



# BOLETÍN TÉCNICO DE INGENIERÍA DE LA ARMADA



Junio 2011  
Número 0



**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**

<b>EDITORIAL</b>	Pág. 1
<b>VIEJA FOTO</b>	Pág. 2
¿ESTÁN LOCOS ESTOS AMERICANOS...? <b>CN Pedro R. Saura Iniesta</b>	Pág. 3
<b>TECNOLOGÍA BAM: HÉLICES CLT</b> <b>CF José M<sup>a</sup> Riola Rodríguez</b>	Pág. 5
<b>PROPAGACIÓN ACÚSTICA SUBMARINA. UN EJEMPLO DE MODELIZACIÓN PARA AGUAS SUPERFICIALES</b> <b>DR Vicente Gallego Muñoz</b>	Pág. 7
<b>MATERIALES AVANZADOS. APLICACIONES PARA LA DEFENSA</b> <b>AN Juan Manuel de Santiago Collada</b>	Pág. 13
<b>LA IMPORTANCIA DE LA EXPERIMENTACIÓN.</b> <b>DR Manuel Laguna Iglesias</b>	Pág. 19
<b>CURIOSIDADES</b>	Pág. 21
<b>SABÍAS QUE</b>	Pág. 21
<b>HUMOR</b>	Pág. 21
<b>LA PDE TOOLBOX DE MATLAB<sup>®</sup></b> ... CUANDO EN EL DESPACHO LEVANTAMOS UN FOLIO DE PAPEL POR UNA ESQUINA <b>TN Miguel Ángel Mateos Cuevas</b>	Pág. 22
<b>LOS NÚMEROS «COPRIMOS»»</b> <b>CF Agustín E. González Morales</b>	Pág. 25
<b>VISITA AL CENIM</b> <b>AN M<sup>a</sup> Concepción Mazón Herrera</b>	Pág. 27
<b>INGENIEROS EN LA HISTORIA</b> <b>ISAAC PERAL Y CABALLERO</b>	Pág. 29

## EDITORIAL



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

### Zarpar

Conseguir que un proyecto salga adelante, que un barco comience a navegar y luego llegue a puerto, pasa, ineludiblemente, por diseñar y zarpar. Y esto es lo que, con humildad, hemos hecho dando a luz, sacando del carenero, el primer número del Boletín Técnico de Ingeniería de la Armada (BTIA).

El BTIA, como toda creatura recién alumbrada, nace lleno de vitalidad y con una clara vocación de pervivencia. Por eso, ya desde las primeras pataditas (casi en el útero todavía, de ahí que haya sido numerado con el cero), animo a todos los ingenieros de la Armada a alimentarlo con sus colaboraciones. Y no sólo a los ingenieros militares, sino a todos aquellos profesionales, de la Armada o no, que puedan aportar sus conocimientos, dentro, claro está, de la línea editorial del BTIA que no es otra que dar a conocer lo que hacemos en el mundo de la ingeniería de los buques y los sistemas de combate embarcados. Pero, debemos ser respetuosos con quienes nos han precedido en esta tarea apasionante, por eso el BTIA les rinde el homenaje que se merecen a través de la sección «Ingenieros en la Historia», y hemos pensado que un excelente ejemplo es el del inventor del submarino: Isaac Peral. Hay más secciones: «Sabías que...», «Humor»; y otras que están en estudio; porque el BTIA pretende no sólo ser riguroso en la información que aporta sino también entretener tanto a los profesionales de la ingeniería y la tecnología como a los que no lo son.

Y es la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Armas Navales (ETSIAN), como casa madre de todos los ingenieros de la Armada, la sede de la Dirección y el Consejo de Redacción del BTIA. A través del correo electrónico podéis enviar vuestras colaboraciones, siguiendo las instrucciones que encontraréis en la página del índice.

Ya hemos soltado amarras y ahora esperamos, con ilusión, vientos propicios; pero, si alguna vez soplan a la contra, utilicemos nuestro ingenio de ingenieros para gobernarlos con pericia por el bien de la Armada.

# Vieja foto



**Excmo. Sr. D. Salvador Moreno Fernández**

En 1943, siendo Ministro de Marina el almirante Salvador Moreno Fernández, se crea la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Armas Navales, en virtud de la Ley de 6 de febrero de dicho año, «por la que se reorganiza el cuerpo de Artillería de la Armada, para adaptarlo a las nuevas necesidades de la Marina, tanto técnicas como orgánicas, surgiendo así el Cuerpo Facultativo de Armas Navales, que recibe la misión de realizar toda la labor técnico-industrial relacionada con las armas, pólvoras y explosivos, óptica, dirección de tiro, química y blindajes».

## ¿ESTÁN LOCOS ESTOS AMERICANOS...?

*(Are they crazy these Americans?)*

CN doctor ingeniero de armas navales

Pedro R. Saura Iniesta

Subdirector de Investigación y Doctorado de la ETSIAN

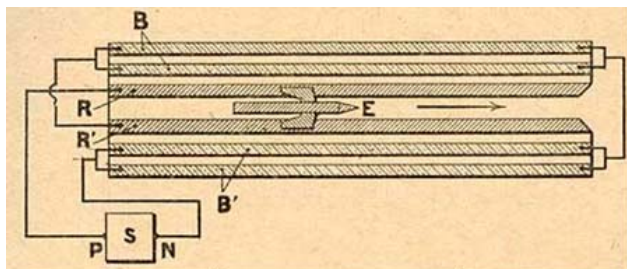
### Introducción

De un tiempo a esta parte están apareciendo en multitud de publicaciones, foros y *web* especializadas en tecnología militar, tanto europeas como norteamericanas, muchas referencias al desarrollo de un cañón electromagnético (*railgun*) de aplicación naval. Un cañón que prescinde de los propulsores tradicionales y que además pretende ser capaz de lanzar un proyectil inerte a 200 millas náuticas, impactando a mach 5 (dicen). ¡Santo Dios! ¿En qué manos estamos?

Muy preocupado por la noticia y temiendo por la salud mental de nuestros aliados comencé a documentarme y mi desazón no hizo sino aumentar puesto que, según parece, este desatino viene de lejos. Si no me creen, lean lo que sigue.

### Antecedentes históricos

El primer cañón electromagnético del que se tiene constancia fue ideado por un abogado francés llamado La Lauze, en 1.884. El proyecto, en una época en la que la energía eléctrica estaba aún en fase de desarrollo, fue desestimado por la «*Direction de l'Artillerie de Bayonne*» y tachado de «*curiosité de laboratoire*» para desconsuelo e ignominia de su autor que consideró toda su vida este pronunciamiento como un baldón en su honor.



DISEÑO FAUCHON-VILLEPLÉE

Por otra parte en 1.908 un tal Pontoux propuso otro cañón basado en la energía eléctrica. Tampoco tuvo fortuna y poco más se sabe del atribulado personaje y de su atrabiliario invento.

No fue hasta la Primera Guerra Mundial cuando otro francés, M. Fauchon-Villeplée, diseñó un ingenio en el cual el campo magnético creado por una corriente eléctrica de gran intensidad, que recorría el tubo, propulsaba proyectiles con forma de flecha, de 50 gramos, a una velocidad de hasta 200 m/s. Cuentan las crónicas que llegó a existir un prototipo cuyo proyectil era capaz de atravesar una plancha de madera de 8 cm de espesor situada a 25 m de distancia.

Tampoco vio la luz este proyecto para desesperación de su autor y sosiego de la Humanidad.

Durante la Segunda Guerra Mundial, Hitler retomó la idea y a finales de 1.944 el Comando Antiaéreo de la Luftwaffe (Anti-Aircraft Oberkommando der Luftwaffe) elaboró una especificación técnica, fundada en concienzudos estudios teóricos, que aseguraba la viabilidad de un cañón electromagnético (EMRG, en adelante) que lanzaría un proyectil a una velocidad cercana a los 2.000 m/s utilizando un montaje de 128 mm, FlaK 40.

Nunca se construyó. Cuando los americanos descubrieron la documentación la confiscaron y realizaron un detallado informe, que finalizó en 1.947. En sus conclusiones ratificaban la posibilidad real de construir el cañón, pero cada disparo precisaría de tal energía que equivaldría a la necesaria para iluminar más de medio Chicago.

Durante años la idea permaneció en la mente no sólo de muchos ingenieros militares, que veían en el EMRG el futuro de la artillería, sino en el imaginario colectivo. Infinidad de películas de ciencia ficción y



PROPAGANDA ALEMANA, SGM

comics incorporaron a sus guiones la idea del *railgun*. Sólo había que esperar el momento oportuno para resucitar el mito.

### En la actualidad

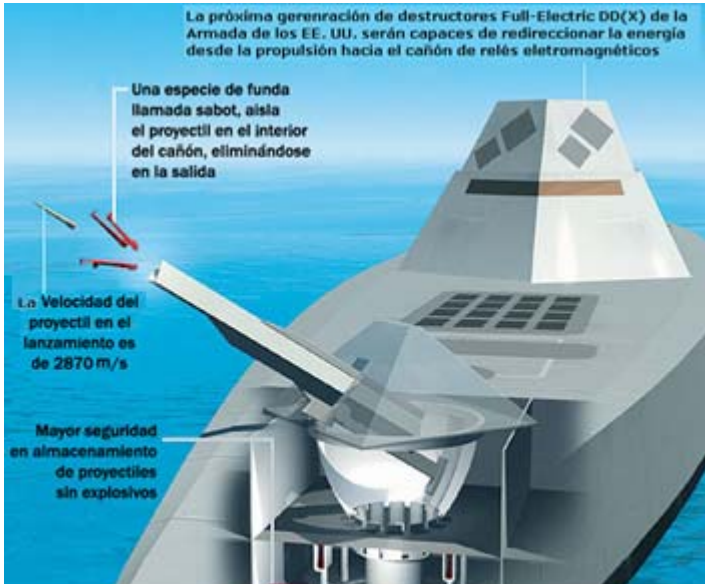
No había hecho más que comenzar a documentarme cuando mi buscador vomitó una serie de perturbadoras referencias de la más rabiosa actualidad. Por favor, sigan leyendo porque resulta que el 11 de diciembre de 2010, en el Centro de Investigación que la Armada de los EE. UU. tiene en Dahlgren (Virginia), según un comunicado del propio Centro, se realizó una prueba de... ¡Un cañón electromagnético de aplicación naval! Estas mismas fuentes afirman que puede lanzar proyectiles de 10 Kg a una distancia mínima de 110 millas náuticas, o sea, veinte veces más lejos que cualquier cañón naval operativo en la actualidad. La potencia del disparo alcanzó los 33 mega Julios, proporcionando al proyectil una velocidad en boca de mach 5, es decir, cinco veces la velocidad del sonido. El propio almirante Nevin Carr, jefe de la ONR, se felicita por la noticia. No obstante, el objetivo de la Marina de los EE. UU. es, en un plazo máximo de 10

años, embarcar un cañón EMRG que alcance las 200 millas náuticas, impactando a mach 5, en un blanco de 5 metros de diámetro.

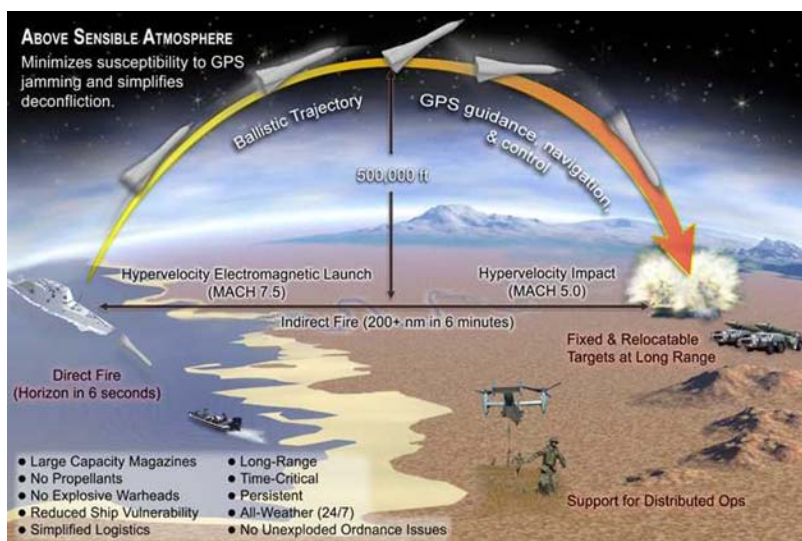
### Conclusiones

Conmocionado, no puedo menos que evaluar las enormes implicaciones que un arma de estas características conllevaría. Nada volvería a ser como antes. La artillería naval recuperaría el protagonismo perdido y los países que dispusieran del EMRG darían un salto importantísimo desde el punto de vista de la proyección de su Fuerza Naval.

En este punto, llevado por un irreflexivo entusiasmo, me lanzo a realizar elementales cálculos y veo que con un proyectil inerte, de unos 20 Kg, impactando a mach 5, el efecto sería similar al de un misil de crucero BGM-109, TLAM-C, Tomahawk, cuyo coste está en torno al millón de dólares. Un proyectil para el EMRG en ningún caso superaría los diez mil. Inmediatamente me imagino un programa español para el desarrollo de un cañón naval EMRG: el «CEME» (Cañón Electromagnético Español) y a unos barcos de guerra, con nuestro pabellón, dotados de una capacidad de combate sin igual, protegiendo los intereses nacionales en un futuro próximo. Afortunadamente reacciono pronto, recupero el juicio, me arrepiento de mis arrebatos y dedico unos instantes a compadecer a nuestros pobres amigos de la Marina norteamericana, que no saben lo que hacen...



USN INVENTS RAILGUN, ROB BESCHIZZA



OFFICE OF NAVAL RESEARCH

## TECNOLOGÍA BAM: HÉLICES CLT

CF doctor ingeniero naval  
José María Riola Rodríguez  
Profesor de la ETSIAN

Aprovechando la botadura del cuarto Buque de Acción Marítima (BAM), el P-44 *Tornado*, quiero escribir sobre uno de los avances tecnológicos que ha incorporado esta serie de barcos y que, por ser un diseño español, debe resaltarse doblemente. Me estoy refiriendo a la utilización de hélices CLT (*Contracted and Loaded Tip Propeller*) con objeto de reducir los consumos, mejorar el nivel de ruidos y aumentar la velocidad o su autonomía. A todo el que haya visto este buque en grada, sus hélices le habrán llamado la atención debido a su geometría no convencional, ya que las palas presentan en su extremo unas grandes placas de cierre, como se ve en las fotos.



En los últimos años se han venido desarrollando nuevos diseños de hélices no convencionales encaminados a mejorar el rendimiento propulsor. Se pueden citar las de paso variable, hélices tobera, contra-rotativas, acimutales, supercavitantes, emergentes, tipo Voith Schneider, etc. Pero, sin duda, la aportación más innovadora es este tipo, que traducimos como «hélices con extremos de pala cargados».

En la selección de una hélice para un barco en particular intervienen diferentes factores como el coste, el ciclo de vida, el máximo rendimiento o el ruido emitido, por lo que cada proyecto exige un estudio en detalle basado en las condiciones operativas del barco.

La actual hélice CLT es un desarrollo que ha venido evolucionando de forma continua desde 1976 al introducir unas placas de cierre en los extremos de las palas, en la cara de presión, con la finalidad de obtener una mayor sobrepresión aguas abajo, consiguiendo una carga positiva en su borde. Además, la cuerda de la sección extrema de la pala no es nula, como suele ocurrir en las hélices convencionales.

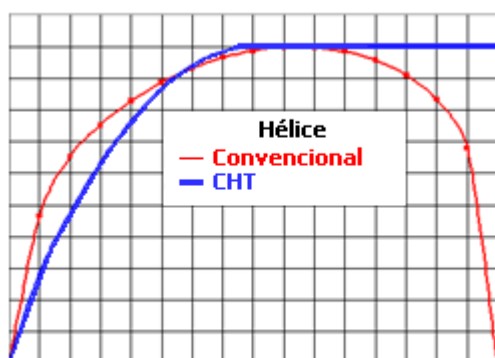


Fig.1 Distribución radial de carga

La distribución radial de paso de una hélice convencional está descargada en el extremo de la pala para reducir el riesgo de generar torbellinos en el extremo de pala y, sin embargo, en las CLT el paso crece monótonamente hacia el extremo superior de manera que en esa zona existe una carga no nula. Esto es posible gracias a la existencia de la citada placa de cierre que actúa como barrera impidiendo la comunicación del agua entre las dos caras de la pala.

A diferencia de las hélices convencionales, donde la distribución radial de carga se caracteriza por tener un valor

nulo en el extremo de la pala al no existir una barrera que impida el flujo, en las CLT las secciones extremas contribuyen al empuje, tal como se observa en la figura 1.

Del diagrama de velocidades y fuerzas por unidad de longitud radial de una sección anular genérica de la pala de la hélice, figura 2, se deduce que cuanto menores sean las velocidades inducidas más paralela

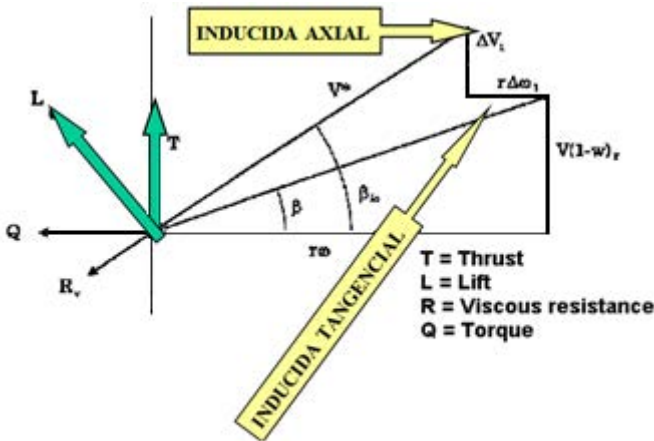


Fig. 2. Diagrama de velocidades y fuerzas

será la sustentación (*Lift*) a la línea de ejes y por tanto mayor será el empuje *T* y el rendimiento. El objetivo de las hélices CLT es reducir las velocidades inducidas y, de esa manera, aumentar el rendimiento.

La componente axial de la velocidad inducida aumenta a lo largo de la vena líquida desde el infinito aguas arriba hasta el infinito aguas abajo. Este incremento origina una reducción progresiva del área transversal de la vena líquida. Es por ello que estas placas de cierre deben adaptarse a la contracción de la vena líquida para reducir su resistencia viscosa.

Con la Teoría Clásica de la Impulsión, el rendimiento ideal de propulsor aislado  $\eta_0$  (ecuación 1), figura 3, se obtiene únicamente en función de la carga específica  $C_{TH}$  y no es posible alcanzar rendimientos más elevados a pesar de introducir cambios en el tipo de hélice, su geometría, la distribución radial de carga, etc. Mientras que en la Nueva Teoría de la Impulsión, el rendimiento no sólo es función de  $C_{TH}$  sino también del coeficiente  $\epsilon$  (ecuación 2) que depende del tipo de hélice, del número de palas, la relación área-disco, la distribución radial de carga, etc.



Fig. 3. Curvas de rendimientos

$$\eta_0 = \frac{2}{1 + \sqrt{1 + C_{TH}}} \quad (1)$$

$$\eta_0 = \frac{2}{1 + \sqrt{1 + \epsilon C_{TH}}} \quad (2)$$

A modo de resumen podemos indicar que las consecuencias del diferente reparto de presiones en las caras de succión y de presión debido a la existencia de estas placas de cierre, disminuye la generación de torbellinos en el extremo de la pala con la consiguiente reducción de ruidos y vibraciones a bordo. Debido a la sobre-

presión en la cara activa (mayor que en una convencional), se genera un campo de presiones más alto alrededor del timón siendo por tanto su acción más efectiva. Por otro lado, como la depresión en la cara pasiva es menor que en una hélice convencional, la extensión de la cavitación laminar se reduce.

Se concluye que estas hélices son del orden de un 5% a un 8% más eficientes en toda la gama de funcionamiento, lo que repercute en un ahorro de combustible y una mayor velocidad o autonomía. Además, proporcionan mejores características de maniobrabilidad, un menor diámetro óptimo y disminuyen el riesgo por cavitación, lo que supone una reducción del ruido y las vibraciones inducidas. En definitiva, esto es lo que se pretende en el Ministerio de Defensa (I+D): diseños innovadores, nacionales y conseguir los mejores buques para la Armada.



## Propagación acústica submarina

### Un ejemplo de modelización para aguas superficiales

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

#### Introducción

La propagación del sonido bajo el agua del mar constituye la base sobre la que se sustenta la tecnología de los sistemas sonar montados a bordo de buques de superficie y submarinos. El fundamento físico de la acústica submarina se sustancia en el planteamiento de la ecuación lineal del sonido para medios fluidos. Su resolución analítica sólo es posible para ciertos casos en los que la geometría y las características del medio se presentan muy idealizadas. Para situaciones reales es necesario recurrir a métodos numéricos. Para ello, es preciso, casi siempre, efectuar simplificaciones o aproximaciones en la ecuación diferencial de partida, para transformarla en una expresión susceptible de ser resuelta. Según el tipo de aproximación, se generan diferentes esquemas o modelos numéricos que permiten analizar varios problemas de propagación.

Es muy importante conocer la mayor información posible sobre las aproximaciones o premisas de partida que se tuvieron en cuenta para construir un determinado modelo de propagación. No todos los modelos pueden aplicarse a todos los casos ni todos los resultados son válidos para todas las situaciones. El conocimiento previo o la experiencia en acústica submarina es imprescindible para una correcta utilización de estas herramientas de cálculo.

La modelización numérica ha avanzado mucho en las dos últimas décadas, en paralelo con la evolución en potencia y rapidez de cálculo de los ordenadores. Por esta razón los programas de modelización acústica se han multiplicado. Como una muestra de estas posibilidades, se presenta a continuación un ejemplo en el que se investiga un problema de propagación en aguas superficiales. El programa utilizado es el RAMGeo.

#### Ejemplo de aplicación: Talud submarino en una zona de aguas muy poco profundas

En la Fig. 1 se muestra la geometría del entorno submarino sobre el que se va a realizar la simulación. Se trata de una zona de aguas muy poco profundas (15 m) y un alcance de hasta 500 m a contar desde la posición de un determinado emisor acústico. La línea azul representa el perfil del fondo marino. Se aprecia la existencia de una elevación que se acerca casi hasta la superficie, apenas a 2 m de la misma.

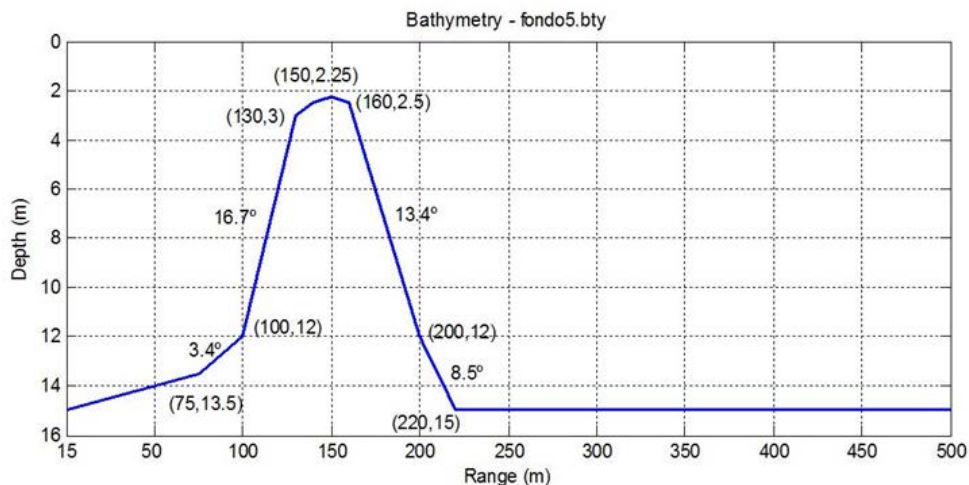


Fig.1 Perfil del fondo submarino utilizado en el ejemplo de este artículo

Los números que aparecen en la gráfica son las coordenadas de alcance y profundidad para diferentes puntos del fondo, que han sido seleccionados como límites de los distintos tramos horizontales en los que se divide el alcance horizontal del problema para facilitar el trabajo del programa numérico. Intercalados entre los anteriores aparecen datos de la pendiente del fondo marino. Obsérvese que las dimensiones horizontal y vertical no están representadas a la misma escala.

Los demás parámetros físicos se resumen a continuación: la temperatura del agua desciende desde 20° en la superficie hasta 17° a 5 m de profundidad, a partir de aquí es isoterma (la velocidad del sonido es de 1523.8 m/s en superficie, 1515.3 m/s a 5 m de profundidad y 1515.4 m/s en el fondo); el fondo es de espesor ilimitado, con una densidad similar a la de rocas de tipo basáltico ( $2457 \text{ kg/m}^3$ ) en las cuales el sonido se propaga como en un sólido elástico, con dos ondas de propagación, una longitudinal (3000 m/s) y otra transversal (1500 m/s). En la parte horizontal, el fondo rocoso se haya cubierto por una capa de sedimento arenoso de 5 m de espesor medio que decrece progresivamente sobre el talud, con la altura de la roca, hasta desaparecer en su cima; acústicamente este sedimento se caracteriza por su densidad ( $1946 \text{ kg/m}^3$ ), sus dos velocidades de propagación (1650 m/s y 180 m/s) y sus dos coeficientes de absorción del sonido, ( $0.8 \text{ dB}/\lambda$  y  $2.5 \text{ dB}/\lambda$ ) dependientes de la viscosidad efectiva del material constituyente de la capa sedimentaria (sedimento poro-elástico).

El origen del sonido es un emisor omnidireccional situado a 4 m de profundidad, en el origen de la coordenada horizontal (extremo izquierdo de la Fig. 1).

## Resultados

A continuación se presentan gráficas con los resultados más interesantes obtenidos en la modelización. El esquema de presentación es el mismo en todos los casos: en el eje horizontal se muestra el alcance hasta 500 m; en el eje vertical aparece la profundidad hasta 25 m (como la profundidad máxima de la capa de agua es de 15 m, se pueden visualizar 10 m del subsuelo, entre sedimento y substrato rocoso); la variable representada en código de colores es la magnitud de las pérdidas de propagación, medida con respecto al nivel acústico de la fuente y expresada en dB. Debe entenderse que el campo acústico es más débil en las zonas en las que las pérdidas son más grandes (color azul) y más intenso en donde hay menos pérdidas (color rojo). Cada gráfica corresponde a una frecuencia determinada.

*Señales de muy bajas frecuencias:*

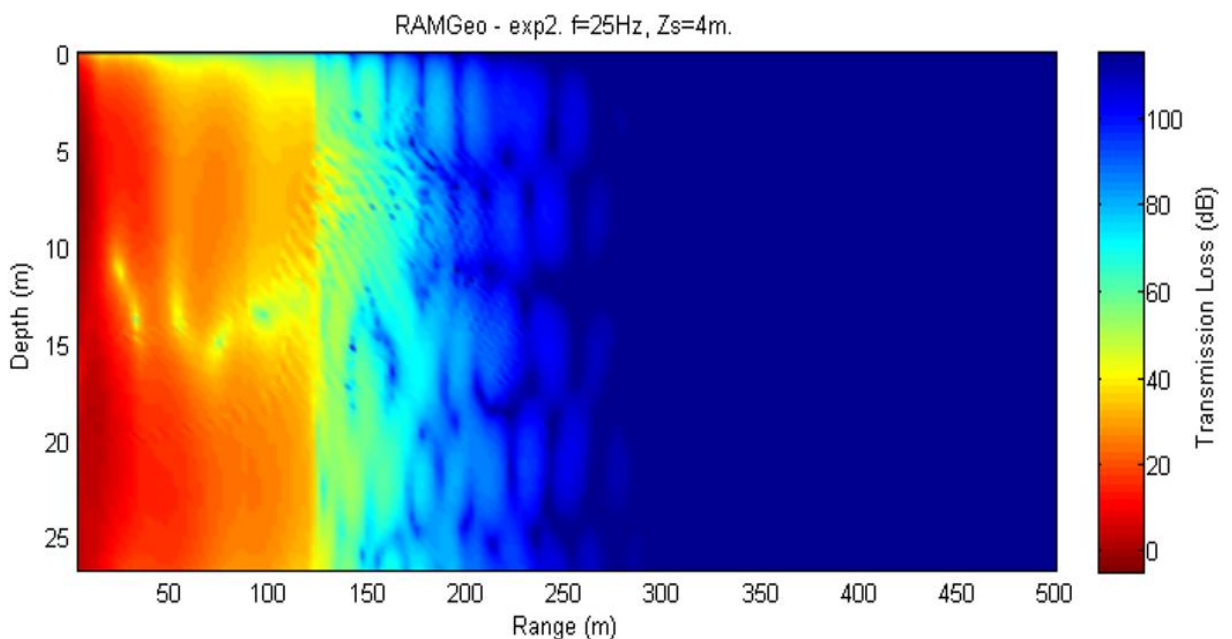
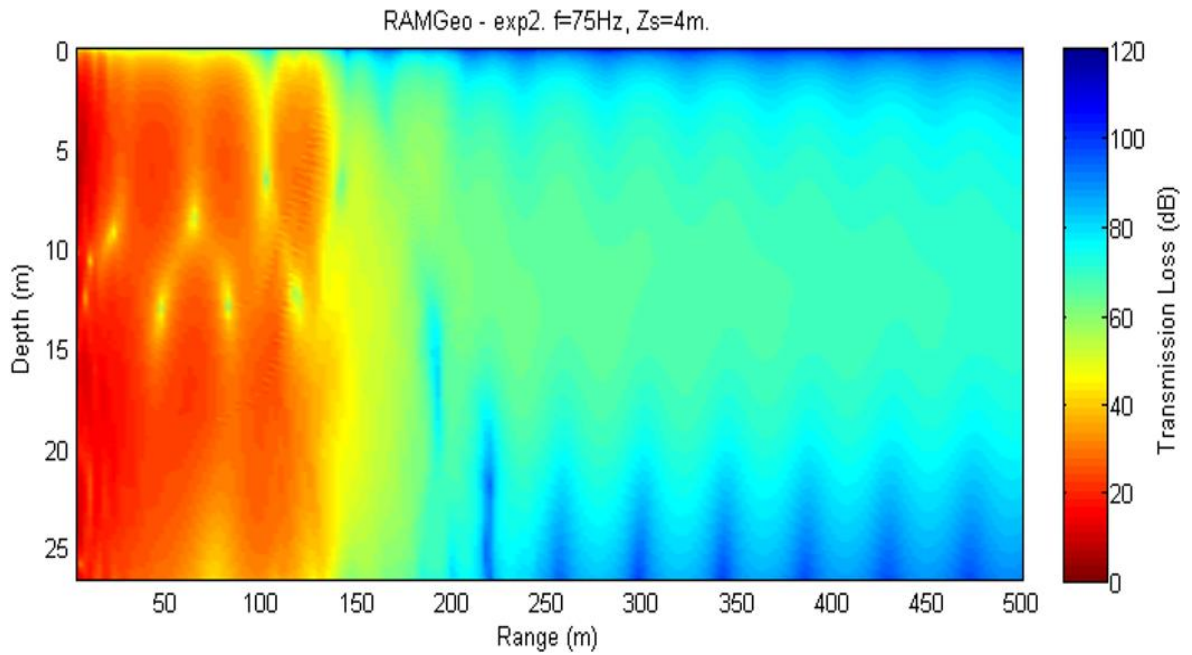


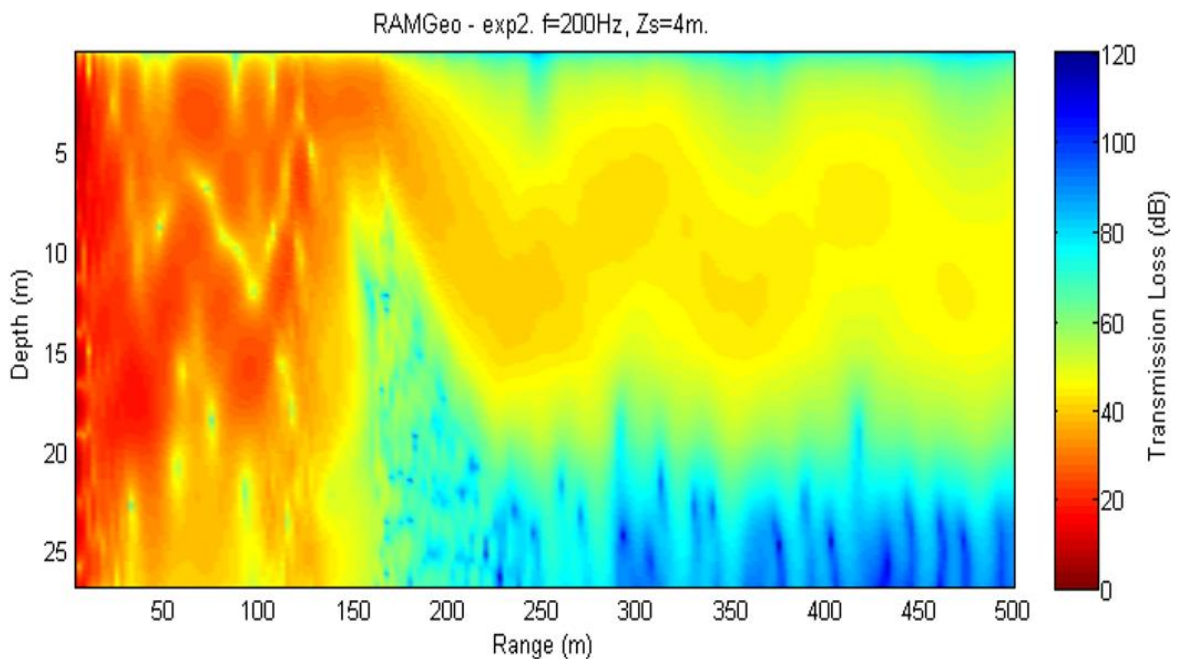
Fig.2. Campo acústico creado en el entorno del talud por una fuente de 25Hz



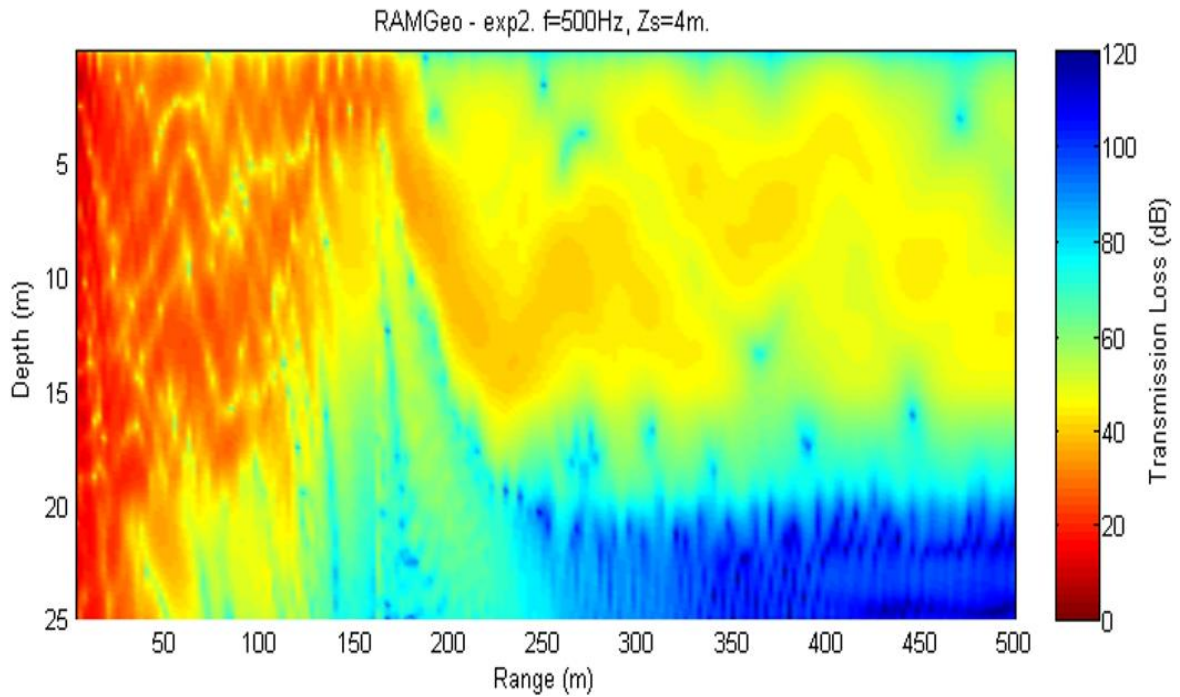
*Fig.3. Campo acústico creado por una fuente de 75 Hz*

Se observa en las dos figuras anteriores cómo el talud submarino hace de pantalla para las frecuencias bajas, debido a que el sonido de longitud de onda tan grande no puede atravesar el estrecho canal que queda libre entre la superficie del agua y la parte superior. Por otra parte, las bajas frecuencias atraviesan sin muchas pérdidas la capa sedimentaria y penetran apreciablemente en el fondo rocoso.

*Señales de bajas frecuencias:*



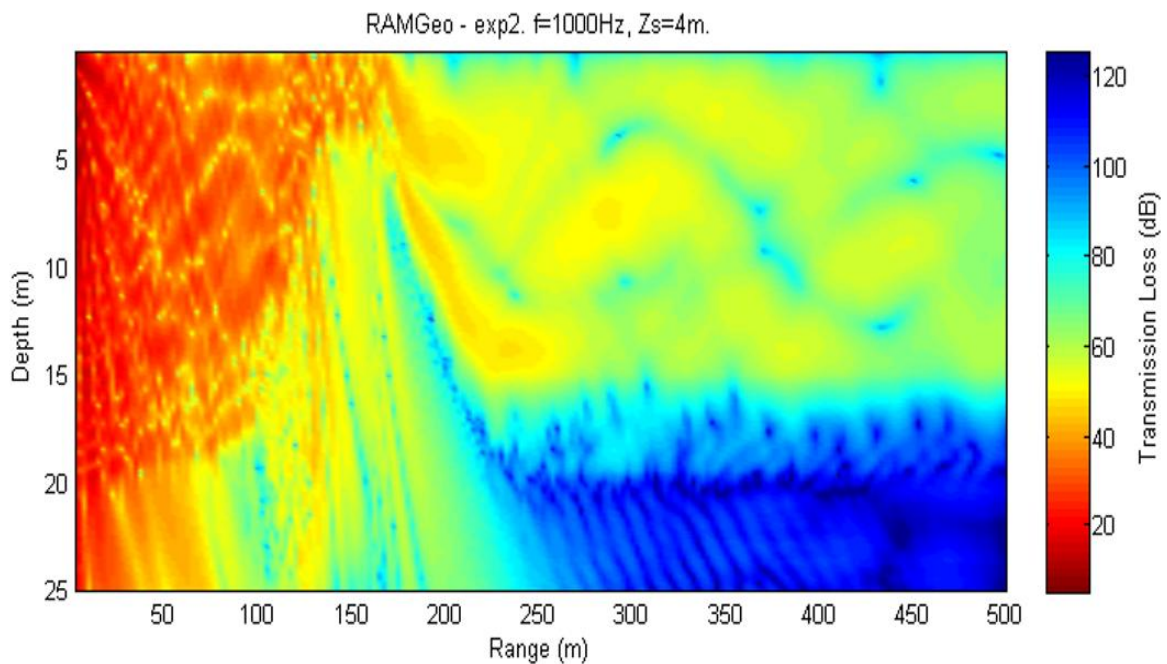
*Fig.4. Campo acústico creado por una fuente de 200 Hz*



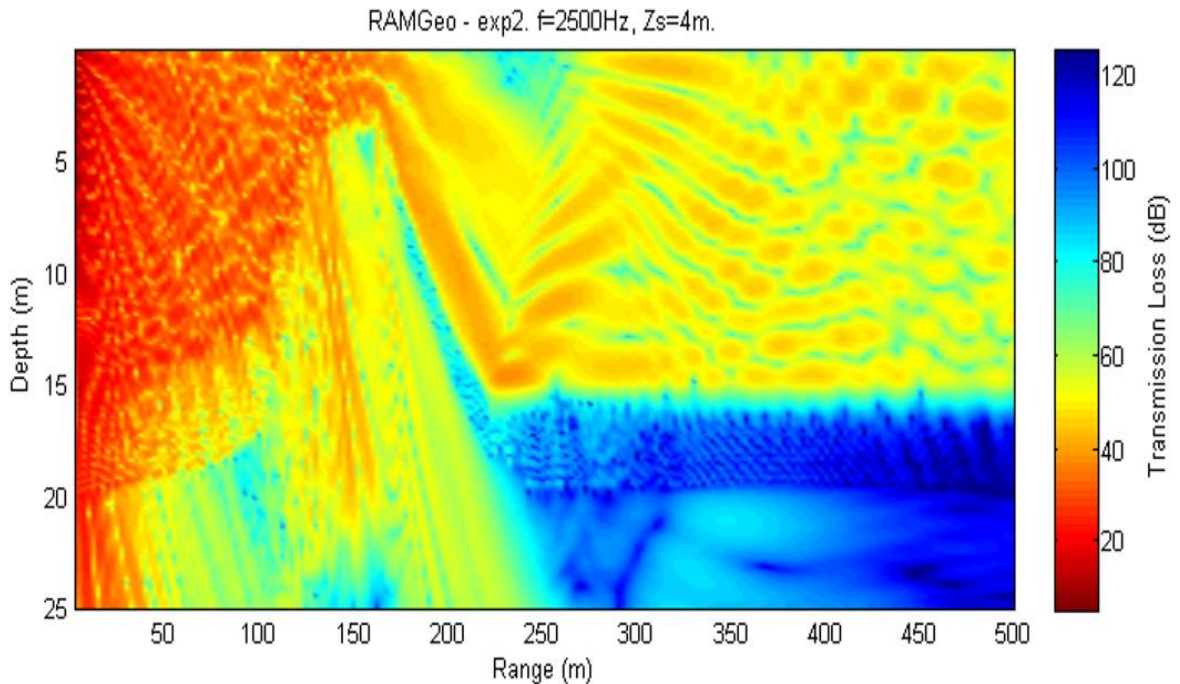
**Fig.5. Campo acústico creado por una fuente de 500 Hz**

Para frecuencias más altas, el sonido empieza a atravesar el canal superficial y se extiende más allá del talud. Los perfiles del fondo empiezan a ser visibles en las figuras 4 y 5, en tonos azules, debido a la mayor absorción acústica a estas frecuencias.

*Señales de frecuencias medias:*



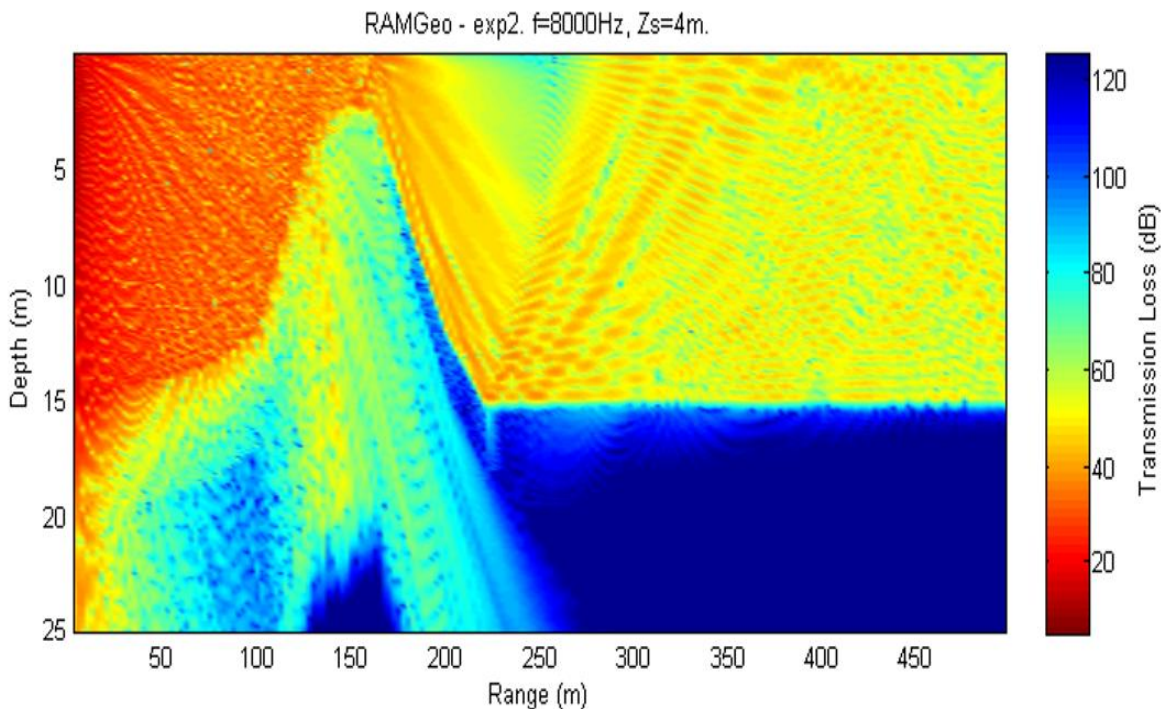
**Fig.6. Campo acústico creado por una fuente de 1000 Hz**



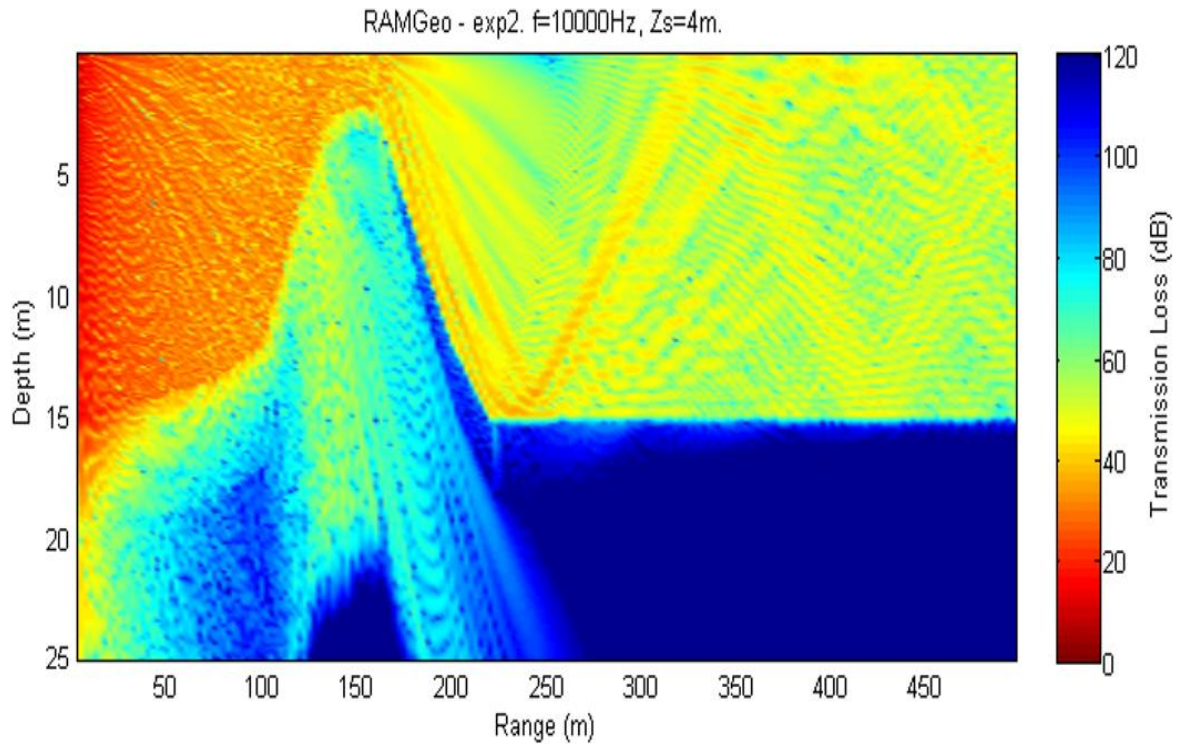
*Fig.7. Campo acústico creado en el entorno del talud por una fuente de 2500 Hz*

La tendencia comentada en el apartado anterior continúa a media que aumenta la frecuencia. El campo acústico se hace más complejo a la derecha del talud, el cual, por otra parte, se ve cada vez más perfilado en su parte izquierda, mostrando la diferencia entre el agua, con mucha intensidad acústica y el subsuelo, con menor intensidad. Las figuras del apartado siguiente son bastante representativas de esta evolución.

*Señales de alta frecuencia:*



*Fig.8. Campo acústico creado por una fuente de 8000 Hz*



*Fig.9. Campo acústico creado por una fuente de 10000 Hz*

### **Conclusión**

En este trabajo se ha presentado un ejemplo característico de propagación acústica submarina en aguas superficiales como ilustración de las posibilidades que la modelización numérica ofrece en este campo. En posteriores artículos se podrá profundizar en algunos de los aspectos más relevantes de estas técnicas.

## MATERIALES AVANZADOS. APLICACIONES PARA LA DEFENSA

AN ingeniero  
Juan Manuel de Santiago Collada  
Profesor de la ETSIAN

### Tipos de materiales, importancia y tendencias de uso

Formulando una primera clasificación de los materiales y observando el tipo de enlace predominante entre átomos, la mayoría de los materiales estructurales empleados en ingeniería se agrupan en tres grandes familias: *materiales metálicos*, *cerámicos* y *polímeros*. Adicionalmente, cabe integrar en una nueva familia los *materiales compuestos*, obtenidos por combinación de los anteriores. Asimismo, y atendiendo a su función, se podría hacer una segunda clasificación según sus propiedades:

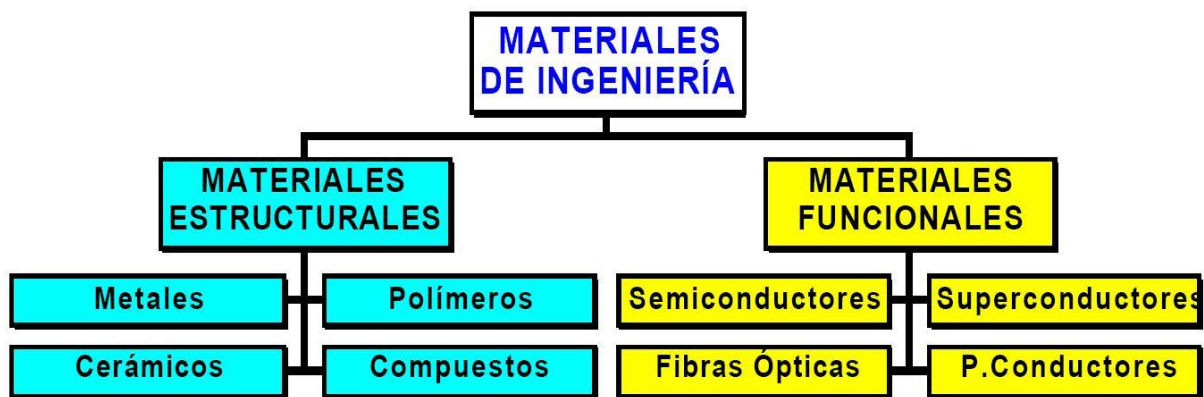


Figura 1. Clasificación de los materiales

En la selección del material adecuado para un diseño concreto contribuyen una gran cantidad de variables, pudiendo ser crítica la optimización de éstas, para la viabilidad en su uso. La figura 2 muestra las citadas variables, tales como: precio, propiedades mecánicas, propiedades superficiales, propiedades físicas, etc.

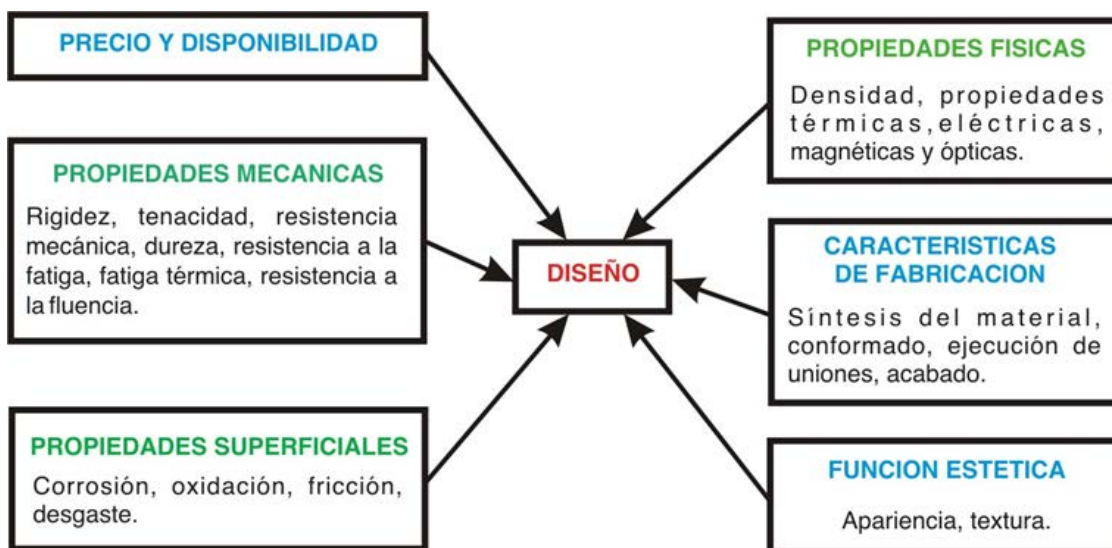


Figura 2. Consideraciones en la selección de materiales

El futuro de los materiales está centrado en lo que actualmente se conoce con el nombre de «nuevos materiales», que enseguida alcanzarán cotas de mercado importantes. Son aquellos que se encuentran en fase de investigación y desarrollo, o cuya comercialización sólo se ha iniciado puntualmente en las áreas geográficas de más alta tecnología, y por tanto, aún están sujetos a modificaciones importantes de sus procesos de producción. Tal sería el caso de las cerámicas tenaces, los materiales superconductores, los vidrios metálicos o los materiales compuestos de matriz cerámica o metálica.

### Comparación entre las familias de materiales

Cada familia de materiales posee propiedades diversas, que hacen idóneo su uso, o por las que en cambio, éste ha de descartarse. En general, se persigue que el material seleccionado posea unas cualidades óptimas: cohesión sin perder tenacidad, elasticidad y dureza, baja densidad, propiedades eléctricas concretas, etc.

Una idea más exacta de lo expresado podría lograrse observando las siguientes figuras.

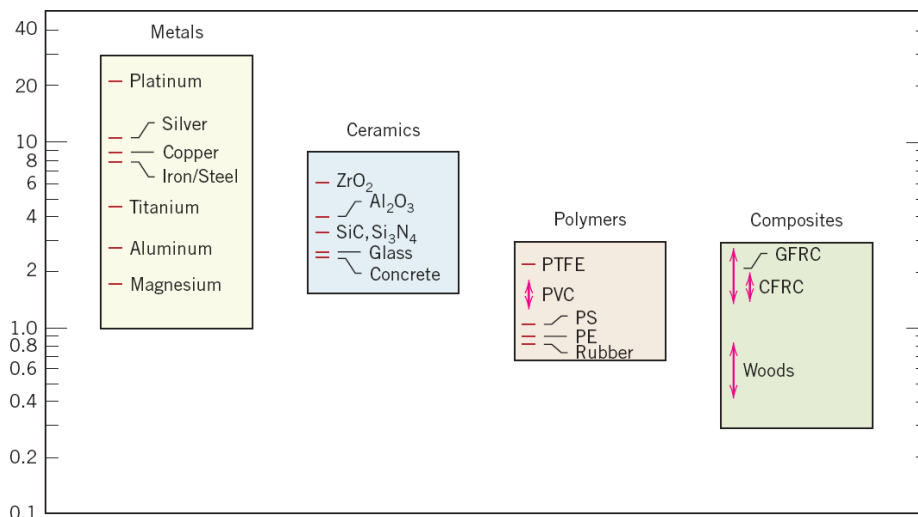


Figura 3. Comparativa de densidad [g/cm<sup>3</sup>]

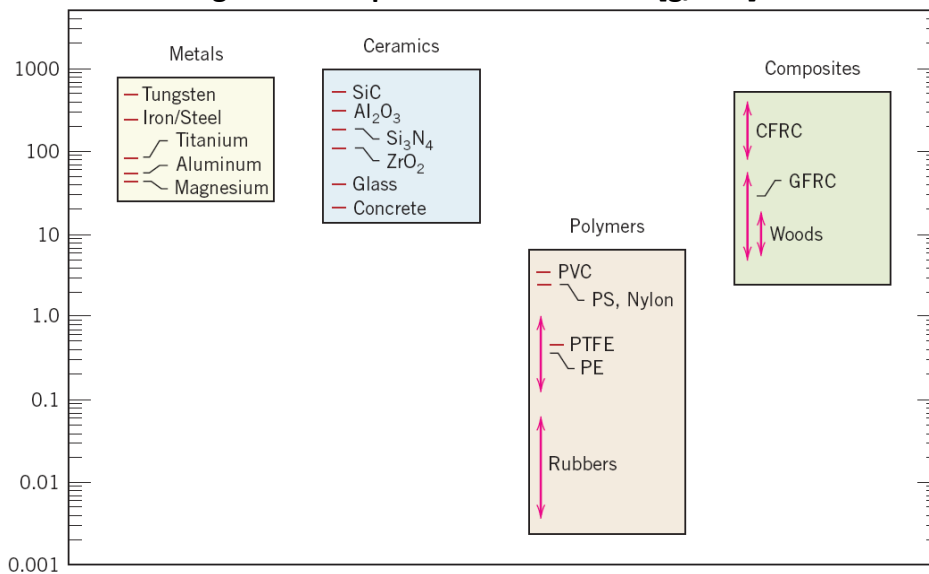


Figura 4. Comparativa de elasticidad [Módulo de Young GPa]



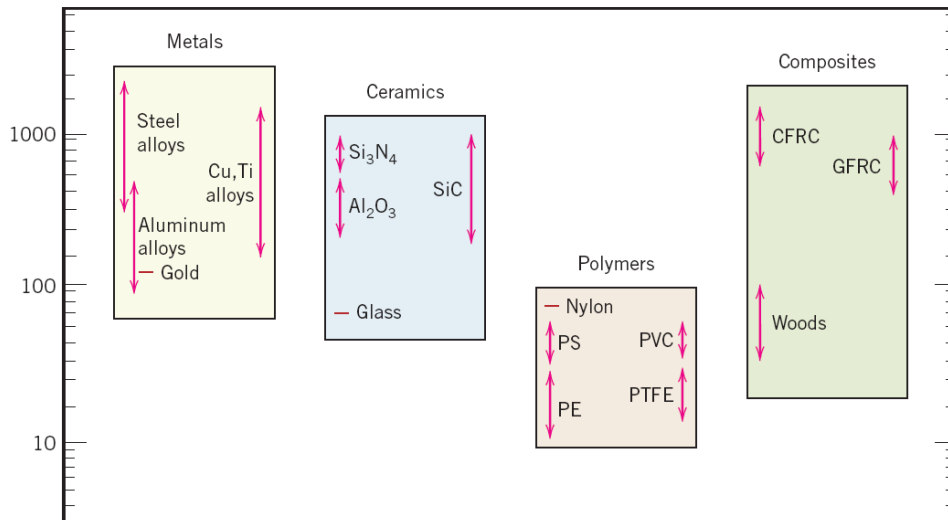


Figura 5. Comparativa de resistencia a la tracción [GPa]

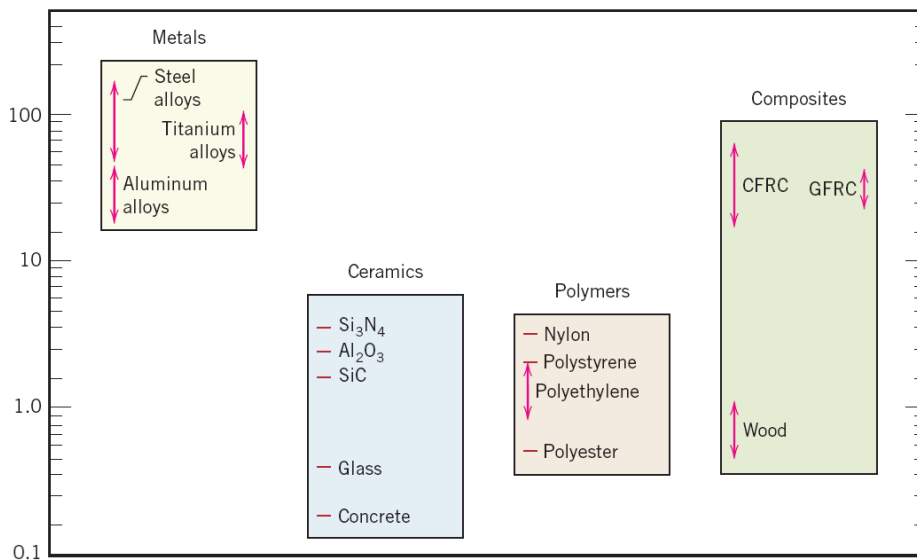


Figura 6. Comparativa de tenacidad a la fractura [MPa·m<sup>1/2</sup>]

Las investigaciones en el campo de los nuevos materiales se centran en el desarrollo de *cerámicas estructurales* y *materiales compuestos*, pudiendo realizarse la siguiente distinción cualitativa:

## CERÁMICAS ESTRUCTURALES

### Cualidades positivas:

- Resistencia a elevadas temperaturas
- Elevada resistencia al desgaste
- Alta resistencia a la oxidación y a la corrosión
- Bajos pesos específicos
- Sus materiales básicos son abundantes en la naturaleza
- Elevada resistencia a la compresión y bajo coeficiente de rozamiento

**Cualidades negativas:**

- Elevada fragilidad
- Sensibilidad a los defectos estructurales
- Proceso de fabricación complejo
- Elevada dificultad en la obtención de piezas complicadas
- Costosa fabricación de piezas de gran tamaño
- Reproducibilidad difícil
- Uniones costosas y a veces difíciles
- Escasa experiencia y poco difundida

**MATERIALES COMPUESTOS****Cualidades positivas:**

- Muy baja densidad
- Altos valores de resistencia mecánica y módulo elástico específicos
- Elevada resistencia a los agentes atmosféricos, químicos y a la abrasión
- Amplia gama de temperaturas de empleo: 140°C-1300°C
- Coeficientes de dilatación muy bajos
- Buena estabilidad dimensional
- Fabricación de estructuras complejas en una operación única
- Posibilidad de aplicación en estructuras sometidas a fuertes cargas inerciales
- Baja transmisión de vibraciones, de calor y de la electricidad
- Optimización en la orientación de las fibras. Piezas a medida
- Buena resistencia a la llama
- Bajos costes de mantenimiento
- Alta capacidad de absorción de energía
- Elevada estanqueidad en sus aplicaciones
- Excelentes comportamientos aerolásticos (rigidez y anisotropía)
- Conjuntos más integrados, menor número de elementos en las estructuras de materiales compuestos
- Bajo perfil radar
- Dificultad en la propagación de grietas (las fibras detienen la propagación)
- Perfectas uniones con los modernos adhesivos

**Cualidades negativas:**

- Estructuras mucho más costosas que las equivalentes en acero
- Diseños de estructuras (anisótropas) mucho más complejas que con materiales convencionales
- Procesos de fabricación mucho más complejos
- Las bases de datos utilizables para diseños no están siempre disponibles o no son fiables
- Ciertos problemas de reproducibilidad
- Existen ciertas lagunas en su comportamiento: no se conocen con precisión algunas respuestas de los materiales compuestos en servicio
- Materiales altamente estratégicos
- Control y garantía de calidad en procesos todavía inmaduros

- Dificultades, a veces, en la compatibilidad fibra-matriz
- Problemas de falta de plasticidad: concentración de tensiones
- Problemas de absorción de humedad

A continuación se muestra la evolución histórica respecto al uso relativo que se le ha venido dando a cada grupo de materiales:

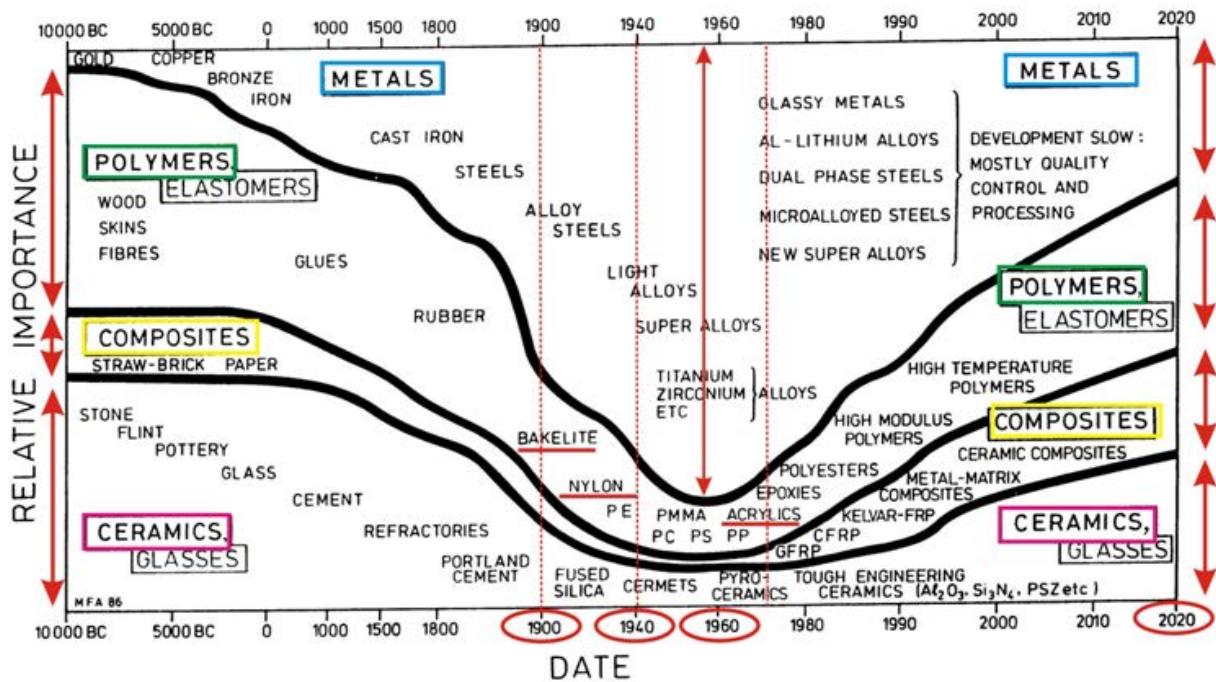


Figura 7. Evolución cronológica del uso relativo de los materiales

### Nuevos materiales en el sector de la Defensa

El sector de la Defensa es históricamente el motor del desarrollo tecnológico en un sentido amplio. De hecho, resulta corriente que avances alcanzados en la tecnología de uso militar se terminen empleando más o menos prontamente en la industria civil. En concreto, la penetración de los nuevos materiales avanzados no sólo está teniendo lugar en el sector de la Defensa, sino también en otros considerados críticos como el espacial, aeronáutico y en la medicina. Entre las razones que justifican esta irrupción pueden enumerarse las siguientes:

- Necesidad de elevadas prestaciones de empleo y altas características mecánicas específicas
- Incremento del valor añadido del producto
- Sustitución de materiales considerados estratégicos

### Conclusiones

- Los nuevos materiales son bastante más costosos que los materiales convencionales aun cuando hayan sido mejorados por los nuevos procesos.
- Todavía están escasamente ratificados por la experiencia, por lo que persisten las incertidumbres acerca de su comportamiento en el transcurso del tiempo, y ante solicitaciones externas de toda clase.

- En los últimos años, los materiales tradicionales han mejorado notablemente sus características gracias a los nuevos procesos.

## **Bibliografía**

Askeland, D.R.

*Ciencia e Ingeniería de los Materiales* ISBN: 968-7529-36-9

International Thomson Editores; 3th Ed. (1998)

Callister, W.C.

*Materials Science and Engineering. An introduction* ISBN: 978-0-471-73696-7

John Wiley & Sons, Inc; 7th ed. (2007)

Harper C.

*Handbook of Plastics, Elastomers and Composites* ISBN: 9780071384766

McGraw-Hill Professional; 4th edition (1 July 2002)

Laguna Iglesias, M.

*Apuntes de Materiales Especiales de Aplicación Naval*

ETSIAN

Melero Columbrí, F.J.

*Seminario sobre Materiales en la Armada y su Estabilidad en Servicio. Materiales en Defensa. Materiales Avanzados*

ETSIAN. 12 y 13 de Febrero de 2003

Melero Columbrí, F.J.

*Materiales y Procesos Avanzados. Materiales de alta tecnología* ISBN: 84-00-06891-2

1993, CSIC

Smith, W.

*Fundamentos de la Ciencia e Ingeniería de Materiales* ISBN: 84-481-1429-9

McGraw Hill; 3th Ed. (1998)

## LA IMPORTANCIA DE LA EXPERIMENTACIÓN

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

Al profesor Felipe A. Calvo Calvo

### ¿Es la experimentación la base de la ciencia?

Por mucha precisión con la que seamos capaces de describir un fenómeno siempre estaremos muy lejos profundizar en él, y razonar sobre su esencia, como se puede hacer en un experimento oportuno, bien elegido y realizado.



La Humanidad, a lo largo de la Historia, ha asistido a los fenómenos que la naturaleza le ha ofrecido; estos fenómenos los ha contemplado, padecido, estudiado, reproducido y finalmente interpretado. Mediante este proceso, trabajoso, el Hombre va trazando el esquema de la Ciencia Universal, desarrollándola en hipótesis, teorías y leyes. Como ejemplo, pensemos en el fuego, que en un principio ocurría accidentalmente, después de forma incontrolada, más tarde el hombre paleolítico fue capaz de reproducirlo, arrancando chispas al pedernal, la pirita... utilizando diversos materiales y procesos; cada material exigía el uso de unos procesos determinados... Piénsese en la sensación de dominio que debió experimentar cuando fue capaz de reproducir un fenómeno que probablemente solo conocía a través de las catástrofes. El control del fuego transformó las antiguas culturas, poniendo en sus manos nada menos que energía y luz. Llegado a este punto, ¿no se observa una cierta similitud, con una fuente de energía que el Hombre conoce, es capaz de generarla y que, por el momento, no puede controlarla completamente, como es el caso de la energía nuclear?

Los experimentos ilustrativos son de muy diferentes clases. Algunos pueden ser adaptaciones de las operaciones más corrientes en la vida ordinaria; otros, reproducciones de algunos acontecimientos cuidadosamente dispuestos, pero todos coinciden en presentar algún fenómeno ante

los sentidos del estudiante de tal manera que sea capaz de asociarlo a una cierta idea científica. Cuando ha captado dicha idea, el experimento que la ilustra ha cumplido su propósito.

### **Prácticas de laboratorio**

A las prácticas de laboratorio habría que devolverles su verdadero sentido de trabajo experimental; quitarles rutina, involucrar más al alumno, darle motivos para pensar y proporcionarle capacidad para interesar... y esto solo puede hacerse prestándoles más atención. A este sentido de trabajo experimental hay que añadirle el desarrollo de una habilidad manual que ahogue la soberbia intelectual al comprobar, por experiencia, las dificultades que entraña todo trabajo artesano. Si no se entienden de esta manera, las prácticas de laboratorio desvirtúan la verdadera función de un laboratorio, en el que el alumno puede y debe montar, observar, interpretar y medir.

Lo anteriormente expuesto es aplicable a todas las disciplinas, pero, por supuesto, mucho más a las correspondientes a una carrera de ciencias o ingeniería. Puesto que en cada disciplina científica se multiplican los hechos, los detalles, las consecuencias y las aplicaciones, podemos preguntarnos: ¿Qué es lo que en toda ciencia debe enseñarse? Pues, sus principios básicos, su carácter revisable y su intrínseca bondad. Y esto a todos los niveles. La Ciencia se ha ido creando por la observación, el razonamiento y la experimentación, y su estructura permite adivinar un orden lógico, que instalado en unas bases revisables sirve para extenderlo al orden próximo.

### **¿Dónde enseñar Ciencia?**

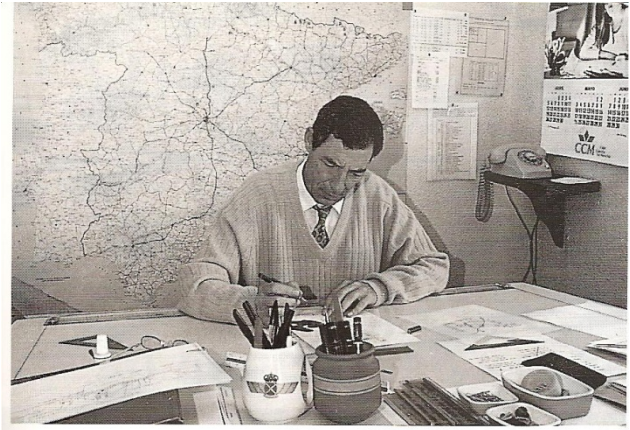
Aunque no hay un lugar exclusivo para enseñar Ciencia, sí que hay un lugar privilegiado donde además se hace: en un laboratorio, pues en él se puede observar, tomar de datos, obtener resultados y razonarlos justificadamente.



Basándome en lo anterior, en la asignatura Química del curso preparatorio, que imparto este año a los alumnos de la promoción XXXVIII, en la ETSIAN, procuro que se complementen las enseñanzas teóricas con una gran cantidad de actividades de laboratorio: créditos prácticos frente a créditos totales, realizando muchos trabajos experimentales que introducen al alumno en el mundo de la Química. Se trata de sus primeros pasos en un laboratorio, de ahí que preparen disoluciones, las valoren, realicen cristalizaciones, purificaciones (extracciones y destilaciones), determinen la pureza de algunas sustancias, sus propiedades físicas y químicas... Todo ello para que los futuros Ingenieros de Armas Navales desarrollen el sentido de la observación a través de la experimentación; en definitiva, para que se formen como hombres de ciencia... como científicos.

## CURIOSIDADES

En 1959 entró a trabajar en la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Armas Navales, con sólo diecinueve años, como funcionario delineante de la Secretaría Técnica, D. Isaac Peral Díaz Bustamante, descendiente directo del teniente de navío Isaac Peral y Caballero. Permaneció en esta Escuela hasta el 1 de octubre de 1997, fecha de su jubilación.



## SABÍAS que...

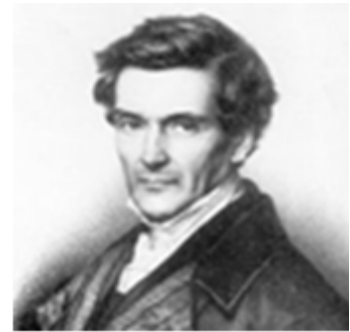


Leonh. Euler

...Coriolis, Gaspard Coriolis (1792-1843), era francés e ingeniero militar.

Y que...

...el número «e», la base de los logaritmos neperianos, se debe a Leonhard Paul Euler (la inicial de su apellido) y lo usó por primera vez en unos trabajos sobre Balística.



Coriolis

## HUMOR...

SE ESCRIBE «CON» HACHE DE HINGENIO:

### El oso

¿Qué es un oso polar? –le preguntaron a un ingeniero–. Un oso rectangular, después de un cambio de coordenadas– contestó.

### El vaso medio vacío

Para el optimista, el vaso está medio lleno. Para el pesimista, el vaso está medio vacío. Para un ingeniero que se precie, el vaso es el doble de grande de lo necesario.

# LA PDE TOOLBOX DE MATLAB<sup>®</sup> ... CUANDO EN EL DESPACHO LEVANTAMOS UN FOLIO DE PAPEL POR UNA ESQUINA

TN ingeniero  
Miguel A. Mateos Cuevas  
Profesor y Secretario Técnico de la ETSIAN

## Nuestras amigas las ecuaciones en derivadas parciales (EDP)

Las EDP constituyen la descripción matemática de fenómenos físicos espacio-temporales. Su resolución nos permite conocer mejor la realidad que nos rodea, ¡qué bueno! Mejor dicho, ¡qué bueno si pudiéramos resolverlas!, porque generalmente aquí está el problema: suele ser bastante trabajoso encontrar las soluciones. Lo normal es que una EDP «al azar» no tenga solución analítica. Podemos entonces aproximar su comportamiento aplicando métodos numéricos.

La Pde ToolBox de MatLab<sup>®</sup> es una herramienta que permite la resolución de EDP haciendo uso del método de los elementos finitos para problemas definidos sobre dominios limitados y continuos en el plano (2D). Evidentemente, el entorno de trabajo establecido está acotado, lo que supone que tampoco permite enfrentarse a *cualquier* EDP, pero hemos de reconocer que ahorra mucho trabajo y las áreas de aplicación son amplias (*transferencia de calor, flujos y problemas de difusión, propagación de ondas transitorias y armónicas, movimiento de membranas y estructuras, etc.*). Para acceder a la Pde ToolBox basta con teclear en la *Command Window* de MatLab la sentencia *pdetool* y pulsar intro.

Una metodología de trabajo con la Pde ToolBox podría consistir en seguir los pasos: definir el dominio de trabajo 2D, establecer las condiciones de frontera, asignar los coeficiente de la EDP que se pretende resolver, establecer el mallado del dominio de trabajo y resolver y analizar.

## Tipos de EDP

La Pde ToolBox soporta EDP elípticas, hiperbólicas, parabólicas y de modos propios; dependiendo del orden de la derivada parcial con respecto al tiempo:

- Elíptica:  $-\nabla \cdot (c \cdot \nabla u) + a \cdot u = f$
- Parabólica:  $d \cdot \frac{\partial u}{\partial t} - \nabla \cdot (c \cdot \nabla u) + a \cdot u = f$
- Hiperbólica:  $d \cdot \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} - \nabla \cdot (c \cdot \nabla u) + a \cdot u = f$
- De valores propios:  $-\nabla \cdot (c \cdot \nabla u) + a \cdot u = \lambda \cdot d \cdot u$

Las condiciones de frontera que considera la Pde TooBox son:

- Dirichlet:  $h \cdot u = r$
- Newman:  $n \cdot c \cdot \nabla u + q \cdot u = g$

## ¿Qué podemos resolver?

Veamos un ejemplo:

- Resolución de una EDP hiperbólica: *la ecuación de ondas.*

Área de aplicación: *propagación de una onda por una superficie plana. Por ejemplo, cogemos un «folio ideal» de nuestra oficina y lo levantamos por una esquina. Se considera la superficie centrada respecto al origen de coordenadas.*



Consideraremos que inicialmente el folio está apoyado en la mesa y que la mesa no se mueve (no varía su altura, con lo cual tampoco está sometido a movimiento alguno). Matemáticamente para  $t = 0$ :

$$\left. \frac{\partial u}{\partial t} \right|_{t=0} = 0 \quad \frac{\text{metros}}{\text{segundo}}$$

$$u(t = 0) = 0 \quad \text{metros}$$

La EDP que resolveremos es concretamente:

$$\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} - 2^2 \left( \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) = e^{-((x+1)^2 + (y-0.8)^2)}$$

En la *Pde Toolbox* de *MatLab* habría que rellenar las siguientes variables:

$$d = 1, c = 4, a = 0 \text{ y } f = e^{-((x+1)^2 + (y-0.8)^2)}$$

- Condiciones de frontera:

Consideramos que el folio se adapta libremente al movimiento:

$$\left. \frac{\partial u}{\partial x} \right|_{\text{border}} = \left. \frac{\partial u}{\partial y} \right|_{\text{border}} = 0$$

o bien

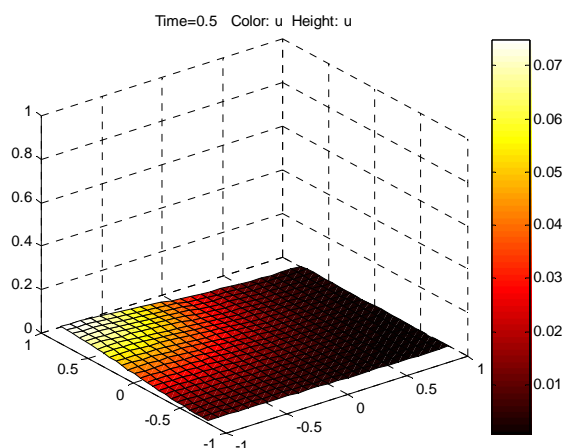
$$\nabla u|_{\text{border}} = 0$$

En la *Pde Toolbox* de *MatLab* habría que rellenar las siguientes variables:

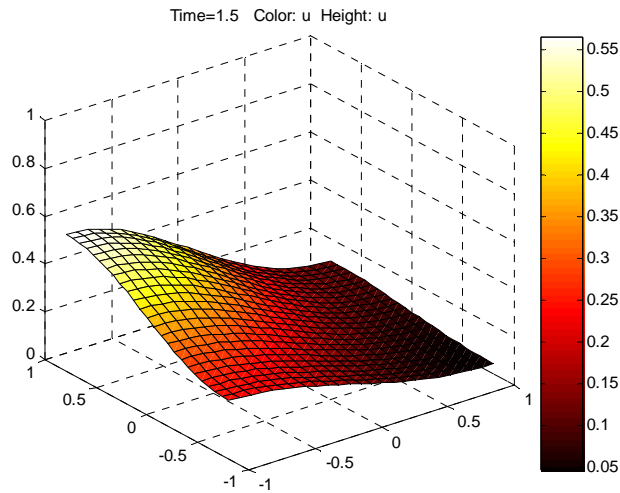
$$h = 1 \text{ y } r = 1.$$

**¿Cómo evoluciona el *folio ideal* a medida que lo vamos levantando cogiéndolo de la esquina?**

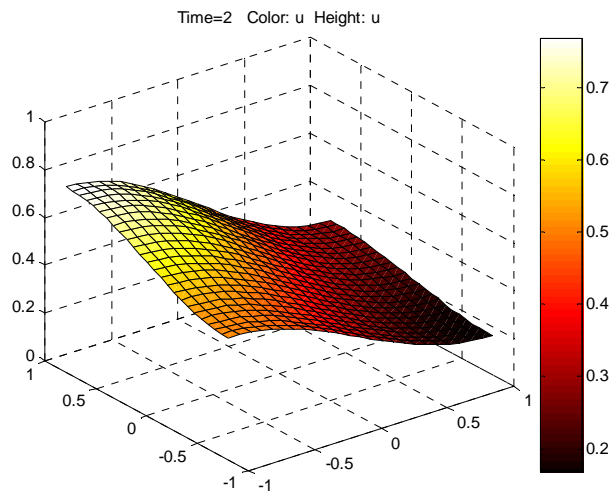
- Empiezo a coger el folio y al cabo de medio segundo sólo lo he levantado un poquito:



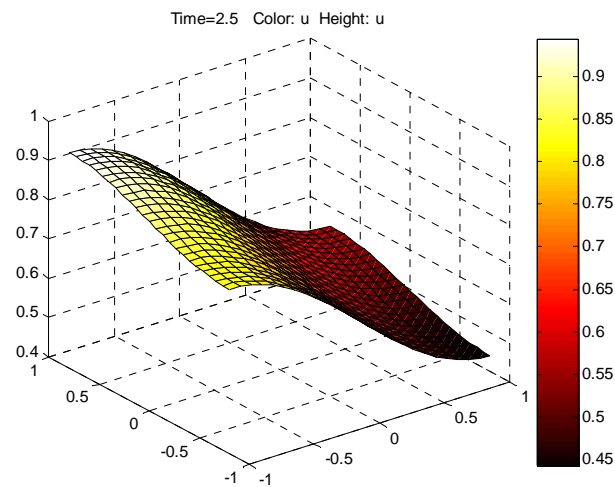
- Cuando ha transcurrido un segundo y medio:



- A los dos segundos:



- A los dos segundos y medio, ¡ya tengo el folio en la mano!:



Pero, no olvide que se trata de un *folio ideal*... el que suscribe no se hace responsable de lo que pueda ocurrir en la realidad al levantar un folio.

## LOS NÚMEROS «COPRIMOS»

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

### Fue por casualidad

Sí, fue por casualidad cuando, cierto día, hace varios años, descubrí que en una expresión tan sencilla como la siguiente:

$$a = 2b + 3c$$

«siempre» es posible que  $a$ ,  $b$  y  $c$  sean simultáneamente números primos<sup>1</sup>. Además, como el 2 y el 3 también lo son, todos los números que intervienen son primos.

Pero, no acaba aquí la sorpresa, pues enseguida me di cuenta de que todo número primo mayor o igual que 5 se puede descomponer de la forma  $2b + 3c$  con  $b$  y  $c$  primos. Además, la descomposición no es única. En la tabla se aprecian los diez primeros números primos y una de las descomposiciones.

a	b	c
5	1	1
7	2	1
11	1	3
13	2	3
17	1	5
19	2	5
23	1	7
29	7	5
31	5	7
37	2	11

Entonces, con la ayuda del ordenador, claro, elaboré ternas  $a$ ,  $b$  y  $c$  formadas por números primos. Conseguí miles, decenas de miles... y en cada terna se cumplía que  $a$ ,  $b$  y  $c$  eran, son, números primos.

### Una conjetura más

Con ilusión quise demostrar que lo que había descubierto era cierto. Demostrarlo, sí, porque, hasta ese momento, no pasaba de ser una conjetura, es decir, según el diccionario, un juicio que se forma de las cosas o acaecimientos por indicios y observaciones. Y, como todos sabemos, que una propiedad se cumpla en  $n$  casos no exige que se satisfaga en el caso  $n + 1$ , salvo que se demuestre (por inducción u otro procedimiento).



En este empeño invertí días, meses... se convirtió en una obsesión. Y lo sigue siendo. Porque ya han pasado varios años desde aquello y, de vez en cuando, lo vuelvo a intentar. Sin éxito. He llegado a demostrar, eso sí, que todo número impar mayor o igual que 5 se puede descomponer en la suma  $2b + 3c$  con  $b$  impar y  $c$  primo. Análogamente, con  $b$  primo y  $c$  impar.

Pero, no lo he conseguido con  $b$  y  $c$  simultáneamente primos.

<sup>1</sup> Admitamos que la unidad, el número 1, es primo. Hay autores que lo niegan. Yo, don erre que erre, digo que si todo número es primo si sólo es divisible por sí mismo y por la unidad, entonces el 1 cumple todos los requisitos para serlo.

En fin, me consuelo pensando que en esto de los números primos hay muchas conjeturas como la de Goldbach que dice que todo número par mayor o igual que 4 es la suma de dos números primos (por ejemplo,  $16 = 5 + 11$ ) u otra que afirma la existencia de infinitos números primos de la forma  $n^2 + 1$ . También existen polinomios sorprendentes como  $n^2 - n + 41$  que, para valores de  $n$  comprendidos entre  $-40$  y  $40$ , genera números primos. Y quizás la conjetura más importante sea la de Riemann (1826-1866) relacionada con los ceros de la llamada «función zeta»; pero, no voy a cansar al lector enunciándola...

### **Se merecen un nombre propio: coprimos**

En aquellos momentos de euforia tuve la osadía de bautizar a las ternas. Las llamé «números coprimos, módulo 2-3». ¿Por qué módulo 2-3? Sencillamente, porque hasta la fecha no he encontrado otra descomposición similar que satisfaga a «todos» los números primos (por ejemplo,  $2b + 5c$ . Sugiero al lector que lo intente con el número 23). ¿Por qué sólo con  $2b + 3c$ ? No lo sé. ¿Sabría alguien encontrar una condición necesaria y suficiente para que los coprimos sólo lo sean módulo 2-3? Si así fuese, en el bautismo bastaría nombrarlos como «coprimos», sin apellidos.

### **Los coprimos, ¿tienen algún interés práctico?**

Se me ocurrieron algunas aplicaciones:

Quizás los coprimos serían excelentes codificadores de señales: un primo activa el comienzo de una trama de datos, otro, a medio camino, informa de la existencia o no de errores en la transmisión-recepción, y el tercero cierra la trama. Y si el transmisor y el receptor estuviesen codificados por coprimos, de forma que un receptor que no reciba su terna coprime ignore la señal transmitida... en ese caso, en una orden de operaciones entre varias unidades se podrían establecer, de esta manera, caminos para que la información llegue sólo a la unidad que la precisa (como el SIC que ponemos en los mensajes). Y dicha codificación variaría con el tiempo, si quisiésemos.

En los radares, las ternas coprimas serían un buen sistema IFF. Y en presencia de un escenario con el espectro electromagnético saturado, cabría emplear los coprimos como filtros para descartar señales... algo así como si varias emisoras de FM que transmiten distintas melodías, con el mismo ancho de banda y centradas en la misma frecuencia, pudiesen hacerlo sin perturbarse con tal que el receptor supiese a quién debe atender y a quién no.

Ideas sencillas, cuya aplicación práctica tal vez no lo sea tanto, ¿o quizás sí...?

### **Para finalizar**

Como botón de muestra, he comprobado que empleando la expresión  $2b + 3c$  se pueden generar con el ordenador miles y miles de números primos a gran velocidad. Quien esté interesado en el algoritmo que he elaborado, ya sabe cómo localizarme a través del correo electrónico: [agonmor@fn.mde.es](mailto:agonmor@fn.mde.es).

## Visita al Centro Nacional de Investigaciones Metalúrgicas (CENIM) de los Ingenieros Alumnos de Formación procedentes de la Escala Técnica del Cuerpo de Ingenieros, promoción 2010-2011

AN Ingeniero  
M<sup>a</sup> Concepción Mazón Herrera

El pasado día 28 de marzo los Ingenieros Alumnos de la ETSIAN realizaron una visita al CENIM acompañados por el doctor Manuel Laguna Iglesias, el AN Juan Manuel de Santiago Collado y la AN M<sup>a</sup> Concepción Mazón Herrera, profesores de esta Escuela.



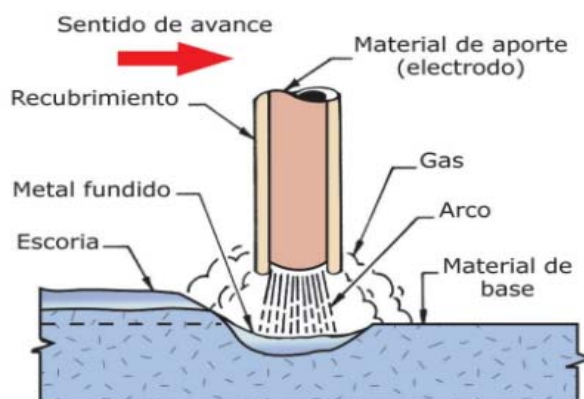
El CENIM es un centro del Consejo Superior de Investigaciones Científicas, perteneciente al Área de Ciencia y Tecnología de Materiales. Está dividido en varios departamentos: Metalurgia Física, Ingeniería de Superficies, Corrosión y Durabilidad y Metalurgia Primaria. Realiza labores en el campo general de la Metalurgia, de carácter científico prioritariamente, aunque lleva a cabo desarrollos y coopera con la Industria y los Centros Tecnológicos. De esta manera, la investigación básica se une al diseño de nuevos materiales y procesos.

Fuimos recibidos por el profesor de Investigación, el doctor José M<sup>a</sup> Amo Ortega. La visita tuvo una parte teórica en la que el jefe del taller, doctor Luis del Real, nos explicó los fundamentos de los distintos tipos de soldadura: de arco eléctrico, de wolframio o TIG, de arco de metal con gas MIG/MAG, oxiacetilénica (OAW) o

por llama, y la soldadura con arco sumergido, SAW. También nos mostró los diferentes aspectos del corte oxiacetilénico de planchas metálicas.

La otra parte de la visita fue práctica, y los alumnos tuvieron la oportunidad de «mojarse» y realizar dos soldaduras: una SMAW y otra TIG.

La SMAW (Shield Metal Arc Welding) es una soldadura por fusión en la que se emplea un electrodo con un recubrimiento químico que agrega elementos a la reacción y estabilizan el arco. Cuando se acerca la varilla al metal se produce el arco debido a la corriente eléctrica que cierra el circuito, produciéndose calor, con el que se consigue que el metal fundido se deposite en la unión.



La TIG (Tungsten Inert Gas) es una soldadura por gas inerte y electrodo permanente de wolframio. Se utiliza principalmente en las uniones de aluminio con aceros inoxidable, donde lo más importante es una buena calidad de soldadura.

El aspecto de las soldaduras realizadas se observa en la siguiente fotografía:



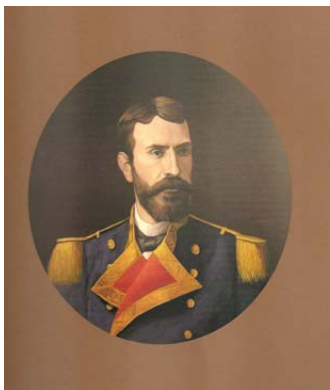
Aunque tomamos las necesarias medidas de seguridad, la cosa estaba que saltaban chispas...



Y, finalmente, he aquí una imagen de los «valientes» alumnos ingenieros durante las prácticas de soldadura:



De izquierda a derecha: AN De Santiago Collada, GM Jiménez Mota, GM Vivo Vivo, GM Aneiros Pérez, GM García García.



## INGENIEROS EN LA HISTORIA

# ISAAC

# PERAL Y CABALLERO

Oscar Villalón

Nacido en Cartagena el día 1 de junio de 1851, falleció en Berlín, el 22 de mayo de 1895. Teniente de navío de la Armada e inventor del primer submarino torpedero, el *El Peral* (1885).

Intervino en la Guerra de los Diez Años en Cuba y en la Tercera Carlista, acreditando pericia y valor, siendo condecorado por ello. Destacó en trabajos científicos, escribiendo un *Tratado teórico práctico sobre huracanes*, levantando cartas náuticas del canal de Simanalés (Filipinas) y ocupando, en 1.883, la cátedra de Física-Matemáticas de la Escuela de Ampliación de la Armada.

En 1885, tras la crisis de las Carolinas, cuando Alemania intentó arrebatarlas a España, Peral se consideró en la obligación de comunicar a sus superiores que había resuelto definitivamente el reto de la navegación submarina. Tras riguroso análisis del proyecto, por parte de los más cualificados científicos de dicha Escuela de Ampliación, se aprobó elevarlo al Ministro de Marina, almirante Pezuela, que lo recibió con entusiasmo. Por desgracia, sus sucesores mostraron indiferencia o abierta hostilidad hacia él mismo.

El submarino *Peral*, que puede contemplarse en Cartagena, medía 22 metros de eslora, 2,76 de puntal, 2,87 de manga y desplazaba 77 toneladas en superficie y 85 en inmersión. Iba propulsado por dos motores eléctricos de 30 caballos cada uno, siendo suministrada la energía por una batería de 613 elementos. Incorporaba, además un tubo lanzatorpedos, tres torpedos, periscopio, un sofisticado «aparato de profundidades», que permitía al submarino navegar en inmersión

a la cota deseada por su comandante y mantener el trimado del buque en todo momento, incluso tras el lanzamiento de los torpedos. También disponía de los mecanismos necesarios para navegar en inmersión hacia el rumbo prefijado.

Gracias a la Reina Regente, el submarino fue botado el 8 de septiembre de 1888. Las pruebas oficiales se desarrollaron a lo largo de 1889 y 1890. Conviene resaltar que no se le concedió permiso para efectuar la prueba clave y más elocuente, que había solicitado el propio inventor, atravesar sumergido el estrecho de Gibraltar, desde Algeciras hasta Ceuta. A pesar de lo cual, demostró en dichas pruebas que podía navegar en inmersión a voluntad de su comandante, con rumbo y cota predefinidas y en alta mar y que podía atacar, sin ser visto, a cualquier buque de superficie. La Comisión Técnica nombrada al efecto avaló el éxito de las pruebas del primer submarino de la historia. A pesar del éxito inicial de las pruebas de mar, las autoridades desecharon el invento, por lo que Peral solicitó la baja en la Armada e intentó aclarar a la opinión pública la verdad de lo sucedido.

En su etapa civil, consiguió fundar varias empresas con éxito, relacionadas con su especialidad, para el aprovechamiento de la energía eléctrica.

El 4 de mayo de 1895, Peral se trasladó a Berlín para ser operado de cáncer, pero un descuido en las curas le produjo una meningitis que acabó con su vida el día 22 de mayo. El 11 de noviembre de 1911, su cadáver fue exhumado para trasladarlo a Cartagena.

