

## TÍTULO DE LA COMUNICACIÓN: ESTUDIO DE LA INFLUENCIA DE LA DURACIÓN DEL PULSO EN MEDIDAS DEL TARGET STRENGTH A DISTANCIAS CORTAS.

**PACS:** 43.30.+m 43.30.Gv

Andrés Morillo-Faro<sup>1</sup>, Anderson Ladino Velásquez<sup>1</sup>, Vicente Puig Pons<sup>1</sup>, Isabel Pérez Arjona<sup>1</sup>, Víctor Espinosa Roselló<sup>1</sup>, Fernando De La Gándara García<sup>2</sup>.

<sup>1</sup>Institut d'Investigació per a la Gestió Integrada de Zones Costaneres, Universitat Politècnica de València, C/Paranimf, 1, 46730 Valencia, España

<sup>2</sup>Instituto Español de Oceanografía (IEO), San Pedro del Pinatar, España

**Palabras Clave:** *Thunnus thynnus*, Duración de pulso, Acuicultura, Atún rojo, Target strength

### ABSTRACT.

This paper studies the influence of pulse duration on target strength (TS) measurements of bluefin tuna (*Thunnus thynnus*) in tanks. Due to the limitation of distance because of the dimension of the tanks, the working conditions must consider short distances. Measurements were taken at working frequencies of 120kHz and 200kHz, for which two split-beam transducers and two Simrad scientific echo sounders (Ek60 and Ek80) were used. Five pulse durations have been defined (64,128,256,512, and 1024  $\mu$ s). The measurements have been carried out in the bluefin tuna aquaculture tanks (ICAR) of the Spanish Institute of Oceanography located in Mazarrón (Murcia). The results will allow if short pulse durations, which are not capable of insonifying the volume of the complete target, could be used to estimate the TS at short distances without causing considerable deviations of the TS values.

### RESUMEN.

En este trabajo se presenta el estudio de la influencia de la duración del pulso utilizada en las medidas del target strength (TS) del atún rojo (*Thunnus thynnus*) en tanques. Debido a la limitación de distancia por la dimensión de los tanques, las condiciones de trabajo deben considerar distancias cortas. La toma de medidas se ha realizado a las frecuencias de trabajo de 120kHz y 200kHz, para ello se han utilizado dos transductores split-beam y dos ecosondas científicas de Simrad (Ek60 y Ek80). Se han definido cinco duraciones de pulso distintas (64,128,256,512, y 1024  $\mu$ s). Las medidas han sido realizadas en los tanques para la acuicultura del atún rojo (ICAR) del Instituto Español de Oceanografía situado en Mazarrón (Murcia). Los resultados obtenidos permitirán establecer si el uso de duraciones de pulso cortas, es decir, aquellas que no son capaces de insonificar el volumen del blanco completo, pueden ser utilizadas para la estimación del TS a cortas distancias sin provocar desviaciones de los valores del TS considerables.

### 1. INTRODUCCIÓN

El uso de herramientas acústicas está ampliamente extendido para la estimación de biomasa y el control de stock de las principales pesquerías a nivel mundial. En los últimos años este tipo de técnicas están siendo utilizadas en el control y monitorización de los peces en instalaciones

acuícolas, tanto en jaulas flotantes en el mar como en tanques en tierra. En ambos casos se evalúa la energía acústica retrodispersada por los peces, bien de manera individual o bien por un grupo o banco de peces. Cuando se estudia la energía acústica devuelta por un blanco individual se utiliza un parámetro conocido como sección transversal de retrodispersión que es la relación entre la energía retrodispersada por el blanco bajo estudio y la intensidad retrodispersada a una distancia de 1 m. A efectos prácticos, la sección transversal se suele expresar de forma logarítmica y se conoce como potencia del blanco o target strength (TS) [1]. Para llevar a cabo este tipo de estudios, se hace uso de ecosondas científicas. Cuando se plantean campañas de medidas se debe elegir la configuración de la ecosonda para obtener una respuesta acústica adecuada del blanco bajo estudio. Para ello es necesario seleccionar la potencia de emisión apropiada para que la onda acústica alcance el blanco, el intervalo entre emisiones (cada emisión se conoce como ping) que permita muestrear la columna de agua la mayor cantidad de veces posible por segundo sin que se produzca reverberación, y finalmente; la duración del pulso. La duración del pulso determina la resolución espacial de la ecosonda, ya que, para que dos o más blancos puedan detectarse deben estar separados media longitud del pulso como mínimo [2]. Además, para obtener valores adecuados del TS, la sección transversal de retrodispersión medida debe ser la máxima. Para poder obtener esta sección transversal máxima es crítica la selección de la duración del pulso adecuada [3].

Existen diferentes trabajos donde se ha realizado estudios sobre la influencia de la duración del pulso sobre medidas acústicas submarinas. En dichos trabajos se concluye que cuando se insonifica un banco de peces el valor de la energía media retrodispersada por dicho banco no depende de la duración del pulso [4]. Además, varios estudios concluyen que al aumentar la duración del pulso disminuye la capacidad de aislar ecos procedentes de blancos individuales [4,5].

En el presente trabajo, se pretende estudiar la influencia de la duración del pulso en la determinación de la potencia del blanco (TS) a cortas distancias. Para ello se realizaron medidas de este parámetro en un tanque para peces situado en tierra.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.1 Toma de medidas

Las medidas para el estudio se llevaron a cabo en uno de los tanques para la acuicultura del atún rojo (ICAR) del Instituto Español de Oceanografía situado en Mazarrón (Murcia). Las dimensiones del tanque utilizado son un cilindro de 11 metros de altura y 22 metros de diámetro; el número total de peces que había en su interior era de 53 peces. La longitud de los peces variaba entre 97.5 cm y 204.0 cm. La distribución de longitudes de la población se muestra en la Figura 1.

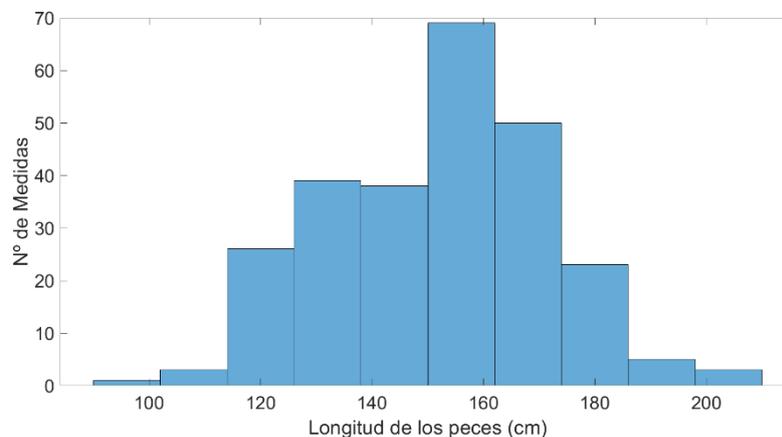


Figura 1. Distribución de la longitud de los peces en el tanque.

Para la adquisición de los datos se utilizaron dos ecosondas científicas de Simrad con dos transductores split-beam, una EK80 trabajando a 120 kHz y una EK60 trabajando a 200 kHz. Se utilizaron cinco duraciones de pulso distintas (64, 128, 256, 512 y 1024 $\mu$ s) para cada frecuencia de trabajo, y un ping rate de 10 pings por segundo. La potencia de emisión fue de 100 W para la EK80 y 90 W para la EK60.

Los transductores se colocaron en el fondo del tanque mirando hacia la superficie del agua, consiguiendo una longitud de columna de agua de 10 metros entre la cara de los transductores y la superficie. Se realizaron grabaciones de la columna de agua de 12 horas para cada duración de pulso y frecuencia.



Figura 2. Tanque de ICAR ([icar.ieo.es](http://icar.ieo.es)) donde se realizó la toma de medidas y montaje de un transductor en su soporte en el fondo del tanque.

## 2.2 Procesado de datos

El primer paso del procesado de datos consistió en aislar de manera automática el mayor número de trazas individuales y el TS máximo de cada una de ellas. Aunque se utilizan transductores split-beam, capaces de compensar el valor del TS por la posición del pez dentro del haz, los valores que se presentan en este trabajo provienen del TS sin compensar [6].

Para poder aislar las trazas se utilizó una umbralización y una segmentación basada en regiones [5]. Se utilizaron dos tipos de umbralización en función del nivel de ruido existente en los ecogramas. Para ecogramas poco ruidosos se utilizó un único umbral de -50 dB. Para el caso de ecogramas muy ruidosos en los que el ruido se centraba en la zona más cercana a la superficie, se usaron dos umbrales diferenciados. Los ecogramas ruidosos corresponden a las duraciones de pulso de 64  $\mu$ s y 128  $\mu$ s con una frecuencia de trabajo de 120 kHz. En el primer caso se aplicó un umbral de -50 dB desde 2 metros de la cara del transductor hasta los 5.8 metros de distancia, y un segundo umbral de -35 dB desde esa distancia hasta la superficie. En el segundo caso, se aplicó un umbral de -50 dB desde 2 metros de la cara del transductor hasta los 5.8 metros y un segundo umbral de -30 dB hasta la superficie.

La umbralización limpió los ecogramas facilitando la segmentación. Tras la segmentación se extrajeron las características morfológicas de las regiones segmentadas. Con ayuda de las características morfológicas y los valores del TS registrados se realizó una clasificación de las regiones separando las trazas de los peces del ruido. A continuación, se calculó el TS máximo escogiendo el valor máximo de los píxeles que componen cada traza.

Seguidamente, se llevó a cabo una última clasificación. Debido a la corta distancia a la que se realizaron las medidas, y teniendo en cuenta la longitud de los atunes bajo estudio, se eliminaron las trazas medidas entre 0 y 5 metros de distancia a partir de la cara del transductor. De este modo pudo garantizarse que, como ya se hizo en [5], la vejiga de los peces estuviera completamente insonificada en todos los casos y al mismo tiempo evitar el campo cercano del

transductor. Además, para eliminar el ruido de las trazas más alejadas del transductor, se umbralizó con un TS mínimo de -35dB.

Una vez obtenido el valor máximo del TS de todas las trazas consideradas válidas, se obtuvieron los valores medios del TS obtenido de manera lineal. Con ayuda del software Statgraphics [7] se realizó un ajuste de datos no censurado con los datos obtenidos para cada frecuencia y duración de pulso. Se estudió la normalidad de cada distribución con el test Shapiro-Wilk y la prueba de bondad de Kolmogorov-Smirnov [7]. En este análisis se calcularon la media, la mediana y la desviación típica de esas distribuciones. A continuación, se realizó la prueba de múltiples rangos en conjunto para todas las duraciones de pulso de cada frecuencia con el fin de poder comparar los valores medios del TS obtenidos. Para esta prueba

Por último, se calculó el TS medio en capas de 1 metro desde 2 metros del transductor hasta el final de la columna de agua para cada duración de pulso con el fin de conocer como varía el TS con la distancia, ya que, debido a que las medidas se realizan a distancias tan cortas, es inevitable eliminar la influencia del campo cercano del pez de las mismas. En cada capa se calcula el valor medio en lineal de todas las trazas contenidas en dicha capa. La capas con menos de 40 muestras no fueron tenidas en cuenta.

### 3. RESULTADOS

En la Tabla 1 se muestran los resultados de la media lineal, media de la distribución, mediana, desviación típica y número de muestras utilizadas en cada duración de pulso para la frecuencia de 120 kHz; en la Tabla 2 se encuentran los mismos datos para la frecuencia de 200 kHz. Se puede apreciar que las medias del estudio para 200 kHz son similares con variaciones máximas de 2.0 dB y una desviación típica máxima de 6.0 dB; las medias del estudio para 120 kHz tienen una variabilidad máxima de 3.7 dB y una desviación típica máxima de 6.3 dB.

Duración de Pulso ( $\mu$ s)	Nº de Muestras	Media Lineal (dB)	Media de la Distribución (dB)	Mediana (dB)	Desv. Típica (dB)
64	4154	-14.8	-18.4	-17.8	6.3
128	1606	-15.5	-18.8	-17.8	6.0
256	1590	-17.5	-20.9	-20.3	5.9
512	1572	-17.2	-20.9	-20.3	6.2
1024	1111	-18.5	-22.1	-21.9	6.1

Tabla 1. Variables estadísticas del TS sin compensar de cada duración de pulso a 120kHz.

Duración de Pulso ( $\mu$ s)	Nº de Muestras	Media Lineal (dB)	Media de la Distribución (dB)	Mediana (dB)	Desv. Típica (dB)
64	3033	-18.9	-22.7	-22.5	6.0
128	1751	-20.7	-24.1	-24.1	5.6
256	1623	-20.1	-23.1	-22.7	5.4
512	380	-18.8	-22.1	-21.7	5.7
1024	320	-20.2	-22.8	-22.2	5.2

Tabla 2. Variables estadísticas del TS sin compensar de cada duración de pulso a 200kHz.

En las Figuras 3 y 4 se muestran las distribuciones para cada duración de pulso de cada frecuencia de trabajo. En todos los casos, la toma de medidas fue realizada sobre la misma población. Sin embargo, las medidas no fueron realizadas de manera simultánea. Este hecho puede provocar pequeñas diferencias en las distribuciones obtenidas en cada caso, por consiguiente; causar diferencias en los valores medios obtenidos. Tras realizar los test de

normalidad para cada distribución con el test Shapiro-Wilk y la prueba de bondad de Kolmogorov-Smirnov se determinó que sólo se pueden considerar distribuciones normales con un intervalo de confianza del 89%.

En la Figura 3 se aprecian diferencias significativas en las distribuciones con las duraciones de pulso mayores (256, 512 y 1024  $\mu\text{s}$ ) respecto de las de menor duración. Este efecto se aprecia en la Tabla 1 al observar los valores medios obtenidos (tanto lineales como de la distribución). La prueba de múltiples rangos realizada a las duraciones de pulso obtenidas a 120 kHz nos indicó que existen diferencias estadísticamente significativas entre sus medias. En el caso de los datos obtenidos a 200 kHz, como puede visualizarse en la Figura 4, existen diferencias significativas entre la distribución de 128  $\mu\text{s}$  y el resto de distribuciones. En la Tabla 2 se detallan los valores medios tanto lineales como de las distribuciones. En dicha tabla se observa que los citados valores medios tienen una diferencia máxima de 2.0 dB. Para el caso de las duraciones de pulso a 200 kHz la prueba de múltiples rangos nos indica que existen diferencias estadísticamente significativas entre sus medias.

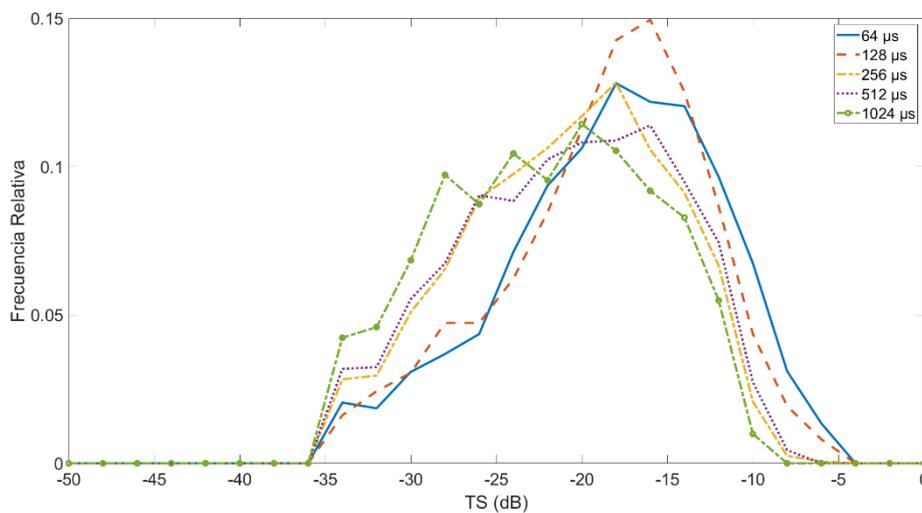


Figura 3. Distribuciones normalizadas según duración de pulso. 120kHz.

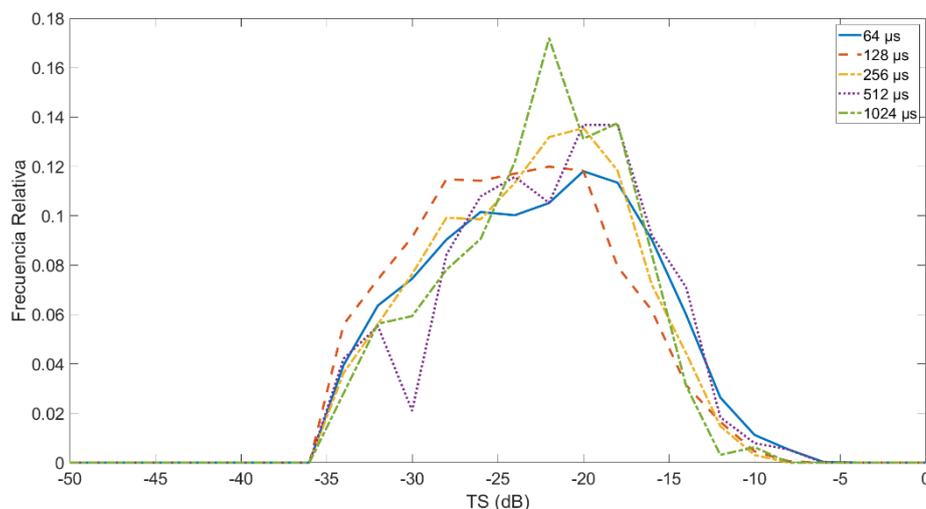
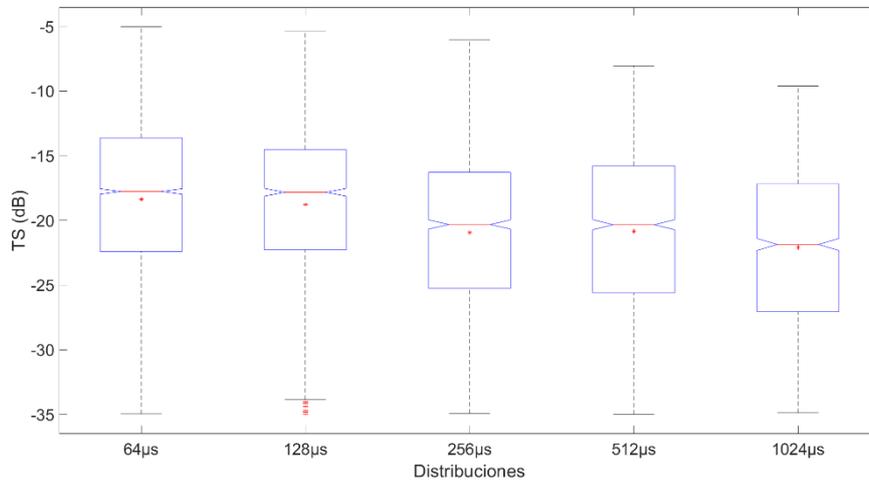
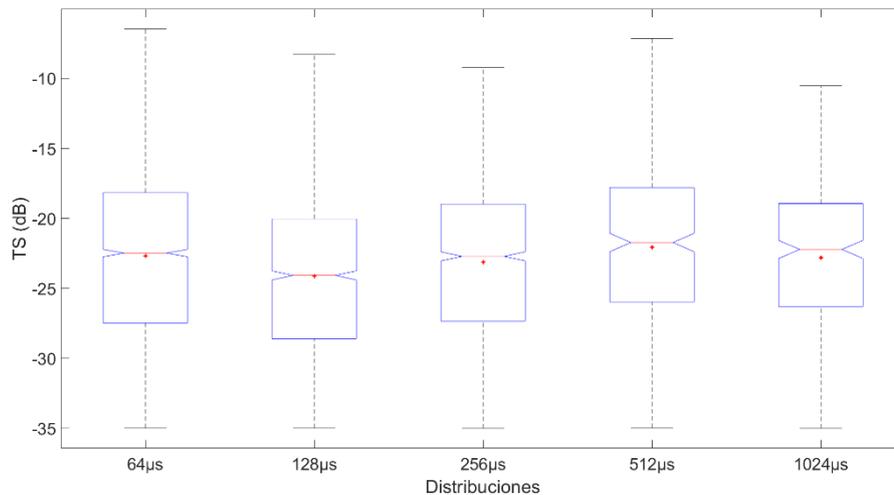


Figura 4. Distribuciones normalizadas según duración de pulso. 200kHz.

En la Figura 5 se puede ver el gráfico de Caja y Bigotes perteneciente a los datos de 120kHz donde se puede comprobar la diferencia existente entre medias y medianas de las distintas distribuciones estudiadas. Del mismo modo, en la Figura 6 se puede observar como las medias y medianas a 200 kHz tienen una variabilidad menor que a 120 kHz, pero sigue existiendo una diferencia significativa entre ellas en el gráfico de Caja y Bigotes.



*Figura 5. Gráfico de Caja y Bigotes para la frecuencia de 120kHz. La línea central de cada caja corresponde a la mediana de la distribución. El punto rojo corresponde a la media de la distribución.*



*Figura 6. Gráfico de Caja y Bigotes para la frecuencia de 200kHz. La línea central de cada caja corresponde a la mediana de la distribución. El punto rojo corresponde a la media de la distribución.*

Por último, las gráficas de TS medio respecto a la distancia del transductor están expuestas en la Figura 7 para la frecuencia de 120kHz y en la Figura 8 para la frecuencia de 200kHz. Como se indicó en el apartado 2, se realizan las medias a partir de los 5 metros desde la cara del transductor con el fin de evitar el campo cercano del transductor e intentar tener para todos los casos al menos la vejiga del atún totalmente insonificada. Para algunas de las duraciones de pulso, las capas superiores no fueron tenidas en cuenta, ya que, la cantidad de trazas encontradas en dichas capas era menor de 40.

Como se demostró en [5] con ayuda de simulaciones numéricas, el TS para la frecuencia de 120 kHz varía con la distancia. En el presente experimento, pueden observarse el mismo tipo variaciones del TS al aumentar la distancia al transductor. En la Figura 7 se observa que a 120 kHz las duraciones de pulso menores (64 y 128  $\mu$ s) presentan variaciones de 4 y 5 dB respectivamente si nos fijamos en el rango entre 5 y 8 metros. Por el contrario, en el mismo rango las duraciones de pulso mayores presentan variaciones del TS solo 2 dB. Cuando se analizan los datos a 200 kHz (Figura 8) se observa que las variaciones del TS con la distancia no dependen de la duración del pulso, ya que, 64, 128 y 512  $\mu$ s presentan una variación de cerca de 1.5 dB mientras para 256 y 1024  $\mu$ s la variación en ese rango es de menos de 1 dB.

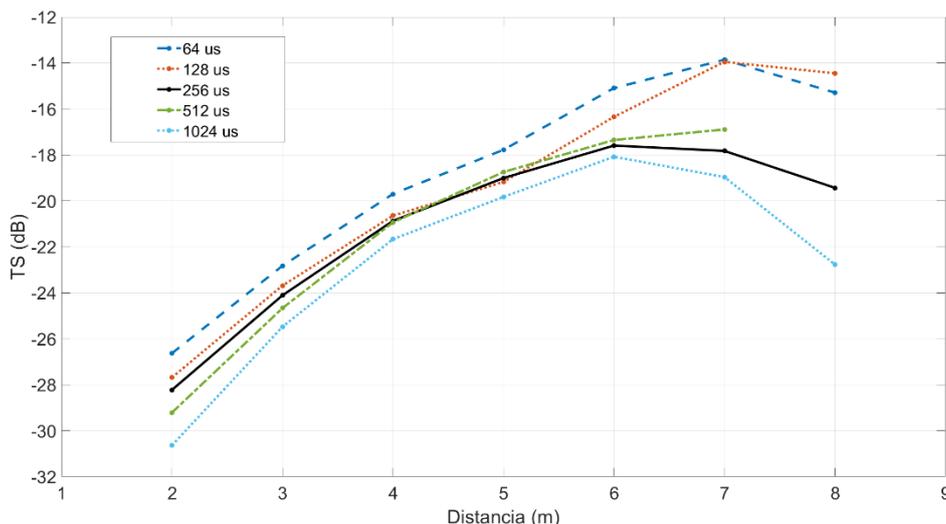


Figura 7. TS medio por distancia al transductor para la frecuencia de 120kHz.

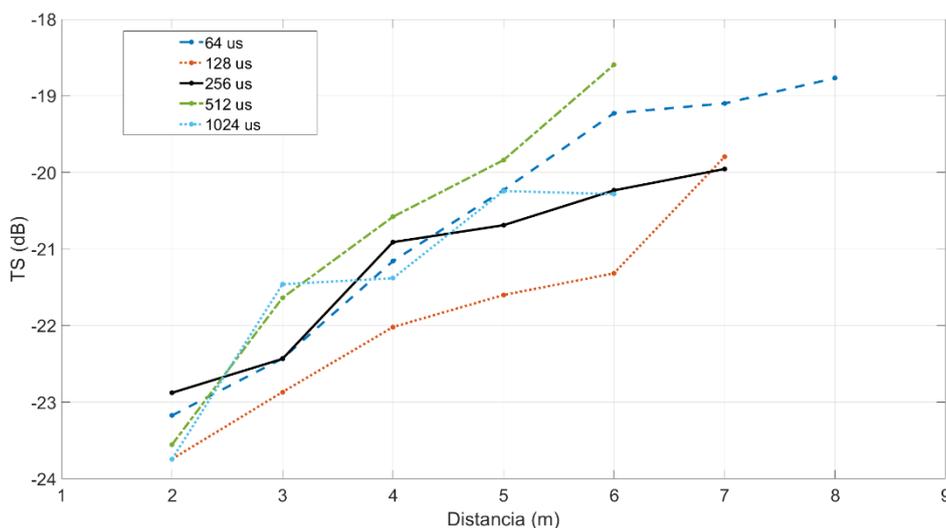


Figura 8. TS medio por distancia al transductor para la frecuencia de 200kHz.

#### 4. CONCLUSIONES

En este trabajo se ha estudiado la influencia de la duración del pulso utilizada en las medidas del TS del atún rojo en tanques a las frecuencias de trabajo de 120kHz y 200kHz.

Tras el análisis de las distribuciones resultantes para cada duración del pulso se puede constatar que, de acuerdo con el test de normalidad de Shapiro-Wilk y la prueba de bondad de Kolmogorov-Smirnov las distribuciones obtenidas son normales con un intervalo de confianza del 89 %.

Con los datos de TS medio según la distancia al transductor, a frecuencia de 120kHz, existe una variación de 3.7 dB como máximo y los valores de las desviaciones típicas se sitúan en torno a 6.3 dB para 120kHz. A partir de los resultados obtenidos en la prueba de Múltiples Rangos para todas las duraciones de pulso y frecuencia de trabajo de 120kHz, existen diferencias estadísticamente significativas entre las medias de las distintas distribuciones. Este hecho no nos permite afirmar que la media para todas las duraciones de pulso sea comparable. Sin embargo, en la Figura 3 y en la Tabla 1 se observa que a las duraciones de pulso corto (64 y 128  $\mu$ s) las medias son similares. Lo mismo ocurre con las duraciones largas a esta frecuencia. Esto puede deberse a diferentes causas.

A partir de los resultados obtenidos en la prueba de Múltiples Rangos para todas las duraciones de pulso y frecuencia de trabajo de 200kHz, se concluye que existen diferencias estadísticamente significativas entre las distintas distribuciones con un nivel de confianza del 95 %. En este caso las diferencias máximas entre las medias de las distribuciones del TS son de 2.0 dB con una desviación máxima de 6.0 dB.

Como se indica anteriormente, las medidas a cada duración del pulso no fueron realizadas de manera simultánea, y aunque se tratase de la misma población de peces; es sabido que la energía acústica retrodispersada por un atún depende del tamaño y el comportamiento de los peces durante las medidas [2,8,9]. Además, para asegurar que los valores del TS no dependan de la distancia a la que se miden, se aplica una corrección conocida como TVG [9]. Dicha función solo proporciona valores exactos a muy largas distancias o con duraciones de pulso infinitamente cortas. Como el rango de medida es muy restringido, puede que dicha función proporcione valores menos exactos a medida que aumenta la duración de pulso como sugiere [10,11].

Los valores del TS medio varían con la distancia en el rango de medida (entre 5 metros y la superficie). Esta variación es más acusada cuando se usan duraciones de pulso cortas a 120 kHz con variaciones de hasta 5 dB a 128  $\mu$ s. Por otro lado, para las medidas a 200 kHz las variaciones del TS medio con la distancia no alcanzan nunca variaciones de más de 1.5 dB.

#### AGRADECIMIENTOS

La investigación ha sido financiada por el Proyecto Actthun (Ref. PID2021-127426OB-C21).

## REFERENCIAS

- [1] Urick, R.J., Principles of Underwater Sound. Los Altos, California: Peninsula Publishing. 1983.
- [2] Simonds J, MacLennan D. Fisheries Acoustics: Theory and Practice Second Edition. Edited by D. Simonds, J, MacLennan. Blackwell Science. Second Edition. 2007.
- [3] Gaunaurd CG. "Sonar cross sections of bodies partially insonified by finite sound beams", IEEE J. Oceanic Eng., vol. OE-10, July 1985. pp. 213-230.
- [4] Godlewska M., Colon M., Jóźwik A. & Guillard J. How pulse lengths impact fish stock estimations during hydroacoustic measurements at 70 kHz. *Aquatic Living Resources*, Volume 24. 2011. pp. 71– 78.
- [5] V. Puig-Pons, P. Muñoz-Benavent, I. Pérez-Arjona, A. Ladino, S. Llorens-Escrich, G. Andreu-García, José M. Valiente-González, V. Atienza-Vanacloig, P. Ordóñez-Cebrián, José I. Pastor-Gimeno, V. Espinosa, Estimation of Bluefin Tuna (*Thunnus thynnus*) mean length in sea cages by acoustical means, *Applied Acoustics*, Volume 197, 2022 <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2022.108960>.
- [6] James J.Dawson, Daniel Wiggins, Donald Degan, Harold Geiger, Deborah Hart, Barbara Adams. Point-source violations: split-beam tracking of fish at close range. *Aquat. Living Resour.* Vol 13. 2000. pp 291-295.
- [7] StatPoint Technologies, Inc. *Statgraphics Centurion XVIII*; StatPoint Technologies, Inc.: Warrenton, VA, USA, 2021.
- [8] Foote K, Knudsen H, Vestnes G, MacLennan D, Simmonds E. Calibration of Acoustic Instruments for Fish Density Estimation: A Practical Guide. International Council for the Exploration of the Sea. 1987
- [9] Furusawa M. Prolate spheroidal models for predicting general trends of fish target strength. *J Acoustic Soc Jpn (E)*. 9. 1988.
- [10] D.N. MacLennan. Time varied gain functions for pulsed sonars. *Journal of Sound and Vibration*. Vol. 10, N<sup>o</sup>. 3. 1986. Pp 511-522.
- [11] Ester Soliveres. Estimación de biomasa de peces en granjas marinas mediante ultrasonidos. Institut per a la Gestió Integrada de Zones Costaneres, Universitat Politècnica de València. 2015.