



FIA 2018

XI Congreso Iberoamericano de Acústica; X Congreso Ibérico de Acústica; 49º Congreso Español de Acústica -TECNIACUSTICA'18-
24 al 26 de octubre

ANALISIS TEMPORAL DE LOS RESULTADOS DE LA CALIBRACIÓN DE ECOSONDAS CIENTÍFICAS EN BUQUES DE INVESTIGACIÓN

PACS: 43.58.Vb.

Córdoba Selles, Pilar¹; Nava Baro, Enrique²; Iglesias Marroig, Magdalena¹; Ventero Martin, Ana¹.

¹Instituto Español de Oceanografía. Centro Oceanográfico de Baleares, Muelle de Poniente s/n. 07015 Palma de Mallorca (Spain)

²Universidad de Málaga. ETSI Telecomunicación, Campus de Teatinos, 29071 Málaga (Spain)
Tel: +34 971133720

E-mail: pilar.cordoba@ba.ieo.es.

Palabras Clave: calibración, análisis temporal, ecosonda científica.

ABSTRACT

The Spanish Institute of Oceanography (IEO), in the biomass estimation surveys, uses scientific echosounders to estimate the stocks of pelagic commercial fish species, like sardine and anchovy. When the results of echosounder are used for quantitative measurements, it is of paramount importance to estimate the accuracy of measurements and their stability over time. For this reason, the echosounder is routinely calibrated at the beginning of the survey.

This work presents a long-term evaluation of some calibrations parameters, with data obtained on different research vessels used by IEO over the last years.

RESUMEN

El Instituto Español de Oceanografía (IEO), en sus campañas de Evaluación Acústica de Recursos Pesqueros, utiliza ecosondas científicas para estimar la biomasa de las especies pelágicas de interés comercial, como la sardina y la anchoa.

Para la utilización cuantitativa de los resultados de estas ecosondas, es fundamental la exactitud de las medidas, así como su estabilidad temporal. Por esta razón, las ecosondas son calibradas antes del comienzo de cada campaña.

Este trabajo presenta un análisis temporal de las calibraciones de las ecosondas científicas de los distintos Buques de Investigación, que el IEO ha utilizado a lo largo de los años.

INTRODUCCION

El uso de ecosondas científicas para la estimación de los recursos pesqueros de especies de pequeños pelágicos de interés comercial como la sardina (*Sardina pilchardus*), el boquerón (*Engraulis encrasicolus*) o la caballa (*Scomber scombrus*), es la metodología utilizada por el IEO

FIA 2018

XI Congreso Iberoamericano de Acústica; X Congreso Ibérico de Acústica; 49º Congreso Español de Acústica -TECNIACUSTICA'18-
24 al 26 de octubre

desde hace tres décadas en todo el litoral español. Este es un método estandarizado de estimación de la abundancia y distribución de peces y zooplancton, así como de sus hábitats [1]. Sin embargo, la obtención de resultados cuantitativos a partir de las señales acústicas hace necesario realizar precisas calibraciones de la ecosonda antes de comenzar cualquier campaña de estimación de stocks [2].

El método más utilizado para realizar las calibraciones de las ecosondas científicas es el conocido como método de la esfera [1,2], en el que una esfera metálica de fuerza de blanco (TS) conocida, llamada esfera patrón, se emplea para determinar la ganancia del transductor, definida esta como la diferencia de intensidades observadas a una distancia determinada entre un transductor ideal omnidireccional y sin pérdidas y un transductor real, parámetro que puede ser utilizado para medir la estabilidad de los transductores a lo largo del tiempo [1]. Actualmente, las esferas patrón utilizadas para realizar la calibración de ecosondas empleadas en investigación pesquera son de carburo de tungsteno (WC) o de cobre (Cu), ya que el TS de éstas es comparable con el de los organismos observados [3, 4]. La esfera de WC presenta la ventaja de que el tamaño de 38.1 mm sirve para calibrar todo el rango de frecuencias que van desde 38 hasta 200 kHz, ya que no presenta resonancias cerca de las frecuencias de interés a los rangos de velocidad de sonido en el agua habituales, mientras que en el caso de esferas de Cu existe un diámetro específico por cada frecuencia, 63, 60, 32, 23 y 13.7 mm respectivamente para 18, 38, 70, 120 y 200 kHz, lo que dificulta el proceso de calibración.

En este trabajo se presenta un estudio temporal de los resultados de las calibraciones de las ecosonda científicas Simrad Ek60 a bordo de cuatro buques oceanográficos, con el fin de estudiar la estabilidad de sus transductores a lo largo del tiempo.

MATERIAL Y MÉTODOS

Se ha realizado el análisis de los resultados de todas las calibraciones disponibles de la ecosonda científica Simrad EK60, en cuatro buques de investigación oceanográfica (B/O) utilizados por el IEO durante la realización de las campañas anuales de evaluación de recursos pesqueros mediante métodos acústicos.

Los datos abarcan las calibraciones llevadas a cabo al comienzo de las campañas entre los años 2005 al 2018 (Tabla 1). La campaña PELACUS es llevada a cabo en la zona del Atlántico norte y Cantábrico, desde el norte de Portugal a la frontera francesa durante los meses de marzo y abril, la campaña MEDIAS se realiza en el Mediterráneo español durante los meses de junio y julio, zona que hasta el año 2009 también abarcaba la campaña ECOMED durante los meses de noviembre y diciembre, y por último la campaña ECOCADIZ-Reclutas, se realiza en el Océano Atlántico, incluyendo el Golfo de Cádiz y el Sur de Portugal durante el mes de Octubre.

Tabla 1. Campañas de estimación de recursos pesqueros mediante métodos acústicos para las que se ha realizado el estudio comparativo de los resultados de sus calibraciones.

Campaña	Año	Buque B/O
PELACUS	2005-2014	Thalassa
	2014-2018	Miguel Oliver
MEDIAS	2009-2013	Cornide de Saavedra
	2014-2018	Miguel Oliver
RECLUTAS	2013-2017	Ramón Margalef
ECOMED	2007-2009	Cornide de Saavedra

FIA 2018

XI Congreso Iberoamericano de Acústica; X Congreso Ibérico de Acústica; 49º Congreso Español de Acústica -TECNIACUSTICA'18-
24 al 26 de octubre

Las características principales de los buques oceanográficos se presentan en la Tabla 2. El buque Ramón Margalef (RM), a diferencia del resto, dispone de una quilla retráctil donde van alojados los transductores de la EK60 y tiene dos ejes, cada uno con una hélice propulsora. Los otros tres buques (Miguel Oliver (MO), Thalassa (T) y Cornide de Saavedra (CS)) tienen un único eje con hélice de paso fijo en los dos primeros casos y con paso reversible en el caso del CS. Tanto el MO, el T como el RM cumplen las recomendaciones de bajo nivel de ruido emitido por la propulsión del buque propuestas por ICES [2]. Sin embargo, el ya desaparecido CS fue construido en 1970, mucho antes de la aprobación de estas recomendaciones y no estaría catalogado como buque de bajo ruido de emisión submarina.

Tabla 2. Características de los buques de investigación oceanográfica utilizados. Todos han sido diseñados para cumplir con las recomendaciones de ruido ICES [2] excepto el CS.

Barco	Eslora (m)	Manga (m)	Calado (m)	P (CV)	V _{max} (kn)	Nº Ejes
Miguel Oliver	70,0	14,4	5,5	2x1359	14,0	1
Ramón Margalef	46,7	10,5	4,2	2x1223	13,0	2
Thalassa	73,7	14,9	6,1	1x2900	14,7	1
Cornide de Saavedra	66.7	11.25	4.6	1500+750	14.0	1

Todas las ecosondas científicas instaladas en los B/O cuyas calibraciones son el objeto del presente estudio, son SIMRAD EK60 y las características de sus transductores se resumen en la Tabla 3. Todos los B/O cuentan con transductores de frecuencias de 18, 38, 70, 120 y 200 kHz, los transductores instalados en todos los casos son respectivamente, los SIMRAD ES18-11, ES38B, ES70-7C, ES120-7C y ES200-7C, en el caso de los buques RM y T, también disponen de un transductor ES333-7C para la frecuencia de 333 kHz, hay que indicar que en el caso del buque MO el de 70 kHz fue instalado en 2015 y que en el caso del T, hasta el 2012 el transductor instalado para la frecuencia de 120 kHz era el ES120-7.

Hay que destacar que, pese a la existencia de datos de la calibración de los transductores ES333-7C, estos no han sido objeto del presente estudio al no disponer de una serie histórica suficiente.

Tabla 3. Características de los transductores de las Ecosondas científicas SIMRAD EK60 instaladas en los buques de investigación oceanográfica utilizados.

Transductor	Tipo	Material	Directividad (dB)	Angulo solido 10logψ (dB)	Ancho de banda (°)	Eficiencia electroacústica
ES18-11	Split beam	Cerámico	25±1	-17±1	11±2	0.75
ES38B	Split beam	Cerámico	28±1	-20.5±1	7±1	0.50
ES70-7C	Split beam	Composite	28±1	-21±1	7±1	0.75
ES120-7C	Split beam	Composite	28±1	-21±1	7±1	0.75
ES200-7C	Split beam	Composite	28±1	-20.5±1	7±1	0.75

El procedimiento seguido para la realización de las calibraciones objeto del presente estudio, fue el estandarizado y establecido por el Equipo de Acústica del Centro Oceanográfico de Baleares, que está basada en la metodología propuesta por Foote et al, 1987 [5], que posteriormente fue incluida por ICES como recomendación para la calibración en 2015 [1].

FIA 2018

XI Congreso Iberoamericano de Acústica; X Congreso Ibérico de Acústica; 49º Congreso Español de Acústica -TECNIACUSTICA'18-
24 al 26 de octubre

Con el fin de obtener un medio de propagación lo más estable y homogéneo posible, los buques se situaron en zonas no muy afectadas por grandes diferencias en la altura de mareas, de aguas calmas y al abrigo, con poca presencia de peces, no afectadas por puertos con elevado tráfico marítimo ni zonas próximas a desembocaduras de ríos.

Durante todas las calibraciones, los buques permanecieron anclados para evitar en la medida de lo posible los movimientos de costado que podrían provocar movimientos erráticos de la esfera de calibración, con lo que aumentaría la incertidumbre en las medidas realizadas. Mediante la disposición en la cubierta del buque de sistemas que permitan sujetar las esferas de calibración, estas se colocan guiadas por tres hilos de nylon, sumergidas en el agua y bajo los transductores, en la Figura 1 se muestra una proyección del buque MO que muestra la disposición de las esferas de calibración.

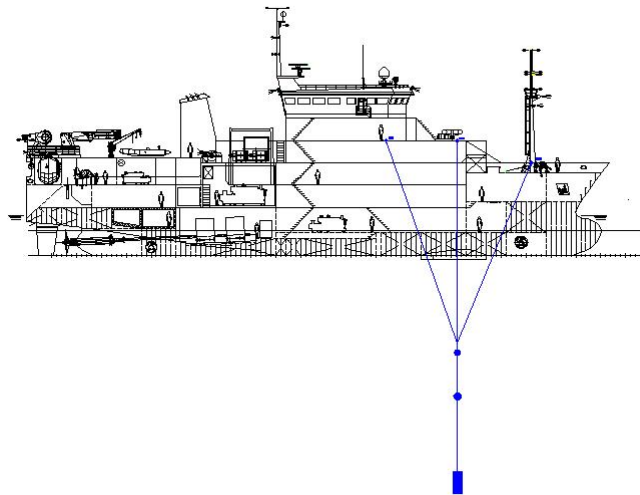


Figura 1. Esquema de la colocación de la esfera de calibración dentro del eje acústico de los transductores en el B/O Miguel Oliver.

Dada la dependencia del TS de la esfera de calibración con la velocidad del sonido en el agua, antes de comenzar las calibraciones, se realizaron perfiles de CTD de la columna de agua en el emplazamiento de la calibración, con el fin de obtener los parámetros de temperatura y salinidad del agua a la profundidad a la que se sitúa la esfera patrón. Las esferas patrón utilizadas fueron en todos los casos las indicadas como óptimas por el fabricante de la ecosonda, siguiendo su procedimiento de cuidado y mantenimiento, y se utilizaron en función de la existencia de estas a bordo del B/O a la hora de realizar la calibración.

Una vez colocadas las esferas patrón en el centro del haz del transductor a calibrar, mediante las tres líneas de sujeción, ésta se desplaza por todo el haz, hasta obtener una óptima cobertura de este con los puntos experimentales necesarios para obtener los parámetros de calibración y los ajustes de los modelos que permiten determinar la directividad de cada transductor. En todos los casos se utilizó la herramienta Calibration.exe del software ER60 proporcionado por el fabricante de la ecosonda científica, para el registro y análisis de los resultados experimentales obtenidos. Todos los ficheros .raw generados por la ecosonda, así como los ficheros .txt generados por la herramienta Calibration.exe, fueron grabados convenientemente para posteriores análisis.

FIA 2018

XI Congreso Iberoamericano de Acústica; X Congreso Ibérico de Acústica; 49º Congreso Español de Acústica -TECNIACUSTICA'18-
24 al 26 de octubre

RESULTADOS

Los resultados de la serie histórica de las calibraciones llevadas a cabo al comienzo de las campañas PELACUS en el B/O Thalassa desde el año 2005 al 2012 se muestran en la Figura 2. El emplazamiento para realizar estas calibraciones fue siempre la Ría de Vigo, Islas Cíes, zona no siempre propicia para la realización de la calibración, dada la fuerte influencia de las mareas y las corrientes. A pesar de ello, puede observarse la gran estabilidad de los resultados de la ganancia máxima, la frecuencia de 18 kHz presenta una variación máxima de 0.22 dB durante el periodo de 8 años analizados, la frecuencia de 70 kHz presenta una variación máxima de 0.19 dB, mientras que las altas frecuencias, 120 y 200 kHz, siempre son más inestables en los resultados dando una variación 1.72 y 1.08 dB respectivamente. En el caso de la frecuencia de 38 kHz, se detecta un resultado muy bajo en el año 2006 (24.27 dB), pero este resultado fue atribuido a un fallo en la determinación del valor de TS teórico de la esfera de patrón, lo que causó este resultado erróneo y, eliminando este valor del análisis, la máxima variación de los resultados durante el periodo de 8 años es de 0.5 dB, con una variación interanual de 0.2-0.3 dB.

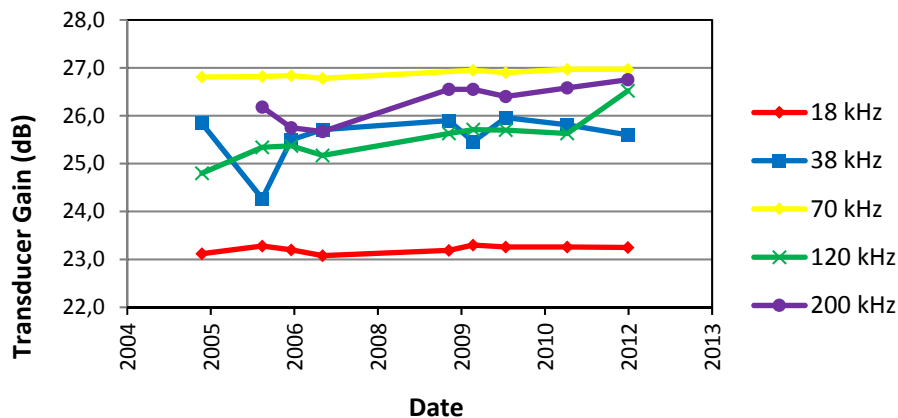


Figura 2. Serie histórica de los resultados de la ganancia de los transductores para las cinco frecuencias del B/O Thalassa. Los resultados corresponden a las calibraciones de la campaña PELACUS del 2005 al 2012.

Los resultados de la serie histórica de las calibraciones realizadas a la ecosonda científica EK60 instalada en el B/O Cornide de Saavedra, se muestran en la Figura 3. Los resultados pertenecen a las calibraciones realizadas antes de comenzar las campañas ECOMED, llevadas a cabo en los meses de noviembre y diciembre, y las campañas MEDIAS, llevadas a cabo entre los meses de junio y julio, en todos los casos el emplazamiento escogido para realizar la calibración fue el mismo, la Bahía de Palma. Los resultados de la frecuencia de 18 kHz, muestran unos resultados muy llamativos en los años 2010, 2011 y 2012, del orden de 2 dB por encima del resto de los resultados para esa frecuencia, estos resultados podrían ser debidos a un error en el cálculo del TS teórico de la esfera patrón a la hora de realizar la calibración, lo que podría haber provocado estas diferencias, ya que si eliminamos estos datos del análisis, la variación máxima es de 0.21 dB en toda la serie temporal. Las variaciones registradas en las frecuencias de 38 y 70 kHz son de 1.03 y 0.37 dB respectivamente, como es habitual, las frecuencias de 120 y 200 kHz son las más inestables mostrando unas variaciones máximas de 2.14 y 2.29 dB respectivamente, nuevamente son llamativos los resultados de los años 2011 y 2012, que sufren un descenso de aproximadamente 2 dB con respecto a la media del resto de los años, estos resultados pudieron ser causados por la presencia de peces o burbujas que interferían con los ecos de la esfera patrón.

FIA 2018

XI Congreso Iberoamericano de Acústica; X Congreso Ibérico de Acústica; 49º Congreso Español de Acústica -TECNIACUSTICA'18-
24 al 26 de octubre

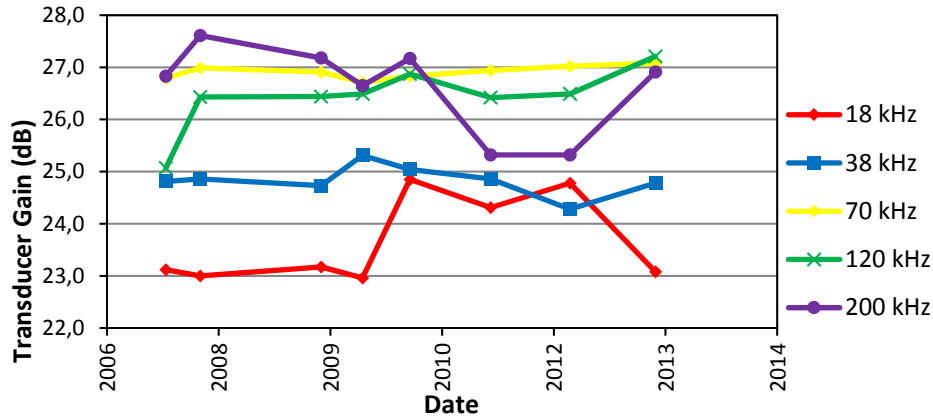


Figura 3. Serie histórica de los resultados de la ganancia del transductor para las cinco frecuencias del B/O Cornide de Saavedra. Los resultados corresponden a las calibraciones de la campaña ECOMED del 2007 al 2009, la campaña MEDIAS del 2009 al 2013.

La Figura 4 muestra la serie temporal de resultados de las calibraciones realizadas a la ecosonda científica instalada a bordo del B/O Miguel Oliver. Estos resultados pertenecen a las calibraciones llevadas a cabo antes de comenzar las campañas MEDIAS del 2014 al 2018, y las campañas PELACUS del 2013 al 2014, las calibraciones de las campañas MEDIAS, se realizaron todas en el mes de junio en la Bahía de Palma, mientras que las calibraciones de la campaña PELACUS se realizaron, en el mes de marzo en las Rías de Vigo y Pontevedra, excepcionalmente el año 2018 se ha llevado a cabo la calibración frente a la costa de Laredo. Como es habitual, las bajas frecuencias muestran un comportamiento más estable a lo largo de los años, con una variaciones máximas durante todo el periodo de estudio de 0.27 dB la frecuencia de 18 kHz, 0.69 dB la frecuencia de 38 kHz y 0.44 dB la frecuencia de 70 kHz, por otra parte las frecuencias más inestables en sus resultados son las frecuencias de 120 y 200 kHz, que presentan una variación máxima de 1.25 y 2.14 dB. Las variaciones interanuales para la frecuencia de 18 kHz es ± 0.2 dB, para la de 38 kHz es de ± 0.4 dB y para 70 kHz ± 0.2 dB.

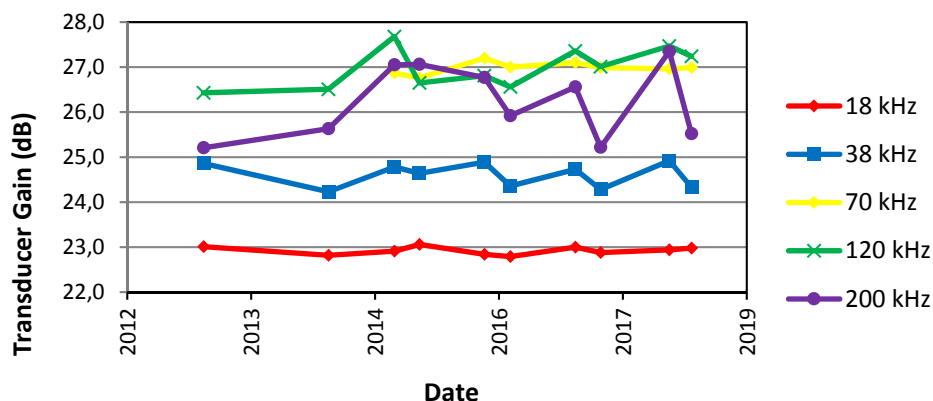


Figura 4. Serie histórica de los resultados de la ganancia de los transductores para las cinco frecuencias del B/O Miguel Oliver. Los resultados corresponden con las calibraciones de la campaña PELACUS del 2013 al 2018 y de la campaña MEDIAS del 2014 al 2018.

La Figura 5 muestra los resultados de la serie histórica de las calibraciones llevadas a cabo al comienzo de las campañas ECOCADIZ-Reclutas desde el 2013 al 2017, todas estas calibraciones fueron efectuadas en octubre en la Bahía de Algeciras. Nuevamente, las frecuencias más bajas son las que muestran un comportamiento más estable a lo largo del

FIA 2018

XI Congreso Iberoamericano de Acústica; X Congreso Ibérico de Acústica; 49º Congreso Español de Acústica -TECNIACUSTICA'18-
24 al 26 de octubre

tiempo, siendo las altas frecuencias, 120 y 200 kHz las que muestran más variaciones en los resultados de las ganancias de los transductores. Hay que destacar los problemas de ruidos electromagnéticos e interferencias que se detectaron durante los años 2013 y 2014, que son lo que pudieron provocar los resultados que podemos observar en la Figura, problemas que fueron solucionados antes de la calibración del 2015 y a partir de la que se observan unos resultados más parecidos a los esperados con pequeñas variaciones del orden de 0.1 dB para la frecuencia de 18 kHz, 0.21 y 0.22 dB respectivamente para las frecuencias de 38 kHz y 70 kHz, como es habitual las variaciones más altas se producen en las altas frecuencias, 120 y 200 kHz,, que en este caso son de 0.26 y 0.66 dB respectivamente. Hay que indicar que la frecuencia de 200 kHz sigue teniendo unos altos niveles de ruido, dada la imposibilidad de apantallar correctamente los cables de los transductores debido a la disposición de estos en la quilla retráctil.

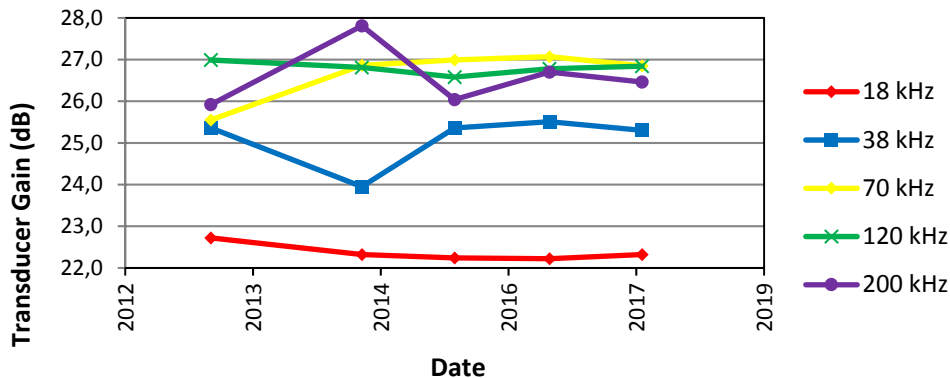


Figura 5. Serie histórica de los resultados de la ganancia de los transductores para las cinco frecuencias del B/O Ramon Margalef. Los resultados corresponden con las calibraciones de la campaña ECOCADIZ-Reclutas del 2013 al 2017.

La Figura 6 muestra la serie histórica de los resultados de la calibración del transductor de 38 kHz del B/O Miguel Oliver, junto con la temperatura del agua en el emplazamiento de cada una de las calibraciones realizadas, dado que la ecosonda científica EK60 de este buque es normalmente calibrada rutinariamente dos veces al año, la primera de ellas en marzo en la Ría de Vigo o Pontevedra, y a finales de junio en la Bahía de Palma, puede verse claramente la dependencia de los resultados de la ganancia con la temperatura del agua. Como se puede ver en la Figura, con temperaturas más altas, entre 24 y 21 °C, los resultados de la ganancia del transductor oscila entre los 24.2 y 24.3 dB, mientras que para temperaturas más bajas, entre 11 y 14 °C, los resultados de las ganancias son entre 24.7 y 24.9 dB, resultados similares se observan con el resto de frecuencias.

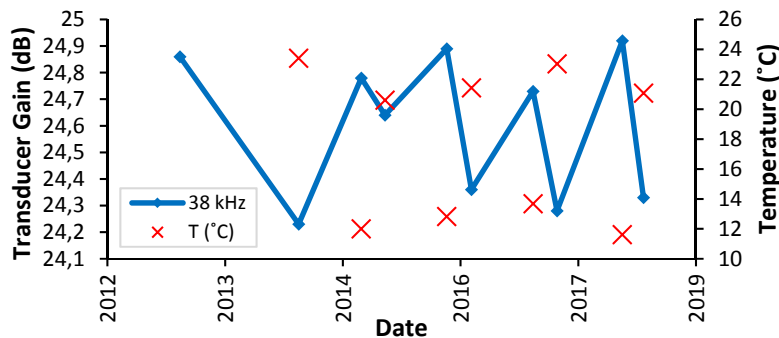


Figura 6. Serie histórica de los resultados de la ganancia del transductor de 38 kHz del B/O Miguel Oliver, se muestran los datos de la temperatura del agua en la localización de la calibración.

FIA 2018

XI Congreso Iberoamericano de Acústica; X Congreso Ibérico de Acústica; 49º Congreso Español de Acústica -TECNIACUSTICA'18-
24 al 26 de octubre

CONCLUSIONES

Se presenta un análisis de los resultados históricos de las calibraciones de las ecosondas científicas EK60 instaladas en cuatro buques oceanográficos utilizados por el IEO para realizar las Campañas de Estimación de Recursos Pelágicos mediante métodos acústicos. Estos buques tienen diferentes características, y las calibraciones han sido llevadas a cabo en diferentes zonas geográficas y épocas del año. Todas las calibraciones han sido llevadas a cabo siguiendo el mismo protocolo de calibración estandarizado y de acuerdo con las recomendaciones del fabricante, para minimizar los posibles errores que este pudiese generar.

Los resultados de las ganancias de los transductores de la EK60 presentan una gran estabilidad a lo largo del tiempo, principalmente las de bajas frecuencias. En todos los casos analizados, las frecuencias de 18 kHz y 38 kHz corresponden a transductores de elementos cerámicos y sus máximas variaciones son de 0.2 dB y 0.5 dB respectivamente. El transductor de 70 kHz también presenta una gran estabilidad en todos los casos estudiados y las variaciones son aproximadamente de 0.3 dB, en todos los casos se trata de un transductor de composite. La ganancia de los transductores de las altas frecuencias (120 y 200 kHz) son las que presentan mayor variabilidad, en todos los casos por encima de 1 dB.

La temperatura y salinidad del agua influyen en los resultados de la calibración. En este trabajo se han presentado resultados del B/O Miguel Oliver, el cual es calibrado dos veces al año en muy distintas localizaciones, y la dependencia de los resultados de la ganancia de los transductores con la temperatura del agua es significativa.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo de investigación ha sido realizado utilizando los datos de las campañas PELACUS, ECOMED, MEDIAS y ECOCADIZ-Reclutas del IEO que se han llevado a cabo a bordo de los buques de investigación Cornide de Saavedra, Miguel Oliver, Thalassa y Ramón Margalef, los autores de este trabajo quieren agradecer tanto a la Secretaria General de Pesca del Gobierno de España, como a IFREMER, la realización de este trabajo conjunto.

REFERENCIAS

- [1] Demer, D. A., Berger, L., Bernasconi, M., Bethke, E., Boswell, K. M., Chu, D., Williamson, N. (2015). Calibration of acoustic instruments. *ICES Cooperative Research Report* 326.
- [2] Knudsen, H.P.(2009). Long-term evaluation of scientific-echosounder performance. *ICES Journal of Marine Science*, **66**: 1335-1340
- [3] Foote, K.G., MacLennan, D.N. (1984). Comparison of copper and tungsten carbide calibration spheres. *Journal Acoustical Society of America* **75** (2): 612-616.
- [4] Mac Lennan, D.N., Dunn, J.R.(1984) Estimation of sound velocities from resonance measurements on tungsten carbide calibration spheres. *Journal of Sound and Vibration* **97** (2): 321-331.
- [5] Foote, K.G., Knudsen, H.P, Vestnes, G; MacLennan, D.N, Simmonds, E.J (1987). Calibration of acoustics instruments for fish density estimation: a practical guide. *ICES Cooperative Research Report* 144.