BOLETÍN TÉCNICO DE INGENIERÍA DE LA ARMADA

Marzo 2012
Número 2

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS DE ARMAS NAVALES

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.

ÍNDICE

EDITORIAL Pág. 1

VIEJA FOTO Pág. 2

MATERIALES SUPERCONDUCTORES. APLICACIONES CIVILES Y MILITARES Pág. 3
CF Antonio González García

FILOSOFÍA SOBRE LA FÍSICA DEL TODO Pág. 7
CN Francisco Gutiérrez López

LA FUERZA CENTRÍFUGA NO EXISTE, O EL SÍNDROME DE JUAN EL BAUTISTA Pág. 11
CF Agustín González Morales

SUDOKU para ingenieros Pág. 14

HUMOR Pág. 15

SABÍAS QUE… Pág. 15

UN SIGLO DE TITANICS Pág. 16
CF José Mª. Riola Rodríguez

LOS NÚMEROS PRIMOS: UNA FAMILIA MUY ESCURRIDIZA Pág. 21
D. Miguel Ángel Álvaro Peña

MATERIALES PARA PROYECTILES DE ENERGÍA CINÉTICA : ¿WOLFRAMIO O URANIO EMPOBRECIDO? Pág. 25
DR Manuel Laguna Iglesias

LOCALIZACIÓN ACÚSTICA PASIVA DE UN SUBMARINO ENEMIGO EN AGUAS PROFUNDAS: VDPR Pág. 28
DR Vicente Gallego Muñoz

ESTUDIO DEL ESFUERZO EN EL ARO DE EMBONO DE UN CAÑÓN Pág. 32
TN Ignacio Orta Núñez, TN Luis San José Segura y TN Jacobo Casares García de Dios

VISITA AL CENTRO DLMC-ESP DE LOS ALUMNOS DEL XXXVII CURSO PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIEROS DE ARMAS NAVALES Pág. 35

SECCIÓN DE ENTREVISTAS Pág. 36
Por «Albert», el físico preguntón

INGENIEROS EN LA HISTORIA Pág. 41
JUAN DE LA CIERVA Y CODORNÍU

EDITORIAL

El capitán de navío ingeniero
Comandante director de la ETSIAN
José Francisco Rubio Pagán

Recortes al ingenio

La crisis mundial que estamos padeciendo está mermando los recursos económicos destinados a I+D+i.

No hace mucho aparecía en todos los medios de comunicación la noticia de que una investigadora pudo reanudar su actividad, gracias a que una madre había recaudado dinero suficiente para que esta científica siguiera trabajando –sólo durante tres meses más– en la búsqueda del remedio para la enfermedad que padece el hijo de esta madre-coraje.

Los recortes, sin duda ineludibles, ¿deben afectar a la investigación (I), al desarrollo (D) y a la innovación (i)? Los ingenieros somos los encargados de ingeniárnoslas cuando todo el mundo apela a santa Bárbara en medio de los truenos. Pero, cómo vamos a conseguirlo si dejamos de financiar a los científicos, a los investigadores, ¿quién va a encontrar la solución tecnológica que, al final, repercuta en ahorros indiscutibles (en vidas, en calidad de vida, en recursos energéticos…?, ¿quién va a descubrir y diseñar esos artilugios que, mejorando la vida de toda la Humanidad, respeten el medioambiente, generen riqueza y hasta creen puestos de trabajo?

En no pocos foros se argumenta que *la investigación es muy cara e incluso innecesaria*. En principio sí lo será, hasta que se demuestre lo contrario. Como ejemplo tenemos la cantidad de inventos tecnológicos introducidos en nuestra vida cotidiana que nos permiten realizar trabajos y actividades impensables hace unos años. Al final lo caro es no invertir en I+D+i porque se dependerá de aquellos países que sí lo hayan hecho y que han alcanzado sus objetivos. Los países avanzados tecnológicamente son los que más invierten y los que más ingresan por la venta de los productos obtenidos gracias al esfuerzo económico realizado. La crisis nos obliga a mantener el grifo lo suficientemente abierto para que el caudal de I+D+i evite una sequía tal que impida recuperar el nivel tecnológico alcanzado y una mayor dependencia del exterior.

Víeja foto

Excmo. Sr. D. Enrique Guillén Estévez

Ingresó en la Marina en 1.857.

En 1862 fue nombrado Jefe de la Comisión de las Armas de la Marina.

Por su «Estudio sobre Armas Mecánicas», presentado en la Exposición de París, se le concedió la Encomienda de Número de Isabel la Católica.

Ascendió a coronel en 1.884, y fue destinado a la Comisión de la Marina en El Havre.

Al ascender a brigadier en 1.889, fue nombrado Jefe de las Construcciones de Artillería.

En 1.891, por los servicios especiales, se le concedió la Gran Cruz del Mérito Naval Blanca.

Poco tiempo después, se declaró reglamentario el cañón de 24 cm de su invención.

En 1.894 se le concedió la Encomienda de Carlos III.

Materiales superconductores
Aplicaciones civiles y militares
(Parte 2 de 2)

CF ingeniero Antonio González García
JAL, Ramo Técnico de Sistemas

Este artículo es un extracto del trabajo realizado para la asignatura de «Materiales Avanzados» del Curso de Doctorado 2010 de la ETSIAN.

Imanes superconductores

La aplicación más evidente de los superconductores es la generación de campos magnéticos de alta intensidad. Dado que el campo magnético creado por una bobina es proporcional a la intensidad que circula por ella, en un solenoide fabricado con material superconductor se pueden conseguir intensidades cientos de veces superiores sin quemarlo, por tanto es posible generar campos magnéticos muy intensos para el mismo número de vueltas, o crear campos magnéticos moderados ahorrando espiras.

Levitación

La idea de usar una fuerza magnética para hacer «flotar» vehículos de transporte está en la mente de los científicos desde hace casi un siglo y la posible aplicación de la superconductividad ha renovado el esfuerzo investigador.

Este sistema se basa en la ley de Lenz de inducción de corrientes eléctricas provocadas por campos magnéticos que varían con el tiempo, en cuyo seno existen espiras de material conductor. El campo magnético que genera la corriente inducida crea otro de polaridad opuesta al campo magnético original que, por tanto, se repelen. Los electroimanes superconductores permiten generar un campo magnético intenso en un volumen grande. Este fenómeno presenta buenas expectativas, especialmente para el transporte ferroviario donde no parece que existan grandes problemas técnicos para diseñar un sistema basado en superconductores, aunque se requieren algunas innovaciones técnicas antes de completar una aplicación comercial.

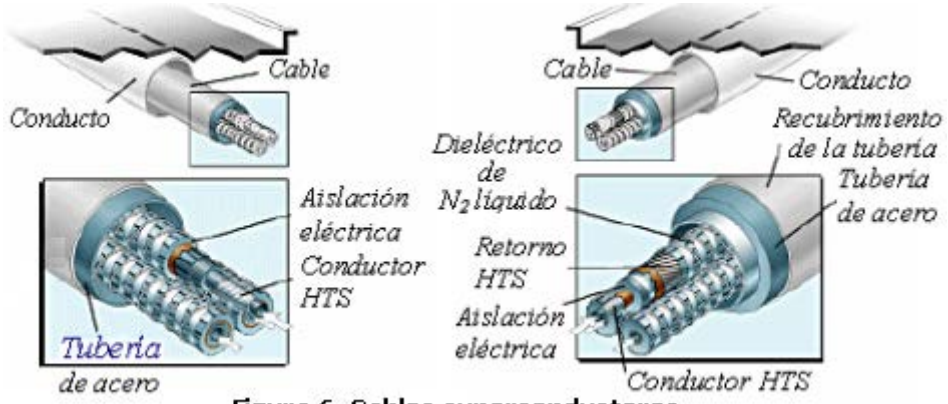


Figura 6. Cables superconductores

Cables superconductores

Ya hay varias empresas que ofertan cables superconductores, entre ellas *Pirelli* y *American Superconductors*. Con materiales superconductores a alta temperatura (HTS) se construyen actualmente cables que permiten mayor capacidad de transporte de corriente y menores pérdidas por efecto Joule que los cables convencionales. Se estima que los cables superconductores pueden transportar de 2 a 5 veces más potencia que los convencionales y que, a igualdad de tamaño, reducen las pérdidas en un 66%. Son, por

tanto, ideales para incrementar la capacidad de las líneas de transporte en instalaciones subterráneas o en buques.

Los superconductores de alta potencia fabricados por *Pirelli* están construidos con alambres y cintas de filamentos de $(Bi,Pb)_2Sr_2Ca_2Cu_3O_{10}$ en una matriz metálica. El material se conoce como Bismuth-2223 y tiene una temperatura crítica T_C de 110º K. La red está constituida por capas de iones de dióxido de cobre mezcladas con capas de iones de aislamiento, fig. 6.

Las instalaciones HTS requieren una inversión inicial mayor que las convencionales, pero sus costes operativos son menores. Se deben comparar a lo largo de su ciclo de la vida. Las primeras instalaciones de potencia a base de cables HTS se realizaron en EE. UU. y Europa en el año 2001.

Motores superconductores

Los superconductores pueden utilizarse en motores donde las bobinas de cobre se sustituyen por material superconductor. Por ejemplo, los de 49.000 CV empleados en la propulsión del nuevo buque DDG-1000 disponen de un devanado que puede soportar una intensidad 150 veces superior al equivalente en cobre, ocupan la mitad del volumen de un motor convencional y pesan 200 toneladas menos (fig. 7).

Además, se pueden diseñar motores con un rotor superconductor que levite, evitando, por lo tanto, la necesidad de cojinetes mecánicos.

Fig. 7. Diferencia de tamaño entre un motor convencional y otro con bobinas superconductoras, ambos de 36 megavatios

Generadores

Todo lo indicado para motores es aplicable a generadores, aunque todavía no hay indicios de generadores construidos con superconductores. Sin embargo, *General Electric* está en fase de desarrollo de generadores de 100 MVA con tecnología HTS para aplicaciones comerciales.

Transformadores

Se pueden construir transformadores superconductores con menor volumen y peso en comparación con sus homólogos convencionales. Sin embargo, la principal ventaja de los transformadores superconductores es su capacidad para trabajar con una potencia superior a la nominal de hasta el 100%, incluso durante varias horas. Este modo de operación excepcional sólo requiere más potencia de refrigeración, pero no provoca un deterioro excesivo, como en el caso de transformadores convencionales donde incluso una sobrecarga de aproximadamente un 10% puede deteriorar el aislamiento.

En EE. UU. se está desarrollando un prototipo de 10.5 MVA basado en superconductores Bi-2212. Y *Siemens* ya ha construido transformador de 1 MVA para aplicaciones ferroviarias que ha sido probado con éxito.

Almacenamiento de energía

El almacenamiento consiste en acumular energía en forma de campo magnético en bobinas superconductoras. En esencia, se trata de bobinas hechas de material superconductor por las que circula

corriente. Como no hay disipación de energía al no existir resistencia eléctrica, la corriente permanece en la bobinas durante mucho tiempo. El primer dispositivo de este tipo fue instalado por *General Atomics* en 1983.

Cojinetes superconductores

Se está investigando con cojinetes donde las propiedades de levitación de los superconductores se aprovechan para lograr coeficientes de rozamiento de 10^{-9}. Se utilizarán en motores, generadores y volantes de inercia, especialmente si ya emplean tecnología superconductora en su parte eléctrica, pues tienen la refrigeración asegurada sin equipamiento adicional.

Dispositivos de conmutación rápida

En el área de la computación, los superconductores tienen aplicaciones sorprendentes. Utilizando *uniones Josephson* en lugar de los transistores convencionales, se pueden construir ordenadores que realizan 10^{15} operaciones por segundo. Para alcanzar estas velocidades, el tamaño del sistema es del orden de 50 nanometros. Estos mismos dispositivos se pueden utilizar para circuitos de conmutación de alta velocidad y para convertidores analógico/digitales (A/D).

Medidas contraminas

El sistema *Advanced Lightweight Influence Sweep System* (ALISS) de la Armada de los EE. UU. consiste en un electroimán superconductor de 1,60 metros de diámetro. Permite excitar los detonadores de las minas magnéticas a distancias sensiblemente superiores a las conseguidas por otros medios. Fue fabricado por *General Atomics* y probado con éxito en 1998.

Fig. 8. Advanced Lighweigh Influence Sweep System (ALISS)

Tecnología radar y de guerra electrónica

El Departamento de Defensa de los EE. UU. está desarrollando radares que utilizan las ventajas de la tecnología de superconductores en áreas como las siguientes: osciladores estables de alta frecuencia que reducen el ruido de fase mejorando por tanto la supresión del *clutter*; convertidores A/D que muestrean 20 bits a 100 MHz, reduciendo el ruido de cuantificación; generadores de formas de onda sofisticados; cavidades resonantes para amplificadores de alta potencia; etc.

Cañones electromagnéticos

La Armada de los EE. UU. está experimentando con cañones electromagnéticos donde un proyectil es acelerado hasta Mach 8 por bobinas superconductoras alimentadas por acumuladores superconductores. El resultado es una energía cinética enorme. Una vez disparado, la fricción del proyectil con el aire genera una cantidad de calor suficiente para fundir el metal de que se compone, de tal forma que el resultado final se manifiesta en arrojar sobre el blanco un rociado de metal fundido a 2000 m/s. El mismo principio se puede utilizar en las catapultas de aviones en los portaaviones.

Propulsión magnetohidrodinámica

Cuando un conductor transporta una corriente en el seno de un campo electromagnético, se ejerce una fuerza sobre dicho conductor. Si construimos un dispositivo en el que el conductor sea un fluido (agua de mar) y aplicamos una corriente, se provoca el movimiento del fluido (del agua de mar). Este fenómeno se puede aprovechar para propulsar un buque o un submarino empleando imanes superconductores. Sólo

se conoce un prototipo de propulsión magnetohidrodinámica en una embarcación menor en Japón, que presentó problemas de rendimiento y velocidad. *Lockheed Martin* ha propuesto a la Armada de los EE. UU. investigar sobre estos motores en submarinos, aunque, por el momento, no se considera una tecnología práctica. Los mayores inconvenientes radican en los fenómenos electrolíticos que reducen el rendimiento y provocan corrosiones.

***Magnetic Anomaly Detection* (MAD)**

El SQUID (*Superconducting Quantum Interference Device*: Dispositivo Superconductor de Interferencia Cuántica) es uno de los sensores superconductores más utilizados.

Existen dos tipos: el de corriente directa y el de radio frecuencia. El SQUID de corriente directa está formado por dos *uniones Josephson* conectadas en paralelo. El SQUID de radio frecuencia es un diseño anterior al de corriente directa.

Son los instrumentos más sensibles que existen para medir una gran variedad de parámetros físicos como campos magnéticos, susceptibilidades magnéticas, voltajes muy pequeños o desplazamientos microscópicos. Un SQUID puede utilizarse como un magnetómetro extremadamente sensible, ya que permite medir variaciones de flujo menores de $2{,}07 \cdot 10^{-15}$ weber.

La detección de submarinos desde el aire basada en la perturbación del campo magnético terrestre puede mejorarse empleando la tecnología SQUID. Con la sensibilidad que aportan estos aparatos, la Armada de los EE. UU. espera rendimientos en la búsqueda de los submarinos de orden de las 1000 millas por hora, dependiendo de la profundidad. El mismo principio podría aplicarse a la guía de torpedos

***Degaussing* superconductor**

Los sistemas *degaussing* actuales están formados por bobinas de cobre de gran sección, pues deben soportar las intensidades requeridas para contrarrestar la firma magnética del buque. El uso de cables superconductores permite mejorar el balance de potencia eléctrica del buque ya que se disminuye el efecto Joule. Además se pueden emplear voltajes pequeños para conseguir la misma intensidad, con lo que se simplifica la electrónica de potencia.

Desde 2006, *American Semiconductors* oferta sistemas *degaussing* superconductores que ahorran un 20% en peso respecto a los convencionales y garantizan las intensidades habituales con solo 0,5 voltios. En 2008 se efectuaron pruebas a bordo de un DDG-51, aunque por el momento se desconoce si este sistema se incorporará al futuro buque DDG-1000.

Antenas VLF

Se puede aumentar la longitud eléctrica de una antena de VLF mediante bobinas de carga superconductoras que mantienen la ganancia de antena.

0o0

EPÍLOGO: POSIBILIDADES DE FUTURO

En esta colaboración en los números 1 y 2 del *Boletín Técnico de Ingeniería de la Armada* he pretendido exponer someramente el estado del arte de los superconductores. Es evidente que esta tecnología tiene que crecer conforme se consigan materiales cuya temperatura crítica sea cercana a la temperatura ambiente, y es previsible un uso extensivo de los superconductores incluso en la vida cotidiana, especialmente en el transporte de energía y en el desarrollo de sistemas criogénicos de alto rendimiento y pequeño tamaño. En cualquier caso, ya hay entornos donde alcanzar la temperatura crítica no es un problema o al menos es un problema menor, como en vehículos espaciales, satélites, sistemas submarinos e incluso instalaciones subterráneas.

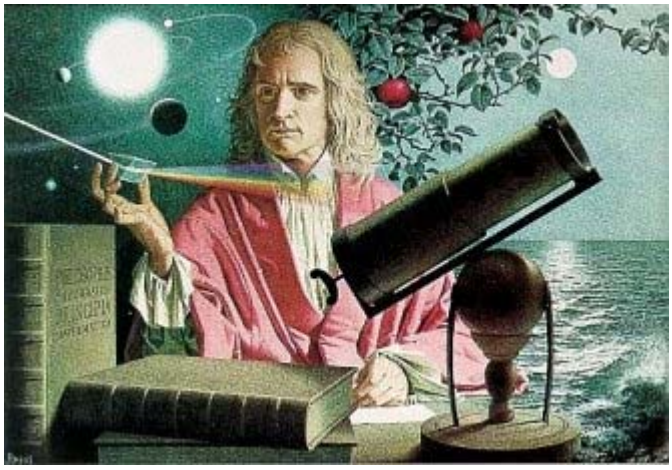
Filosofía sobre la física del todo

CN ingeniero de armas navales
Francisco Gutiérrez López
JAL, DIC, SUBDING

Supongamos unos entes energéticos primarios e individuales, a los que podemos llamar partículas, cuantos, paquetes, fotones, cuarks, bosones o cualquier otro nombre de cuya unión, combinación o transformación aparecen los protones, neutrones y electrones, que a su vez componen los átomos, que a su vez forman las

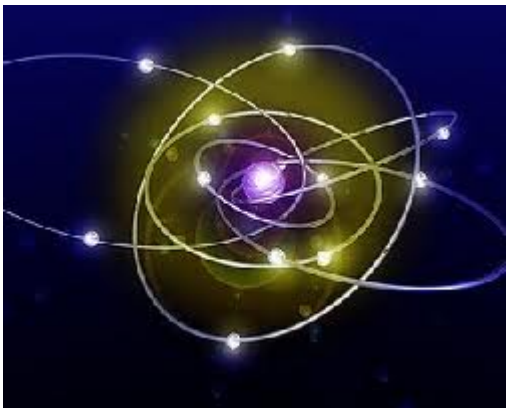
células, moléculas y cristales, que a su vez conforman todo aquello que nos rodea, incluido los seres vivos, que a su vez forman parte de los planetas, satélites y estrellas, que a su vez constituyen las galaxias, que a su vez dan lugar a los cúmulos y supercúmulos que, a su vez, conforman todo un inmenso Universo originado hace aproximadamente 13700 millones de años como consecuencia de una gran explosión, o *Big Bang*, de un pequeñísimo frasco lleno de un superconcentrado explosivo compuesto por algo que bien podría tratarse de esos entes iniciales que hemos nombrado al principio.

Si hubiésemos cerrado el círculo, es decir, si fuese así, porque teorías sobre esto hay para dar y tomar, todo lo que existe estaría hecho, en su naturaleza más primitiva, con el mismo tipo de ladrillos y eso nos llevaría a pensar que todo aquello que conocemos debería regirse y comportase según unas mismas reglas, normas o leyes.



Pues bien, aparentemente y desde principios del siglo pasado, se ha llegado a la conclusión de que esto no funciona de esta manera. Las cosas, aunque parezca extraño y fuera de toda lógica, parecen comportarse de forma diferente dependiendo de variables como su tamaño o velocidad.

Hasta ahora, y en este mundo determinista y cotidiano en el que nos movemos, nos bastaba con la física clásica de Newton (ley de la gravitación universal) y Maxwell (teoría electromagnética) para conocer y entender como se comportan las cosas con las que diariamente convivimos. Si a partir de aquí nos desplazamos hacia el mundo de lo muy grande (el macrocosmos) o de lo muy pequeño (el microcosmos) nos damos cuenta de que las cosas ya no funcionan de la misma forma, y que tanto Newton como Maxwell se quedarían sorprendidos, y supongo que también desilusionados, al comprobar que sus teorías no tendrían carácter universal y solamente serían válidas entre ciertos márgenes y bajo ciertas condiciones. La física clásica pasa a ser, en todo caso y poniendo un poco de buena voluntad, un caso particularizado de una física general, universal, todavía pendiente por descubrir, a la que se le suele llamar la «Teoría del Todo».



Introducirnos en el mundo de los nanómetros (la millonésima parte del milímetro), de los átomos y de las partículas elementales es lo mismo que introducirnos en un lugar mágico y sorprendente en el que todo parece ir en contra de la intuición y del sentido común porque las cosas ya no suceden como esperábamos y estábamos acostumbrados. La física que estudia este mundo tan extraordinario recibe el nombre de «Física cuántica». Fue Plank, a principios del siglo pasado, la primera persona que observó

este mundo a través de la ventana de las matemáticas. Necesitado del truco de sustituir una integral (suma de lo continuo) por un sumatorio (suma de lo discreto) para justificar el cambio de color de emisión de los cuerpos calientes, llegó a la conclusión de que en los átomos la energía se intercambia, y quizás se transforma, de forma discreta en unos pequeños e individuales paquetes denominados cuantos.

Este descubrimiento fue el inicio de una sucesión de estudios, conclusiones y teorías desarrolladas y aportadas por los más ilustres físicos de las primeras décadas del siglo XX. Einstein, Heisenberg, Schrödinger, Pauli, De Broglie, Bohr, Von Neumann y Dirac son algunos de los más conocidos.

Pero: ¿Qué descubrieron estos tan afamados personajes? Se dieron cuenta de que este mundo de fantasía en que conviven las cosas muy pequeñitas, como pueden ser los electrones o fotones, es parecido a un casino en el que probabilísticamente puede pasar de todo (a pesar de que Einstein dijera que Dios no suele jugar a los dados).

Las partículas subatómicas pueden desaparecer de pronto de un lugar y aparecer instantáneamente en otro, pueden atravesar obstáculos y paredes, pueden estar de forma simultánea en varios sitios a la vez y a veces son una cosa (onda, energía) y otras, otra (partícula, materia).

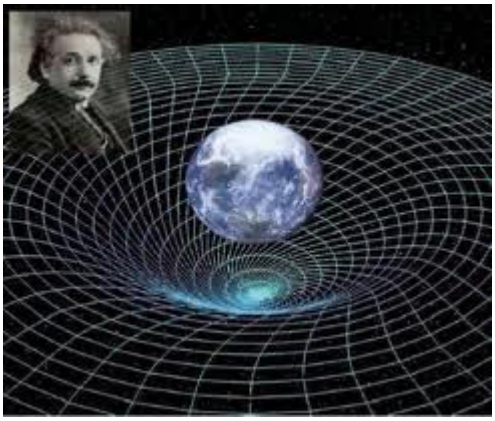
La perturbación de una de ellas supone, de manera instantánea, la perturbación de otra asociada aunque se encuentren a una gran distancia una de la otra, y el concepto de tiempo y trayectoria deja de tener el sentido que tenía hasta ahora ya que a cada partícula se le asocia una expresión matemática, denominada *función de onda*, que le asigna en cada instante y en cada lugar del espacio una probabilidad de existencia.

Nada está previsto y predeterminado y es imposible conocer todo de algo. Cuanto más información disponemos de una propiedad o característica, menos conocemos de otra (principio de incertidumbre).

Los observadores, en este caso nosotros, pasamos a ser actores activos. Podemos llegar a tener una gran influencia en el comportamiento de estas pequeñísimas cosas hasta el punto de que, por el mero hecho de mirarlas, las obligamos a que se definan por un único estado entre todos los posibles y se nos presenten de forma que nos creamos que eso que estamos viendo es la realidad en la que vivimos.

La materia es energía condensada y de ahí la archiconocida fórmula $E = mc^2$, con lo cual el paso, o transición, entre los estados de energía pura, energía/materia y materia pura puede estar más que justificado.

Las centrales nucleares, los láseres, las células fotoeléctricas, superconductores y en un futuro no muy lejano las TV y procesadores cuánticos son algunas de las aplicaciones reales de esta parte de la física.



Algo parecido sucede cuando nos vamos hacia el lado opuesto y nos adentramos en el mundo de las cosas enormes, de lo muy grande, de los años-luz y en general del Universo. Aquí la teoría de la relatividad de Albert Einstein (tanto la especial como la general) tiene mucho que decir.

Nada puede superar a la velocidad de la luz que además es independiente de la velocidad de la fuente (a pesar de las informaciones que aseguran haberla superado en una reciente experiencia de aceleración de neutrinos) ya que se necesitaría una energía infinita para alcanzarla.

Con el aumento de la velocidad, el tiempo pasa más despacio, lo que hace que vivamos más lentamente y también se ralentiza conforme te acercas a un cuerpo de gran masa, y esto nos induce a pensar que el tiempo absoluto y único no existe, sino que cada individuo posee su propia medida personal del tiempo que depende de dónde está y de cómo se mueve.

Las masas aumentan y las longitudes se contraen. La geometría del espacio se vuelve curva bajo la acción de los cuerpos, de forma que la huella que originan en sus proximidades son el origen de la atracción gravitatoria, modificando el concepto que hasta ahora se arrastraba con la mecánica newtoniana de la gra-

vedad, presentándola como la fuerza que se transmitía de forma instantánea entre dos cuerpos. El vacío propiamente no existe, siempre hay gravedad que se transmite a la velocidad de la luz.

Si un astronauta viajase a un planeta imaginario, distante de la Tierra diez años-luz, a una velocidad próxima a la de la luz, al regreso encontraría a su hermano gemelo mucho más viejo. Para el astronauta solamente han pasado el equivalente a un par de meses porque a tan alta velocidad el espacio se contrae y la distancia recorrida se hace más corta, pero para el hermano que queda en la Tierra el tiempo transcurrido ha sido de veinte años. Es como si el astronauta hubiese vivido a cámara lenta, incluso a nivel biológico, sin ser consciente de ello.

También se ha comprobado que el Universo y todo lo que contiene se encuentra expandiéndose con una velocidad creciente; es decir, el espacio está permanentemente aumentando su tamaño de una forma acelerada, lo cual nos lleva a pensar en la existencia de una gran cantidad de la denominada *energía y materia oscura* que puede llegar a suponer un 95% de la total y que todavía está por descubrir. El Universo es pura dinámica en el que todo se mueve.

Aparecen singularidades enormemente másicas, denominadas agujeros negros, procedentes del colapso de estrellas supermasivas capaces de distorsionar el espacio/tiempo, e incluso la luz, debido a su elevada densidad.

Como ejemplo podemos decir que esta teoría se aplica en los sistemas de navegación de gran precisión basados en las señales procedentes de satélites. Si se ignoraran las predicciones de la relatividad, las posiciones calculadas tendrían errores muy importantes.

Einstein, Hilbert, Hubble, Carl Sacan, Hale, Hawking, son algunos de los físicos más renombrados en este campo.

La física moderna, basada en la cuántica y la relativista, aparentemente incompatibles entre sí, ha supuesto una nueva forma de ver el mundo. Nos ha presentado un escenario diferente del que hasta hace poco no éramos conscientes y que todavía, en algunos aspectos fundamentales, se encuentra en permanente estudio y supongo que lo estará por mucho más tiempo.

Pero, ¿por qué no son válidas la física cuántica o la teoría de la relatividad en nuestra vida diaria y con las cosas con las que normalmente convivimos? La respuesta es que sí son válidas, pero sus efectos son tan pequeños que pasan inadvertidos a nuestros sensores. Las consecuencias de la relatividad se hacen importantes a velocidades próximas a la de la luz y eso, en estos momentos, es un valor inalcanzable para

nosotros. Algo parecido sucede con la teoría cuántica. Todos los objetos que nos rodean tienen asociada su correspondiente función de onda, pero una frecuencia nula y un valor muy pequeño de la constante de Plank (h = $6{,}65 \cdot 10^{-23}$ julios·s) hacen que no notemos esos extraordinarios comportamientos que hemos nombrado.

Lo que sí ha quedado suficientemente demostrado es que en física no debemos guiarnos por los sentidos. Nuestra realidad no tiene porqué ser la real, la verdadera, ni, por supuesto, la única. Un pez en una pecera esférica está viviendo una realidad distorsionada con respecto al exterior aunque para él sea la única y verdadera realidad, su realidad. Esto mismo nos puede estar pasando a nosotros. Diversos estudios han demostrado que nuestro cerebro solamente procesa una pequeña cantidad de toda la información que recibe, por lo tanto la realidad, aquello que vivimos, puede ser solamente una pequeña parte de todo lo que está sucediendo.

Todas estas teorías están destrozando los mitos que sobre la realidad hemos acumulado durante muchos años. A veces, y por el momento, es mejor limitarnos a aceptar las cosas tal y como se presentan sin intentar comprenderlas desde nuestro punto de vista racional. Si no lo hacemos así podemos llegar a cometer graves errores. Seguramente, dentro de algún tiempo, nuestro concepto del mundo, la mente y la realidad haya cambiado lo suficiente como para llegar a replantearnos el significado de la vida y la existencia de una forma totalmente diferente a la que en estos momentos tenemos. Estamos hechos de minúsculas motas energéticas procedentes del polvo de las estrellas y como la energía ni se crea ni se destruye quizás la muerte simplemente sea una transformación.

Lo que esperamos, porque tiene que existir, es que algún día aparezca una teoría común a todo, ya sea grande o pequeño, rápido o lento, blanco o negro. Encontrarla sería como encontrar la medicina que todo lo cura. Una teoría que abarque lo relativista, lo cuántico e incluso lo clásico y que hasta ahora solo ha tenido unas primeras intentonas y aproximaciones con las teorías de «Cuerdas», «Bucles» y «Equivalencia Global». Seguramente es tan clara y evidente que esa misma claridad nos deslumbra y nos impide verla, como si los árboles no nos dejasen ver el bosque. Seguro que algún día, cuando la Naturaleza considere que ya estamos preparados para entenderla, nos la mostrará y eso supondrá el comienzo de un nuevo ciclo.

Actualmente se está investigando con el acelerador LHD perteneciente al CERN (Centro Europeo de Investigación Nuclear), en Suiza, con el propósito de detectar indicios sobre la existencia de la famosa partícula de Higgs (también llamada partícula de Dios) cuyo descubrimiento podría ser el primer paso para comenzar a comprender cosas que suponemos están pasando en el Universo y que por ahora no podemos demostrar. Aunque creo que los resultados no están siendo los esperados, no debemos de perder la esperanza.

La fuerza centrífuga no existe, o el síndrome de Juan el Bautista

CF ingeniero de armas navales
Agustín E. González Morales
Jefe de Estudios de la ETSIAN

Estoy cansado

Me canso, me canso de tanto repetir a muchos alumnos de la ETSIAN, ingenieros ya, que la fuerza centrífuga no existe: es una invención. La que realmente existe es la centrípeta. Por eso, he escrito lo que sigue… Aun así, muchos vendrán que volverán a insistir en creer que la realidad que ven es tan tangible que no aceptan que lo que ven es, pero no es lo que creen que ven, ¡Viva don Galimatías!

Experimentando

Estudiemos la siguiente experiencia: en la figura 1, se representa una plataforma *parada*, solidaria a un eje vertical. Sobre ella se encuentra un observador A. Una masa m cuelga de una cuerda ideal, atada a un gancho clavado en el eje. El conjunto se encuentra dentro de una urna cilíndrica, ***opaca*** para el observador A, pero ***transparente*** para otro B, inmóvil, situado en el exterior.

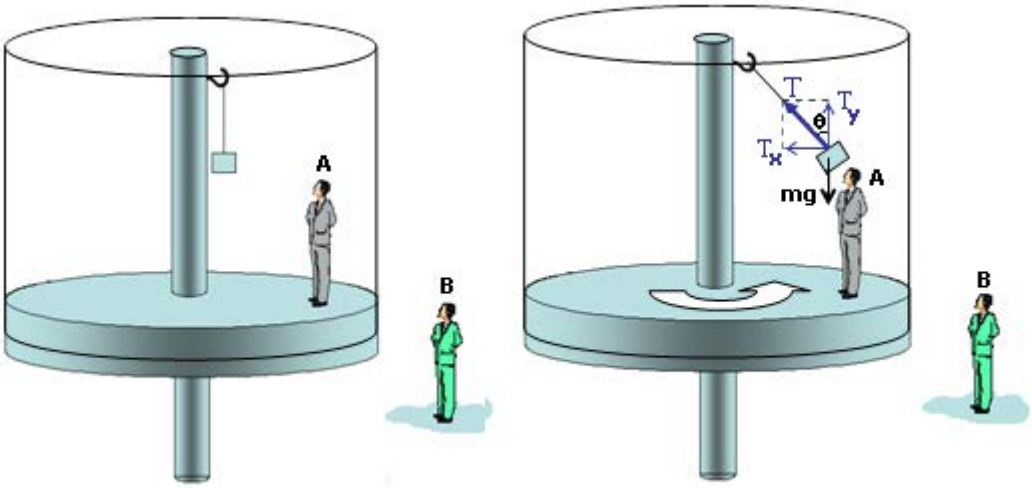


Figura 1 Figura 2

La plataforma se pone a girar muy lentamente, arrastrando al observador A y provocando que la masa m se vaya separando del eje conforme aumenta su velocidad angular, hasta que alcanza el valor ω en el que se mantiene.

En la figura 2, la plataforma ya está girando a velocidad ω *constante*, y la masa m se sitúa en la posición dibujada.

¿Qué aprecian los observadores A y B?

Si la aceleración de la plataforma es lo suficientemente pequeña, el observador A «no siente» que está girando, pues la urna le impide ver lo que hay fuera de ella. Algo parecido a lo que nos sucede a todos nosotros en un día de niebla espesa: no percibimos que la Tierra está girando porque lo hacemos con ella y la niebla nos impide ver el Sol, cuya posición cambiante delataría el movimiento de nuestro planeta. En

definitiva, A «no sabe» que está girando, pero «ve» que la masa m se va levantando poco a poco, hasta alcanzar la posición de la figura 2 en la que permanece «estática».

Sin embargo, el observador B detecta que tanto A como m giran con la plataforma, y que m se separa del eje hasta situarse en la posición de la figura 2, en la que deja de ascender, pero sigue girando.

Pues bien, A es un observador *no inercial*, mientras que B es un observador *inercial*[1]. Pero, el observador A puede pensar de sí mismo que es inercial, porque «no siente» que está girando, entonces, se pregunta, sorprendido, ¿por qué la masa se mueve si no hay nada ni nadie que provoque ese movimiento?, ¿por qué, llegado un momento, m deja de moverse, pero permanece separada del eje, como levitando?

Es más, si colocamos al observador A en la plataforma con los ojos vendados, y le decimos que se quite la venda cuando m ya está en la posición de la figura 2, entonces A piensa –si persiste en creerse inercial– que, al estar m en reposo (sin aceleración, según él), la resultante de todas las fuerzas que actúan sobre la masa es cero, y que, por tanto, tiene que haber una fuerza F que compense la componente horizontal de la tensión de la cuerda $T_x = T\ sen\ \theta$, dirigida en sentido contrario, como se aprecia en la figura 3.

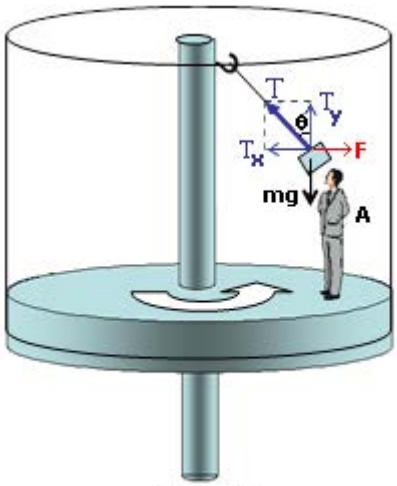


Figura 3

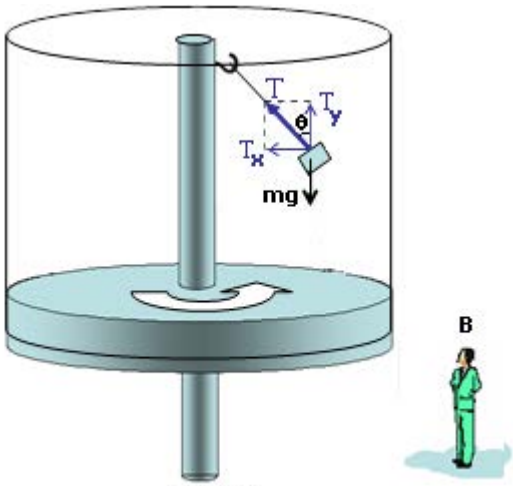


Figura 4

Pero, ¿cuál?, si no hay nada ni nadie que interactúe con m. Entonces A, conocedor de la primera ley de Newton, afirma que la fuerza F tiene que existir, aunque no sepa quién o qué la ejerce, porque, de lo contrario, no se cumpliría esa ley:

$$\sum F_x = 0;\ F - T\ sen\ \theta = 0$$

es decir:

$$F = T\ sen\ \theta \tag{1}$$

y la denomina «fuerza de inercia», en sintonía con la primera ley de Newton, conocida como ley de inercia. También decide llamarla «fuerza centrífuga», porque se dirige hacia el exterior de la plataforma.

Por el contrario, para el observador B, figura 4, el fenómeno es perfectamente explicable a la luz de la segunda ley de Newton. No necesita «inventar» ninguna fuerza para aplicar esta ley, pues la componente horizontal de la tensión del hilo es la responsable de generar la aceleración centrípeta a la que está sometida la masa m:

$$\sum F_x = ma_x\ ;\ T\ sen\ \theta = ma_c$$

o sea

[1]Ya sabemos que no existen en el Universo observadores inerciales, pero la aproximación es válida.

$$T\ sen\ \theta = m\omega^2 r \tag{2}$$

siendo r la distancia horizontal que hay entre m y el eje.

Comparando las expresiones (1) y (2), resulta que la fuerza centrífuga o de inercia que «se inventa» el observador A es, en realidad, el segundo miembro de la segunda ley de Newton; es decir, el producto de la masa por la aceleración centrípeta del cuerpo. Este punto de vista de A, en el que m está en reposo cuando ω es constante, que permite resolver los problemas dinámicos a base de crear un estado artificial de equilibrio –incorporando una fuerza ficticia: la centrífuga–, se conoce con el nombre de principio de D'Alembert[2].

Se comprende que en tiempos de D'Alembert, cuando los conocimientos de la Estática eran muy superiores a los que se tenían de la Dinámica, los científicos abogasen por llevar los problemas a un terreno donde se sentían más capacitados; pero, hoy, tras más de dos siglos y medio de experiencia, no parece justificable.

¡No! a la fuerza centrífuga

Por lo tanto, desechemos definitivamente la fuerza centrífuga porque no tiene razón de ser, ¡no existe! Sí, pero, entonces, ¿cómo se explica que los columpios colgados con cadenas de la periferia de un tiovivo no se dirijan hacia el centro, empujados por la fuerza centrípeta, la única que realmente existe? Hay quienes argumentan, erróneamente, que «la fuerza centrípeta se compensa con la fuerza centrífuga». Según esto, si se rompiesen las cadenas de un columpio, éste saldría despedido en línea recta, empujado por la fuerza centrífuga, «en dirección radial», la misma que tiene dicha fuerza. No, no sucede así porque, mientras que las cadenas resisten, es su tensión la que continuamente está obligando al columpio a describir la trayectoria curva; pero, si se rompiesen y desapareciese dicha tensión, el columpio conservaría la velocidad lineal que lleva en ese instante que, como sabemos, es tangente a la curva que describe, y saldría despedido «por la tangente», como realmente ocurre.

El mismo fenómeno se manifiesta en un satélite en órbita alrededor de la Tierra, donde la tensión de la cadena es sustituida por la fuerza de atracción gravitatoria. De hecho, si el satélite se quedase sin velocidad lineal, caería sobre la Tierra empujado por la fuerza de la gravedad.

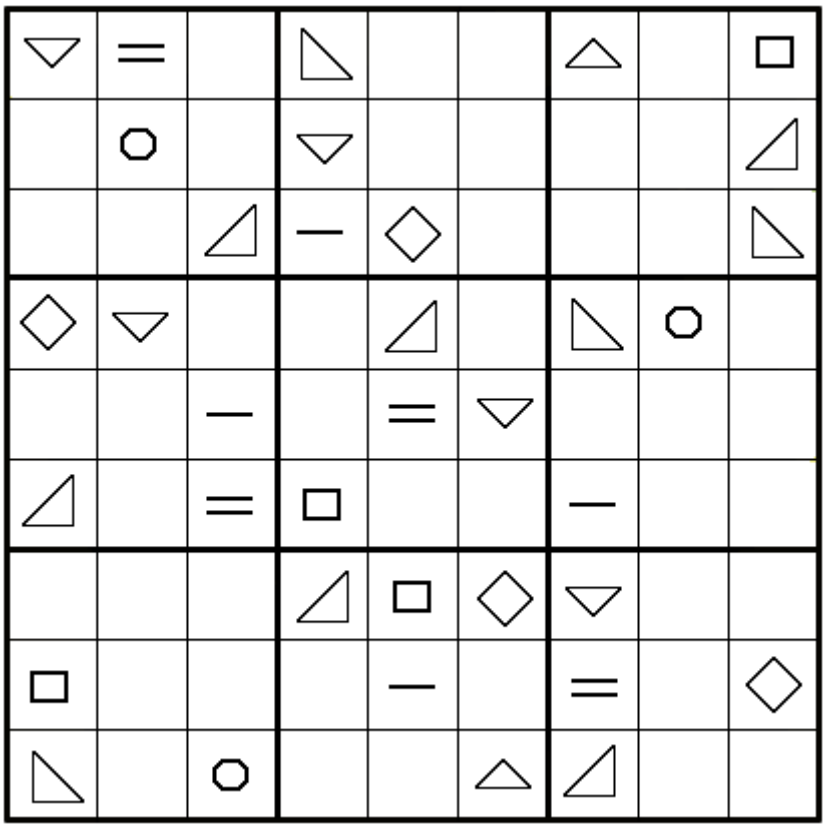
Epílogo

¿He convencido a alguien?

Me temo que seguiré padeciendo «el síndrome de Juan el Bautista», o sea, esa enfermedad paranoica que sufren los que se sienten condenados a clamar en el desierto.

[2]Fue enunciado por D'Alembert en 1743 en su «Traité de Dynamique». Al estado artificial de equilibrio lo denominó «equilibrio dinámico».

Sudoku *para ingenieros*



SOLUCIÓN AL ANTERIOR

β	ω	π	λ	γ	φ	θ	ε	α
φ	ε	θ	ω	β	α	λ	γ	π
γ	λ	α	π	θ	ε	ω	φ	β
ω	β	γ	ε	π	λ	α	θ	φ
π	θ	φ	α	ω	γ	ε	β	λ
λ	α	ε	β	φ	θ	γ	π	ω
α	γ	λ	φ	ε	β	π	ω	θ
θ	π	β	γ	λ	ω	φ	α	ε
ε	φ	ω	θ	α	π	β	λ	γ

HUMOR...

SE ESCRIBE «CON» HACHE DE HINGENIO:

Manolo, ingeniero *junior*, especialista en técnicas de ahorro energético, nada más finalizar un *master* en EE. UU., ha sido contratado por Renfe para optimizar el consumo en las líneas de alta velocidad.

A las siete de la mañana, adormilado, está tomando un café mirando por la ventana de su despacho en la estación de Atocha. Sabe que le espera una jornada agotadora de cálculos, cuando se fija en la Luna, todavía visible, y tiene una gran idea: «la Luna está ahí, en equilibrio, porque su masa es la que es… si tuviese otra masa estaría colocada en otro lugar respecto a la Tierra… y si tuviese más volumen… ocuparía más espacio en el firmamento... O sea, se trata de «poner, colocar, situar en la escena»… *to put on* (piensa en inglés. Sólo lleva un mes en España, y aún tiene el inglés fresco)… Si diseñase vagones según el peso y el volumen de los pasajeros, podría conseguir optimizar el espacio que ocupan: vagones para gordos altos, para gordos bajos, para delgados altos y bajos… Está claro que existe el viajero óptimo: ni gordo, ni delgado, ni alto, ni bajo…».

Manolo, emocionado por la gran idea, se pone inmediatamente a trabajar en el posible diseño. Lo primero que hace es bautizarlo: «*Put on» traveler design*. Al finalizar la mañana, antes de almorzar, ya sabe que ha definido el viajero ideal, el que ocupa el menor espacio para un peso dado.

Es la hora de comer y ha quedado con Carmen, su novia, en una terraza del Retiro. Se sienta a esperarla y la ve llegar: está guapísima, es esbelta, ni alta ni baja, tiene un tipazo que quita el sentido, y cae en la cuenta de que su masa corporal responde al modelo del viajero ideal que acaba de diseñar. Cuando la chica llega a la terraza, Manolo se pone de pie con la intención de darle un beso, y le dice:«Sabes, Carmen, eres un perfecto *put on*».

El guantazo se oyó hasta en Toledo.

CF Agustín E. González Morales

SABÍAS que...

… La relación de tamaño entre la punta de un alfiler y el átomo de hierro es la misma que hay entre una aceituna y la TIERRA…

...Herón de Alejandría (s. I ó II d.C.) fue el inventor de la máquina de vapor. A partir del siglo XVIII muchas máquinas empezaron a funcionar gracias a la energía que se obtiene del vapor de agua. Diecisiete siglos antes, Herón de Alejandría ya utilizó las posibilidades energéticas del vapor. Su «máquina de vapor» era una esfera hueca a la que se adaptaban dos tubos curvos. Cuando hervía el agua en el interior de la esfera, giraba a gran velocidad como resultado de la ley de acción y reacción, que no fue formulada como tal hasta muchos siglos más tarde.

Un siglo de *Titanics*

CF ingeniero José María Riola Rodríguez
Doctor Ingeniero Naval

Los marinos del imperio español pueden dar cuenta de lo que es la fuerza de un huracán, la supervivencia a bordo y la lucha para que el buque no zozobre. Aunque tenemos múltiples relatos heroicos como el de los galeones *Juno*, *Galga*, *Santa Margarita* o *Nuestra Señora de Atocha*, no fue hasta el comienzo del siglo XX cuando, debido al hundimiento del *Titanic* en su viaje inaugural, el 14 de abril de 1912, se puso a cero el contador de la reglamentación internacional de seguridad marítima. El final del siglo XIX y el comienzo del XX fue la edad de oro del pasajero por mar. No había la competencia del avión, y la emigración desde Europa a América, África y Asia era masiva. Como referencia, sólo los británicos estimaron sus pérdidas en naufragios en torno a mil vidas durante esos años.

Sería por su coste, por su impacto en la opinión pública, o porque en el último momento se coló a bordo del *Titanic* Leonardo di Caprio, que este accidente, ¡por fin!, movió a los países poderosos a elaborar una reglamentación para evitar sucesos semejantes, exigiendo unos requisitos mínimos que deberían cumplir todos los buques, mediante un Convenio Internacional para la Protección de la Vida Humana en la Mar, denominado *SOLAS* (*International Convention for the Safety Of Life At Sea*)

1ª Convención SOLAS

La 1ª Convención, promovida por el Reino Unido, a la que asistieron 13 países, fue en 1914. El primer convenio SOLAS incluye capítulos de seguridad en la navegación, construcción, comunicaciones, salvamento y protección contra incendios. Ese mismo año, el 29 de mayo, el trasatlántico *Empress of Ireland*, de 174 metros y 14.191 toneladas, zarpó de Quebec con 1.477 pasajeros. El buque seguía el curso del río San Lorenzo cuando penetró en un banco de densa niebla. Lo siguiente que su capitán avistó fue la proa rompehielos del carguero sueco *Stordstad*, sin que tuviera tiempo de maniobrar y evitar la colisión. En solo 14 minutos se fue a pique con un terrible saldo de 1.012 víctimas.

El 5 de marzo de 1916, el trasatlántico *Príncipe de Asturias*, de 150 metros y 16.500 toneladas, construido bajo la sociedad de clasificación *Lloyd´s*, se hundía en aguas de Brasil en pocos más de 5 minutos, tras chocar a 10 nudos contra un arrecife, a pesar de que su casco ya estaba divido en compartimientos estancos y contaba con doble fondo. Las cifras oficiales dicen que murieron 445 personas, pero se estima que hubo cerca de 1.000 víctimas, ya que muchos viajaban de forma ilegal.

El 9 de septiembre de 1919, el *Valbanera*, de 132 metros de eslora y 5.099 toneladas, avistaba La Habana cuando un fuerte huracán le impidió la entrada, por lo que intentó capearlo en alta mar. El viento y la mar lo arrojaron sobre el bajo arenoso de la Media Luna quedando atravesado a la mar. En pocos minutos se hundió con sus 488 pasajeros. Las crónicas cuentan que no sobrevivió nadie.

2ª Convención SOLAS

Pese al auge de la 1ª Convención, la I Guerra Mundial provocó un parón en los acuerdos y no fue hasta la 2ª Convención del año 1929 cuando se reguló y revisó el reglamento de abordajes. Pero soplaban vientos de guerra y las potencias mundiales pusieron sus esfuerzos en la construcción de las flotas que las enfrentaron en la II Guerra Mundial. Durante dicha guerra hubo multitud de hundimientos, pero las causas no están muy claras, ya que muchos pudieron deberse a minas a la deriva o a torpedos disparados por submarinos. Es imposible no citar al buque alemán *Wilhem Gustloff* que zarpó el 30 de enero de 1945 para evacuar soldados heridos con destino a Kiel. Esa noche fue torpedeado por el submarino ruso *S-13*, hundiéndose al norte de Wladyslavovo. Los periódicos indicaron que, de los 10.600 pasajeros, perecieron unos 9.400, lo que supone el naufragio más terrible de la historia.

3ª Convención SOLAS

En 1948, la 3ª Convención ya contó con la participación de 34 países. En ella se establecen estándares de estanqueidad, estabilidad, emergencias y protección contra incendios, y se trata el transporte de mercancías peligrosas. Ese año, bajo auspicio de ONU, se crea la OCMI (Organización Consultiva Marítima intergubernamental), precursora de la actual IMO (Organización Marítima Internacional), para legislar sobre materias relacionadas con la seguridad marítima. Entre los acuerdos se introduce la necesidad de un certificado internacional de seguridad para barcos de más de 500 toneladas de registro bruto.

El 4 de diciembre de ese año estalló el *Kiangya*, un buque chino de 2.100 toneladas cuya proa chocó con una mina al norte de Shanghai. Perecieron cerca de 3.900 personas y otro millar fue recogido por otros buques.

El 26 de septiembre de 1954, el trasbordador japonés *Toya Maru* se hundió durante un tifón en el estrecho de Tsugaru. Había fondeado a la espera de que mejorase el tiempo, pero el ancla garreó mientras el agua entraba en la sala de máquinas deteniendo su turbina. Llevaba 45 vagones de ferrocarril en una cubierta no suficientemente compartimentada, y tres horas después varó en la playa de Nanae, hundiéndose a pocos cientos de metros de la orilla, provocando 1.159 víctimas.

4ª Convención SOLAS

La convención de 1960 fue la primera celebrada por la IMO; asistieron 55 países. En ella se incorporaron normativas para investigar accidentes, incluyendo aspectos como las balsas en vez de los botes salvavidas, y el incipiente tema de la propulsión nuclear y las mercancías peligrosas. Fueron años de un gran empuje regulador, con enmiendas que afectaron a casi todas las partes del buque y su flete, pese a que se requería la aceptación de dos tercios de los miembros para aprobarlas. De los accidentes de esta

época destaca el del crucero de lujo italiano *Andrea Doria*, un nuevo, lujoso e «insumergible» *Titanic*, que el 26 de junio de 1956, debido a la niebla y a una mala maniobra, colisionó con la proa rompehielos del carguero sueco *Stockholm* que permaneció a flote mientras el *Andrea Doria* se hundía. «Sólo» hubo 51 víctimas de los más de 1.700 pasajeros que viajaban a bordo.

5ª Convención SOLAS

En 1974, el problema legislativo era que, a medida que se iban incorporando más países, las enmiendas tardaban mucho en entrar en vigor. Por ello, la IMO propuso esta 5ª Convención, ahora en vigor, que incorpora todas las enmiendas aprobadas en la 4ª, y que incluye un nuevo procedimiento, más ágil, conocido como *aceptación tácita*.

El 22 de abril de 1980 se produjo el hundimiento del transbordador *Don Juan*, de 96 metros de eslora y 2.311 toneladas. Fue el primero dotado con cabinas y puertas estancas en los compartimentos. Con mar en calma y buena visibilidad, impactó contra un petrolero que le provocó una vía de agua de 15 metros en su proa, mientras su capitán jugaba al *mahjong*, un juego de mesa chino. Aunque estaba capacitado para llevar 850 pasajeros, ese día desaparecieron más de 900.

El 25 de mayo de 1986 en el naufragio del *ferry Shama* murieron 600 personas en las aguas del río Megnha, en Bangladesh. Llevaba más de 1.000 mil personas. La sobrecarga y una fuerte tormenta fueron las causas del desastre.

El 1 de septiembre de 1986, el *Admiral Najimov*, de 174 metros, con 1.234 pasajeros, construido en 1925 por la marina alemana y capturado en 1949 por la rusa, se hundió en sólo un cuarto de hora, tras chocar con el carguero soviético *Piotr Vasey* después de salir de Odessa. Su capitán pensó que su colega había corregido el rumbo para evitar la colisión y abandonó el puente, por lo que ambos buques colisionaron. Hubo más de 500 desaparecidos.

El 6 de Marzo de 1987 se hundió el *Herald of free Enterprise*, un *ferry* británico de 132 metros de eslora. Era un buque *roll-on roll-off* (Ro-Ro), ya que los coches y camiones tenían acceso a bordo conducidos por sus propietarios. Zozobró momentos después de salir del puerto belga de Zeebrugge. Murieron 193 pasajeros y tripulantes. La causa tuvo que ver con un mal trimado al tener que hacer la ruta Dover-Zeebrugge en lugar de la habitual Dover-Calais. Para poder operar en la terminal de Zeebrugge con las cubiertas *Ro-Ro* se le dio un asiento a proa de cuatro pies. El mayor error fue no verificar que las compuertas de proa estuviesen cerradas. Zarpó muy aproado, la mala maniobrabilidad le hizo salirse de la canal dragada entrando en aguas someras; la alta velocidad hizo que se produjera *efecto squat*, con el consecuente calado adicional, que favoreció una brusca entrada de agua por la proa.

Como consecuencia de este accidente, se realizaron varias enmiendas al SOLAS sobre la integridad de la superestructura y el casco, en la prevención de daños, en los sistemas de detección de inundaciones, y en el alumbrado de emergencia para poder operar al menos tres horas adicionales ante cualquier condición de escora. Este hundimiento provocó que se aplicase a los buques de pasaje la norma SOLAS 90 que exige mayores brazos adrizantes tras las averías, incluye el efecto del viento, el del pasaje y botes salvavidas a una banda, y define las dimensiones de los 2 ó 3 compartimentos a inundar en los cálculos previos de estabilidad.

El 20 de diciembre de 1987, el *Doña Paz* navegaba rumbo a Manila. Tenía licencia para transportar 1.518 personas, pero llevaba 4.412. Colisionó con el petrolero *Vector*, de 639 toneladas con 8.800 barriles de productos inflamables. Se produjo una gran bola de fuego, convirtiendo ambos barcos en un holocausto. Sorprendentemente, el *Doña Paz* no tenía radio. Otro *ferry* que divisó las llamas encontró sólo 26 supervivientes.

El desastre del *ferry Baccha Singh* tuvo lugar el 6 de agosto de 1988 al noreste de La India, cerca de Katihar. Viajaban 400 pasajeros, cuando el buque estaba diseñado para un máximo de 160. El exceso de carga, la meteorología y la crecida del río, fueron los motivos del hundimiento.

El 14 de diciembre de 1991 el *Salem Express* se hundió en el Mar Rojo, pudiendo morir ahogados cerca de 1.000 personas, aunque la cifra oficial es de 470. Su capitán, en lugar de seguir la ruta convencional, se metió entre los arrecifes Hyndman. Esta maniobra ahorraba dos horas de viaje y mucho combustible. Un temporal desvió su derrota, chocando con un arrecife que le rajó el casco y abrió el portón de proa. La tripulación no tuvo pericia para botar las lanchas salvavidas, por cierto incapaces de albergar a los cientos de pasajeros que no sabían nadar.

El 19 de febrero de 1993 el *Neptune*, sin chalecos ni botes salvavidas, naufragó frente al puerto de Miragoane, a unas 60 millas de Puerto Príncipe. Murieron 800 personas. Aunque no podía llevar más de 650 pasajeros, se estima que había a bordo más de 2.000. Según los supervivientes, la tempestad provocó un movimiento de pánico entre los pasajeros que desestabilizó al buque.

El *ferry Estonia* era un *Ro-Ro* de 155 metros, dotado con una visera de proa que se abría hacia arriba. Naufragó el 28 de septiembre de 1994 porque la fuerza de las olas sobre la visera provocó su desprendimiento y el agua empezó a entrar ocasionando una escora que fue aumentando. Murieron 852 personas. Hay una teoría conspirativa en *Internet* que dice que transportaba material ruso y que, mientras intentaba deshacerse de él, explotó haciendo que la visera se soltara. Sea como fuere, este accidente sacó a la luz un gran número de defectos en los sistemas de rescate y aceleró una revisión exhaustiva de todos los aspectos de seguridad, provocando un endurecimiento en las normas de estabilidad, conocido como *Acuerdo de Estocolmo*.

El siglo XXI

El 29 de junio del 2000 el *Cahaya Bahari* se hundió en el Mar de las Molucas. Murieron 550 personas durante una tormenta. Llevaba casi el doble de los pasajeros autorizados.

El 26 de septiembre de 2002 el *Joola*, con una capacidad para 536 personas, sufrió un accidente con cerca de 2.000 de víctimas en aguas entre Senegal y Gambia. En solo tres minutos una tormenta hizo que los pasajeros que iban en cubierta se agolparan a babor volcándolo. Este accidente se produjo casi a la vez que el del famoso *Prestige* en aguas gallegas.

El 8 de julio de 2003, el *ferry Nasrin* llegó a las turbulentas aguas de Chandpur, donde confluyen tres ríos; Padma, Meghna y Dakatia. Se le paró el motor y la corriente lo arrastró hacia un bajo que le hizo volcar. Hubo 400 desaparecidos.

El *ferry* egipcio *Al-Salam Boccaccio 98,* de casi 12.000 toneladas y 118 metros de eslora, se hundió el 2 de febrero de 2006 en el Mar Rojo. Con 1.312 pasajeros y una tripulación de 96, hubo 1.018 muertos. El desastre comenzó con un incendio en la cubierta de vehículos. La pérdida de estabilidad fue debida a la gran cantidad de agua bombeada para apagar el incendio, y a que no funcionaron las bombas de achique.

El 30 de diciembre de 2006 el *ferry Senopati Nusantara* se hundió al noreste de Yakarta con 628 personas a bordo. El motor principal dejó de funcionar, las olas golpearon el barco, rompiendo los amarres de los vehículos que iban en cubierta, lo que aumentó su escora. Durante casi 3 horas no paró de entrar agua a través de los portillos. Finalmente dio la vuelta.

El 21 de junio de 2008, el *ferry Princess of the Stars* de 193 metros de eslora, con 860 pasajeros, se hundió tras el paso del tifón Fengshen frente a la isla de Sibuyan. Dio la vuelta en medio de un fuerte oleaje. El resto lo hizo el flete de cinco plaguicidas altamente tóxicos que llevaba en dos contenedores. Sólo sobrevivieron 52 personas.

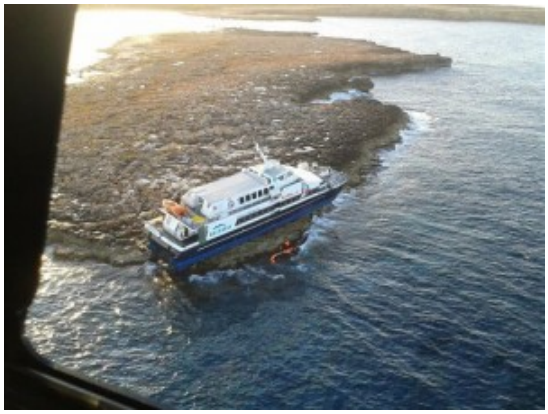
La actualidad de 2012

Como acabamos de ver, no todas las tragedias están protagonizadas por buques del tercer mundo que, tras operar en Europa o Norteamérica, terminan su vida en el lejano o el medio Oriente. Sin ir más lejos, este año vimos al capitán Schettino y su *Costa Concordia* con 4.200 pasajeros y una vía de agua de casi 70 metros. La ya famosa frase *«Vadda a bordo, cazzo»* mostró al mundo una bochornosa imagen que nos recuerda que el factor humano está siempre presente en todo accidente marítimo.

Y, como diría un suboficial maniobra que disfrutó conmigo de nuestro querido buque-escuela *Juan Sebastián de Elcano* «opinar de los demás es como escupir para arriba», así que los periódicos nos trajeron al día siguiente la colisión del transbordador *Millenium II* con el petrolero *New Glory,* en su viaje de Algeciras a Ceuta. Le hizo un agujero de más de 30 metros.

Y para que viésemos que no era sólo una casualidad, un mes después el *Maverick dos* se subía a unas piedras en la Isla de Sa Torreta en su interrumpido viaje desde Ibiza a Formentera.

Todas estas realidades nos confirman que las negligencias son las principales causas de los siniestros marítimos. Y esto, sólo se combate con responsabilidad y formación.



Los números primos: una familia muy escurridiza

Miguel Ángel Álvaro Peña
Profesor de Matemáticas de la ETSIAN

Euclides y la infinitud de los números primos

Para empezar, recordamos que un *número primo* es un número natural mayor que 1 que tiene únicamente dos divisores: él mismo y el 1. Se contraponen así a los *números compuestos*, divisibles por algún otro natural distinto. El 1, por convenio, no se considera ni primo ni compuesto («cosas vederes, Sancho...»).

Y una vez puesta la primera piedra, preguntémonos por qué los números primos se llaman así. El vocablo «primo» no significa que sean parientes de alguien; deriva del latín *primus* que quiere decir *primero* ($\pi\rho\omega\tau o\varsigma$, *protos* en griego). El teorema fundamental de la aritmética afirma que todo número natural se expresa de forma única como producto de números primos. Por eso se les considera los *primeros*, porque a partir de ellos obtenemos todos los demás números naturales.

Pero, ¿la cantidad de números primos es finita o infinita? La primera prueba de su infinitud se debe a Euclides de Alejandría, lo que no quiere decir que la demostración fuese suya, sino que aparece en su libro *Elementos,* en concreto en la Proposición 20 del Libro IX. El argumento de Euclides es de una bella simplicidad:

Euclides 325 a. C. - 265 a. C.

Supongamos que existe sólo una cantidad finita de números primos. Sea $C = \{p_1, p_2, \dots, p_k\}$ el conjunto formado por todos ellos. Formemos el número

$$M = p_1 \cdot p_2 \cdot \dots \cdot \ p_k + 1$$

Este número M (mayor que todos los del conjunto C) no puede ser primo, pues no pertenece a C. Pero, entonces, M debe tener un divisor primo q. Supongamos que q coincide con alguno de los números de C. Entonces q divide a M y también divide a $p_1 \cdot p_2 \cdot \dots \cdot \ p_k$. Como se cumple que:

$$1 = M - p_1 \cdot p_2 \cdot \dots \cdot \ p_k$$

se tendría que q divide a 1, lo cual es imposible pues ningún número primo divide a 1.
Por lo tanto, q es un primo que no está en la lista inicial; o sea, esta lista no está completa. Un poco de reflexión nos conduce a que ninguna lista finita estará completa, pues siempre podremos repetir el argumento anterior. Es decir, los números primos son infinitos.

Hay otras demostraciones, como la de Euler que es un corolario de un teorema que afirma que la suma de la serie de los inversos de los números primos es divergente, u otra más reciente, y sencilla, realizada por el húngaro George Pólya (1.887-1.985), basándose en los números de Fermat.

George Pólya.

Euler y, de nuevo, la infinitud de los números primos

Consideremos, ahora, la «densidad» de un conjunto infinito de números naturales, analizando distintos conjuntos infinitos. Veremos que unos pueden ser mas «frecuentes» que otros. Estudiemos, por ejemplo, la densidad de los números pares dentro de todos los números. Si N es un número, denotemos por $P(N)$ la cantidad de números pares menores o iguales que N. Entonces se cumple que si N es par, $P(N) = N/2$, es decir:

$$\frac{P(N)}{N/2} = 1$$

y si N es impar $P(N) = (N-1)/2$, o sea:

$$\frac{P(N)}{N/2} = 1 - \frac{1}{N}$$

Obsérvese que esta última cantidad se aproxima tanto como se quiera a 1, sin más que hacer N muy grande. Es cómodo escribir el hecho anterior como

$$P(N) \sim \frac{N}{2}$$

lo que nos indica que el cociente de esas dos cantidades es tan próximo a 1 como se quiera; tomando N lo suficientemente grande:

$$\frac{p(N)}{N/2} \sim 1$$

Podemos pensar, entonces, que la totalidad de los números y la cantidad de números pares son «comparables»; es decir, la frase «hay la mitad de pares que de números» tiene un sentido correcto (a pesar de que ambos son conjuntos infinitos). Si repitiéramos el proceso realizado para los múltiplos de 3, obtendríamos $N/3$, y $N/5$ para los múltiplos de 5, etc.

Para comparar conjuntos infinitos de números, o sea, para estudiar su densidad, podemos usar las sumas infinitas. La suma infinita de los inversos de los números pares es:

$$\sum_{1}^{\infty} \frac{1}{2n} = \frac{1}{2} \sum_{1}^{\infty} \frac{1}{n}$$

Pero, sabemos que la serie armónica es divergente:

$$\sum_{1}^{\infty} \frac{1}{n} = \infty$$

por lo tanto, la suma infinita de los inversos de los números pares también diverge al infinito, lo que concuerda con que los números naturales y los números pares sean comparables (tienen el mismo cardinal).

Por otra parte, como la suma infinita

$$\sum_{1}^{\infty} \frac{1}{2^n}$$

es convergente, podemos deducir que las potencias de dos, $\{2, 4, 8, 16, 32, \dots\}$, aun formando un conjunto infinito, son lo suficientemente «pocas» como para que la serie de sus inversos ya no sume infinito, como sucede con la suma de los inversos de todos los números.

Veamos un ejemplo importante sobre la densidad de conjuntos infinitos. Durante casi cien años no se encontró la solución al problema de hallar la suma de los inversos de los cuadrados de los números:

$$\sum_{1}^{\infty} \frac{1}{n^2} = 1 + \frac{1}{4} + \frac{1}{9} + \frac{1}{16} + \cdots$$

Muchos fueron los matemáticos de los siglos XVII y XVIII que intentaron resolverlo. Se conoce como problema de Basilea. Fue Leonhard Euler, quien probó, en 1.735, que dicha suma es finita y que su valor exacto es:

$$\sum_{1}^{\infty} \frac{1}{n^2} = \frac{\pi}{6}$$

Aparte de lo sorprendente del resultado, podemos concluir lo mismo que con las potencias de 2: los cuadrados de los números «son pocos» dentro de la infinitud de todos los números. En su libro *Introductio in Analysis Infinitorum,* publicado en 1.748, Euler demostró la siguiente fórmula:

$$\sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^s} = \prod_{p} \frac{1}{\left(1 - \frac{1}{p^s}\right)}$$

que obtuvo manipulando, de forma sencilla pero ingeniosa, la expresión de los números en factores primos. Se conoce como *fórmula del producto de Euler*. La p bajo el símbolo indica que hay un factor de esa forma por cada número primo, recorriéndolos todos. Así, por ejemplo, para $s = 3$:

$$\prod_{p} \frac{1}{\left(1 - \frac{1}{p^3}\right)} = \frac{1}{\left(1 - \frac{1}{2^3}\right)} \frac{1}{\left(1 - \frac{1}{3^3}\right)} \frac{1}{\left(1 - \frac{1}{5^3}\right)} \frac{1}{\left(1 - \frac{1}{7^3}\right)} \frac{1}{\left(1 - \frac{1}{11^3}\right)} \cdots$$

Con la fórmula anterior, Euler mejoró el resultado de la infinitud de los números primos, dando información sobre su «densidad»:

$$\sum_{p} \frac{1}{p} = \infty$$

es decir, la suma infinita de los inversos de los números primos diverge a infinito. A la vista de las interpretaciones que hemos hecho antes, podemos deducir que la densidad de los números primos dentro de todos los números es «alta». Pero, ¿cómo de alta es?

Gauss y la distribución de los primos

La sucesión de los números primos es, hasta hoy, impredecible. No sabemos si obedece a algún tipo de regla u orden que no hemos sido capaces de descubrir todavía. Durante siglos, las mentes más preclaras intentaron poner fin a esta situación, sin éxito; aunque con el paso del tiempo se han ido dando pequeños pasos, pero tantos que al mirar atrás parecen gigantescos.

Carl Friedrich Gauss, en 1.792, con 15 años, basándose en la observación empírica (es decir, calculando y mirando tablas de números primos) y en su fina intuición matemática, llegó a la conclusión de que la densidad de los números primos debía estar regida por el logaritmo natural o neperiano. Si llamamos $\pi(N)$ a la cantidad de números primos que hay menores que N, entonces:

$$\pi(N) \sim \frac{N}{\ln N}$$

Resulta sumamente extraordinario que la distribución de los números primos esté ligada de esta manera con el logaritmo neperiano.

El primer resultado lo obtuvo el matemático ruso Pafnuty Lvovich Tchebyschev en 1.850, al probar que:

$$0{,}89 < \frac{\pi(N)}{N/\ln N} < 1{,}11$$

cuando N es muy grande; lo que se puede interpretar en el sentido de que el «error relativo» de la aproximación de $\pi(N)$ por $N/\ln N$ es menor del 11%.

En 1.881, James J. Sylvester da otro resultado similar pero mucho más fino; a saber:

$$0{,}96695 < \frac{\pi(N)}{N/\ln N} < 1{,}04423$$

Fueron el matemático francés Jacques Hadamard (1.865-1.963) y el belga Charles-Jean de la Vallée Poussin (1.866-1.962) los que, en 1.896, de forma independiente, demostraron la expresión de Gauss, conocido como *teorema de los números primos,* que establece la «distribución» asintótica de dichos números dentro de los números naturales. El adjetivo «asintótica» alude al hecho de que lo que se prueba, al involucrar un límite, establece una relación entre $\pi(N)$ y $N/\ln N$ para valores *grandes* de N.

Jacques Hadamard

Charles-Jean de la Vallée Poussin

Para finalizar, por ahora

La familia de los números primos es muy muy escurridiza. Los humanos tuvimos que inventar primero las cañas de pescar, para que los peces –pocos, muy pocos– no se nos resbalasen de la manos; después inventamos las redes. Pues bien, en esto de los números primos todavía ni caña tenemos.

Materiales para proyectiles de energía cinética: ¿Wolframio o uranio empobrecido?

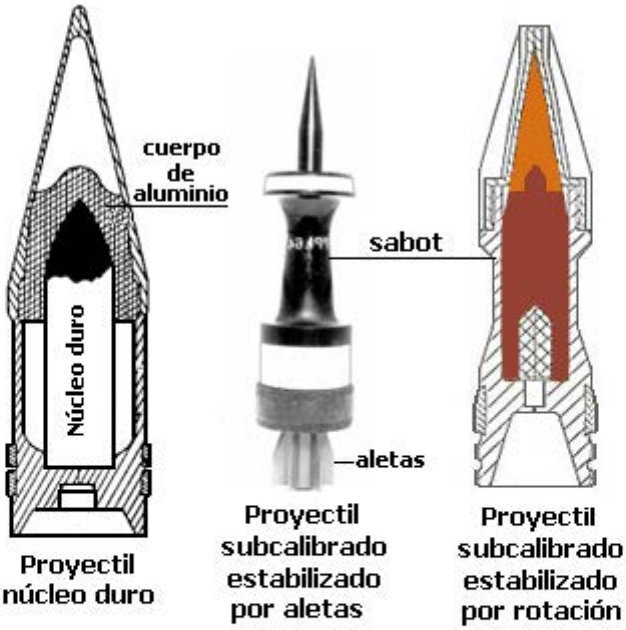
Doctor Manuel Laguna Iglesias
Director del Departamento
de Construcción y Materiales de la ETSIAN

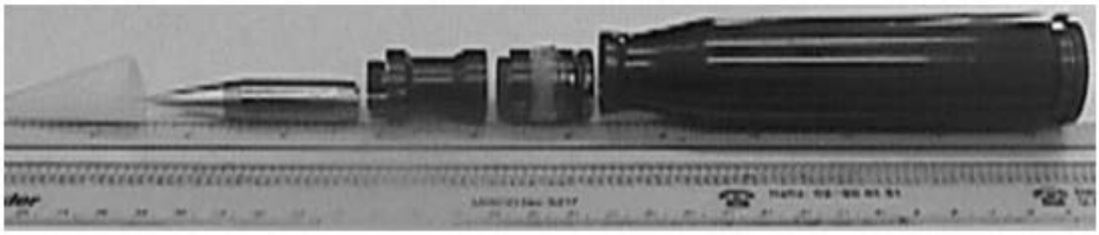
Introducción

Munición perforante es la concebida para combatir blancos blindados. Podemos dividirla en dos grandes grupos, según la forma de generar la capacidad de perforación:

a) aquélla cuyo poder perforante se deriva, total o parcialmente, de la energía liberada por la explosión de una sustancia química. Por ejemplo, la carga hueca.
b) la que emplea para perforar únicamente la energía cinética que posee. Este grupo admite una nueva división:
   - los proyectiles que llegan al blanco con la misma constitución con la que abandonaron el cañón. Por ejemplo, los proyectiles de *núcleo duro*.
   - los que al salir del tubo se descomponen en varias partes, de las cuales sólo una –el núcleo – vuela hasta el blanco. Son los proyectiles *subcalibrados* que pueden estar estabilizados por rotación o mediante aletas.

En este artículo analizaremos sólo los proyectiles del grupo b)





Desengarce de un disparo del cañon Meroka

Masa *versus* velocidad

Un aspecto importante a tener en cuenta en los proyectiles del grupo b) es la relación masa/velocidad. Las dos magnitudes influyen en la energía cinética del proyectil, por lo que en principio sería deseable que ambas fueran muy grandes. A primera vista, parece que lo más ventajoso sería aumentar la velocidad, más que la masa, puesto que la primera influye en la energía de forma cuadrática y la segunda de manera lineal. Sin embargo, a partir de ciertos valores, una disminución sensible de la masa del proyectil sólo permite un ligero aumento de la velocidad, de forma que la energía resultante disminuye. Además, hay que tener presente factores como la resistencia mecánica del núcleo, la estabilidad en vuelo, la precisión, el coeficiente balístico, etc., para determinar el valor de la relación masa/velocidad que permita obtener la máxima perforación en un blanco situado a las distancias normales de empleo de la munición en estudio. Y todo ello hay que compatibilizarlo con los esfuerzos que pueden soportar los cañones, esfuerzos que dependen, entre otras variables, también de la masa y la velocidad del proyectil que disparan.

Unas cifras nos harán entender mejor el orden de las magnitudes de las que estamos hablando. Por ejemplo, el cañón 120/50 antitanque opera a una presión de unas 6900 atmósferas, proporcionando una energía de 9,8 millones julios a un proyectil de 7 kg que sale del tubo con una velocidad inicial de 1650 m/s (casi 5 veces la velocidad del sonido).

Proyectiles subcalibrados

Pero un proyectil, cuyo calibre sea el mismo que el del cañón que lo dispara, pierde mucha energía cinética en vuelo debido a la resistencia aerodinámica al avance. Esta pérdida, ¿puede minimizarse? Sí, basta subcalibrarlo mediante unos suplementos llamados *sabots*. Así, acortando el diámetro una cuarta parte, se consigue disminuir la sección transversal un 16%. Esta modificación no solo reduce la pérdida energética sino que también concentra la energía en una zona más pequeña del blanco. Éste es el motivo de que los proyectiles subcalibrados (también llamados *proyectiles flecha*) tengan una relación longitud/diámetro de 10:1 a 20:1. Pero, la estabilización por rotación no es efectiva para relaciones longitud/diámetro mayores de 4:1; de ahí que estos proyectiles deban estén estabilizados por aletas y tengan forma de dardo.

Separación de los *sabots* a la salida del ánima

Materiales

De lo dicho se deduce inmediatamente que el material del que esté hecho un proyectil del grupo b) tiene una influencia decisiva en la energía cinética que adquiere el núcleo y, en consecuencia, en su capacidad de perforación. En efecto, la energía del proyectil se reparte entre el núcleo y la envuelta; pero, como sólo es aprovechable la primera, interesa que el núcleo se lleve la mayor parte posible. Ahora bien, la velocidad del núcleo y de la envuelta es la misma, por tanto el reparto energético es proporcional a las masas de ambos elementos. Por este motivo, en la envuelta se utilizan materiales ligeros (como el aluminio y el plástico), mientras que para el núcleo se emplean materiales de gran densidad.

Ventajas e inconvenientes de los materiales empleados en el núcleo

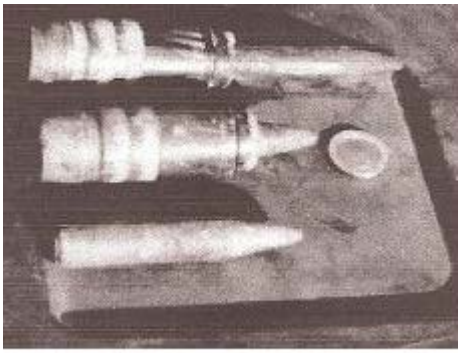
Inicialmente se utilizó el *carburo de wolframio***,** aglomerado con níquel o cobalto, de una densidad de 14,2 a 14,4 g/cm^3, pero tiene el inconveniente de ser muy duro y muy frágil, por lo que resultó inadecuado para los proyectiles flecha.

Posteriormente se generalizó el empleo de *wolframio puro*, cuya densidad teórica es 19,3 g/cm^3, mayor que la del carburo de wolframio, lo que facilita la fabricación de la flecha, pero sus valores de ductilidad son bajos, por lo que resulta extremadamente difícil de mecanizar, provocando que sea caro de fabricar.

Por ello, se abordó la fabricación de núcleos a base de *aleaciones de wolframio con níquel y cobre o níquel y hierro*, cuyas densidades varían desde 17 a 19 g/cm^3. Estas aleaciones, sinterizadas mediante técnicas pulvimetalúrgicas de compactación, no presentan ninguno de los inconvenientes anteriores.

También se han utilizado otros materiales, como el *uranio empobrecido* (*Depleted Uranium*, *DU*), que tiene ventajas desde el punto de vista del funcionamiento, pero presenta graves problemas de manipulación.

El uranio tiene tres isótopos: el U-235 (abundancia del 0,72%), el U-238 (99,27%) y el U-234 (0,0057%). El uranio empobrecido procede de la separación del isótopo U-235, por lo que su remanente en el uranio natural es menor del 0,25%. La ventaja de utilizar núcleos de proyectiles a base de uranio empobrecido es que se puede obtener como un residuo procedente de las centrales nucleares, carente de otra utilidad comercial. Como la densidad de este material es de 19,07 g/cm^3, tiene mayor poder de penetración que las aleaciones de wolframio. Además, cuando un proyectil de uranio empobrecido impacta en un objeto, «se quema», es pirofórico, y sus partículas se dispersan en forma de aerosol, lo que puede provocar la ignición de otros materiales combustibles e incluso la detonación de la munición almacenada en un carro de combate.



Proyectiles de uranio empobrecido

Por otra parte, el uranio empobrecido es emisor de partículas α, que no tienen suficiente energía para atravesar la piel, pero pueden resultar perjudiciales si se inhalan, se ingieren o están en contacto con heridas abiertas.

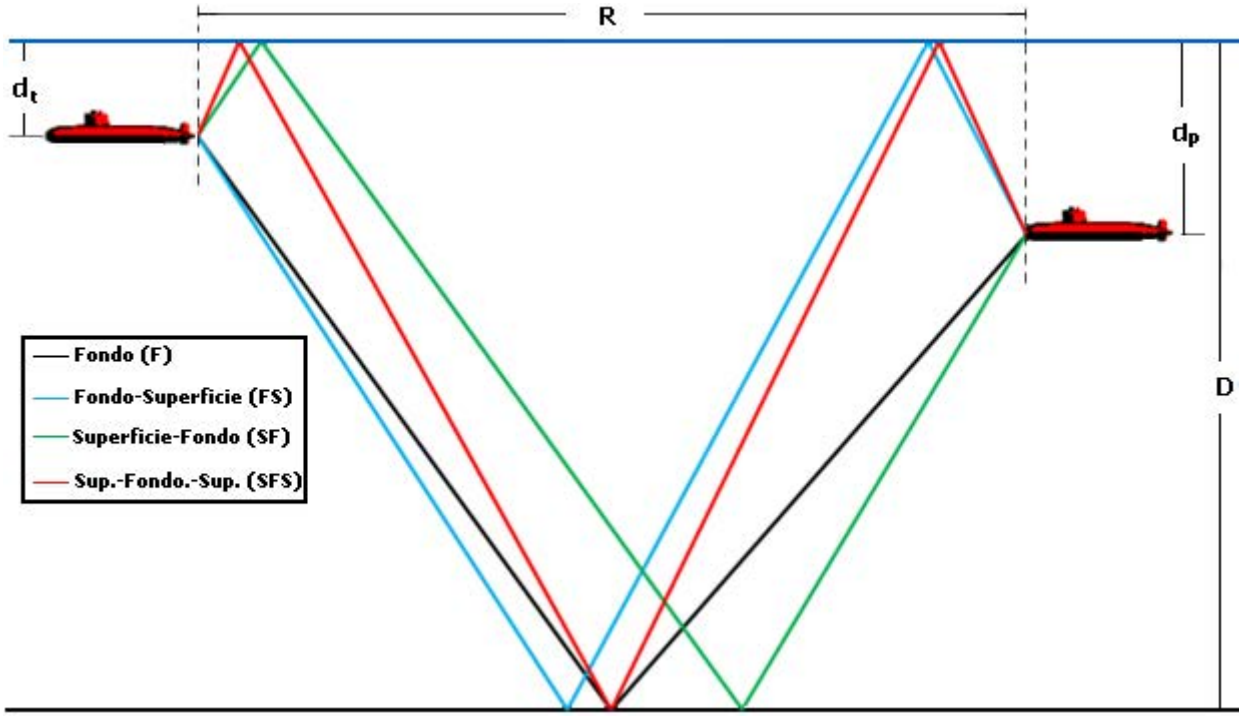
Conclusión

Por todo ello, considerando las ventajas y los inconvenientes, se pueden concluir que las aleaciones de wolframio sinterizado son, hoy por hoy, los materiales ideales para fabricar los núcleos de las municiones de energía cinética.

Localización acústica pasiva de un submarino enemigo en aguas profundas: VDPR

Doctor ingeniero de armas navales
Vicente Gallego Muñoz
Consultor de acústica. INSA

Este artículo revisa los fundamentos de una técnica muy usada de localización acústica de submarinos enemigos con el sonar de proa del submarino propio en modo pasivo, conocida como **VPDR** (***V****ertical* ***P****assive* ***D****irect* ***R****anging*). El gráfico adjunto ilustra la situación.



Geometría del problema

El submarino que se pretende localizar se encuentra a una profundidad $\boldsymbol{d_t}$ y a una distancia horizontal $\boldsymbol{R}$ del submarino propio, sumergido a su vez a una profundidad $\boldsymbol{d_p}$. El blanco genera una huella acústica continua de baja frecuencia que se propaga a partir de su popa (hélice). El sonar del submarino de caza está configurado para operar en dos bloques independientes en paralelo (*half array*). Los hidrófonos de la mitad superior del sonar funcionan como una antena acústica que se orienta hacia la superficie del agua, mientras que la mitad inferior apunta hacia el fondo.

En estas condiciones se trata de determinar las trayectorias que debe seguir el sonido originado en el blanco para incidir sobre el sonar de caza. En la figura se han trazado las cuatro primeras trayectorias. Obsérvese que, a medida que aumenta el orden de la trayectoria, su propagación es más vertical, con más rebotes tanto en la superficie como en el fondo y con más camino recorrido. Todo ello determina un aumento progresivo en la pérdida de energía acústica. Esto implica que únicamente las primeras trayectorias tendrán energía suficiente para poder ser utilizadas en el proceso de detección y posteriormente en la localización del blanco.

Antes de avanzar, deben señalarse las simplificaciones que se asumirán en este trabajo: 1) tanto la superficie del mar como la del fondo se consideran lisas a la frecuencia de la señal acústica (longitud de onda mucho mayor que las irregularidades de estas superficies), por tanto, se supone una reflexión perfecta en

los dos casos; 2) tanto el coeficiente de reflexión en la superficie $\boldsymbol{r_s}$ como en el fondo $\boldsymbol{r_f}$ son magnitudes constantes para los ángulos de incidencia implicados en las cuatro trayectorias analizadas (ángulos muy similares entre sí); 3) las trayectorias acústicas se consideran líneas rectas, aunque sólo sería así si la velocidad del sonido fuese constante en toda la columna de agua, por lo que se supone que la curvatura real es un efecto de segundo orden que puede obviarse; 4) la columna de agua tiene un espesor $\boldsymbol{D > d_t, d_p}$; 5) las condiciones ambientales son tales que el sonar pasivo ha detectado con éxito la presencia del submarino enemigo. El problema es fijar su posición con respecto al submarino propio.

La tarea de la localización pasiva de un emisor de ondas requiere normalmente de sensores o grupos de sensores (2 ó más) separados espacialmente para poder efectuar operaciones de triangulación o multilateralidad. En este caso se sustituirá la necesidad de separar espacialmente los sensores aprovechando el fenómeno de propagación acústica por trayectorias múltiples (*multipath*). Lo primero que interesa determinar es la longitud de las trayectorias acústicas de la figura. Es fácil prolongar las trayectorias dibujadas a partir de su último tramo y aplicar el teorema de Pitágoras para hallar estas distancias:

$$
\begin{aligned}
R_F &= \sqrt{R^2 + \left(D - d_t + D - d_p\right)^2} \\
R_{FS} &= \sqrt{R^2 + \left(D - d_t + D + d_p\right)^2} \\
R_{SF} &= \sqrt{R^2 + \left(d_t + D + D - d_p\right)^2} \\
R_{SFS} &= \sqrt{R^2 + \left(d_t + D + D + d_p\right)^2}
\end{aligned}
\tag{1}
$$

A partir de las expresiones anteriores, y con una velocidad de propagación del sonido $\boldsymbol{c}$, los intervalos de tiempo empleados por el sonido en recorrer cada una de esas distancias, serán

$$
\begin{aligned}
T_F &= \frac{1}{c}\sqrt{R^2 + 4D^2 + d_p^2 + d_t^2 - 4D\left(d_t + d_p\right) + 2d_p d_t} \cong \frac{1}{c}\sqrt{R^2 + 4D^2 - 4D\left(d_t + d_p\right)} \\
T_{FS} &= \frac{1}{c}\sqrt{R^2 + 4D^2 + d_p^2 + d_t^2 + 4D\left(d_p + d_t\right) - 2d_p d_t} \cong \frac{1}{c}\sqrt{R^2 + 4D^2 - 4D\left(d_t - d_p\right)} \\
T_{SF} &= \frac{1}{c}\sqrt{R^2 + 4D^2 + d_p^2 + d_t^2 + 4D\left(d_t - d_p\right) - 2d_p d_t} \cong \frac{1}{c}\sqrt{R^2 + 4D^2 + 4D\left(d_t - d_p\right)} \\
T_{SFS} &= \frac{1}{c}\sqrt{R^2 + 4D^2 + d_p^2 + d_t^2 + 4D\left(d_p + d_t\right) + 2d_p d_t} \cong \frac{1}{c}\sqrt{R^2 + 4D^2 + 4D\left(d_t + d_p\right)}
\end{aligned}
\tag{2}
$$

En las Ecs. (2) se ha hecho una primera aproximación, válida para aguas profundas $\boldsymbol{D > 10d_t, 10\, d_p}$. Se pueden obtener expresiones más adecuadas si se hace uso de la serie de Taylor para aproximar $\sqrt{1 \pm x} \cong 1 \pm x/2$ con $|x| \ll 1$.

$$
\begin{aligned}
T_F &= \frac{1}{c}\sqrt{\left(R^2 + 4D^2\right) \cdot \left(1 - \frac{4D\left(d_t + d_p\right)}{R^2 + 4D^2}\right)} \cong \frac{1}{c}\sqrt{R^2 + 4D^2}\left(1 - \frac{1}{2}\frac{4D\left(d_t + d_p\right)}{R^2 + 4D^2}\right) \\
T_{FS} &= \frac{1}{c}\sqrt{\left(R^2 + 4D^2\right) \cdot \left(1 - \frac{4D\left(d_t - d_p\right)}{R^2 + 4D^2}\right)} \cong \frac{1}{c}\sqrt{R^2 + 4D^2}\left(1 - \frac{1}{2}\frac{4D\left(d_t - d_p\right)}{R^2 + 4D^2}\right) \\
T_{SF} &= \frac{1}{c}\sqrt{\left(R^2 + 4D^2\right) \cdot \left(1 + \frac{4D\left(d_t - d_p\right)}{R^2 + 4D^2}\right)} \cong \frac{1}{c}\sqrt{R^2 + 4D^2}\left(1 + \frac{1}{2}\frac{4D\left(d_t - d_p\right)}{R^2 + 4D^2}\right) \\
T_{SFS} &= \frac{1}{c}\sqrt{\left(R^2 + 4D^2\right) \cdot \left(1 + \frac{4D\left(d_t + d_p\right)}{R^2 + 4D^2}\right)} \cong \frac{1}{c}\sqrt{R^2 + 4D^2}\left(1 + \frac{1}{2}\frac{4D\left(d_t + d_p\right)}{R^2 + 4D^2}\right)
\end{aligned}
\tag{3}
$$

A partir de las Ecs.(3) pueden calcularse las diferencias entre tiempos de propagación. Curiosamente se obtienen resultados idénticos a partir de operaciones de sustracción de tiempos diferentes:

$$T_{FS} - T_F = \frac{4Dd_p}{c\sqrt{R^2 + 4D^2}} = \Delta T_1$$
$$T_{SF} - T_F = \frac{4Dd_t}{c\sqrt{R^2 + 4D^2}} = \Delta T_2$$
$$T_{SFS} - T_{FS} = \frac{4Dd_t}{c\sqrt{R^2 + 4D^2}} = \Delta T_2$$
$$T_{SFS} - T_{SF} = \frac{4Dd_p}{c\sqrt{R^2 + 4D^2}} = \Delta T_1$$

(4)

De la primera de las Ecs.(4) (también se puede emplear la 4ª) se despeja el valor del alcance horizontal del blanco respecto al sonar de caza

$$R = 2D\sqrt{\left(\frac{2d_p}{c \cdot \Delta T_1}\right)^2 - 1}$$

(5)

Sustituyendo la Ec.(5) en la 2ª de las Ecs.(4) (o en la 3ª), se obtiene la profundidad del blanco

$$d_t = \frac{c \cdot \Delta T_2}{4D}\sqrt{R^2 + 4D^2} = \frac{\Delta T_2}{\Delta T_1} d_p$$

(6)

Procesado de la señal

Una vez obtenida la posición del blanco a partir de una serie de retardos temporales, se plantea cómo medir estos tiempos con una señal temporal continua. En esta señal no encontramos marcas temporales que puedan usarse para sincronizar una base de tiempos, como se hace en los sistemas activos de eco-localización. En este caso, se debe recurrir a la correlación temporal entre las señales de presión captadas por el sonar detector. La definición teórica de la correlación de dos señales temporales de presión acústica, $p_1(t)$ y $p_2(t)$ es

$$R_{12}(\tau) = \lim_{T\to\infty} \frac{1}{T} \int_{-T}^{T} p_1(t) \cdot p_2(t+\tau)\, dt$$

(7)

En la práctica, el límite al infinito se traduce en un tiempo de medida suficientemente largo en función de las características temporales de las señales, mientras que la integral se implementa con un procesador digital por medio de una suma de una cantidad suficientemente grande de datos discretos.

Algunas propiedades de la expresión de la Ec.(7) son interesantes: 1) Siempre $\boldsymbol{R_{12}}(\boxdot) \leq \boldsymbol{0}$; 2) si las dos señales originales presentan sendos retardos de modo que $\boldsymbol{p_1'(t) = p_1(t - T_A)}$ y $\boldsymbol{p_2'(t) = p_2(t - T_B)}$, la correlación entre ellas cumple la igualdad $\boldsymbol{R_{12}'}(\boxdot) = \boldsymbol{R_{12}}[\boxdot - (\boldsymbol{T_B} - \boldsymbol{T_A})]$.

La firma acústica originada a popa del submarino blanco se puede modelar como una señal temporal de presión de forma genérica $\boldsymbol{p_s(t)}$. Si se toma como origen de coordenadas espaciales y de referencia temporal el punto fuente de dicha señal, y se supone que la energía acústica se propaga como una onda esférica desde dicho punto, la señal de presión captada por la mitad inferior del sonar de proa en el submarino de caza se puede escribir como

$$p_1(t) = r_F \frac{p_s(t - T_S)}{R_F} + r_F r_S \frac{p_s(t - T_{SF})}{R_{SF}}$$

(8)

mientras que la señal recibida en la mitad superior del mismo sonar es

$$p_2(t) = r_F r_S \frac{p_s(t - T_{FS})}{R_{FS}} + r_S r_F r_S \frac{p_s(t - T_{SFS})}{R_{SFS}}$$

(9)

en donde se han tenido en cuenta los efectos de las reflexiones sucesivas (coeficientes r) y de la propagación esférica (distancias R). Nótese que los coeficientes $r < 1$ y las distancias $R \gg 1$ se combinan de modo que los últimos sumandos del segundo miembro en las Ecs.(8) y (9) presentan una magnitud inferior a la de los respectivos primeros sumandos.

Considérese a continuación el resultado de realizar tres operaciones de correlación: 1) auto-correlación temporal de $p_1(t)$ consigo misma, 2) auto-correlación temporal de $p_2(t)$consigo misma y 3) correlación temporal cruzada entre $p_1(t)$ y $p_2(t)$:

$$R_{11}(\tau) = \left[\left(\frac{r_F}{R_F}\right)^2 + \left(\frac{r_F r_S}{R_{SF}}\right)^2\right] R_S(\tau) + \frac{r_F^2 r_S}{R_F R_{SF}} R_S(\tau - \Delta T_2)$$

$$R_{22}(\tau) = \left[\left(\frac{r_F r_S}{R_{FS}}\right)^2 + \left(\frac{r_F r_S^2}{R_{SFS}}\right)^2\right] R_S(\tau) + \frac{r_F^2 r_S^3}{R_{FS} R_{SFS}} R_S(\tau - \Delta T_2)$$

$$R_{12}(\tau) = \frac{r_F^2 r_S}{R_F R_{FS}} R_S(\tau - \Delta T_2) + \frac{r_F^2 r_S^2}{R_F R_{SFS}} R_S[\tau - (T_{SFS} - T_F)] + \frac{r_F^2 r_S^2}{R_{SF} R_{FS}} R_S[\tau - (T_{FS} - T_{SF})] + \frac{r_F^2 r_S^3}{R_{SF} R_{SFS}} R_S(\tau - \Delta T_1) \tag{10}$$

en donde

$$R_S(\tau) = \lim_{T \to \infty} \frac{1}{T} \int_{-T}^{T} p_s(t) \cdot p_s(t + \tau)\, dt \tag{11}$$

representa la auto-correlación temporal de la señal de firma acústica del submarino blanco tal como sale de la popa del mismo.

Tenemos por tanto tres gráficas temporales diferentes que se pueden analizar para obtener información. La primera función de auto-correlación presenta picos o máximos en $\boldsymbol{\tau} = \mathbf{0}$ (origen de coordenada temporal) y en $\boldsymbol{\tau} = \Delta \boldsymbol{T_2}$. Lo mismo ocurre para la segunda función de auto-correlación. En cualquiera de ellas el máximo que ocurre en un punto diferente al origen de tiempos nos marca el valor de $\Delta \boldsymbol{T_2}$. En la función de correlación cruzada debe aparecer de nuevo un máximo en $\Delta \boldsymbol{T_2}$, que ya está identificado, y otros tres más. De los tres restantes, el más cercano al origen de tiempos corresponde a $\boldsymbol{T_{FS}} - \boldsymbol{T_{SF}}$, el más alejado a $\boldsymbol{T_{SFS}} - \boldsymbol{T_F}$, y el que ocupa una posición intermedia se encuentra precisamente en $\boldsymbol{\tau} = \Delta \boldsymbol{T_1}$. De este modo se identifican sin ambigüedad los dos datos que permiten calcular $\boldsymbol{R}$ y $\boldsymbol{d_t}$ en las Ecs.[5] y [6]. Lógicamente, este proceso de identificación se realiza de modo automático y en tiempo real, lo que permite hacer un seguimiento del blanco una vez detectado y localizado.

Estudio del esfuerzo en el aro de embono de un cañón

TN Ignacio Orta Núñez
TN Luis San José Segura
TN Jacobo Casares García de Dios
Alumnos ingenieros de Armas Navales
XXXVIII promoción

Introducción

Durante el estudio de la asignatura de «Resistencia de Materiales» impartida en la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Armas Navales (ETSIAN), la XXXVIII promoción de alumnos ingenieros de Armas Navales realizó un estudio sobre el esfuerzo que debe aguantar la cubierta de un barco en el momento de un disparo. Para ello se escogió el cañón el Oto-Melara 76/62. Este artículo es un resumen de una de las partes de la conferencia titulada «Estudio de la tensión del tubo Oto-Melara y del esfuerzo del aro de embono», impartida en la ETSIAN el pasado mes de diciembre en presencia del ADIENA.

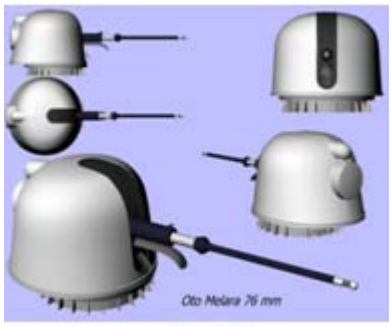


Figura 1

Para empezar

El objetivo era diseñar un aro de embono para el citado cañón y, a la vez, conocer el número de pernos necesarios para anclarlo a cubierta. Para ello supusimos las condiciones más desfavorables, a saber: el cañón no dispondría de mecanismo de frenado y el tiro sería perfectamente horizontal.

Aproximación al problema

Partimos de los siguientes datos:

a) El diseño propio del cañón; el cual limita el diámetro interno del aro de embono (ver figura 2)
b) La velocidad en boca del proyectil. Supusimos la nominal de 925 m/s.
c) El peso del proyectil: 6,15 kg.
d) El espesor de la cubierta: 11 mm.

Notación y expresiones matemáticas

Emplearemos la siguiente notación: e_1 espesor de la cubierta; e_2 espesor del aro de embono; F fuerza; d diámetro de los pernos; n número de pernos; D distancia entre los centros de los orificios para los pernos; τ tensión admisible a cortadura; σ tensión máxima del acero $(2400 kp/cm^2)$; β coeficiente de seguridad (0.8).

Del la Ref. 1 extraemos las siguientes expresiones:

$$d \cong \sqrt{5 \cdot e_1} - 0{,}2$$
$$e_1 \cdot e_2 \leq 4{,}5 \cdot d$$
$$D \geq 3 \cdot d$$
$$n = \frac{4 \cdot F}{\tau \cdot \pi \cdot d^2}$$
$$\tau = \beta \cdot \sigma$$

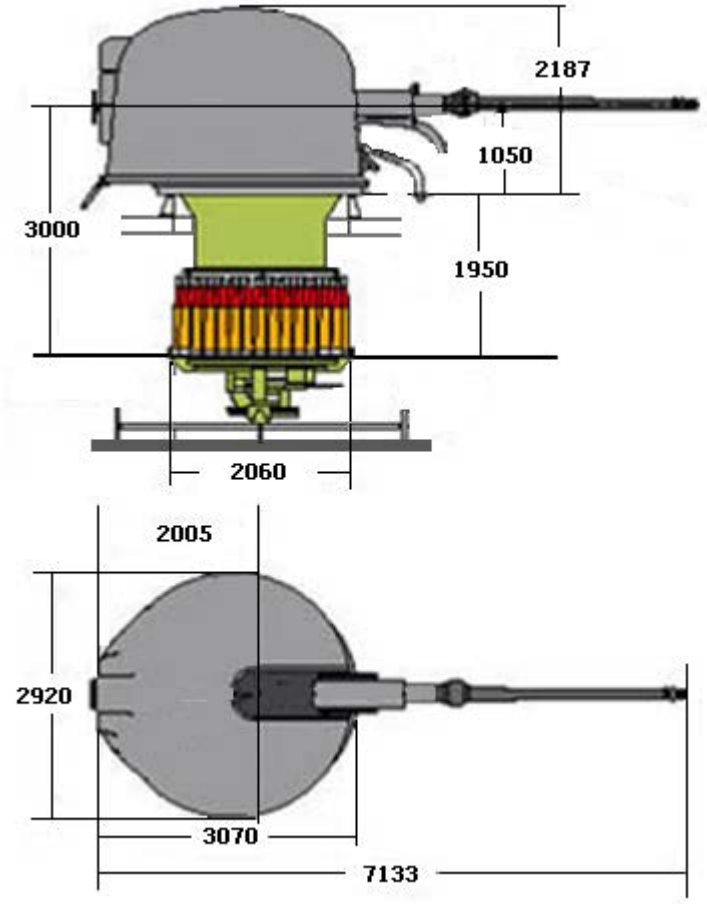


Figura 2

Resultados

Calculamos las limitaciones del aro de embono y los pernos:

$$d \cong \sqrt{5 \cdot e_1} - 0{,}2 \cong 2{,}15\ cm$$
$$e_1 \cdot e_2 \leq 4{,}5 \cdot d;\ e_2 \leq 8{,}5\ cm$$
$$D \geq 3 \cdot d;\ D \geq 6{,}45\ cm$$

Por lo tanto, y para tener una medida lo más normalizada posible, usaremos pernos de acero de 2 cm de diámetro.

En la tabla siguiente se presenta el balance energético de la balística interior de un cañón típico (Ref. 2). De este balance podemos deducir la fuerza total que se desarrolla durante un disparo.

BALANCE ENERGÉTICO	
Energía consumida en el movimiento del proyectil	32%
Energía consumida en el movimiento de los gases propulsores	3%
Pérdidas por rozamiento	3%
Pérdidas de calor en el cañón y el proyectil	20%
Calor retenido por los gases propulsores	42%
Energía total liberada por el propulsante	100%

$$F = m \cdot a \cong m \cdot \frac{v^2}{2 \cdot s} = 6{,}9 \cdot 10^5\ N$$

del 32% de esta fuerza deducimos que:

$$6{,}9 \cdot 10^5\ N \cdot \frac{100}{32} = 2{,}1 \cdot 10^6\ N$$

A continuación, calculamos el número de pernos n necesarios para sujetar el cañón a la cubierta.

$$\tau = \beta \cdot \sigma = 18816\ N$$

$$n = \frac{4 \cdot F}{\tau \cdot \pi \cdot d^2} = 35{,}52$$

Necesitamos, pues, 36 pernos.

Posibles diseños

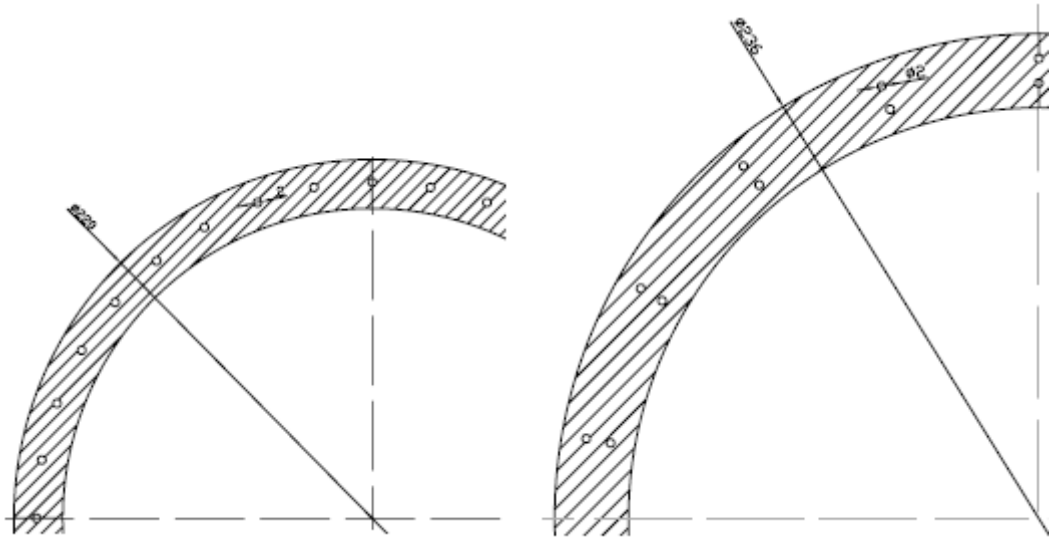
Presentamos dos propuestas:

a) Primera propuesta:

Un diseño con 36 pernos de acero, de 2 cm de diámetro, uniformemente distribuidos y equidistantes a lo largo del aro. El aro tiene un diámetro de 220 cm y 2 cm de ancho.

b) Segunda propuesta

Un diseño con 36 pernos de acero, de 2 cm de diámetro, *enfrentados uno a uno* y equidistantes a lo largo del aro. El aro tiene un diámetro de 236 cm y 2 cm de ancho.



diseño a) diseño b)

Conclusión

Analizadas las dos propuestas nos decantamos por la primera, ya que la segunda, a pesar de ser un diseño óptimo para minimizar la deformación de costura, tiene un aumento del 13% en el tamaño del aro de embono. Como el cañón se debe instalar en la cubierta de un barco, donde el aprovechamiento del espacio es prioritario, optamos por la reducción del diámetro exterior del aro.

Referencias.
1. Resistencia de Materiales. Luis Ortiz Berrocal. Ed. Mc Graw Hill.
2. Fundamentos de Balística. Agustín E. González Morales.
3. Norma NBE EA-95. Estructuras de acero en edificación.

Visita al centro DLMC-ESP de los alumnos del XXXVII Curso para la obtención del título de Ingenieros de Armas Navales

El centro DLMC (DATA LINK MANAGEMENT CENTRE)-ESP, ubicado en Torrejón de Ardoz (Madrid), es un claro ejemplo de cooperación entre los tres ejércitos de España.

El 7 de noviembre de 2011 dos alumnos de la ETSIAN (TN Roselló y TN Ocejo) y dos profesores (la AN Mazón y el CF González García) visitaron este centro donde tuvieron la oportunidad de apreciar cómo funciona el LINK-16. Estuvieron acompañados en todo momento por el jefe del DLMC, el Comandante Mesa Cordero. También presenciaron una demostración de la aplicación ANITA (el interfaz que gestiona el LINK-16) implementada por INDRA.

En la foto, los TN Roselló y Ocejo y la AN Mazón.
A su espalda
una estación de tierra MIDS (Multifunction Information Distribution System) del Link 16

ENTREVISTA

Por «Albert», el físico preguntón

Nuestro primer entrevistado nació en Cartagena en 1955. Ingresó en 1974 en la Escuela Naval Militar, como aspirante del Cuerpo General y en julio de 1979 fue nombrado Alférez de Navío y seguidamente destinado, como oficial de armas, al destructor *Lepanto*. El siguiente destino fue el buque-escuela *Juan Sebastián Elcano*, donde dio la vuelta al mundo en 1981-1982; a continuación estuvo en el Cuartel de Instrucción de Marinería de Cartagena; posteriormente, tras hacer la especialidad, embarcó en la fragata *Asturias* como oficial especialista en Armas Submarinas. En 1985 inició los estudios para obtener el título de Ingeniero de Armas Navales, finalizándolos en 1990. Inició su andadura en el Cuerpo de Ingenieros en el arsenal de Cartagena, pasando por los talleres de minas, misiles y dirección de tiro, y, posteriormente, ya en el empleo de capitán de fragata, fue jefe del Ramo de Armas del arsenal de Cartagena. Actualmente es el Director de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Armas Navales.

- **Buenos días Sr. Director**
- *Buenos días, Albert.*
- **Puede tutearme, ¿y yo a usted?**
- *Vd. verá.*
- **¿Podemos comenzar?**
- *Cuando quieras.*
- **Con el fin de romper el hielo e intentar conocerle un poco más, ¿me permite hacerle unas preguntas generales de carácter puramente personal? Si quiere las responde y, en caso contrario, diga «paso».**
- *Conforme. Adelante.*
- **¿A qué dedica el tiempo libre si es que lo tiene?**
- *Lo dedico a la familia, como la mayoría de los padres, participando activamente en todas las tareas y, cómo no, en las domésticas; por lo que a diario, poco tiempo queda para otras cosas. Los fines de semana procuramos salir y conocer sitios tanto de Madrid como de los alrededores.*
- **¡Ah, tiene hijos! ¿Cuántos?**
- *Dos… hijos únicos, ya que se llevan trece años.*
- **¿Una película?**
- *«Gladiator»; aunque, como padre veo muchas que les gustan a los niños.*

- **¿Su música favorita?**
- *No tengo música favorita. De todo un poco.*
- **¿Un libro?**
- *«Los pilares de la Tierra». Ahora estoy leyendo uno muy interesante: «Y en España se puso el sol», cuyo autor es el jefe de estudios de la ETSIAN. Lo recomiendo.*
- **¿Le gustan los deportes?**
- *Fútbol y baloncesto, en TV.*
- **¿Real Madrid o Barcelona?**
- *Real Madrid, aunque también me gusta ver los partidos del Barcelona cuando juega contra equipos europeos; hay que reconocer que tienen un magnífico equipo.*
- **¿Una comida?**
- *No soy delicado con las comidas pero, si he de decir alguna, me quedo con una buena paella de marisco. Tengo que decir que la sopa de un buen cocido cartagenero, con todos los respetos al madrileño, me encanta.*

- **Dígame el nombre de un periódico de tirada nacional.**
- *El Mundo.*
- **¿Cuál es la página web que más visita al cabo de la semana?**
- *La del banco.*
- **¿Le gustan los animales? ¿Tiene o ha tenido alguna mascota?**
- *Sí. Hasta no hace mucho tiempo tuve una perrita de raza westy.*
- **Como ya sabrá, yo trabajé, en mis años mozos, en una oficina de patentes de Suiza. ¿Cuál es para usted el invento del pasado siglo?**
- *Los procesadores y todo lo relacionado con ese mundo. Es indudable que han cambiado nuestras vidas.*
- **¿Cuál le gustaría que fuese el invento de los próximos años?**
- *La vacuna contra el cáncer y el retraso de la vejez, no el de la jubilación.*
- **Con quien se queda: ¿Aristóteles, Galileo o Newton?**
- *Creo que con Newton.*
- **¿Un matemático?**
- *Bessel. Las funciones que llevan su nombre y sus métodos de cálculo numérico para el desarrollo integral siempre me han fascinado.*
- **Eso es un farol ¿verdad?**
- *Sí.*
- **¿Qué piensa sobre mi teoría de la relatividad?**
- *Que no termino de entenderla y supongo que así seguiré. Eso de la curvatura del espacio/tiempo es demasiado para mí. Lo único que puedo decir al respecto es que para e* ≤ 56 *años el paso del tiempo es una función exponencial de la edad. Para edades superiores aún no lo he comprobado.*
- **No se preocupe, porque al menos usted lo reconoce. A la mayoría le pasa lo mismo pero se hacen los listillos. Si quiere, cuando acabemos, le doy unas clases particulares.**
- *No gracias; se lo agradezco mucho, Sr. Albert, pero tengo que atender mis tareas en esta Escuela.*
- **Sea sincero, por favor, ¿se acuerda del teorema de Steiner o de los ejes paralelos?**
- *No, no me acuerdo.*
- **¿No se acuerda?**
- *¡Estoy siendo sincero!*
- **¿Algo sobre los momentos de inercia?**
- *Vagamente.*
- **Entre un lince, un zorro o un halcón, ¿qué animal elegiría como emblema para su escudo de armas?**

- *No me siento identificado con ninguno en particular, pero si he de elegir alguno me quedaría seguramente con el lince.*
- **¿Qué señal de tráfico es la que más rabia le da?**
- *La que no está donde tiene que estar.*
- **Ponga por orden de preferencia las siguientes palabras: educación, sanidad, seguridad, justicia, trabajo.**
- *Educación, trabajo, sanidad, seguridad y justicia.*
- **¿Las Malvinas argentinas?**
- *Por supuesto.*
- **Vamos ahora con preguntas más profesionales. Le recuerdo que si no quiere responder solamente tiene que decir «paso». ¿Vale?**
- *De acuerdo.*
- **¿Por qué se hizo ingeniero?**
- *Por dos cosas principalmente. La primera porque siempre he sido de ciencias y me gusta todo lo relacionado con la técnica y el por qué de las cosas, y la segunda por cuestiones puramente familiares.*
- **¿De qué destino de ingeniero guarda mejor recuerdo?**
- *Del taller de misiles del Arsenal de Cartagena guardo un gran y agradable recuerdo. Seguramente ha sido el más técnico que he tenido y, además, era un destino en el que trabajábamos personal de la Armada y del Ejército de Tierra. Fue una experiencia muy interesante y enriquecedora. Los misiles Aspide y Seasparrow nos hicieron trabajar y aprender mucho.*

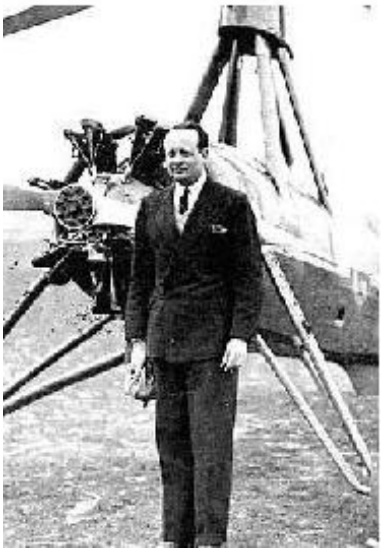
- **¿Por qué Director de la Escuela de Ingenieros?**
- *Creo que para un Ingeniero de Armas Navales es uno de los destinos más interesantes desde el punto de vista profesional. Desde su creación han pasado por sus aulas más de 360 alumnos de las distintas enseñanzas y desde 1990 es paso obligado para los futuros oficiales del Cuerpo de Ingenieros. Además de ser una Escuela que otorga los títulos de ingeniero y de doctor, es la responsable de que los engranajes de la maquinaria (es decir, los cometidos del Cuerpo de Ingenieros de la Armada) comiencen a rodar sin chirriar. Tiene una particularidad: con muy poquitos oficiales destinados en la Escuela, llega a desempeñar sus funciones, en mi opinión de forma satisfactoria, aunque todo es mejorable; eso sí, con la contribución de muchos oficiales ingenieros destinados en la JAL, Ministerio de Defensa y el Instituto Tecnológico de la Marañosa como profesores de número. Ser, pues, el Director de esta Escuela es un verdadero privilegio.*
- **¿Qué opina sobre eso de que se compaginen los estudios en las escuelas militares con estudios de ingeniería?**
- *No espere que pase, Sr Albert. Sin ánimo de atacar al sistema, no veo el porqué. Un buen oficial de Cuerpo General o de Infantería Marina tiene que tener una formación muy sólida en múltiples materias para ejercer sus cometidos profesionales y, a mi entender, acotar dicha formación a una rama concreta de ingeniería no me parece eficaz.*
- **¿Cuántos alumnos tiene la Escuela al año?**
- *Cuando llegué a la Escuela en 2008, había veintidós alumnos, repartidos en los distintos cursos (Ingeniería de Armas Navales, Formación Militar Específica para las dos escalas y para los militares de complemento). Actualmente la media es unos quince alumnos anuales.*
- **¿Cómo anda de recursos?, ¿le afecta a la Escuela la crisis?**
- *Bueno, estos dos últimos años se han ido recortando las asignaciones económicas de «ayuda a la enseñanza» y de «gastos de funcionamiento» y se habían mantenido en un nivel aceptable las asignaciones de horas para profesorado y conferencias. Esto va a empeorar –aún se están haciendo recortes–, y podemos encontrarnos con un problema importante, ya que la Escuela depende totalmente de profesores y conferenciantes externos. Esto causaría un bajón nada deseable en la calidad de la enseñanza. El pati-*

to feo es el mantenimiento y conservación del edificio y sus instalaciones. Sabemos que la escasez de recursos para infraestructura ha sido muy común en toda la Armada ya antes de la crisis y no digamos ahora, aunque tengo que decir que el ALPER, el ADIENA y el ALASER con sus órganos internos (Intendencia y la Jefatura de Apoyo a Instalaciones) han apoyado mucho a la Escuela y han hecho un gran esfuerzo que ha permitido hacer frente a reparaciones y obras que eran totalmente necesarias para seguir funcionando y evitar un deterioro progresivo del edificio, construido en 1943. Necesitamos también mejorar la instrumentación de los laboratorios y estamos intentando reponer los ordenadores que han quedado obsoletos.

- **Como Escuela Técnica Superior: ¿Cómo llevan eso del I+D+i?**
- *Es una de las paradojas de este centro. El Ministerio de Defensa subvenciona proyectos para centros tecnológicos, diferentes empresas y universidades públicas; sin embargo, ni la Escuela Técnica Superior de Ingeniero de Armas Navales de la Armada ni la Politécnica del Ejército de Tierra cuentan con esa posibilidad. Aquí, el* I+D+i *es una asignatura pendiente, aunque se dispone, en determinadas áreas, de personal investigador capacitado y de buenas relaciones con otros organismos investigadores. Hay que decirlo, en este aspecto aún hay mucho que avanzar.*
- **¿Y sobre los Máster? ¿Se cursan?**
- *Discúlpeme, Sr. Albert, que vuelva a la pregunta anterior; la Escuela cuenta con la Subdirección de Investigación y Doctorado que está funcionando pero no puede económicamente hacer frente a ciertos trabajos de investigación de los alumnos de doctorado, limitando su capacidad investigadora. Lo del Máster o, mejor dicho, lo de Bolonia está por venir. La enseñanza militar debe estar integrada en el sistema educativo español, no lo digo yo, lo dice la ley de la Carrera Militar, y no puede quedar desfasada del nuevo sistema de enseñanza ya introducido en las universidades y en la Escuela Naval Militar aunque, todo hay que decirlo, desde hace tiempo en la ETSIAN el protagonista de los cursos de Ingeniero de Armas Navales no es el profesor sino el alumno (objetivo de Bolonia). Es un lujo que nos podemos permitir, especialmente por el reducido número de alumnos por curso, y también porque los estudios van dirigidos a unas necesidades concretas.*

- **¿Sr. Director, qué titulación se va a exigir para ingresar en los Cuerpos Superiores de la Administración; Grado o Máster?**
- *¡Excelente pregunta! Ése es un dato que tendrá que fijar la Administración cuando elabore una nueva legislación sobre las atribuciones profesionales de las titulaciones de Grado y Máster. Se iba a desarrollar en la anterior legislatura, pero habrá que esperar. Tras dicha normativa, el Ministerio de Defensa deberá adaptarse a la misma. Lo que hay que tener claro es que la ETSIAN está para que los oficiales que ingresan en el Cuerpo de Ingenieros de la Armada ejerzan sus cometidos de forma satisfactoria, y que la enseñanza técnica superior, ahora de postgrado, sea lo más cualificada posible.*
- **¿El título de Ingeniero de Armas Navales (IAN) seguiría como tal?**
- *Sr. Albert, su reputación como científico es extraordinaria, pero veo que también está al día en el proceso evolutivo de la enseñanza superior europea. Para los títulos de Grado y Máster en las ingenierías oficiales, se exigen un mínimo de 240 ECTS (créditos europeos) y 300 ECTS, respectivamente. Los requisitos de los planes de estudio en vigor se han establecido para que el título de Máster habilite para el ejercicio de las profesiones reguladas de ingeniero (Aeronáutico, Agrónomo, de Caminos, Industrial, etc.) y el título de Grado para el ejercicio de las profesiones de Ingeniero Técnico (Aeronáutico, Agrícola, Obras Públicas, etc.). Pero esto puede cambiar. Como ya dije antes, debe desarrollarse la normativa correspondiente y la Armada debe exigir la mejor formación de sus componentes, independientemente de la titulación que se exija. Eso sí, el título de IAN tiene que adaptarse como el resto de las ingenierías oficiales.*
- **¿Cómo puede afectar Bolonia a las dos escalas del CIA, el Cuerpo de Ingenieros de la Armada?**

- *Tenemos en el CIA dos escalas a las que no le sacamos todo el provecho y, a la larga, pueden generarse problemas con las atribuciones profesionales, al igual que puede ocurrir en el ámbito civil.*
- **¿Cuál es su opinión sobre las especialidades fundamentales del CIA?**
- *Sr. Albert estaba temiendo que me lo preguntara. Le diré que no se deberían haber eliminado en el año 2003, nunca lo entendí, pero seguro que su teoría de la relatividad puede explicarlo. Yo volvería a las entonces existentes, y hasta pensaría en crear una nueva denominada «infraestructura», donde ciertas titulaciones, muy necesarias en las jefaturas de apoyo a las instalaciones de tierra que tiene la Armada (ya sabe, las jefaturas de Instalaciones Navales), tuviesen cabida. Yo entiendo que todas las carreras de ingeniería u otras titulaciones no pueden ser válidas para ejercer en las jefaturas de Instalaciones Navales y que las atribuciones profesionales deben basarse en la formación técnica y no en necesidades de otra índole.*
- **Intente impartir, con una sola frase, una última lección de curso y de carrera para una promoción de alumnos.**
- *Vamos a ver … Me pone en un aprieto, los ingenieros necesitamos nuestro tiempo para dar soluciones a los problemas, pero bien es verdad que no podemos retrasar el ritmo con el que requieren ser solucionados. «La Armada y el Cuerpo de Ingenieros, necesita seguir contando con una excelente Escuela Técnica Superior que suministre la esencia de la ingeniería con oficiales cualificados, y la Escuela necesita al Cuerpo de Ingenieros para que le guíe y apoye en conseguir estos fines. Señores alumnos oficiales de esta Escuela, tengan muy en cuenta esto que les voy a decir: trabajen duro, continúen aprendiendo y defiendan su ámbito profesional y el prestigio de la Armada».*
- **Suena como muy, no sé cómo definirlo, como muy a militar. ¿No?**
- *Es que somos militares.*
- **Tengo entendido que santa Bárbara es la patrona de los Ingenieros de Armas Navales. ¿Qué le pediría?**
- *A Santa Bárbara, y también a la Virgen del Carmen, le pediría que nos ilumine y no nos permita olvidar la gran suerte que tenemos de disponer de esta pequeña, pero no menos importante, «Universidad». A veces pienso que no somos conscientes del gran privilegio que tiene la Armada disponiendo de una Escuela Técnica Superior exclusiva como ésta. Estoy seguro de que habría más de una universidad que estaría encantadísima de poder impartir un título como el de Ingeniero de Armas Navales, diseñado específicamente para ser de directa aplicación en el ámbito de la ingeniería militar de la Armada y del Ministerio de Defensa.*
- **Bueno Sr. Director, creo que ya va siendo hora de terminar. Me gustaría darle las gracias, en nombre propio y en el de todos sus compañeros ingenieros, por este preciado tiempo que le hemos quitado. Ha sido un verdadero placer el charlar un rato con usted y el ayudarnos a conocerle un poco mejor.**
- *Muchas gracias a usted, Sr Albert. Para mí sí que ha sido todo un honor haber sido elegido como el primer entrevistado por una persona tan ilustre en el mundo de la ciencia. Ha sido muy directo y no me ha puesto mucho en evidencia, lo cual era muy fácil dada la diferencia intelectual que existe entre nosotros. Espero que esta sección que se acaba de abrir tenga continuidad, porque gracias a ella conoceremos más en profundidad lo que pensamos, lo que hacemos y lo que creemos que hay que hacer para mejorar la Armada.*



INGENIEROS EN LA HISTORIA

JUAN DE LA CIERVA Y CORDONÍU

Por CF Agustín. E. González Morales

Juan De la Cierva y Codorníu (Murcia, 21 de septiembre de 1895 - Croydon, Reino Unido, 9 de diciembre de 1936): ingeniero de caminos, canales y puertos y aviador, inventó el autogiro, un aparato precursor del actual helicóptero.

Con José Barcala, antiguo compañero de estudios, y Pablo Díaz, hijo de un carpintero, fundó la sociedad B.C.D. (cuyas siglas se corresponden con las iniciales de sus tres apellidos), pionera en el desarrollo aeronáutico en España. Contando sólo 16 años, Juan De la Cierva construyó e hizo volar un avión biplano, con piloto y pasajero, que recibió la designación BCD-1, apodado *el Cangrejo*.

El autogiro

El autogiro hizo su irrupción en la aviación sólo veinte años después de la invención de los hermanos Wright.

El primer autogiro, el Cierva C.1, no llegó a volar, pues el rotor giraba a menos velocidad de la prevista. A este prototipo siguieron otros dos, el C.2 y el C.3, en las que el inventor intentó, infructuosamente, resolver el problema de la diferencia de sustentación entre la pala que avanza y la que retrocede. Sin embargo, en las pruebas del C.2 se consiguieron saltos de unos 2 metros, lo que apuntaba hacia la viabilidad del invento. La asimetría de la sustentación no la solucionó hasta el prototipo C.4, en el que incluyó la idea revolucionaria de articular las palas del rotor en su raíz.

Los primeros intentos del modelo C.4, construido en 1922, también fueron infructuosos. Para su definitiva resolución, De la Cierva realizó una serie de ensayos en el túnel de viento del aeródromo de Cuatro Vientos, por aquel entonces el mejor de Europa. Por fin, el nuevo aparato se probó con éxito en enero de 1923 en el aeródromo de Getafe, aunque dicho vuelo consistió únicamente en un «salto» de 183 metros. Pero, a finales del mismo mes, ya recorrió 4 kilómetros a unos 30 metros de altura. Y a partir de julio, De la Cierva, que había financiado a sus expensas los experimentos anteriores, contó con una subvención del gobierno español. En 1928 atravesó el canal de la Mancha (vuelo Londres-París) pilotando un autogiro. En 1943 hizo el viaje Inglaterra-España-Inglaterra, logrando el descenso y el despegue vertical sobre la cubierta del portaaviones *Dédalo*, en Valencia.

Falleció en 1936, con 41 años, al estrellarse el avión Douglas DC-2 en el que viajaba, tras despegar y chocar con un cable en el aeropuerto de Croydon (Reino Unido).