

La acústica submarina y su desarrollo desde la creación del Instituto de Acústica

Ranz, C.(a), Cobo, P.(a), Carbo, R.(a), Santiago, J. S. (a),
Soler, A.M.(b), Briones, J.M.(c), Jimeno, I.(d), Muñoz, N.(d),
Camarasa, M.(e), y Recuero, M.(f)
(a) Instituto de Acústica CSIC; (b) Físico;
(c) Ministerio de Defensa (d) Airtel; (e) EUITI; (f) ETSII

PACS: 43.30.Xm; 43.30.Yj; 43.30.Vh; 43.30.Nb; 43.30.Ma

Resumen

La Acústica Submarina fue una de las líneas de la Acústica que se desarrollan en el Instituto desde los primeros tiempos. Este trabajo describe como se inició, como se desarrolló y el estado actual de este campo.

Summary

Underwater Acoustics was one line of Acoustics first developed at the Instituto de Acústica. This paper presents a description of the activities in the underwater field, done since 1969, when the Underwater Tank was installed, up to the present times.

1. Una breve introducción

El laboratorio de Hidroacústica surge como extensión natural del Instituto de Acústica en el año 1965. La infraestructura del Laboratorio se inicia con la construcción del tanque de experimentación, el primero que existió en nuestro país. El dimensionado del Tanque responde a ciertos condicionantes sobre la “limpieza” de la señal “directa” frente a los numerosos ecos de las superficies límites, del tipo de experiencia y de la forma del emisor/receptor acústico: pistón, array lineal, array bidimensional, así como de la “selectividad” (factor Q) de los emisores empleados, (1).

2. Temas de especialización

2.1. Transductores

Cualquiera que se haya visto involucrado con el diseño de transductores sabe de lo dificultoso que puede resultar

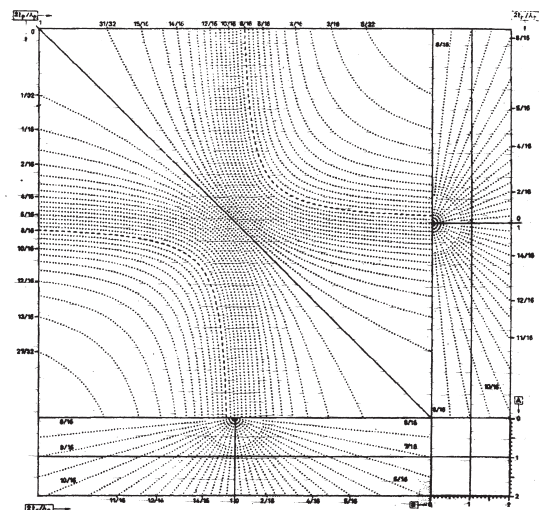


Figura 1. Abaco para resolver la ecuación del Transductor “sandwich”. Los ábacos lateral e inferior miden (en λ) la cabeza y contramasa. El espesor del piezoeléctrico es el parámetro de las curvas centrales. A y B son relaciones de impedancia de cabeza y contramasa frente al piezoeléctrico

este tarea. Nuestros primeros pasos se dirigieron a independizar nuestra actividad de diseños externos y así disponer de estructuras transductoras propias. En emisión el esfuerzo del laboratorio se dirigió a emisores con estructura “sandwich”. Fruto de este trabajo fue el modelo unidimensional de estructura transductora. La figura 1, presenta la resolución gráfica del modelo general y para cualquier piezoeléctrico, contramasa y cabeza radiante. El modelo evaluaba también la “ganancia” del transductor. Las estructuras mas utilizadas fueron también objeto de soluciones particulares. Aquellos trabajos se complementaron con una estimación teórica y experimental, adecuada, del espesor de la cabeza radiante (2-6). También fueron varias la estructuras hidrofónicas diseñadas y construidas en el laboratorio; una de estas estructuras fue objeto de contrato por una empresa y patentado para su explotación. Este hidrófono estaba dirigido a las bajas y muy bajas frecuencias de interés en Defensa. En relación con este tema debemos citar la puesta a punto de un sistema de calibración de hidrófonos en este margen de frecuencias, (7-8).

2.2. Sonar

El paso siguiente fue la realización de sensores y agruparlos construyendo algunas estructuras sonar como arrays lineales y superficiales en los que se mejoraba la direccionalidad. Estructuras de este tipo fueron: Sonar pesquero IA-1, (Activo y pasivo), Sonar de baja frecuencia con varias estructuras, cuya realización fue el motivo del trabajo fin de carrera de J. M. Briones, Sonar no lineal, Sonar de fondos IA-2, y los diseñados últimamente y contratados con una empresa para la estimación del volumen de material a extraer en un fondo marino, figura 2. (9-14).

2.3. Estudio de fondos

La primera etapa del laboratorio se continúa, tras la incorporación de R. Carbó, con las contribuciones que se hacen sobre la reflexión/refracción del sonido en dióptrios. Por dioptrio se entiende el conjunto formado por una medio, donde generalmente se propaga la señal incidente (el agua), y otro medio u otros medios (sólidos o fluidos). Muy pronto esta línea deriva hacia el estudio de fondos marinos intentando relacionar la información del eco sonar con características del mismo fondo: velocidad de propagación del sonido, impedancia acústica, tamaño de grano, (15-21), etc.. La financiación de estos trabajos desde 1979, y los contactos con especialistas como H. Uberall y G. Gaunaud en USA, hacen que la producción del laboratorio incremente su cantidad y su calidad; por ejemplo se incide en el estudio de los gradientes de velocidad, de densidad, e inhomogeneidad en los sedimentos. El trabajo fin de carrera de M. Camarasa y posteriormente su Tesis, son buena prueba de ello (22-23). La incorporación al equipo de P. Cobo, la realización de su

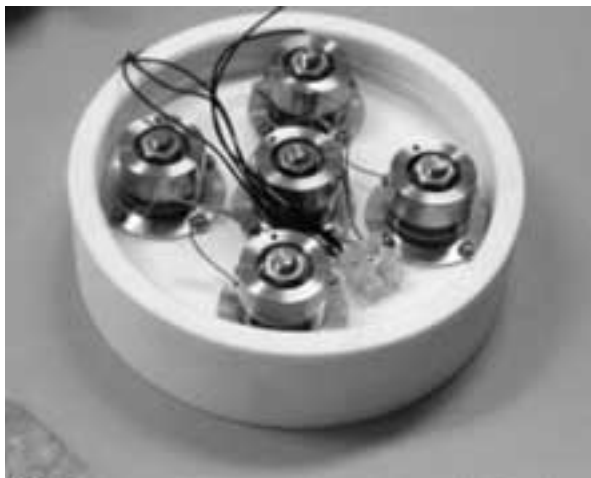


Figura 2. Array en cruz para exploración de fondos mostrando la disposición de los emisores elementales y una vez encapsulado.

tesis doctoral y su posterior etapa de especialización en la Universidad de Delft aportando su experiencia en procesos sobre deconvolución de ecos complementó esta línea de trabajo. En relación muy directa con este proceso hay que situar lo que se conoce como configuración de la forma de onda más adecuada para ser emitida por un determinado sonar; este proceso también desarrollado por Cobo, presenta una gran potencialidad en numerosos campos en los que es necesaria una alta resolución (24-33), en el caso que nos ocupa optimiza el proceso de exploración de fondos incrementando la resolución en la discriminación de los estratos sedimentarios.

La exploración de fondos como línea de trabajo ha cubierto una gran parte de la actividad del laboratorio pues han sido tres los proyectos subvencionados, vía Comité Hispano Americano y C.A.I.C.Y.T. El último de estos proyectos subvencionados iba dirigido a la extracción, además, de información sobre núcleos reflectores biológicos (tipo molusco)

enterrados en las primeras capas sedimentarias. Un trabajo sobre este tema fue presentado por el equipo participante en el ICA celebrado en Yugoslavia (1989), despertó la atención de muchos participantes, (34-35). Hay que citar la campaña conjunta que realizó el Laboratorio con SACLAN-CENT, el NORDA y la Universidad de Bolonia, el año 1983, motivado por el interés de algunos de los resultados presentados en Bath (36-37). Citamos aquí el trabajo fin de carrera de N. Lozano sobre fondos estratificados que significó una importante contribución, (38).

2.4 Predicción de Traza

La incorporación al laboratorio de A. Soler, procedente de la Cátedra de Física del Aire de la Complutense abre un camino en el que la Oceanografía y la Acústica se entrecruzan y facilitan una mejor comprensión de algunos fenómenos presentes en la propagación acústica. En concreto se elaboraron modelos de predicción de traza en sus componentes: Capa de Mezcla y Termoclinas. Unos resultados presentados en una reunión en Tel-Aviv despertaron el interés de la Oficina de Oceanografía de la Marina USA y parte del personal fue invitado a visitar algunos laboratorios en EEUU. (39-45).

2.4. Propagación del sonido en el mar

Por un lado el desarrollo de sonares como los pesqueros y los contactos que el laboratorio tenía con algunos centros de la Marina Española nos hicieron considerar la importancia de elaborar modelos de propagación. En los comienzos del Laboratorio sólo algunos modelos de rayos, o lo que es lo mismo modelos de alta frecuencia, se habían desarrollado y ese fue, por tanto, nuestro comienzo. A. Soler con la ayuda de un maravilloso, para aquella época, PDP 11-34 de Digital, puso a punto un código de propagación submarina incorporando algunos casos de dependencia con el alcance. P. Cobo en su proyecto fin de carrera, estudia la perturbación que los remolinos ciclónicos y anticiclónicos que se habían detectado alrededor de la corriente del Golfo, presentaban a la propagación acústica. Cobo desarrolla también un código para este caso. El interés no decayó a lo largo de todos estos años y muy recientemente se han incorporado códigos específicos basados en la Ecuación Parabólica como aplicación a entornos dependientes del alcance como son los casos de perfiles de fondo variable y/o paso de Ondas Internas. (46-50).

2.5. Infraestructura de experimentación en el medio real

Un laboratorio de Hidroacústica debe de considerar como una extensión natural de su actividad el paso a condiciones experimentales reales. El laboratorio tanque está lógicamente limitado por su misma estructura y naturale-

za. El medio real introduce una nueva “dimensión” desde el momento en que la plataforma de medida está sometida a los movimientos naturales implícitos en el oleaje: en el medio real la señal se mide en presencia de ruido, etc.. Estas fueron las razones que nos impulsaron a adquirir una infraestructura que permitiera dar el salto al medio real. Esta infraestructura, históricamente, estuvo representada por una lancha Zodiac, “Decibelio I”, en la que se ubicaba la instrumentación necesaria (alimentada con baterías) y el personal, a veces hasta tres personas: El bautismo de mar se llevó a cabo en el Pantano de Valmayor, del que se pasa en breve tiempo al de Buendía, y en una tercera etapa se llega hasta las aguas de la Bahía de Mazarrón y las próximas a Tiñoso y Torre de la Azohía en el Mediterraneo cartageno. La experiencia dictó la necesidad de acudir a una lancha algo mejor preparada, y para ello se adquirió con las subvenciones y contratos correspondientes, una embarcación Taylor 50, muy marinera y con cabina cubierta en la que se podía dejar el equipo de experimentación, de comunicaciones, y de trabajo, figura 3. A proa, y en un domo de diseño propio, se instaló una ecosonda ELAC específica de exploración de fondos. Se instaló en la embarcación un grupo electrógeno capaz de generar hasta 3 kw, de c.a., 220 volt, y una grúa capaz de ayudar en el manejo de equi-



Figura 3. Barco laboratorio “Decibelio II” calando un emisor en la Ría de Muros

pos pesados. Con esta embarcación se ha visitado las Rías gallegas (Muros), la costa entre Rota y Sanlúcar de Barrameda, Mazarrón y zonas de alrededor. Gran parte de las tareas del proyecto “Evaluación de la actividad biológica en las capas someras del fondo marino por deconvolución de ecos”, en las que también se hizo una estimación de la rugosidad de la interfase reflectora en el fondo marino, fue llevada a cabo con toda esta infraestructura. Fue una experiencia muy aleccionadora. (51-53). Hemos de recordar aquí el apoyo entusiasta de E. Mateos, E. de Costa, el fundamental de E. García y el siempre preciso de Vicente Díaz.

3. Otras actividades

Existe un número de actividades que si bien no han ocupado una parte principal del Laboratorio sí que han representado tareas que es justo reseñar.

Isabel Jimeno, realiza su trabajo fin de carrera sobre el scattering del sonido en discontinuidades. Este trabajo le sirve de base para iniciar un trabajo de Master en la Universidad Católica de Washington en 1985-86, acerca de la respuesta resonante de barras elásticas excitadas acústicamente, trabajo y Master que concluye en un solo año y que la permite realizar algunas publicaciones (54-56).

M. Recuero realiza su trabajo fin de carrera sobre un sistema limitador de ecos en el tanque hidroacústico del Instituto, sistema que se integró en los dispositivos de medida del tanque de experimentación y continúa su trabajo de Tesis sobre radiadores ultrasónicos escalonados, (57).

En la década de los 90 el laboratorio participó en algunas campañas del BIO Hespérides. En una primera se realizaron estudios de eco sondeo y estimación del ruido propio. Una segunda campaña llevó a cabo trabajos tendentes a caracterizar fondos marinos por técnicas de inversión y envolventes de los ecogramas (58-59).

Como actividad muy imbricada en el Laboratorio hemos de citar la nueva infraestructura de la que se dispone. Mediante un proyecto de infraestructuras, la CICYT, en su programa de Ciencias Marinas, en conjunción con el CSIC subvencionaron la nueva estructura de los puentes emisor y receptor del tanque de experimentación. En este momento es factible programar las actividades de medida, haciendo posible que cualquiera de los puentes, o los dos, se muevan según una determinada trayectoria y que emitan una señal o que adquieran otra señal en cualquier punto que se desee. Esto simplifica mucho las medidas y permite ejecutar actividades que si no fuera así estarían vedadas, como el levantamiento de características de materiales de uso en Acústica Submarina, o bien la exploración de campos acústicos de radiadores específicos, (Referencias). El tanque hidroacústico puede ser controlado, a través de Internet por cualquier usuario, autorizado, desde cualquier parte de la Tierra, (60-66).

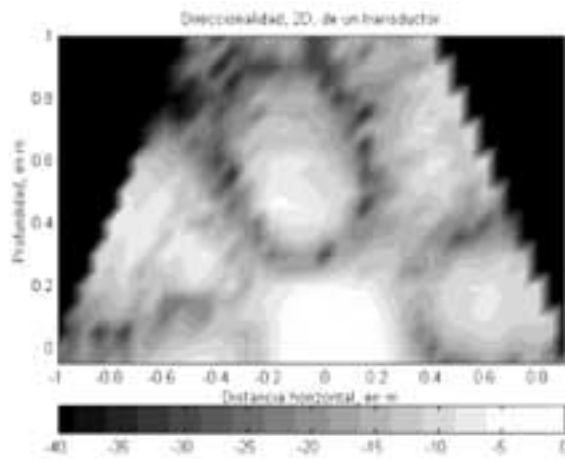


Figura 4. Campo acústico en 2D del array de la figura 2, medido en en tanque hidroacústico

4. Agradecimientos

Los autores no desearían cerrar este pequeño trabajo sin recordar muy especialmente a todas aquellas personas que a lo largo de estos años han contribuido de una manera más callada pero no menos efectiva a que muchos trabajos y proyectos fueran exitosos. En primer lugar al Prof. A. Lara por su constante apoyo entusiasta, y a J. Pons, para seguir con el personal de taller: Recio, Señor, Echegoyen y otros que no recordamos, a S. Remón y al personal de Secretaría por su inestimable ayuda, a los alumnos de ICAI, en especial a M. García y F.J. Santos. A todos muchas gracias.

5. Conclusiones

El laboratorio de Hidroacústica ha desarrollado una labor amplia a lo largo de estos años. Esperamos haber recogido los hitos más notables de esta historia interna. El laboratorio integrado en el Departamento de Acústica Ambiental, creemos que está preparado para hacer frente a las necesidades de experimentación que se estiman necesarias en los próximos años. Este objetivo, si se llega a cumplir, justificará la actividad desarrollada.

Referencias

- (1). Ranz, C. "A project of an underwater tank". Proceedings of the 6th International Congress on Acoustics. Tokio, 1968.
- (2). Ranz, C. "Contribución a la teoría de la radiación ultrasónica de transductores sandwich. Nuevo método de cálculo". Tesis Doctoral. Universidad Complutense. Madrid. 1972.
- (3). Ranz, C. "Impedancia característica transversal en cabezas radiantes de transductores sandwich". Revista de Acústica, 3 (4), pp: 132-139. 1972.
- (4). Dominguez, R., y Ranz, C. "Sandwich transducer simplified mathematical model (I y II)". ACUSTICA, 29, (3), pp: 156-167. 1973.
- (5). Ranz, C. y Dominguez, R. "Composite sandwich transducers with quarter wave length radiating layers", JASA, 58, (2), pp: 494-498. 1975.
- (6). Ranz, C. "Analysis of sandwich structures as sonic sources". Invited lecture. FASE, Second Congress. Varsovia. Sept. 1978.
- (7). Soler, A, Ranz, C. y Carbó, R. "Captador hidroacústico de baja frecuencia". Patente de invención, N° 527754, 1983.
- (8). Soler, A., Ranz, C., y Díaz, V. "Dispositivo de calibración relativa de hidrófonos en muy bajas frecuencias". Patente de invención, N° 527751, 1983.
- (9). Ranz, C, Bonis, C, Pérez, F, y Carbó, R. "Sonar pesquero convencional formado por un array de transductores sandwich elementales". España Pesquera, 32, pp: 49-51, 1976.
- (10). Ranz, C. "Non linear sonar fundamental characteristics", Anales de Física, 67 (4-6), pp:167-181. 1973.
- (11). Ranz, C, Carbó, R., Iglesias, F., Chao, R., y Montoya, F. "Emisor/receptor sonar de alta directividad para uso en batimetría y pesca formado por una asociación de transductores elementales". Patente de Invención N°. 527752
- (12). Cobo, P., y Ranz, C. "Diseño de los transductores". Memoria Técnica, nº 1. Instituto de Acústica. 2000.
- (13). Cobo, P., y Ranz, C. "Diseño de las formas de onda", Memoria Técnica nº 2. Instituto de Acústica. 2000.
- (14). Briones, J.M. "Emisor/receptor piezoeléctrico tipo sandwich con pretensado axial para sonar de baja frecuencia". Tesis de Licenciatura. Universidad Complutense. Madr. 1978.
- (15). Ranz, C., y Carbó, R. "Echo formation by dioptric systems with high acoustic impedance mismatch". Proceedings Open Seminar on Acoustics. Pp: 170-173. Gdansk, Polonia. 1977.
- (16). Carbó, R. "Influencia de las características físicas de los dióptricos en la deformación de señales sonar". Tesis Doctoral. Universidad Complutense. Madrid. 1982.
- (17). Freedman, A. "Seminar on high frequency scattering and radiation of transients". Revista de Acústica, 11, (1-2), pp: 34-52. 1980.
- (18). Carbó, R., y Ranz, C. "Underwater echo distortion caused by solid dioptrics". Proceedings of the IX ICA. Madrid. Pp: 641. 1977.
- (19). Camarasa, M., Carbó, R., Ranz, C. y Soler, A. "Transmisión de una señal acústica en un medio con gradiente de velocidad". Revista de Acústica. 14, (3), pp: 103-111. 1983.
- (20). Carbó, R., Camarasa, M., Ranz, C., y Soler, A. "Modelo acústico de fondo marino. Cálculo del coeficiente de reflexión complejo, $R(w)$, para un fondo semiinfinito y una capa, ambos con gradiente de densidad". Anales de Física, 72, (2), pp: 108-115, 1983.
- (21). Carbó, R, Ranz, C. y Soler, A. "Echo deformation due to the density gradient on the sea sediments", Proceedings, International Symposium on Underwater Acoustics. Tel-Aviv. 1981.
- (22). Camarasa, M. "Propagación de ondas sonoras en fondos marinos". Tesis de Licenciatura. Universidad Complutense. Madrid. 1981.
- (23). Camarasa, M. "Contribución a la teoría de Biot sobre propagación de ondas acústicas en sedimentos saturados en una mezcla de fluidos. Teoría generalizada de Biot". Tesis Doctoral. Universidad Complutense. Madrid. 1992.
- (24). Cobo, P., y Ranz, C. "Inversion of sea bottom acoustic reflection data: Goupillaud model". Acoustic and Ocean Bottom. FASE Symposium. Madrid., pp: 239-249. SEA-CSIC. 1987.
- (25). Cobo, P., Ranz, C., y Carbó, R. "Deconvolution applied to normal incidence reflection acoustic data in sea bottoms". Proceedings, XIII ICA, Belgrado. Vol. 5, pp:195-198. 1989.
- (26). Cobo, P., y Ranz, C. "Impedance profile and overall attenuation estimation of layered sea bottoms from their normal incidence acoustic reflection response". JASA, 85, pp:2388-2393, 1989.
- (27). Cobo, P., y Ranz, C. "Direct and inverse problem in layered sea bottoms including attenuation synthetic data". ACUSTICA, 69, pp: 81-87. 1989.
- (28). Cobo, P. y Ranz, C. "Deconvolution applied to high frequency echograms in sea bottoms". JASA, 87, pp: 662-667. 1990.

- (29). Cobo, P. "Inversión de datos en reflexión acústica de alta frecuencia en fondos marinos". Tesis Doctoral. Universidad Complutense. Madrid. 1988.
- (30). Cobo, P. y Berkhout, A. J. "Constant Q absorption model for high frequency acoustic exploration of sea subbottoms". *ACUSTICA*, 75, (1), pp:40-50. 1991.
- (31). Cobo, P. y Carbó, R. "Parametric equalization of sonar transducers by shaping deconvolution and its effects on the directivity pattern", *Acta Acústica*. 1, pp:101-109. 1993.
- (32). Cobo, P. "Signal processing techniques to increase the vertical resolution of the sea bottom echograms". *Curret Topics in Acoustical Research*, 1, pp: 1-11. 1994.
- (33). Cobo, P. "Application of shaping deconvolution to the generation of arbitrary acoustic pulses with conventional sonar transducers". *J. Sound Vib.* 188. Pp: 131-144. 1995.
- (34). Carbó, R., Ranz, C. y Cobo, P. "Estudio del scattering acústico de poblaciones de moluscos bivalvos, inmersos en agua". *Comunicaciones. XXI Bienal R.S.E.F.Q.*, pp: 717-718. 1987.
- (35). Carbó, R., Ranz, C. y Cobo, P. "Retrodifusión d'impulsions acoustiques par un ensemble de mollusques enterres aux fond marins sableux". *Proceedings. XIII ICA.* Belgrado. V. 4, pp: 415-418. 1989.
- (36). Ranz, C., y Carbó, R. "Impulsive response of sediment layers with variable density gradient". *Acoustics and the sea bed.* Bath University Press. Bath., pp: 51-61. 1983.
- (37). Akal, T, Curzi, P., y Michelozzi, E.. "Geoacoustic measurements: Physical properties variations and sedimentary processes" *SACLANT ASW Research Center Internal Report.* 1983.
- (38). Lozano, N. "Respuesta impulsiva y señal sonar reflejada en fondos marinos representativos de estructuras sedimentarias". Tesis de Licenciatura. Universidad Complutense. Madrid. 1983.
- (39). Soler, A., y Ranz, C. "Predicción de la traza celerimétrica en función de la radiación solar y del viento". *Comunicaciones 50 Aniversario.* Real Soc. de Fis. Y Quim. Madrid. 1978.
- (40). Soler, A. Ranz, C., Carbó, R., y Chinchurreta, F. J. "Evolución espacio temporal de la estructura de la velocidad del sonido en el Estrecho de Gibraltar y mares adyacentes". *Comunicaciones a la XVIII Reunión Bienal de la Real Soc. de Física y Química.*, pp: 7-37, !-2. Burgos. 1980.
- (41). Soler, A., Ranz, C. y Carbó, R. "Sea sound profile prediction model". *Proceedings. International Symposium on Underwater Acoustics.*, pp: 48-57. Tel-Aviv. 1981.
- (42). Soler, A., y Ranz, C. "Factores que limitan la velocidad de propagación del sonido en el mar. Predicción de la Capa de Mezcla Superficial Atlántica y Mediterránea". *Revista de Acústica*, 10, (22), pp: 54-62. 1979.
- (43). Soler, A., y Ranz, C. "Modelos de traza batitérmica. Predicción de la Termoclina estacional Atlántica y Mediterránea". *Revista de Acústica.* 10, (3), pp: 162-170. 1979.
- (44). Soler, A., y Ranz, C. "Valores estadísticos de la traza de velocidad sonora y sus componentes: temperatura y salinidad, correspondientes al Golfo de Cádiz". *Revista de Acústica.* 10, 4, pp: 6-23. 1979.
- (45). Soler, A., Ranz, C., Carbó, R., y Camarasa, M. "Mean Sound speed profile and its distribution in the Alboran Sea". *Proceedings. XI ICA.*, pp: 443-447. Paris. 1983.
- (46). Cobo, P. "Modelo de propagación acústica a través de remolinos ciclónicos en el Océano". Tesis de Licenciatura. Universidad Complutense. Madrid. 1983.
- (47). Cobo, P. "Modelo de propagación a través de remolinos ciclónicos en el Océano". *Revista de Acústica.* 15, (1-2), pp: 38-54. 1984.
- (48). Cobo, P., Ranz, C. y Soler, A. "Estudio de la alteración de la distribución de zonas de sombra e insonificadas en presencia de remolinos ciclónicos en el Océano". *Revista de Acústica.* 16, (1-2), pp: 12-17, 1985.
- (49). Ranz, C. "Oceanografía Acústica. EP Descripción y Código". Instituto de Acústica. Memoria Interna. 89 pp. 1999.
- (50). Ranz, C. y Cobo, P. "Modelización de la Propagación Acústica en el mar". Curso Monográfico. Editado por ETSIAN. Madrid. 2000.
- (51). Carbó, R., Ranz, C., y Santiago, J. S. "Propeller noise as a source for sounding". *Acoustics and the Ocean Bottom.* FASE Symposium. SEA-CSIC. Madrid. pp: 271-278. 1987.
- (52). Ranz, C., Cobo, P., Carbó, R., y Santiago, J. S. "Influencia de la rugosidad de la superficie del agua en el eco sonar". *Comunicaciones. XXI Reunión Bienal de la Real Soc. De Física.*, pp: 719-720. Salamanca. 1987.
- (53). Ranz, C., Cobo, P., y Carbó, R. "Filtering the roughness scattering response out of the normal incidence sea floor echo signal". *Proceedings. XIII ICA.* Vo. 5, pp: 191-194. Belgrado. 1989.
- (54). Jimeno, I, Ranz, C., y Carbó, R. "Estudio del backscattering producido por objetos sumergidos en agua". *Revista de Acústica*, 15, (3), pp: 213-219. 1984.

- (55). Jimeno, I, Überall, H., Madigosky, W. M., y Fiorito, R. "Resonant transfer in longitudinal vibration testing". *JASA*, 80, (5), pp: 594 (A). 1986.
- (56). Jimeno, I, y Überall, H. "Resonance decomposition for the vibratory response of a viscoelastic rod". *JASA*, 91 (4), pp: 2030-2033. 1992,
- (57). Recuero, M. "Contribución a la teoría de amplificadores vibratorios: aproximación a estructuras de simetría axial con perfil continuo, apartir de un número finito de guías de onda consecutivas". Tesis doctoral. Universidad Autónoma de Madrid. 1979.
- (58). Carbó, R., Cobo, P. y Santiago, J.S. "Alta resolución en el sondeo de fondos marinos a gran profundidad". Comunicaciones a la XXIV Bienal de la Real Sociedad Española de Física, pp: Ac 3. Jaca. 1993.
- (59). Cobo, P. y Carbó, R. "Acoustic characterization of sea bottoms by means of envelope evaluation of their echograms", 2nd. European Convergence on Underwater Acoustics. Elsevier. 1994.
- (60). Ranz, C., y cobo, P. "Underwater acoustic tank evaluation of acoustic properties of samples using spectrally dense signals". *JASA*, 105 (2). Part 2., pp: 1054. 1999.
- (61). Ranz, C. y Cobo, P. "Métodos de medida vía secuencias de máxima longitud, incorporados al laboratorio tanque de experiencias del Instituto", *Acústica 98. Congreso Ibérico de Acústica. Tecnoacústica 98. Proceedings*, pp: 249-252. Lisboa. 1998.
- (62). Ranz, C., y Cobo, P. "Underwater facility for automated experimentation and measurement". *JASA*, 103, (5). Part 2., pp: 2755. 1998.
- (63). Ranz, C. y Cobo, P. "Medida de las pérdidas por inserción y estimación de parámetros físicos representativos en paneles sumergidos en agua y utilizados como ventanas acústicas". *Tecnoacústica 99*. Avila. 1999.
- (65). Raz, C., y García, M. "Control remoto del tanque de experimentación hidroacústica del Instituto de Acústica del CSIC". *Tecnoacústica*. Avila. 1999.
- (66). Ranz, C. y García, M. "Primera demostración del control remoto, vía internet, desde Avila a Madrid de un tanque de experimentación en acústica submarina". *Tecnoacústica 99*. Avila. 1999.