



1821 Universidad de Buenos Aires

Resolución Consejo Directivo

Número:

Referencia: EX-2024-07033002- -UBA-DMESA#FCEN - POSTGRADO - Sesión
10/05/2025

VISTO:

La nota presentada por la Dirección del Departamento de Ciencias de la Atmósfera y los Océanos, mediante la cual eleva la información del curso de posgrado Fundamentos de Acústica Submarina (DOC8800662) para el año 2025,

CONSIDERANDO:

lo actuado por la Comisión de Doctorado,

lo actuado por este Cuerpo en la sesión realizada el día 10 de marzo de 2025,

en uso de las atribuciones que le confiere el Artículo 113° del Estatuto Universitario,

EL CONSEJO DIRECTIVO DE LA FACULTAD

DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES

RESUELVE:

ARTÍCULO 1º: Aprobar el dictado del curso de posgrado **Fundamentos de Acústica Submarina** (DOC8800662) de 128 horas de duración, que será dictado por el Dr. Martín Saraceno, con la colaboración del Mg. Igor Prario y de la Lic. Silvia Blanc.

ARTÍCULO 2º: Aprobar el programa del curso de posgrado **Fundamentos de Acústica Submarina** (DOC8800662) que como anexo forma parte de la presente Resolución, para su dictado en el primer cuatrimestre de 2025.

ARTÍCULO 3º: Aprobar un puntaje máximo de cinco (5) puntos para la Carrera de Doctorado.

ARTÍCULO 4º: Establecer un arancel de **CATEGORÍA BAJA**, estableciendo que dicho arancel estará sujeto a los descuentos y exenciones estipulados mediante la Resolución CD N.º 1072/19. Disponer que los fondos recaudados ingresen en la cuenta presupuestaria habilitada para tal fin, y sean utilizados de acuerdo a la Resolución 072/03

ARTÍCULO 5º: Disponer que, de no mediar modificaciones en el programa, la carga horaria y el arancel, el presente Curso de Posgrado tendrá una vigencia de cinco (5) años a partir de la fecha de la presente Resolución.

ARTÍCULO 6º: Comuníquese a todos los Departamentos Docentes, a la Dirección de Estudiantes y Graduados, a la Biblioteca de la FCEyN y a la Secretaría de Posgrado con copia del programa incluida. Cumplido, pase ATMOSFERA#FCEN y resérvese.

ANEXO

PROGRAMA

I. FÍSICA DE LA PROPAGACIÓN DEL SONIDO

Concepto de fluido, fluidos ideales y reales. Campo vectorial de velocidad de las partículas del fluido. Ecuación de movimiento (Naval-Stokes). Ecuación de continuidad. Ley de Hooke. Sonido. Presión. Presión acústica. Densidad. Elasticidad. Potencial Acústico. Campo acústico. Acústica Ondulatoria. Ondas acústicas, homogéneas (compresionales o longitudinales, y transversales o de corte) e inhomogéneas. Ecuación de onda sin y con fuentes. E. de D'Alambert y de Poisson respectivamente). Métodos de resolución: Función de Green, Método de Imágenes. Condiciones de Contorno. Ondas armónicas. Ecuación de Helmholtz. Frentes de onda planos, cilíndricos y esféricos.

II. EL OCÉANO COMO MEDIO ACÚSTICO

Notas históricas. Problemas directo e inverso: Acústica Submarina y Oceanografía Acústica. Dependencia de la temperatura con la profundidad. Perfiles típicos. Concepto de termoclima. Profundidad de napa acústica. Velocidad del sonido en el mar. Fórmulas empíricas. Criterio acústico para distinguir entre aguas profundas y poco profundas.

III. ACÚSTICA GEOMÉTRICA

Rango de validez. Ecuación de la Eikonal. Ley de Snell generalizada. Trazado de Rayos. Casos de isovelocidad, gradientes positivo y negativo. Combinaciones.

(Comentario: Se explorarán los fundamentos de los modelos basados en el trazado de rayos acústicos como aproximaciones prácticas a la solución de la Ecuación de Onda y algunas de sus aplicaciones).

IV. DEFINICIONES BÁSICAS, UNIDADES Y NIVELES DE REFERENCIA

Unidades usadas en Acústica Submarina. Impedancia acústica. Casos particulares. : ondas planas, cilíndricas y esféricas. Intensidad y Potencia acústicas. Densidad de Energía Acústica. Densidad de Flujo de Energía. Unidades básicas. Decibel acústico.

Nivel de una Señal. Nivel de Banda y Nivel Espectral.

V. ECUACIÓN SONAR

Consideraciones básicas. Acronismo SONAR. Definición de los parámetros sonar dependientes del equipo, del medio y del blanco. Combinaciones de parámetros. Nivel de Eco. Figura de Mérito. Casos activo y pasivo. Sistemas sonar monoestático y biestático. Efectos Doppler. Dispersión geométrica (spreading); simetrías esférica y cilíndrica. Atenuación. Absorción de sonido. Causas físicas. Coeficiente de Absorción Logarítmico. Dependencia con la frecuencia y la profundidad. Rango de transición entre el dominio de la dispersión geométrica y el de la absorción. Pérdidas por transmisión para distintas simetrías. Ecuaciones sonar. Aplicaciones. Predicción de alcances y diseño de sonares.

VI. CANALES SÓNICOS

VI.I Aguas profundas

Canales de superficie (Mixed layers). Rayo límite. Distancia de salto y ángulos de inclinación. Cálculo de Pérdidas por Transmisión con un modelo simple. Rango de transición. Coeficiente de Pérdidas. Canales SOFAR. Cáusticas y zonas de convergencia. Modelación.

VI.II Aguas poco profundas

Transmisión de sonido a grandes distancias en una guía de onda. Modos Normales. Frecuencia de corte. Condiciones de contorno: superficie libre del mar y fondo oceánico perfectamente rígido. Modelación.

VII. INTERACCIÓN DE ONDAS ACÚSTICAS CON INTERFASES PLANAS.

Concepto de los fenómenos físicos de: dispersión acústica (scattering), reflexión, difracción. Coeficientes de reflexión y transmisión, de presión, intensidad y potencial acústico, de ondas planas incidentes sobre interfases planas. Conservación de la energía acústica en términos de los Coeficientes de reflexión y transmisión. Ángulos críticos, de intromisión y de inclinación.

(Comentario: se incluirán discusiones sobre las técnicas acústicas y oceanográficas actualizadas para mediciones in situ de parámetros acústicos y de propiedades físicas de

los sedimentos marinos).

VIII. RUIDO

Tipos de ruido: ambiental, irradiado y propio. Fuentes de ruido ambiente. Causa predominante en cada banda de frecuencia (0.5 Hz – 100 kHz) en aguas profundas. Fuentes de ruido en aguas poco profundas.

(Comentario: el conocimiento cuantitativo del Nivel de Ruido Ambiente contribuye críticamente a la precisión con que puedan resolverse las Ecuaciones SONAR, en su carácter de dato de entrada a las mismas. Se presentarán ejemplos de casos de ruido generado por fuentes de origen natural y antrópico).

IX. REVERBERACIÓN

Concepto de dispersión acústica. Fuerza de Dispersión y de Retro-Dispersión (backscattering). Dispersión de Volumen y de Superficie. Capa Dispersora profunda. Dispersión por burbujas. Fuerza de Blanco.

(Comentario: se discutirán y analizarán los orígenes de la reverberación acústica en el océano como asimismo sus efectos sobre la detección sonar. Se efectuarán comparaciones con los efectos del ruido ambiente).

X. FUENTES SONORAS IMPULSIVAS

Cargas Explosivas, sparkers, boomers, cañones de aire, etc. Rangos de frecuencia de operación.

(Comentario: se proveerán descripciones generales de diversos tipos de fuentes sonoras intensas. Se presentarán aplicaciones a distintos campos de la oceanografía con ejemplos sobre actividades de carácter experimental in-situ).

XI. TRANSDUCTORES Y SISTEMAS SONAR

Fundamentos sobre el comportamiento de sistemas eléctricos y mecánicos oscilantes. Energía irradiada por un transductor electrostictivo. Índice de Directividad en transmisión y recepción. Factor de Directividad. Relación entre el Nivel de fuente, la potencia eléctrica y el Factor de Directividad. Arreglos de transductores. Arreglo lineal

de elementos igualmente equiespaciados. Arreglo lineal continuo. Arreglo plano circular. Arreglos acoplados. Teorema del Producto. Shading. Ganancia de un arreglo. Cavitación. Principio de funcionamiento de distintos sistemas SONAR.

(Comentario: se describirán los procesos de diseño, construcción y comportamiento de los arreglos de transductores, proveyéndose ejemplos de arreglos fijos, desplegados y arriables para usos civiles y militares).

BIBLIOGRAFÍA

Abramowitz, M. & Stegun, I.A., Handbook of Mathematical Functions, (Dover Publications, Inc., New York) (1972).

Ainslie, M. A. Principles of sonar performance modelling (Vol. 707). Berlin: Springer. (2010).

Batchelor, G.K., An Introduction to Fluid Dynamics, (Cambridge University Press) 1970).

Brekhovskikh, L.M., Waves in Layered Media. Second Edition, (Academic Press) (1980).

Caruthers J.W., Lectures on Marine Acoustics, (College Station, Texas) (1971).

Clay, C.S. & Medwin, H., Acoustical Oceanography: Principles and Applications, (John Wiley & Sons) (1977).

Etter, P.C., Underwater Acoustic Modeling and Simulation. Third Edition, (Spon Press) (2003).

Ewing, W.M., Jardetzky, W.S. & Press, F., Elastic Waves in Layered Media, (McGraw-Hill Book Company) (1957).

ISO 18405:2017. Underwater acoustics - Terminology. [Current version online, reviewed and confirmed in 2022] Available: <https://www.iso.org/standard/62406.html>

Jensen, F.B., Kuperman, W.A., Porter, M.B. & Schmidt, H., Computational Ocean Acoustics, (AIP Press) (1994).

Kinsler, L. E., Frey, A. R., Coppens, A. B., & Sanders, J. V. Fundamentals of acoustics.

John Wiley & Sons. (2000).

KRUPP ATLAS ELEKTRONIK, Fundamentals of Hydroacoustic Technology, (Krupp Atlas-Elektronik Bremen).

Kuperman, W.A., Introduction to Ocean Acoustics, (Marine Physical Laboratory) (2013).

Landau, L.D. & Lifchitz, E.M., Mécanique des Fluides, (Editions Mir) (1971).

MacLennan, D.N. & Simmonds, E.J., Fisheries Acoustics, (Chapman & Hall) (2010).

MARINE NATIONALE Détection Sous Marine, Aide Mémoire D'Acoustique Sous-Marine, (Laboratoire D.S.M. DU Brus) (1968).

Medwin, H. & Clay, C.S., Fundamentals of Acoustical Oceanography, (Academica Press) (1998).

Medwin, H., Sounds in the Sea, (Cambridge University Press) (2005).

Officer, C.B., Introduction to the Theory of Sound Transmission With Application to the Ocean, (McGraw-Hill Book Company, Inc) (1958).

Pierce, A.D., Acoustics, (Acoustical Society of America) (1991).

Robinson, S.P., Lepper, P. A. and Hazelwood, R.A. Good Practice Guide for Underwater Noise Measurement, NPL Good Practice Guide No. 133, National Measurement Office, Marine Scotland, The Crown Estate. ISSN: 1368-6550. (2014).

Santaló, L.A., Vectores y Tensores con sus aplicaciones. 14a Edición, (EUDEBA) (1993).

Sherman, C. H., & Butler, J. L. Transducers and arrays for underwater sound (Vol. 4). New York: Springer. (2007).

Tolstoy & Clay, C.S., Ocean Acoustics, (McGraw-Hill) (1966).

Tucker, D.G. & Gazey, B.K., Applied Underwater Acoustics, (Pergamon Press) (1966).

Urban, H.G., Handbook of Underwater Acoustic Engineering, (STN ATLAS El-ektronik GmbH) (2002).

Urick, R.J., Ambient Noise in the Sea, (Undersea Warfare Technology Office) (1984).

Urick, R.J., Principles of Underwater Sound, (McGraw-Hill Book Company) (1975).

Lecturas recomendadas:

Affatati, A., Scaini, C., & Salon, S. Ocean sound propagation in a changing climate: Global sound speed changes and identification of acoustic hotspots. *Earth's Future*, 10(3), e2021EF002099. (2022).

Ainslie, M. A., Halvorsen M. B., and Robinson S. P., A terminology standard for underwater acoustics and the benefits of international standardization. *IEEE Journal of Oceanic Engineering* 47(1), 179-200. (2021).

Ainslie, M. A., Martin, S. B., Trounce, K. B., Hannay, D. E., Eickmeier, J. M., Deveau, T. J., ... & Borys, P. International harmonization of procedures for measuring and analyzing of vessel underwater radiated noise. *Marine Pollution Bulletin*, 174, 113124. (2022).

Breitzke, M., & Bohlen, T. Modelling sound propagation in the Southern Ocean to estimate the acoustic impact of seismic research surveys on marine mammals. *Geophysical Journal International*, 181(2), 818-846. (2010).

Cabreira, A. G., Madirolas, A., Alvarez Colombo, G., Acha, E. M., & Mianzan, H. W. Acoustic study of the Río de la Plata estuarine front. *ICES Journal of Marine Science*, 63(9), 1718-1725. (2006).

Collins, M. D. A split-step Padé solution for the parabolic equation method. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 93(4), 1736-1742. (1993).

Cotter, E., Bassett, C., & Lavery, A. Comparison of mesopelagic organism abundance estimates using in situ target strength measurements and echo-counting techniques. *JASA Express Letters*, 1(4). (2021).

Dall'Osto, D. R. Source triangulation utilizing three-dimensional arrivals: Application to the search for the ARA San Juan submarine. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 146(3), 2104-2112. (2019).

Dickinson, A., & Gunn, K. L. The next decade of seismic oceanography: possibilities, challenges and solutions. *Frontiers in Marine Science*, 9, 736693. (2022).

Duarte, C. M., Chapuis, L., Collin, S. P., Costa, D. P., Devassy, R. P., Eguiluz, V. M., ... & Juanes, F. The soundscape of the Anthropocene ocean. *Science*, 371(6529), eaba4658. (2021).

- Furusawa, M., & Amakasu, K. The analysis of echotrace obtained by a split-beam echosounder to observe the tilt-angle dependence of fish target strength in situ. *ICES Journal of Marine Science*, 67(2), 215-230. (2010).
- Heaney, K. D., Campbell, R. L., & Snellen, M. Long range acoustic measurements of an undersea volcano. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 134(4), 3299-3306. (2013).
- Jiang, P., Lin, J., Sun, J., Yi, X., & Shan, Y. Source spectrum model for merchant ship radiated noise in the Yellow Sea of China. *Ocean Engineering*, 216, 107607. (2020).
- Morozov, A. N., & Lemeshko, E. M. Methodical aspects of the application of acoustic doppler current profilers in the black sea. *Physical Oceanography*, 16, 216-233. (2006).
- Nieukirk, S. L., Mellinger, D. K., Moore, S. E., Klinck, K., Dziak, R. P., & Goslin, J. Sounds from airguns and fin whales recorded in the mid-Atlantic Ocean, 1999–2009. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 131(2), 1102-1112. (2012).
- Prario, I., Cinquini, M., Marques Rojo, R., Gonzalez, J. D., Lavia, E., Bos, P., & Blanc, S. Characterization of the acoustic event associated with the loss of the ara san juan submarine based on long-range measurements by CTBTO's hydrophone stations. *Pure and Applied Geophysics*, 180(4), 1317-1342. (2023).
- Prior, M. K., Ainslie, M. A., Halvorsen, M. B., Hartstra, I., Laws, R. M., MacGillivray, A., ... & Wang, L. Characterization of the acoustic output of single marine-seismic airguns and clusters: the Svein Vaage dataset. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 150(5), 3675-3692. (2021).
- Song, H., Gong, Y., Yang, S., & Guan, Y. Observations of internal structure changes in shoaling internal solitary waves based on seismic oceanography method. *Frontiers in Marine Science*, 8, 733959. (2021).
- Thornton, B., Asada, A., Bodenmann, A., Sangekar, M., & Ura, T. Instruments and methods for acoustic and visual survey of manganese crusts. *IEEE Journal of Oceanic Engineering*, 38(1), 186-203. (2012).