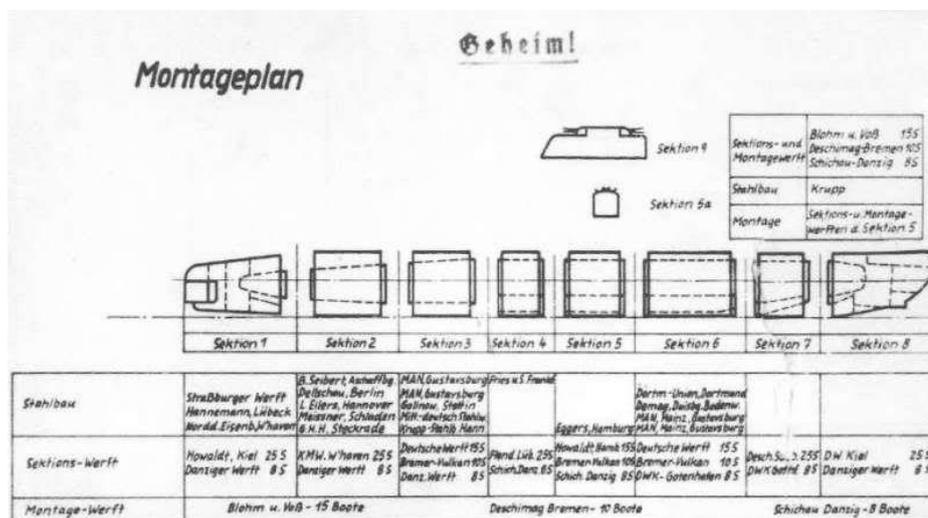


Figura 2. Bloques en los que se dividía el submarino Tipo XXI. <www.u-historia.com>

Los diferentes módulos llegaban al astillero totalmente terminados, con tuberías y conducciones eléctricas, y solo era necesario soldar las diferentes secciones.

La división por bloques provocó una especialización de las empresas, lo que a su vez, llevó a una reducción del tiempo de construcción del buque. Para poner cifras, un submarino Tipo VII suponía 280 horas de mano de obra por tonelada y el Tipo XXI las reducía a 164, casi un 60% menos.

La eficacia alemana en la construcción de este tipo de submarino logró unas cifras que serían difíciles de superar hoy en día. Cada 1,75 días se entregaba un submarino y si la contienda hubiese durado más tiempo, este promedio podría haber bajado a 1,5 buques por día. (López Palancar, 1998)

3. La construcción modular en España

Es a partir de los años 80 cuando surge la idea de dividir el buque en productos intermedios, es decir, en unidades que constituyen un elemento independiente. La unión de los productos intermedios, de un rango inferior a uno superior, lleva a la construcción final del buque.

La construcción de un buque militar se produce en 9 niveles. Se parte de la fabricación de elementos simples que no pueden ser subdivididos en elementos de menor entidad. Un ejemplo del nivel 1 sería una tubería o una pieza de acero. Con la unión de estos elementos surgen los sub-bloques, que forman el segundo nivel de

producción. En el siguiente escalón del proceso productivo se crean los bloques, formados por los productos intermedios creados en el nivel anterior.

Es en el nivel 4 cuatro donde se crean los módulos que, en el siguiente nivel, prearmamento de fase P1, se integran los bloques y sub-bloques creados en los escalones anteriores que necesitan soldadura. En el nivel 6 se procede a la preparación de las superficies de los bloques y a su pintado. En el siguiente nivel, prearmamento de fase P2, se monta los equipos, cables, aislamientos, etc.

Hasta el octavo nivel del proceso constructivo no se produce el montaje de los bloques en la grada. En esta etapa se montan los equipos propulsores, sistemas y el acabado de los compartimentos.

En la última etapa se lleva a cabo el armamento a flote, se monta el sistema de combate y se realizan las pruebas HAT y SAT correspondientes. El resultado de este nivel es el buque terminado. (Figura 3).

Los objetivos de esta técnica constructiva es la reducción de coste y de tiempo en la producción del buque. Esto se consigue, en mayor medida, realizando gran parte del trabajo en los talleres, dejando el montaje en grada, más costoso e inseguro, para la fase final del proceso. La construcción de los módulos necesita una gran planificación que es necesario que se produzca en las etapas iniciales del proyecto, y tener en cuenta aspectos como su transporte, su puesta en obra, las dimensiones máximas o el orden de construcción. (González Martínez, 2013)

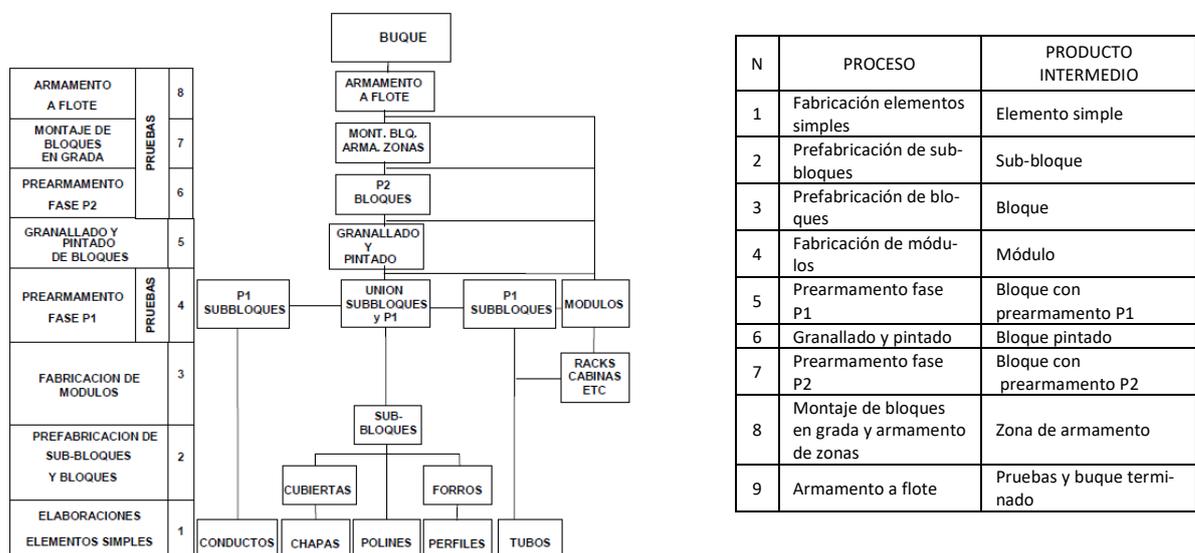


Figura 3. Jerarquía de productos intermedios. González Martínez, 2013 y elaboración propia

4. La construcción naval actual

El método de trabajo desde mediados de los 90 es la construcción integrada o armamento integrado. Este proceso de trabajo busca la realización de la construcción y armamento de productos intermedios que posteriormente se integran entre sí formando el producto final. (Figura 4)

Con esta metodología cobra más importancia, si cabe, la estrategia constructiva desde los comienzos del programa. En ella se establece la división del buque en áreas de trabajo y la definición de las etapas de construcción, que en combinación, definen los productos intermedios a los que se asignarán los paquetes de trabajo. En definitiva, la estrategia constructiva dicta la forma en la que se quiere construir el buque en todos sus aspectos, y se irá desarrollando desde el diseño conceptual hasta el final de la obra.

También tiene vital importancia la estructura organizativa y de funcionamiento del astillero, de la que dependerá el aprovisionamiento de materiales en el momento preciso a todos los procesos productivos. La

estrategia logística «justo a tiempo», requiere iniciar con anterioridad las gestiones de adquisición de materiales y debe estar perfectamente coordinada con la estrategia constructiva. Este concepto no es solo aplicable a los materiales, sino también a sistemas o equipos que son comercializados a empresas externas. Para que la construcción integrada funcione correctamente es necesario implantar una serie de principios básicos. Todo el proceso de fabricación de los productos intermedios se organiza en grupos de familias, con unas características comunes de fabricación, material, tamaño y acciones necesarias para elaborarlos. De esta manera se busca optimizar el rendimiento de maquinaria y mano de obra.

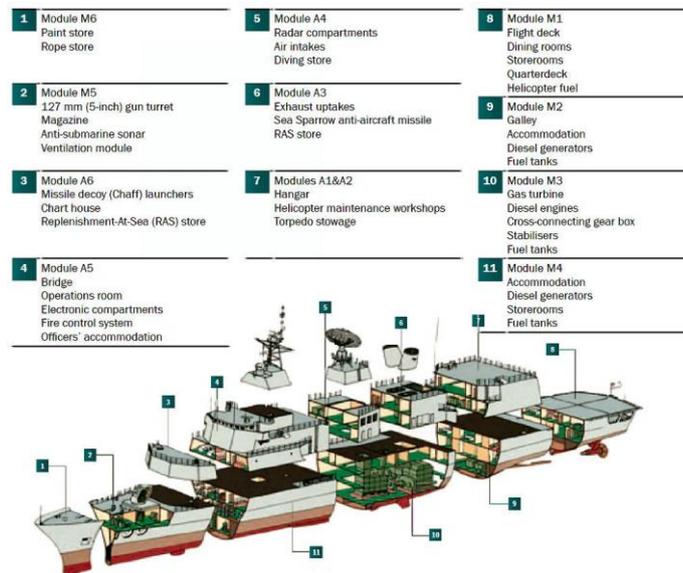


Figura 4. Método de construcción modular de la fragata HMAS Anzac. <www.radschool.org.au>

Otro concepto importante es la construcción integrada por zonas – etapas, que aplica las ventajas de la fabricación en serie en la construcción de buques. Se definen grupos de trabajo en las diferentes áreas del astillero, que se especializan en la realización de una determinada etapa para una determinada zona. A cada zona – etapa le corresponde uno o varios paquetes de trabajo, es decir, un conjunto de órdenes que lleva un producto intermedio desde un nivel al nivel inmediatamente superior.

Para cumplir estos objetivos son necesarios grupos de trabajo multifuncionales, con la capacidad de acudir a otro puesto si la carga de trabajo lo requiriese. La finalidad de estos grupos es llegar a convertirse en círculos de calidad, con la capacidad de analizar las tareas que desempeñan e incluso mejorarlas.

5. Bibliografía

- González Martínez, D. (2013). *Evolución de los procesos de diseño, fabricación y montaje de tubería en construcción naval: obtención de un proceso de control integrado de diseño de tubería aplicable a buques militares y a buques civiles (Tesis doctoral)*. Universidad de A Coruña.
- López Palancar, L. (1998). 90 años de construcción naval integrada y modular. *Ingeniería Naval*, 74 - 91.
- Perez, J. M. (7 de Diciembre de 2016). *Guerras posmodernas*. Recuperado el 19 de Abril de 2017, de <<https://guerrasposmodernas.com>>
- Rodríguez Lorenzo, M. (s.f.). Pasado, presente y futuro de la construcción naval militar. *Ciclo de conferencias de automatización e ingeniería*. Universidad de Vigo.

BIOGRAFÍA

Ilmo. Sr. D. Antonio Sarmiento y Martínez de Velasco *Coronel de Artillería de la Armada*

Por Manuel Acedo Cerda¹

Nació en Sevilla, el 26 de Marzo de 1862, ingresando como alumno en la Academia de Artillería de la Armada en enero de 1879. Al salir teniente en 1884, fue destinado a la Escuadra de Instrucción, embarcando en la fragata Blanca. Al año siguiente, desembarcó de la fragata Blanca y fue nombrado profesor de Artillería de la Escuela de Aprendices Artilleros, radicada en la fragata Numancia, en donde embarcó. Ascende a capitán en el 87 y se le nombra Jefe de la Comisión de marina en la Fábrica de Pólvoras a Santa Bárbara (Oviedo).

En 1890, presenta un proyecto de cañón de tiro rápido, de 42 mm, montaje y freno hidráulico, que fue declarado reglamentario por R.O. de 22 de julio de 1892. Este cañón fue presentado en la Exposición Internacional de Chicago en 1892, mereciendo medalla y diploma de honor.

Se le concede la Cruz de primera Clase del Mérito Naval Blanca por el proyecto de transformación en tiro rápido del cañón de 7 cm González Hontoria. Presenta un proyecto de válvula obturadora de escape de gases por el fogón de las armas de fuego, declarada reglamentaria para el calibre de 7 cm.

Por su laboriosidad e inteligencia, se le concede la Cruz de primera Clase del Mérito Naval Blanca, pensionada con el diez por ciento hasta su ascenso a comandante en 1893.

Presenta los proyectos siguientes: Transformación en tiro rápido de los cañones González Hontoria de 7, 12 y 14 cm. Proyecta un freno hidráulico de resistencia constante para los cañones de 42 mm. Tapín válvula para los casquillos de los cañones de 12 y 14 cm. González Hontoria. Mecanismo de fuego por eyección, freno eléctrico de todos los cañones. En 1898, se le concede la Cruz de Mérito Naval de primera, pensionada con el 10 por ciento hasta su ascenso a teniente coronel.

Proyecto de aro de forzamiento para los proyectiles de los cañones de retrocargas. Calculó las pólvoras y sus cargas para los cañones González Hontoria y González Rueda. Redactó el reglamento para la inspección de la fabricación de las pólvoras sin humo así como las instrucciones para realizar las pruebas que exigen los reglamentos. Ascende a teniente coronel en 1904 y es nombrado jefe de la Comisión de Marina en la fábrica de Santa Bárbara en Oviedo. Es nombrado subdirector y jefe de estudios de la Academia del Cuerpo en 1905. En este destino dio muestras de su gran laboriosidad e inteligencia. Explicó las disciplinas siguientes: Química, Explosivos, Termoquímica, Siderurgia y Metalurgia.

Ascende a coronel en 1909 y se le nombra director de la Escuela. Se le concede la Cruz del Mérito Naval Blanca de tercera Clase por los servicios prestados.

En 1910 fue invitado por la Unión Española de Explosivos para cooperar con ella en el desarrollo y perfeccionamiento de la fabricación de las pólvoras y explosivos de guerra, por cuyo motivo solicitaba su pase a la situación de Supernumerario. La Marina, de acuerdo con la Ley de 7 de Enero de 1908, que propugnaba la radicación en nuestro país de las industrias de armamento, consideró de interés para la Marina que el coronel Sarmiento contribuyese al desarrollo de las pólvoras sin humo, y le fue concedida la citada situación. Pidió el retiro voluntario en 1917.

Su mayor afición fueron las pólvoras y explosivos, en donde trabajó con gran tesón, en los talleres de pólvoras en la fábrica de Santa Bárbara en Oviedo. Director de la fábrica de Lugones y, por último, asesor técnico del Consejo de Administración de la Unión Española de Explosivos; efectuó multitud de trabajos sobre pólvoras modernas, declarados luego reglamentarios para la Armada. Se le consideró como la primera autoridad en pólvoras en nuestro país.



¹ Coronel Manuel Acedo Cerdá. *Real Cuerpo de Artillería de la Armada*. CAE (1970)

