



ESTUDIO PRELIMINAR SOBRE EL RUIDO EN TANQUES DE REPRODUCCIÓN DEL ATÚN ROJO

Pedro Poveda-Martínez^{1*}; Jesús Carbajo-San-Martín¹; Jaime Ramis-Soriano¹; Víctor Espinosa-Roselló²; Isabel Pérez-Arjona²; Fernando de-la-Gándara-García³; Aurelio Ortega-García³

¹Departamento de Física, Ingeniería de Sistemas y Teoría de la Señal. Univ. de Alicante
²Intitut d'Investigació per a la Gestió Integrada de Zones Costaneres, Univ. Politècnica de València,
³Centro Oceanográfico de Murcia. Instituto Español de Oceanografía

RESUMEN

El Centro Oceanográfico de Murcia, del Instituto Español de Oceanografía (IEO, CSIC), a lo largo de las últimas décadas, viene desarrollando numerosos proyectos para conseguir la cría en cautividad del Atún Rojo, llegando a completar con éxito el ciclo biológico en 2016 en instalaciones *offshore*. La Infraestructura Científico-Técnica Singular para el Cultivo del Atún rojo (ICTS-ICAR), situada en el municipio de Cartagena (Murcia), cuenta con cuatro tanques con un volumen total de 7000 m³ destinados al control de la reproducción del Atún Rojo. Las instalaciones poseen todos los elementos indispensables para garantizar el mantenimiento de los peces, incluyendo bombas de calor, sistemas de filtrado y oxigenación del agua, skimmers, etc. Sin embargo, tanto estos equipos como otros elementos del exterior de la instalación generan ruido que se transmite al interior de los tanques y, por tanto, puede ser percibido por los atunes. El ruido subacuático es responsable de numerosos daños en la fauna marina, tanto desde el punto de vista del comportamiento como del biológico. Si bien en Julio de 2023 se ha conseguido por primera vez la reproducción de los atunes ubicados en sus instalaciones, el ruido ambiente puede alterar el comportamiento de los individuos y reducir los rendimientos. En este trabajo se lleva a cabo un estudio vibroacústico preliminar de las instalaciones de ICAR, a fin de valorar su posible influencia sobre el bienestar de los peces.

ABSTRACT

The Murcia Oceanographic Centre of the Spanish Institute of Oceanography (IEO, CSIC), over the last few decades, has been involved in different projects to achieve the captive breeding of Bluefin Tuna, successfully completing the biological cycle in 2016 in offshore facilities. The Singular Scientific-Technical Infrastructure for Bluefin Tuna Farming

(ICTS-ICAR), located in Cartagena (Murcia), has four tanks with a total volume of 7000 m³ for the control of Bluefin Tuna reproduction. The facilities have all the essential elements to guarantee the maintenance of the fish, including heat pumps, water filtering and oxygenation systems, skimmers, etc. However, both this equipment and other elements outside the installation generate noise that is transmitted to the inside of the tanks and can therefore be perceived by the tuna. Underwater noise is responsible for a great deal of damage to marine fauna, both behaviourally and biologically. Although in July 2023 tuna reproduction was achieved for the first time in their facilities, ambient noise can alter the behaviour of individuals and reduce efficiencies. In this work, a preliminary vibroacoustic study of the ICAR facilities is carried out to assess its possible influence on the welfare of the fish.

Palabras Clave— vibroacústica, ruido ambiental, cautividad, bienestar peces.

1. INTRODUCCIÓN Y PLANTEAMIENTO

El atún rojo (*Thunnus thynnus*), también conocido como atún de aleta azul, tiene su origen en el océano Atlántico [1] y su presencia se extiende a los mares adyacentes como el Mar Mediterráneo o el Mar Negro [2]. Con un peso máximo cercano a los 725 kg [3-5] y una longitud que puede alcanzar los 3.3 m [6], su carne representa un alimento rico en ácidos grasos omega3, minerales y proteínas, por lo que se ha convertido en una de las especies más codiciadas del planeta. La alta demanda ha supuesto un incremento considerable de su precio en el mercado y, en consecuencia, ha convertido al atún rojo en un elemento de gran importancia económica, con un valor de primera venta cercano a los 183 millones de euros en España en 2022 [7].

* **Autor de contacto:** pedro.poveda@ua.es

Copyright: ©2023 First author et al. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 3.0 Unported License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

La creciente demanda de las últimas décadas ha supuesto una presión elevada sobre el atún rojo. La sobreexplotación de los mares ha dado lugar a una disminución de la biomasa y, por tanto, a la necesidad de una legislación más estricta de cara a proteger a la especie. La reducción cuotas de pesca (en 2023 la cuota de atún rojo en España es de aprox. 6.77 toneladas), la imposición de un límite de peso en las capturas, la mejora de los sistemas de conteo o la inversión en investigación científica son algunas de las acciones más significativas.

Durante las últimas décadas, el Instituto Español de Oceanografía (IEO, CSIC), a través del Centro Oceanográfico de Murcia, ha dedicado grandes esfuerzos a la protección de la especie, tratando de conseguir la cría en cautividad del Atún Rojo. De esta forma, tras 10 años de investigación, en 2016, el IEO llega a completar con éxito el ciclo biológico en instalaciones en mar abierto o instalaciones *offshore*, logrando, a partir de individuos adultos gestados y criados en cautividad, la puesta de alrededor de 50.000 huevos fértiles.

Durante los últimos años, la institución se ha centrado en conseguir un nuevo hito, la cría de Atún Rojo en instalaciones en tierra. Para ello, el IEO cuenta con la Infraestructura Científico-Técnica Singular para el Cultivo del Atún rojo (ICTS-ICAR) (figura 1), situada en el municipio de Cartagena (Murcia). El recinto dispone de cuatro tanques de gran tamaño que proporcionan un volumen total de 7000 m³ destinados al control de la reproducción del Atún Rojo. Actualmente, solo los tanques de mayor envergadura se encuentran ocupados. Los atunes existentes corresponden a ejemplares nacidos en cautividad y trasladados al ICTS-ICAR en 2015. Para garantizar la viabilidad de los individuos, las instalaciones cuentan con un sistema de filtrado, oxigenación y recirculación de agua, lo que supone la presencia de bombas de presión y/o tubos de succión/impulsión de agua (skimmers). Asimismo, los tanques cuentan con bombas de calor, lo que permite controlar la temperatura del agua según las necesidades de la población.



Figura 1. Vista general de las instalaciones de ICTS-ICAR.

Gran parte de los equipos destinados al mantenimiento de los atunes, así como otros agentes existentes en el entorno inmediato de las instalaciones (transpaleta, vehículos, obras, ...) son susceptibles de generar ruido en los tanques, ya sea a través de la propagación del sonido por vía aérea o de las vibraciones transmitidas por vía estructural. Este tipo de perturbaciones, inexistentes en un paisaje sonoro natural, pueden afectar al bienestar de los animales tanto desde el punto de vista biológico como del comportamiento. La acústica submarina resulta vital para un pez a la hora de conocer su entorno, comunicarse con otros individuos o detectar posibles amenazas [8]. Estudios recientes evidencian posibles lesiones internas y daños en las células sensoriales ante la exposición de los peces al ruido; alteraciones del metabolismo; cambios en las proteínas relacionados con el estrés; o cambios subletales como la reducción de las tasas de crecimiento y reproducción [9-14].

En julio de 2023, el proyecto llevado a cabo en el ICTS-ICAR da sus primeros resultados satisfactorios y alcanza un hito sin precedentes al conseguir por primera vez a nivel mundial la reproducción del atún rojo en instalaciones en tierra. Sin embargo, a pesar del éxito, el ruido ambiente puede alterar el comportamiento de los individuos y reducir los rendimientos. Por ello, resulta necesario estudiar y caracterizar las diferentes fuentes de ruido presentes en las instalaciones, así como valorar su nivel de influencia en el paisaje sonoro de los tanques. En este trabajo se lleva a cabo un estudio preliminar de las instalaciones de ICAR, a fin de valorar la posible influencia del ruido sobre el bienestar de los atunes.

2. BACKGROUND

Las instalaciones de ICAR cuentan con dos tanques de gran tamaño de 22 y 20 metros de diámetro respectivamente y 10 metros de profundidad (denominados en lo sucesivo tanque 1 y 2); y dos tanques pequeños, de 14 y 8 metros y una profundidad de 6 y 3 metros (tanque 3 y 4).

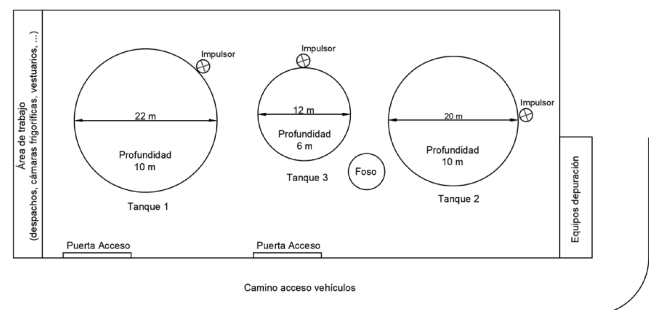


Figura 2. Disposición de los tanques y las fuentes de ruido dentro del recinto.

Cada tanque posee un sistema de filtrado, oxigenación y recirculación de agua completamente independiente instalado

en uno de los laterales de la nave. Asimismo, todos los tanques incluyen diversos tubos en su perímetro para el retorno del agua. Estos impulsores llevan a cabo el vertido a una altura exterior de aproximadamente 0.5 m respecto a la superficie del agua. El sistema de filtrado, siempre que el tanque albergue atunes, funciona de forma continua (24 h/día), pudiendo desconectarse manualmente para labores de mantenimiento. La figura 2 muestra la disposición de los tanques y la ubicación de las principales fuentes de ruido dentro del recinto.

Centrándonos en los aspectos acústicos del problema, merece la pena comenzar recordando las particularidades del campo sonoro, cuya definición puede ajustarse a la distribución espacial y temporal de la presión sonora. Pese a que la complejidad de dicho campo, dependiendo de la situación en la que nos encontremos, puede ser elevada, desde un punto de vista práctico, especialmente en cuanto a su medición se refiere, se aproxima frecuentemente a uno de los tres casos límite que a continuación se describen y cuyas propiedades han sido abordadas con frecuencia en la literatura: campo libre, campo difuso y campo estacionario.

Cuando hablamos de campo libre, nos referimos a aquella situación en la que la propagación de la energía sonora presenta una dirección claramente preferente. Estaríamos hablando, por ejemplo, de la propagación del sonido en aguas profundas. Hemos de recalcar, por tanto, que el atún rojo estaría sometido a este tipo de campo sonoro en condiciones de libertad, pero también se aproximaría en la mayoría de las instalaciones *offshore*. Por el contrario, un campo difuso es aquel en el que todas las direcciones son igualmente probables. Esta situación tiene lugar en grandes espacios cerrados cuando la longitud de onda es considerablemente inferior a las dimensiones del recinto. Podríamos, por tanto, asemejarlo a la situación estudiada en este trabajo. Sin embargo, teniendo en cuenta la velocidad de propagación del sonido en el agua y las dimensiones de los tanques, cabe esperar, a baja frecuencia, la existencia de un campo estacionario en el que se produzcan oscilaciones en fase o contrafase para todos puntos de una región. Esta situación dará lugar a la aparición de modos propios y, por tanto, a frecuencias de resonancia, maximizándose la presión sonora ante una fuente de excitación determinada. El uso de materiales absorbentes o elementos difusores en los paramentos exteriores del recinto podría ayudar en la reducción de dicho campo.

De acuerdo con las descripciones anteriores y teniendo en cuenta que los tanques estudiados no disponen de un acondicionamiento acústico específico, resulta evidente la presencia de un campo sonoro estacionario en el interior de los mismos. El contenido espectral de las fuentes de ruido puede dar lugar a la excitación de modos propios y, por tanto, generar resonancias indeseadas para los atunes. Una de las

principales fuentes de ruido la encontramos en la recirculación de agua. El sistema de tuberías retorna el fluido al interior del tanque dejándolo caer desde una altura determinada. Tanto la salida de agua del tubo como la caída sobre la superficie, ambas caracterizadas por la presencia de un flujo turbulento, generan una señal de banda ancha con una composición espectral muy amplia, algo que incrementa notablemente el riesgo de excitación de los modos propios del tanque.

Por otro lado, no existe constancia de un aislamiento acústico específico entre tanques, lo que puede llevar a una “contaminación cruzada” por la transmisión de vibraciones.

Atendiendo a lo expuesto anteriormente, resulta indispensable analizar tanto los niveles de ruido generados por cada una de las fuentes de excitación como su composición espectral. Asimismo, debe prestarse especial atención al grado de transmisión estructural entre tanques o a su comportamiento modal.

3. PASOS EN LA CARACTERIZACIÓN ACÚSTICA

Las medidas para la caracterización preliminar de las fuentes de ruido en las instalaciones de ICAR se llevaron a cabo en dos fases. En la primera de ellas, realizada durante el mes de mayo de 2023, se monitorizó el nivel de presión sonora en el entorno exterior de los tanques. Para ello, se dispusieron dos micrófonos de medida en las proximidades del tanque 1 (figura 3). Asimismo, se tomaron registros de la vibración existente en las paredes del tanque por medio de dos acelerómetros triaxiales colocados según se indica en la figura 4. La adquisición se llevó a cabo a través de un interrogador QUANTUMX MX1601B de la marca HBK, configurado con una frecuencia de muestreo de 9600 Hz. Se registraron señales de 1 minuto de duración con una periodicidad de 15 minutos durante 2 días.



Figura 3. Equipo de medida situado junto al tanque 1 y empleado en la caracterización de ruido y vibraciones.

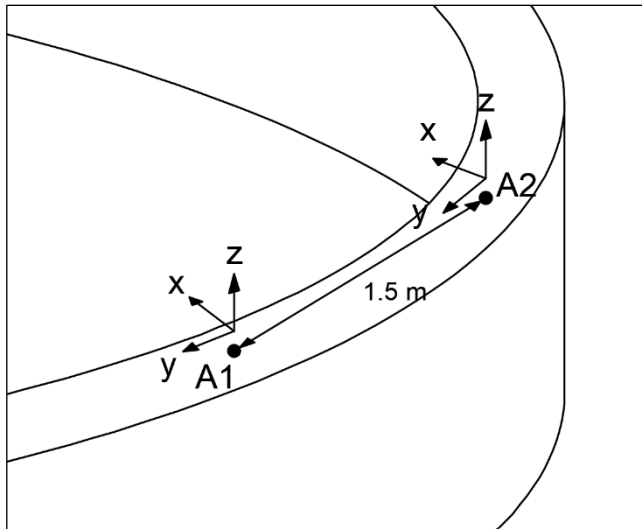


Figura 4. Disposición de los acelerómetros en el muro exterior del tanque 1.

La segunda fase del estudio se realizó en el mes de junio y se dividió en dos ensayos distintos. Por un lado, la caracterización del ruido de fondo y la influencia de los distintos sistemas de depuración y recirculación de agua en el interior de los tanques. Debido a que la época del ensayo coincidía con el periodo de reproducción de los atunes, el estudio se realizó en uno de los tanques de menor tamaño (tanque 3) sin individuos en su interior. Se analizó en este ensayo la influencia cruzada del sistema de depuración de otros tanques, midiendo las siguientes situaciones: 1 – ruido de fondo - BN; 2 – sistema activo en tanque contiguo (tanque 1) – S1; 3 – sistema activo en tanque de medidas (tanque 3) – S2; 4 – sistema activo en tanque contiguo y tanque de medidas – S3. Por último, el segundo análisis consistió en una primera caracterización del campo acústico en el interior del tanque. Para ello, se introdujo una fuente de ruido (altavoz electrodinámico sumergible) a una profundidad de 3 m y en dos posiciones distintas: centro del tanque y muro perimetral. En ambos casos, se emitió un ruido de banda ancha (ruido blanco y MLS) y se registró por medio de un hidrófono la señal propagada a varias distancias: 5 medidas separadas 1.5 m aproximadamente para el primer caso y 14 medidas cada 0.5 m en el segundo. El esquema de medida queda reflejado en las figuras 5 y 6.

4. RESULTADOS

A continuación, se muestran algunos de los resultados obtenidos en el estudio preliminar de las instalaciones de ICAR, haciendo distinción entre las distintas campañas.

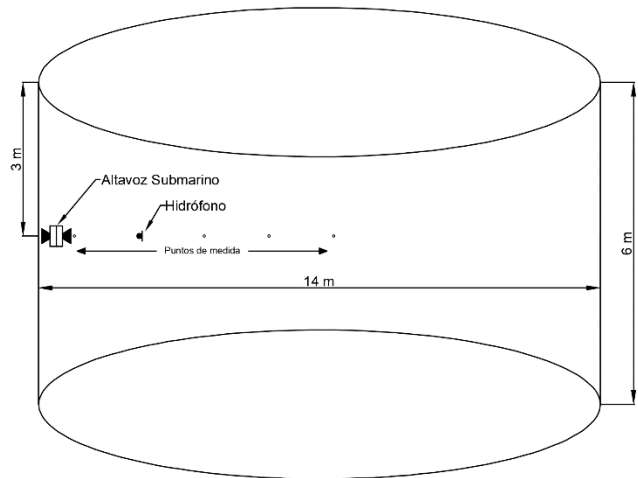


Figura 5. Configuración experimental utilizado en la segunda campaña de medidas. Fuente situada en pared del tanque.

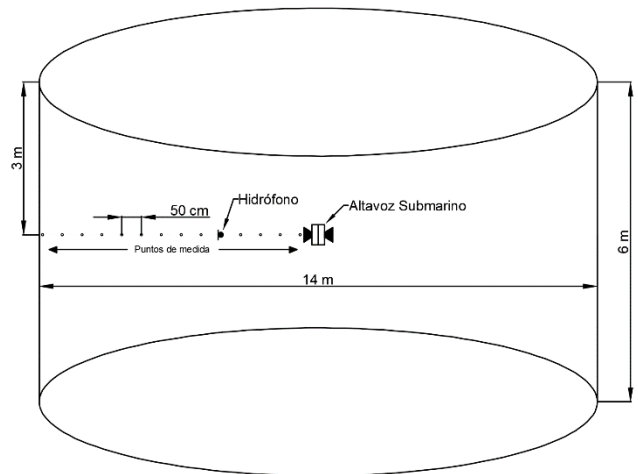


Figura 6. Configuración experimental utilizado en la segunda campaña de medidas. Fuente situada en el centro del tanque.

5.1. Primera campaña

La principal fuente de ruido existente en la instalación corresponde al sistema de recirculación de agua, concretamente, a los impulsores que llevan a cabo el retorno de agua a cada tanque (ver figura 7).

Los resultados obtenidos ponen de manifiesto un incremento superior a 10 dB en el nivel de presión sonora en la nave al activar la impulsión de agua, pasando de 61 a 73 dB (figura 8). La monitorización llevada a cabo durante 2 días no refleja una influencia notable de otras fuentes, pudiendo haber sido enmascaradas por la fuente principal de ruido.



Figura 7. Sistema de impulsión de agua en el tanque.

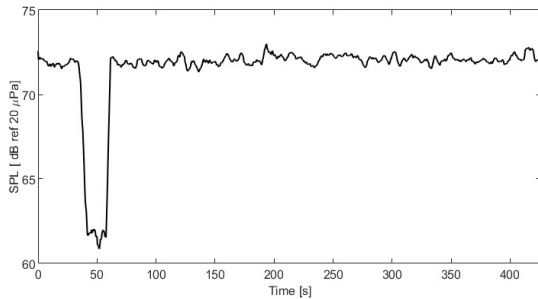


Figura 8. SPLs en aire con y sin impulsión de agua.

Por otro lado, el análisis de la densidad espectral de potencia (PSD) muestra que se trata de un ruido de banda ancha cuyo rango frecuencial está comprendido principalmente entre 250 y 1500 Hz (figura 9). No obstante, destaca la presencia de componentes tonales en 22, 49, 119 y 142 Hz. Estas frecuencias pueden estar relacionadas con el caudal de agua o con la velocidad de giro del motor de la bomba de impulsión.

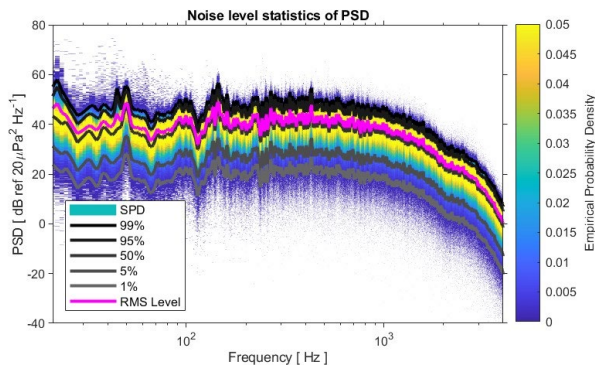


Figura 9. PSD con impulsión activada.

Por lo que respecta a la aceleración en las paredes del tanque, las componentes Y (tangencial) y Z (vertical) parecen mantenerse constantes a lo largo del tiempo (nivel de aceleración de 70.5 dB), sin presentar efecto alguno por la activación o desactivación de los impulsores (figura 10). Por el contrario, la componente X, situada de forma radial, resulta más sensible a las condiciones del tanque. En primer lugar, para el estado de reposo (impulsores desactivados), dicha componente presenta un valor ligeramente superior al resto (71.5 dB). La propia circulación del agua en el interior del tanque (trayectoria circular) ejerce una presión sobre las paredes en dirección radial (aceleración de Coriolis). Al activar el sistema de recirculación y la impulsión de agua en el interior del tanque, tanto la velocidad de rotación del fluido como las perturbaciones en dirección radial aumentan, lo que produce un incremento de alrededor de 2 dB en la aceleración. Esta perturbación, por la dirección que presenta, podría transmitirse vía estructural al resto de tanques de la instalación.

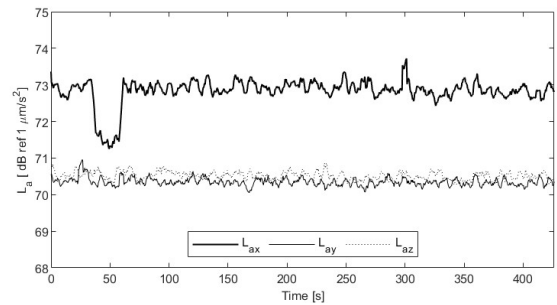


Figura 10. Niveles de aceleración en tanque 1 con y sin impulsión de agua.

5.1. Segunda campaña

De acuerdo con la sección 3, la segunda campaña de medidas incluye dos ensayos distintos. En primer lugar, se muestran los resultados obtenidos para la caracterización del ruido de fondo en el interior del tanque 3. Seguidamente, se incluye un estudio del campo sonoro en el interior del tanque.

A. Caracterización del ruido de fondo. Influencia del sistema de impulsión de agua

Tal y como se observó en los resultados obtenidos para las medidas de la campaña 1, el sistema de impulsión de agua tiene una participación relevante en tanto en el ruido ambiental generado como en las vibraciones producidas en los laterales del tanque. Las medidas llevadas a cabo durante la segunda campaña ponen de manifiesto no solo su influencia en el ruido submarino, sino también en la influencia del sistema sobre el resto de los tanques. Tal y como se muestra en la figura 11, el ruido de fondo existente en el interior del tanque presenta un nivel elevado para

frecuencias por debajo de 100 Hz incluso para la situación de reposo. La activación de los sistemas de impulsión conlleva un incremento de nivel superior a 10 dB en la banda entre 100 y 1.000 Hz; y de al menos 5 dB entre 10 y 20 kHz. Asimismo, se observa como el sistema de impulsión del tanque 1 (S1) provoca un incremento del ruido en el interior del tanque 3. Esto denota una transferencia de energía entre tanques bien por vía aérea o bien por vía estructural. No obstante, cabe destacar que el ruido generado por el sistema de impulsión del tanque objeto de estudio (tanque 3), enmascara por completo el ruido producido por el sistema del tanque 1.

Otro detalle remarcable es la presencia de una componente tonal pura de frecuencia 824 Hz en las tres situaciones analizadas (BN, S1 y S2). Se desconoce la procedencia de dicho ruido, pudiendo estar ligado al funcionamiento de alguna máquina del recinto.

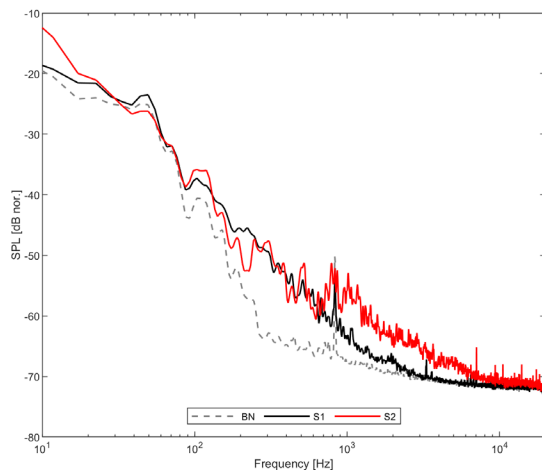


Figura 11. SPL en el interior del tanque para diferentes condiciones.

B. Medidas del campo sonoro en el interior del tanque

La figura 12 ilustra la disposición de fuente e hidrófono en la realización de los ensayos preliminares para la caracterización del campo sonoro en el tanque 3. Tanto en las medidas realizadas con la fuente colocada en un extremo como en las del centro, se observa una caída del nivel de presión sonora conforme nos alejamos de la fuente. Sin embargo, esta caída no se produce de manera constante para todos los puntos, y se aprecian diferencias notables en función de la situación de la fuente.

Mientras que para la fuente situada en la pared se produce una reducción en el SPL de 2.68, 6.75 y 11.45 dB respecto al punto P1 (figura 13), con la excitación central del tanque obtenemos caídas de 13, 19, 22.6 o 25 dB para las primeras 4 posiciones respecto al punto P1 (figura 14).

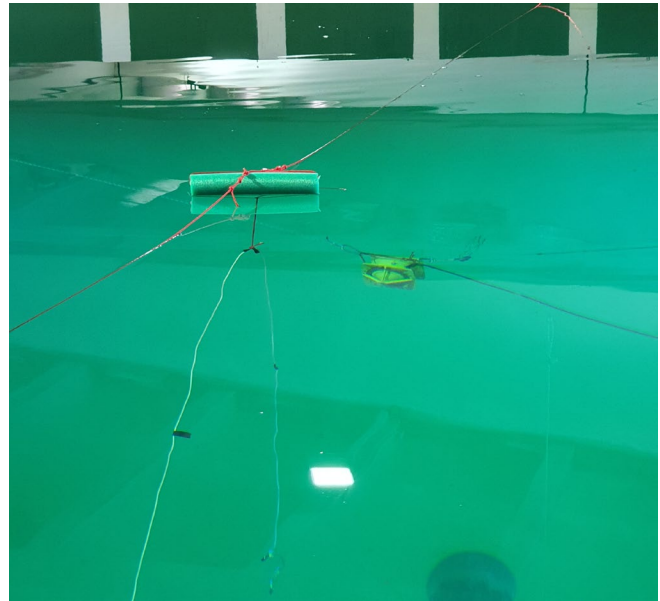


Figura 12. Montaje de fuente e hidrófonos en tanque 3.

Asimismo, ambas figuras muestran la existencia de modos propios en el rango de frecuencias analizado. En función de la posición, ciertas componentes espectrales se ven fuertemente atenuadas o amplificadas. A modo de ejemplo, para la fuente situada en el perímetro del tanque, se amplifica una frecuencia próxima a 400 Hz en el punto de medida 2. Algo similar sucede para el punto 3 con la fuente en el centro para una frecuencia de 230 Hz aproximadamente. En este caso, la caída de nivel respecto a posiciones más próximas a la fuente resulta inferior.

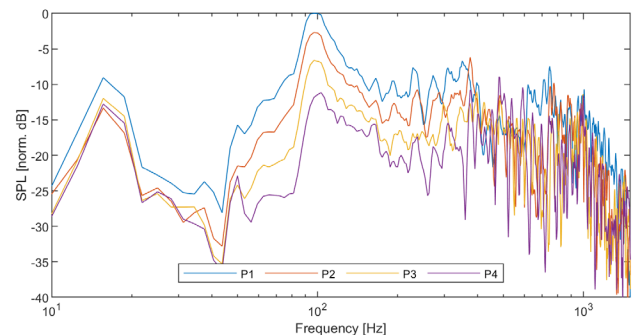


Figura 13. Niveles de presión a lo largo del eje con la fuente situada en la pared del tanque.

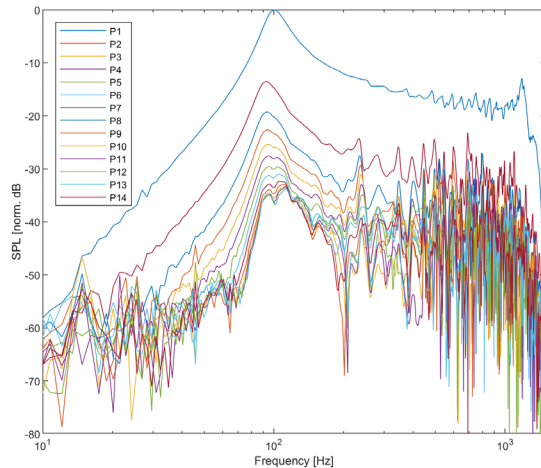


Figura 14. Niveles de presión a lo largo del eje con la fuente situada en el centro del tanque.

5. CONCLUSIONES

El presente trabajo representa un estudio preliminar sobre el ruido en tanques de reproducción de atún rojo. En él, se lleva a cabo una primera identificación de las posibles fuentes de ruido que pueden afectar al bienestar de los peces. Para ello, en primer lugar, se caracteriza el ruido aéreo del recinto, destacando las diferencias existentes en las diferentes condiciones de funcionamiento de las instalaciones. Asimismo, se lleva a cabo una monitorización de la vibración de los tanques, resultando una mayor contribución de las fuentes sobre la componente radial de la aceleración.

Seguidamente, se analiza el ruido subacuático en uno de los tanques. Los resultados muestran una influencia considerable del sistema de impulsión de agua en el ruido global del tanque, especialmente para frecuencias por encima de 100 Hz. Asimismo, se aprecia una contribución notable de los sistemas de recirculación de tanques adyacentes.

Finalmente, se llevó a cabo un estudio preliminar del campo sonoro en el interior de uno de los tanques. Los resultados muestran la existencia de modos propios en el rango frecuencial excitado por el sistema de filtrado y recirculación de las instalaciones. A medida que nos alejamos de la fuente, el campo sonoro se ve cada vez más afectado por dichos modos. Asimismo, el SPL no experimenta una caída de 6 dB al doblar la distancia, lo que indica que estamos en presencia de un campo sonoro muy reverberante.

A la vista de los resultados, queda patente la existencia de ruidos que pueden afectar al bienestar de los atunes y, por tanto, a su productividad. Se hace necesario seguir profundizando en la caracterización tanto del recinto y sus fuentes como en el comportamiento vibroacústico de los tanques a fin de mejorar las condiciones de habitabilidad.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo forma parte del Proyecto de referencia PID2021-127426OB-C22 financiado por MCIN/AEI/10.13039/501100011033/ FEDER, UE, siendo MCIN el acrónimo del Ministerio de Ciencia e Innovación, AEI el acrónimo de la Agencia Estatal de Investigación; FEDER, UE el acrónimo del Fondo Europeo de Desarrollo Regional y 10.13039/501100011033 el DOI (Digital Object Identifier) de la Agencia

REFERENCIAS

- [1] ICCAT. ICCAT manual. Description of species. Chapter 2; 2.1.5. Atlantic bluefin tuna, vol 99. Madrid, ICCAT, pp 93–111. 2010.
- [2] Zaitsev Y. Bluefin tuna in the Black Sea. In: Workshop on farming, management and conservation of bluefin tuna, 5–7 April 2003. Istanbul, Turkey, Turkish Marine Research Foundation Publication No. 13, pp 118–119. 2003.
- [3] Crane J. Notes on the biology and ecology of giant tunas, *Thunnus thynnus* Linnaeus, observed at Portland. *Maine Zool* 21(16):207–212. 1936.
- [4] Lebedeff W. Paradise for big game fishing. Tunny, 700 kgs; Swordfish, 180 kgs; Shark, 1800 kgs. Winter season 1935–36 in Turkey. *Fish Gaz* 113(3102):420–421. 1936.
- [5] Heldt H. Le thon rouge et sa pêche 10 Rapp. *Comm Internat Explor Medit* 11:311–358 Hurley PCF, Iles TD (1980) A brief description of Canadian fisheries for Atlantic bluefin tuna. *Col Vol Sci000 Pap. ICCAT* 11:93–97. 1938.
- [6] Cort JL, Deguara S, Galaz T, Mèlich B, Artetxe I, Arregi I et al. Determination of Lmax for Atlantic Bluefin Tuna, *Thunnus thynnus* (L.), from meta-analysis of published and available biometric data. *Rev Fish Sci* 21(2):181–212. 2013.
- [7] Ministerio de Agricultura, Pesa y Alimentación. Secretaría General de pesca. Contribución de España a las directrices estratégicas para una acuicultura de la UE más sostenible y competitiva 2021 – 2030 (EsAcui 21-30).
- [8] Hawkins, A.D. and K.J. Rasmussen. The calls of gadoid fish. *J. Mar. Biol. Ass. U.K.* 58:891-911. 1978.
- [9] Popper, A.N. and Hawkins, A.D. An overview off ish bioacoustics and the impacts of anthropogenic sounds on fishes. *J. of fish biology.* 94. 692-713. 2019.
- [10] Hawkins, A. D. The potential impacto of offshore wind farms on fishes and invertebrates. *Advances in Oceanography and Marine Biology.* 2(3). 2020.

[11] Mauro M, Pérez-Arjona I, Perez EJB, Ceraulo M, Bou-Cabo M, Benson T, Espinosa V, Beltrame F, Mazzola S, Vazzana M, Buscaino G. The effect of low frequency noise on the behavior of juvenile *Sparus aurata*. *J Acoust Soc Am*. 2020 Jun;147(6):3795. doi:10.1121/10.0001255. PMID: 32611157.

[12] Vazzana M, Mauro M, Ceraulo M, Dioguardi M, Papale E, Mazzola S, Arizza V, Beltrame F, Inguglia L, Buscaino G. Underwater high frequency noise: Biological responses in sea urchin *Arbacia lixula* (Linnaeus, 1758). *Comp Biochem Physiol A Mol Integr Physiol*. 2020 Apr;242:110650. doi: 10.1016/j.cbpa.2020.110650. Epub 2020 Jan 8. PMID: 31923630.

[13] Hawkins, A. D. The impact of underwater sound on aquatic animals – and especially fishes. *J. of agricultura and horticulture research*. 5(2). 98-103. 2022.

[14] Sole´ M, Kaifu K, Mooney TA, Nedelec SL, Olivier F, Radford AN, Vazzana M, Wale MA, Semmens JM, Simpson SD, Buscaino G, Hawkins A, Aguilar de Soto N, Akamatsu T, Chauvaud L, Day RD, Fitzgibbon Q, McCauley RD and Andre´ M (2023) Marine invertebrates and noise. *Front. Mar. Sci*. 10:1129057. doi: 10.3389/fmars.2023.1129057.