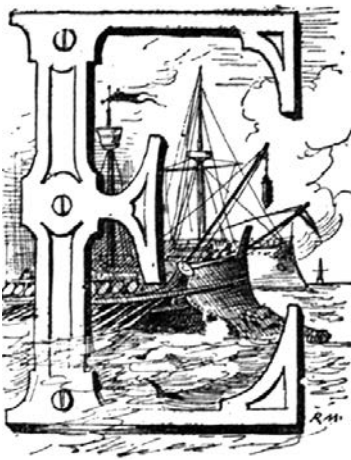


# CONTROL DEL RUIDO PROPIO EN UN SUBMARINO

José María LARIOS PÉREZ



## Introducción



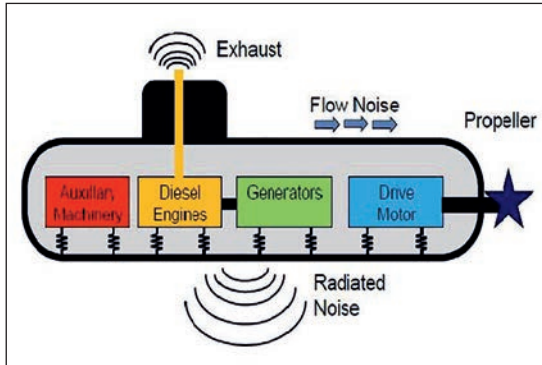
N pleno siglo XXI, la acústica submarina es un campo poco explorado, pero con un amplio espectro de desarrollo e innovación. Esta ciencia resulta ciertamente vital para aquéllos que la explotan en el contexto de la guerra anti-submarina: submarinos contra submarinos, submarinos contra unidades de superficie, submarinos contra medios aéreos mediante empleo de sonoboyas; en definitiva, cazadores y cazados son conocedores de que los avances en esta materia pueden aportarles una ventaja táctica diferencial.

En el marco del trabajo de fin de curso de la especialidad complementaria de Submarinos para oficiales, se me propuso como tesis el «Control del ruido propio». En su desarrollo, se plantea la hipótesis de si este ruido es con-

trolable o, al menos de alguna manera, útil para los propios submarinos. En este artículo pretendo exponer las conclusiones obtenidas de dicho estudio, explicando la metodología empleada para alcanzarlas, y aclarar algunas cuestiones que puedan interesar al lector.

## ¿Por qué hay tanto interés en el tema de la acústica submarina?

Un submarino es una especie de «barco murciélago» que navega sin ver nada. Para suplir esta carencia ha desarrollado un oído más fino y preciso que el resto de especies que se desenvuelven por la superficie. Sin embargo, a pesar de que hay toda una ciencia detrás para navegar con seguridad, existen



Fuentes vibroacústicas de un submarino.  
(Fuente: García, 2020)

condicionantes como la variedad y la cantidad de ruido presentes bajo la superficie, las grandísimas propagaciones que en ocasiones se dan, el ruido que genera el propio submarino al navegar y una infinidad de variables que dificultan las capacidades propias de detección y que pueden ser favorables para el enemigo a la hora de contradetectar el submarino.

Como parte de la ciencia de la acústica submarina, está

el conocimiento del ruido que genera al navegar el propio submarino que, en función de su origen, se puede catalogar en tres tipos: hidrodinámico, de propulsión y de maquinaria auxiliar. Aunque es posible hacer una segunda categorización según la incidencia sobre la plataforma: ruido propio o ruido radiado. El primero afecta a su propia escucha, a su capacidad de detección, y el segundo, beneficioso para las unidades enemigas, favorece la contradetección, nos hace vulnerables.

En el desarrollo del trabajo mencionado en la introducción, se buscó la parametrización teórica del ruido hidrodinámico de un submarino tipo *S-80*, siendo la metodología empleada extrapolable para la parametrización del ruido de propulsión y del de maquinaria auxiliar.

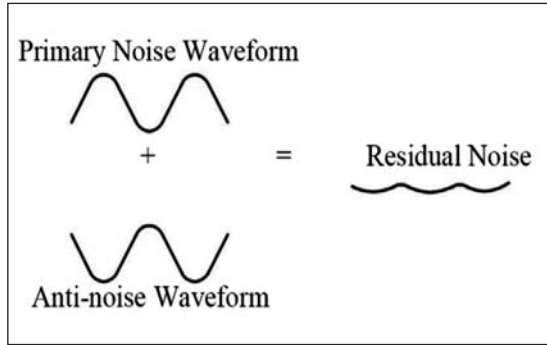
### ¿De qué sirve en la práctica predecir el ruido?

En dicho estudio, y como medida para la mitigación del ruido propio en submarinos, se analizó la aplicación de tecnologías ANC (*Active Noise Cancelling*). Esta técnica para la cancelación de ruido se basa en el principio de superposición de ondas. La suma de dos ondas iguales en amplitud y contrarias en fase es igual a cero. De este modo, aunque resulte una utopía llevar los valores de una onda a cero, sí que es posible su mitigación. El método empleado es la radiación, por medio de un transductor, de lo que un receptor está captando, con las características de misma amplitud y fases opuestas.

Resulta evidente la necesidad de conocer ese ruido para poder generar la onda que lo anule. Para ello, se plantean varias opciones:

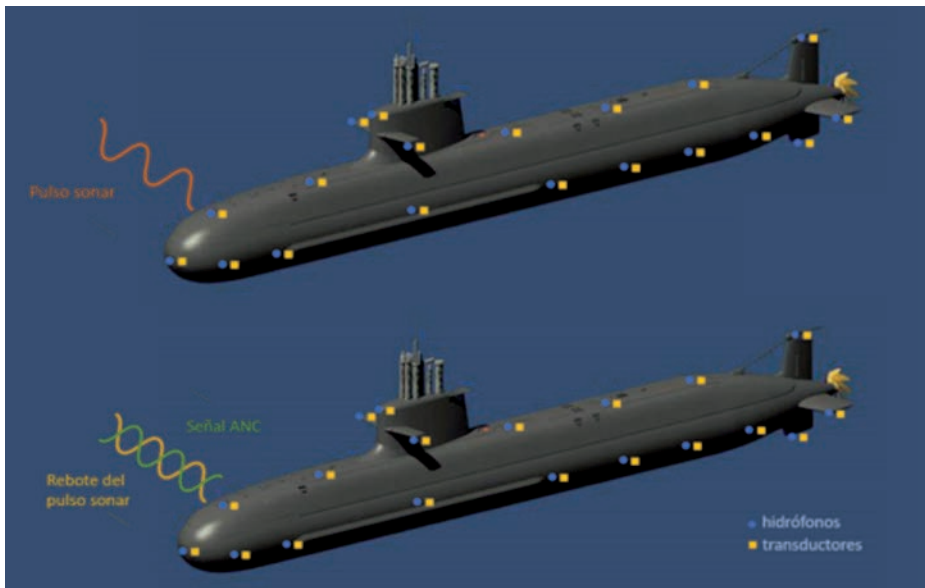
- El empleo de hidrófonos que capturen el ruido generado y otro hidrófono que emita para anularlo. Esta alternativa presenta la problemática de

que si todo el ruido captado por el hidrófono receptor no es propio, al ser transferido al algoritmo que genere la onda contraria para anular la recibida, éste no será capaz de distinguir qué es ruido propio y qué es ruido ajeno, anulándolo también y perdiendo su valor táctico.



Superposición de ondas. (Fuente: Antony)

- La generación de las ondas contrarias al ruido generado mediante valores medidos de referencia. Aunque es un método con una fiabilidad aceptable, se toman los valores medidos y adoptados de referencia como ciertos. Sin embargo, si en este proceso se obtienen datos anómalos, se adoptarán también las anomalías como referencia, lo que conlleva la pérdida de fiabilidad de la onda generada, pudiendo tener el efecto contrario, ya que si la fase de la onda generada no es opuesta y la amplitud



Croquis de cancelación de onda a partir de valores medidos. (Fuente: Landín, 2023)

varía de forma notable, en lugar de cancelar el ruido se produciría un aumento de éste.

- La generación de una onda de cancelación para el ruido propio generado por la plataforma en función de la parametrización teórica de ese ruido. Esta opción presenta el inconveniente de dejar de lado el ruido medido —que, a fin de cuentas, es el valor real— para centrar su cancelación en torno a conceptos teóricos. Es en esta tercera opción en la que se basó en contenido del trabajo expuesto.

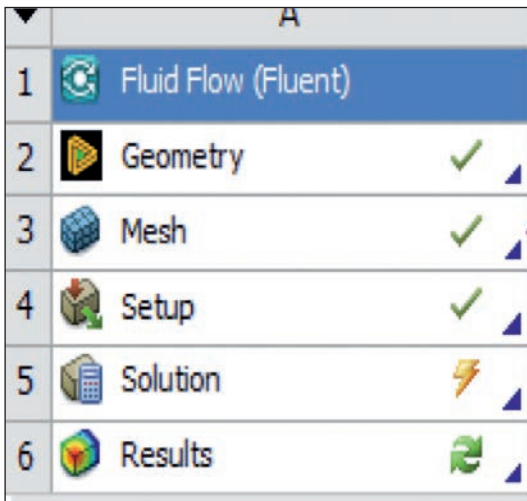
### ¿Cómo se «crea» ese ruido?

Para explicar la metodología empleada para predecir el ruido hidrodinámico que genera un submarino en su desplazamiento, se busca conocer las variaciones de presión y velocidad que se producen en el fluido (agua marina) alrededor del casco. Se omite en este artículo la demostración teórica de cómo influyen las magnitudes físicas en el proceso de generación de ruido con el objetivo de no aburrir al lector.

Para pronosticar este ruido hidrodinámico, se utilizan modelos de elementos finitos (FEM) y *solvers* (1) de dinámica de fluidos computacional (CFD), entre los que está ampliamente extendido en el ámbito científico, incluida la Fórmula 1,

el empleo de Ansys Fluent. En nuestro caso, éstos permiten simular el comportamiento de la estructura de un submarino y su interacción con el fluido circundante, lo que ayuda a identificar las fuentes de ruido y a desarrollar soluciones para reducirlo.

El *software* de CFD Ansys ofrece en su marco de trabajo un amplio abanico de cálculos de variables físicas relacionados con la dinámica de fluidos. Elegimos por idoneidad para los cálculos deseados el *solver* Fluent, ampliamente utilizado en ingeniería para el cálculo de presiones y campos de velocidades



Menú de trabajo ANSYS Fluent. (Elaboración propia)

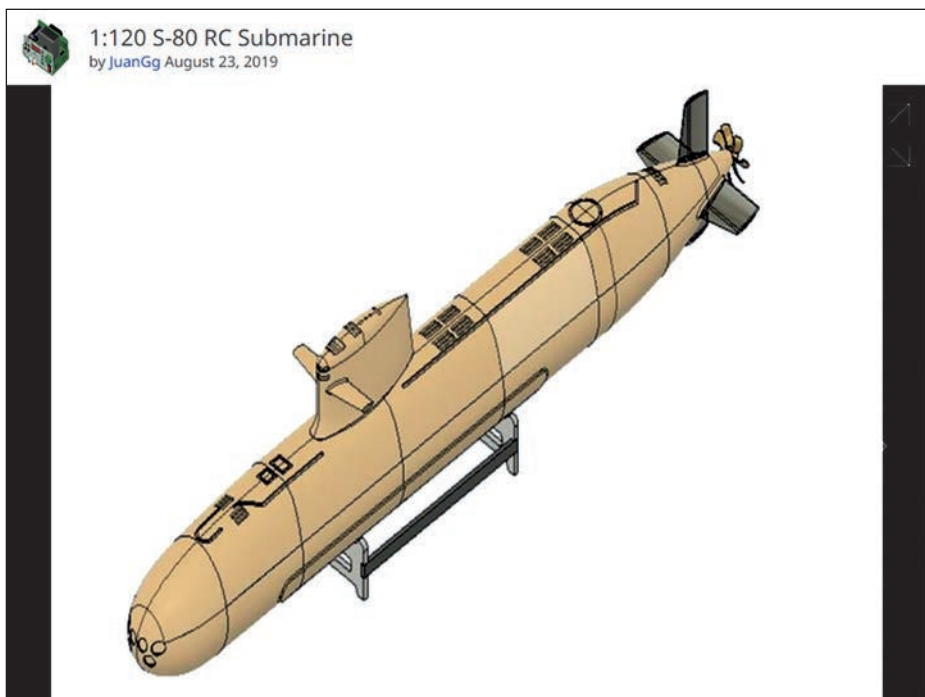
(1) Programas de cálculo computacional.

sobre fluidos, que muestra el siguiente menú, que debemos ir desarrollando paso a paso y por orden, puesto que cada paso es imprescindible para habilitar el siguiente:

### *Geometry* (geometría)

En este submenú se le indica al *software* cuál es la figura base con la que se quiere trabajar. Es posible tanto importar una geometría ya modelizada con otros programas tipo CAD (Diseño Asistido por Ordenador) como crear la figura directamente sobre el interfaz de Ansys, que en su apartado de diseño trabaja con DesignModeler. La posibilidad de importar y trabajar con geometrías complejas es una de las principales ventajas de este tipo de *software* de cálculo frente a los elementos de resolución convencionales.

La geometría empleada se trata del casco del nuevo submarino *S-80*, obtenida de fuentes abiertas, concretamente del siguiente enlace: <https://www.thingiverse.com/thing:3825032>



Geometría *S-80* en formato STL. (Fuente: *Thingiverse.com*)

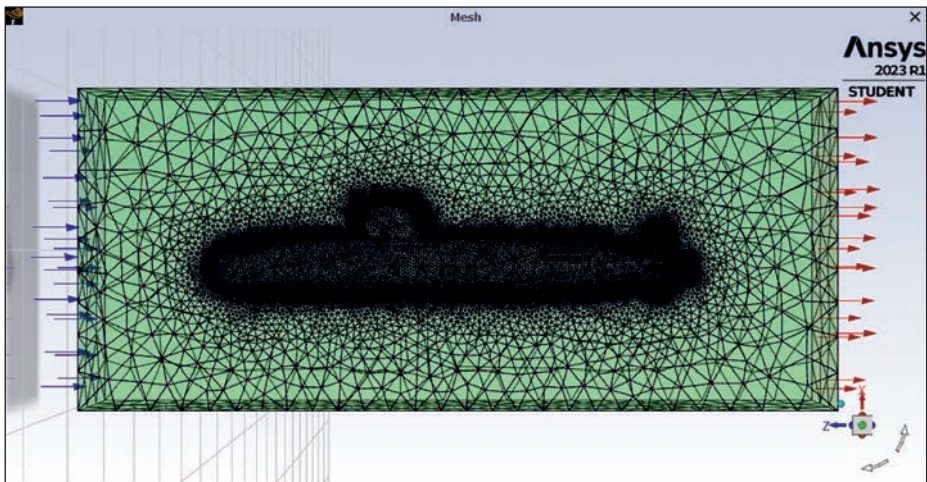
La última tarea que se realiza en el apartado de geometría va orientada a la preparación del marco de trabajo del *solver*. Ésta consiste en encapsular la figura del submarino dentro de un contorno que será el del estudio del comportamiento del agua marina en respuesta a su interacción con el casco del submarino.

### *Mesh* (mallado)

Es necesario delimitar el medio en divisiones más pequeñas para estudiar el comportamiento del fluido en cada una de las partes generadas.

A la hora de realizar el mallado es importante establecer las zonas críticas sobre la geometría. Sobre estas zonas se realiza un mallado más preciso, es decir, en el que la discretización espacial sea en unidades más pequeñas para que los resultados sean más exactos en esa zona. En las simulaciones realizadas en este trabajo se ha empleado un mallado más preciso en toda el área de contorno del casco del submarino, siendo el mallado menos preciso conforme se aleja de éste.

Con el fin de minimizar el impacto de la limitación del número de celdas impuesto por el *solver*, se decide aprovechar la simetría de la geometría. Para ello, se vuelve sobre el submódulo de geometría y se le aplica la condición de simetría sobre un eje creado en el centro del encapsulado a estudiar. Conocer el comportamiento del impacto del fluido sobre medio casco es extrapolable al casco entero y, sin embargo, tanto la carga computacional como la calidad del mallado se optimizan. En la siguiente figura se muestra el resultado final del proceso de mallado.



Mallado Geometría S-80. (Elaboración propia)

Las flechas azules y rojas indican la dirección de flujo que vamos a simular. Para que el sistema las reconozca de forma automática es necesario denominar a esas caras del encapsulado como *inlet* (2) y *outlet* (3), términos normalizados en el campo de la ingeniería computacional. El resto de caras de la cápsula se nombrarán como *wall* (4).

### Setup (configuración)

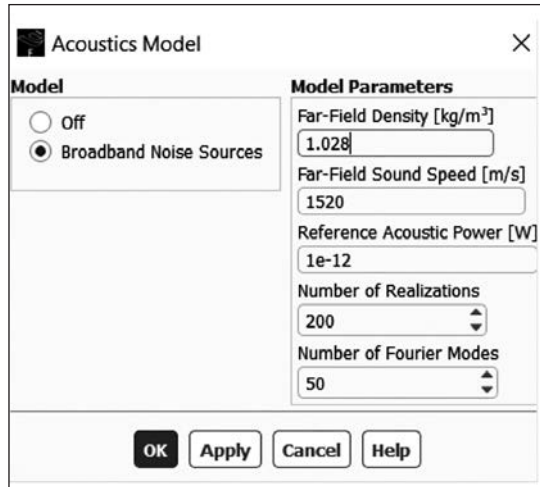
En primer lugar, se decide el modelo de fluido como un modelo k- $\epsilon$  realizable, ampliamente aceptado en dinámica de fluidos para la simulación de fluidos viscosos y turbulentos.

Se configuran a continuación (derecha) los parámetros para la modelización acústica del problema, adoptando los valores tanto de densidad como de velocidad de propagación propios del medio marino.

Continuando con el orden descendente de la barra de herramientas mostrada por el *solver*, se configura el líquido que va a recorrer el encapsulado.

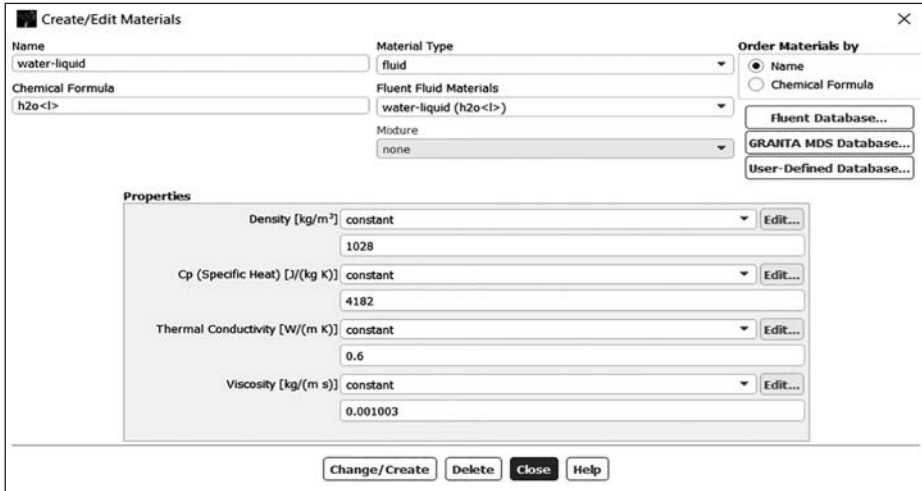
Por defecto, viene establecido aire para el cálculo; sin embargo, este parámetro es modificable accediendo a la base de datos de Fluent y cargando el agua en estado líquido. Los datos obtenidos de la base de datos corresponden con agua dulce, por lo que es necesario modificar el valor de la densidad de forma manual para establecer las condiciones de agua marina (figura página siguiente).

Es necesario en este tipo de simulaciones establecer unas condiciones de contorno en función de la casuística a evaluar. Para simular el movimiento del submarino, se le deja estático y se aplica al fluido encapsulado una velocidad en sentido contrario a la proa de la plataforma, que interactuará con el casco del submarino de la misma manera que si éste estuviera dando avance.



Parámetros modelo acústico. (Elaboración propia)

- 
- (2) Superficie del encapsulado por la que entra el fluido.
  - (3) Superficie del encapsulado por la que sale el fluido.
  - (4) Superficies que conforman, junto con inlet y outlet el contorno del encapsulado.

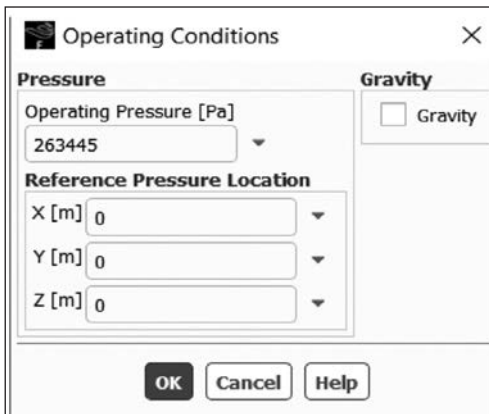


Parámetros del fluido como agua marina. (Elaboración propia)

Para minimizar los recursos a emplear por el *solver* y reducir el tiempo del proceso de cálculo, se ha de establecer, antes de modificar estas condiciones de contorno, cuáles de ellas afectan a la solución, modificando solamente éstas y dejando el resto, que no influyen con sus parámetros por defecto. Se condiciona el fluido del encapsulado para un avance del submarino de cuatro nudos. Los parámetros introducidos en la salida del fluido serán los mismos para todas las simulaciones, ya que en todas se busca lo mismo: que, independientemente de

la velocidad de entrada del fluido, éste vuelva a reposo tras interactuar con el casco del submarino.

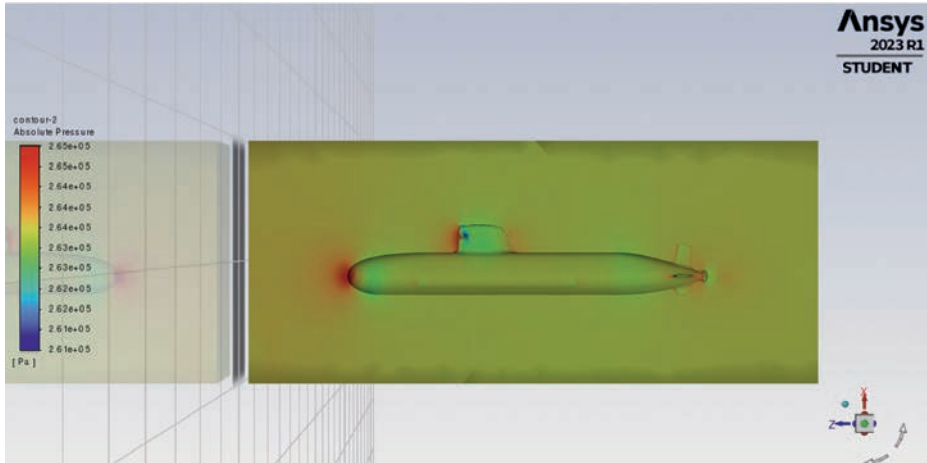
El último menú que es necesario modificar, relativo a las condiciones de trabajo del fluido en las distintas simulaciones realizadas, se corresponde con las condiciones generales de operación del fluido dentro del encapsulado. En esta pestaña se configura la presión para simular la profundidad a la que está operando el submarino. En la figura de la izquierda se muestra el submenú de las condiciones del fluido encapsulado para una cota de 16 metros.



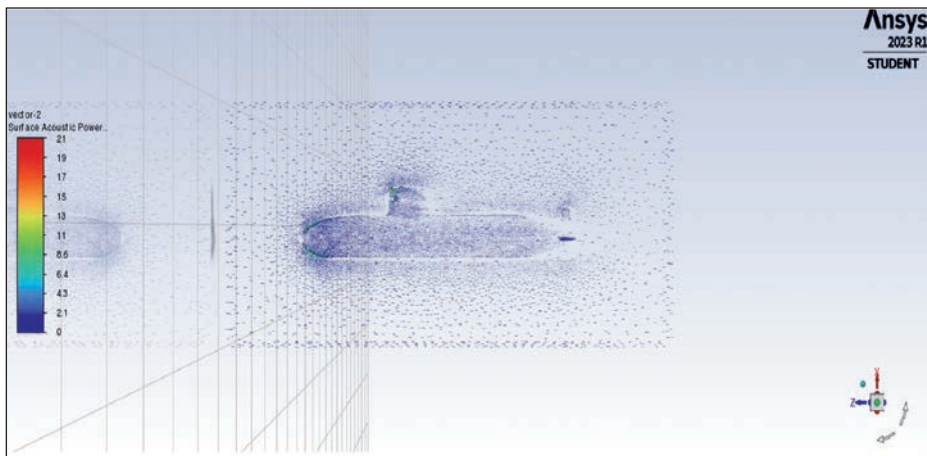
Condiciones generales del fluido encapsulado en términos de presión a cota 16 metros. (Elaboración propia)



Establecido el problema completo, se procede a su resolución; los resultados obtenidos de las magnitudes físicas que se buscan se muestran en las siguientes ilustraciones, siendo éstos coherentes con lo esperado.

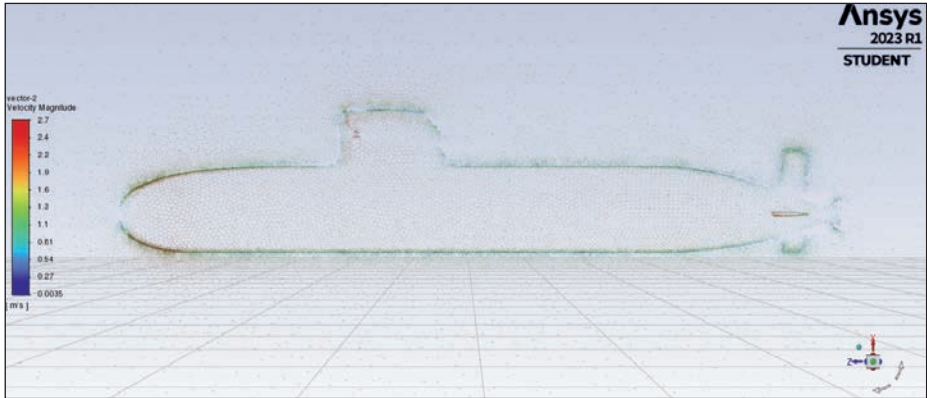


Presión cuatro nudos/dieciséis metros. (Elaboración propia)



Potencia acústica cuatro nudos/dieciséis metros. (Elaboración propia)

La versión de pago del *software* ANSYS Fluent tiene la capacidad, en base a estos datos obtenidos y aplicando la transformada de Fourier, de modelizar una onda a partir de la cual generar la onda de cancelación.



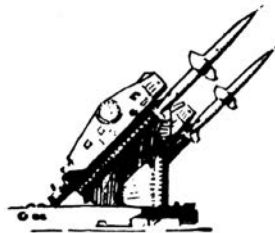
Velocidad cuatro nudos/dieciséis metros. (Elaboración propia)

### ¿Qué se puede concluir de todo esto?

En primer lugar, las diferentes casuísticas que se estudiaron durante el desarrollo del trabajo en el que se basa este artículo concluyeron con resultados y datos coherentes con lo esperado. Esto invita a aceptar los métodos FEM-CFD como confiables en la simulación del comportamiento de plataformas en la mar. Su alta capacidad de cálculo, así como la posibilidad de trabajar con geometrías complejas en las simulaciones, resuelve de forma realista y permite un mejor conocimiento de las plataformas, presentándose como una herramienta útil para la implementación de nuevos sistemas.

Además, los resultados obtenidos demuestran que, con técnicas modernas, la predicción del ruido submarino es posible, siendo la onda generada de cancelación la composición de las ondas resultantes de la parametrización hidrodinámica, ruido de propulsión y ruido de maquinaria auxiliar.

Es todo un reto de cara a un futuro próximo emplear en la mar de forma activa técnicas como la cancelación de ruido, que permitan a las unidades obtener la ventaja táctica a partir de la ciencia.



## BIBLIOGRAFÍA

- ANTONY, Thomas: *Active Noise and Vibration Controls in Submarines*. Kerala, India: Naval Physical Oceanographic Laboratory.
- BUTLER, Stephen C. (2018): *Properties of transducers: Underwater sound sources and receivers*.
- CYCHOSZ, Dan (2018): *Demystifying fluid turbulence, velocity and fluid measurement*. Emerson Automation Solutions.
- JUÁREZ ENRÍQUEZ, P. Á. (2020): *Diseño de una metodología para la modelización acústica 3D mediante elementos finitos de dispositivos con monolito en sistemas de escape de vehículos. Aplicación a filtros de partículas diésel*. Universitat Politècnica de València.
- GARCÍA GARCÍA, Sergio (2020): *Mantenimiento de la discreción acústica de un submarino*. Universidad Politécnica de Cartagena.
- INC, ANSYS (2016): *Documentation and Training*. ANSYS Academic Research.
- GONZÁLEZ DEL TÁNAGO LANDÍN, Fernando (2023): *Tecnología Active Noise Cancelling en la guerra submarina*. Cartagena.
- HERNÁNDEZ MARTÍNEZ, Reyes (2022): *Análisis del ruido radiado al mar por buques y su influencia en el entorno marino*. Universidad Politécnica de Cartagena.
- GERHART, A. L.; HOCHSTEIN, J.; GERHART, P. M. (2016): *Fundamentals of fluid mechanics*. Munson, Young and Okishii's: Wiley.
- NEWMAN, J. N. (1977): *Marine Hydrodynamics*. MIT Press.
- OÑATE, E.; CELIGUETA, M. A.; IDELSOHN, S. R.; DEL PIN, F. (2005): *El método de partículas y elementos finitos: aplicaciones en ingeniería de puertos*. Universitat Politècnica de Catalunya.
- FERNÁNDEZ PERLES, J. (2003): *Introducción a la acústica submarina*. Universidad Politécnica de Cartagena.
- GARCÍA RUBIO, Daniel (2015): *Cancelación activa del ruido utilizando el KIT TMS320C5515 EZDSP*. Trabajo Fin de Grado, ETSI y Sistemas de Telecomunicación. Universidad Politécnica de Madrid.
- DE VEHI SARRAZIN, J. M. (2016): *Mallado de geometrías complejas mediante CFD*. Trabajo Fin de Grado. Universitat Politècnica de Catalunya.
- OCHOA SUÁREZ, D. M.; VIVAS, J.; SANTAFÉ, E. (2009): «Uso del método de elementos finitos (FEM) para la determinación de esfuerzos y deformaciones en un modelo de pozo». *Revista Fuentes*, 7(1), pp. 27- 35.
- WANG, X.; HUANG, Q.; PAN, G. (2021): «Numerical research on the influence of sail leading edge shapes on the hydrodynamic noise of a submarine». *Applied Ocean Research*, 117(6):102935.

Parada naval en Motril en el DIFAS 2023.  
(Foto: Jerónimo Ugarte Blanco)

