

Nivel de blanco de esferas resonantes sumergidas en agua

Rafael CARBÓ, Adriana C. MOLERO
Instituto de Acústica, CSIC. Serrano 144, 28006 Madrid.

Resumen

El objetivo de este trabajo es estudiar el efecto que tiene el material de una esfera elástica sumergida en agua en el nivel de retrodifusión que produce cuando está en resonancia. En dicho estudio juegan un papel importante tanto el nivel de blanco a la frecuencia de resonancia como el ancho de banda de la resonancia. La aplicación de este trabajo va encaminada a mejorar la detección acústica mediante técnicas sonar de las redes de pesca pelágicas en aguas poco profundas. Los márgenes de frecuencia de interés práctico que se han abordado se centran en valores de ka comprendidos entre 1 y 10, donde k es el número de onda en el agua y a el radio de la esfera.

Introducción

Las redes utilizadas para la pesca pelágica en aguas poco profundas van provistas de dos relingas, una superior con flotadores y otra inferior con plomos, de modo que cuando se larga la red desde el barco de pesca, esta queda sobre el fondo en posición vertical. Para mejorar su detección Goodson et al.¹ fijan a la red reflectores acústicos con alto nivel de blanco.

Ahora bien, estos dispositivos deberán cumplir ciertos requisitos: 1º No deberán tener dimensiones excesivas, su forma y masa deberán ser compatibles con el manejo de la red y no presentar problemas de almacenamiento. 2º Ser acústicamente efectivos en cualquier ángulo de incidencia. 3º La masa del reflector no debe alterar sensiblemente la flotabilidad de la red en conjunto. 4º El material debe ser elegido

teniendo en cuenta su permanencia en agua de mar en condiciones ambientales altamente corrosivas, y 5º No debe incrementar fuertemente el coste de la red.

Los estudios de *backscattering* (retrodifusión) por blancos sumergidos van normalmente encaminados, y en especial para aplicaciones militares, a buscar una geometría y unos materiales que minimicen el nivel de blanco y eviten la posibilidad de que se puedan excitar resonancias en la estructura del blanco dentro del margen de frecuencias de uso común por los sonares. Existen otras aplicaciones, como la que aquí nos preocupa, en la que se busca todo lo contrario, que el blanco resuene al mayor nivel de blanco posible y con una banda de frecuencias efectiva para las frecuencias sonar, de modo que sea fácilmente detectable.

Para un mismo volumen de blanco, la presión acústica de *backscattering* depende tanto de su geometría como de su elasticidad y densidad relativa a la del agua, pues debe tomarse en consideración que parte de la energía de la onda incidente penetra en el blanco. Esta energía de la onda transmitida a su vez, al menos parcialmente, retorna al agua con un retardo relativo respecto de la energía de la onda reflejada. Dicho retardo depende de la velocidad de propagación de las ondas longitudinales y transversales en el blanco. La superposición de las sucesivas ondas que vuelven del blanco al agua dan lugar al fenómeno de la resonancia en ciertas frecuencias en las que los retardos coinciden con el periodo de la onda o alguno de sus múltiplos.

Cuando se considera el blanco rígido (impedancia acústica infinita) su nivel de blanco depende sólo de la geometría que presenta su superficie ex-

terna. Urlick² da los niveles de blanco de objetos con diferentes geometrías: esfera, elipsoide, cilindro de longitud finita, placas rectangulares, circulares, etc. Este nivel de blanco es lo que se conoce como nivel de blanco geométrico donde el efecto de resonancia no está considerado.

En el caso de objetos sumergidos en agua los valores tanto de la densidad como del módulo de compresibilidad de los distintos materiales sólidos tienen un orden de magnitud similar a los del agua (al contrario del caso de objetos en aire). Debe tenerse en cuenta que hay penetración de energía acústica de la onda incidente en el blanco y por lo tanto existen frecuencias a las que el objeto resuena produciendo un nivel de blanco muy superior al nivel de blanco geométrico.

Para que el material de un blanco resulte efectivo como reflector del sonido fuera de la resonancia, debe presentar un cambio de impedancia significativo respecto del agua. Ambos extremos son válidos, materiales de muy alta densidad y de muy baja densidad pueden ser buenos reflectores. Los materiales densos como los metales con altos valores de impedancia acústica reflejan ecos en fase con la señal incidente, mientras que objetos llenos de gas producen ecos caracterizados por una inversión de fase entre el sonido incidente y su eco.

Una desventaja de los objetos llenos de aire es la dificultad de asegurar que mantienen la forma cuando crece la presión del agua. Objetos con paredes finas tienden a colapsar y se deforman con la presión hidrostática por lo que al cambiar de forma no mantienen sus características como reflector acústico.

Resonancia de esferas

Medidas realizadas en el tanque del Instituto de Acústica dan -52 dB como nivel de blanco de una red cuando se insonifica solamente la malla y -43 dB cuando se insonifica también la relinga superior. También se ha medido el nivel de blanco de distintos tipos de flotadores usados en este tipo de redes, obteniéndose valores entre -28 dB y -44 dB dependiendo de la frecuencia de la onda acústica y de la orientación del flotador respecto al haz de insonificación del sonar.

A la hora de estudiar un reflector acústico, parece adecuado comenzar con una esfera por ser la geometría más estudiada y fundamentalmente porque las propiedades de backscattering de una esfera homogénea no cambian cuando el blanco gira, es decir la orientación de la esfera no es importante y el eco está determinado solamente por la posición de su centro relativo a la posición del sonar.

En el caso de configuración monoestática, la presión acústica de backscattering que produce una esfera puede escribirse en la forma³:

$$P_s = P_0 r_0 (a/2) f_\infty \exp[i(\omega t - kr)] / r^2$$

donde P_0 es la presión de la onda incidente medida a la distancia r_0 de la fuente acústica (el transductor del sonar), a el radio de la esfera, r la distancia del centro de la esfera al punto en que se mide la presión de backscattering P_s , y f_∞ la función de forma. Para grandes distancias r de la esfera Faran⁴ da la función de forma como sumatoria de modos de orden n (f_n)

$$f_\infty = - (2/ka) \sum_{n=0}^{\infty} f_n$$

con

$$f_n = (-1)^n (2n+1) \text{sen} \eta_n \exp(i\eta_n)$$

El ángulo de fase de los sucesivos modos η_n depende de la densidad de la esfera de las velocidades de propagación de las ondas longitudinales y transversales en la esfera, de su radio y de la frecuencia⁵.

Una vez conocida la presión de backscattering, el nivel de blanco de la esfera TS viene dado por

$$TS = 20 \log_{10} [(P_s r^2 / P_0 r_0^2)] = 20 \log_{10} (a/2) + 20 \log_{10} (f_\infty)$$

donde TS está descompuesto en dos sumandos: el primero es el nivel de blanco geométrico de la esfera y el segundo es un término adicional que toma en consideración la elasticidad de la esfera y por tanto la penetración de energía acústica en su interior. Este segundo término del nivel de blanco es el que nos determina el efecto de resonancia de la esfera a determinadas frecuencias.

Tomando en consideración los requisitos antes mencionados que debe cumplir el blanco reflector en esta aplicación, se ha considerado que el radio de la esfera no debe superar los 3 cm., y por otra parte para evitar el uso de esferas con radio pequeño que llevarían a niveles de blanco geométrico muy bajos, la relación ka no debe ser inferior a 1. Así pues, teniendo en cuenta que la frecuencia de los sonares normalmente utilizados en faenas de pesca están entre 30 kHz y 200 kHz, y para

radios de la esfera entre 1 y 3 centímetros, los márgenes de ka que deberemos estudiar están entre 2 y 20.

Mediante un laborioso programa de cálculo han sido computadas las curvas de variación del nivel de blanco con la frecuencia para una esfera de radio 0.025 m entre las frecuencias de 1 y 200 kHz para los materiales que se presentan en la tabla I. El nivel de blanco geométrico que corresponde a esta esfera es de $20 \log_{10} (a/2) = -38$ dB, valor al que tiende asintóticamente el nivel de blanco de la esfera rígida como se aprecia en la fig. 1. En los materiales estudiados: aluminio, tungsteno, acero, cobre y soderöl (una poliamida) las resonancias aparecen a altas frecuencias excepto para este último.

A la vista de las figuras, las frecuencias de resonancia aparecen tanto más altas cuanto mayor es la impedancia acústica del material. La separación en frecuencias entre mínimos de nivel de blanco (antiresonancias) es proporcional al valor de la velocidad de propagación de las ondas longitudinales en el material. El tungsteno, material con mayor impedancia acústica, no presenta resonancias significativas en el rango de frecuencias estudiado, y su nivel de

Material	Densidad Kg/m ³	Velocidad longitudinal. m/s	Velocidad transversal. m/s	Coefficiente Poisson
Aluminio	2700	6420	3040	0.354
tungsteno	14900	6853	4171	0.206
cobre	8945	4760	2288	0.350
acero	7700	5950	3240	0.289
soderöl	1130	2440	1090	0.376

Tabla 1

Material	Nivel de blanco máximo dB	Frecuencia de resonancia kHz	Ancho de banda kHz
Aluminio	- 25.6	140	0.2
tungsteno	- 36.0	-	-
cobre	-29.5	133	9.1
acero	- 24.7	132	< 0.1
soderöl	- 22.4	20	2.0

Tabla 2

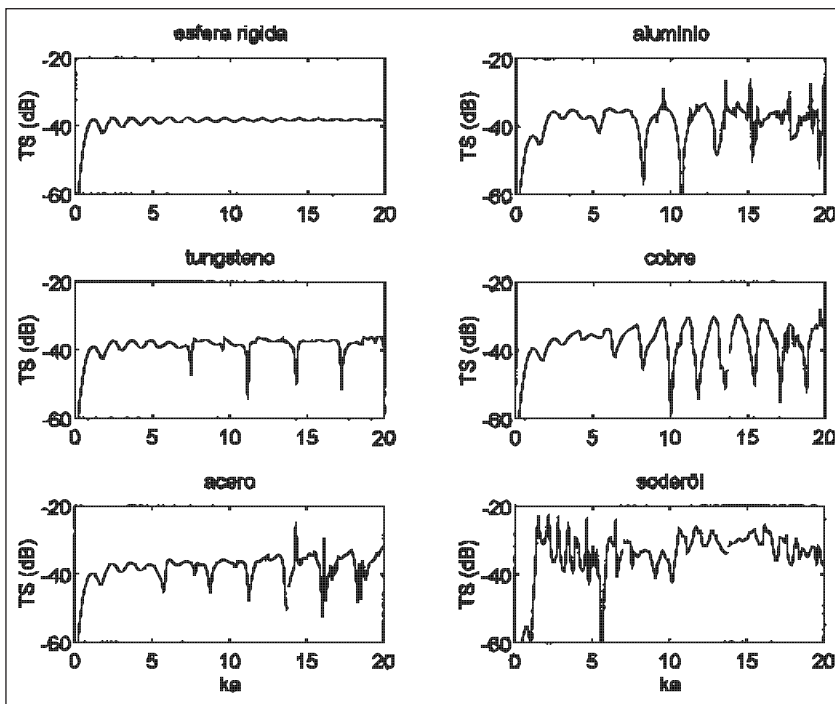


Fig.1. Nivel de blanco de una esfera en función de ka para distintos materiales en comparación con el nivel de blanco de una esfera rígida.

blanco sólo supera en 2 dB el nivel de blanco geométrico. Las resonancias del aluminio y del acero a altas frecuencias tienen un ancho de banda muy estrecho (< 1 kHz) lo cual dificulta su aprovechamiento al requerir una sintonización muy precisa de la frecuencia del sonar con la frecuencia de resonancia de la esfera. En este sentido, un mate-

riale más interesante sería el cobre en la región de ka en torno a 14 (133 kHz para radio de 2.5 cm.), donde se alcanza un nivel de -29.5 dB con un ancho de banda apropiado. El soderöl es otro de los materiales aprovechables, presentando unas resonancias muy fuertes en la zona de bajas frecuencias ($1 < ka < 5$). Las resonancias son algo es-

trechas (2 kHz), aunque en esa región, aún fuera de los máximos de resonancia, el nivel de blanco supera los -30 dB. El máximo nivel de blanco - 22.4 dB se alcanza a la frecuencia de 20 kHz. Todos estos valores quedan resumidos en la tabla II.

Conclusiones

Se ha mostrado cómo, utilizando materiales adecuados en los reflectores fijados a la red, se puede mejorar su detección en casi 20 dB. Se ha comprobado que la forma geométrica más adecuada para los dispositivos fijados a la red, es la geométrica esférica, porque no presenta orientaciones en las que disminuye considerablemente el nivel de blanco. Se ha probado cómo un material plástico como es el soderöl tiene ventajas frente a otro tipo de materiales, tales como: densidad similar a la del agua, de modo que no se modifica la flotabilidad de la red; no sufre efectos de corrosión; y se obtienen niveles de blanco de -22 dB con suficiente ancho de banda, a frecuencias relativamente bajas (20 kHz para una esfera de 5 cm de diámetro), lo cual además resulta conveniente para la detección a grandes distancias.

Referencias

1. A.D. Goodson, M. Klinowska and P.R. Bloom. "Enhancing the acoustical detectability of gillnets". Rep. Int. Whal Commn. (Special Issue 15), pp. 585-595. (1994).
2. R.J. Urick "Principles of underwater sound". Mc Graw-Hill, New York, pp. 273-277. (1975).
3. W.G. Neubauer, R.H. Vogt and L.R. Dragonette. "Acoustic reflection from elastic spheres. I. Steady state signals". Jour. Acoust. Soc. Am. Vol.55 N°6 pp.1123-1129 (1974).
4. J.J. Faran. "Sound scattering by solid cylinders and spheres". Jour. Acoust. Soc. Am. Vol.23 N°4 pp.405-418 (1951).
5. R. Hickling. "Analysis of echoes from a hollow metallic sphere in water". Jour. Acoust. Soc. Am. Vol. 36 N°5 pp.1124-1137 (1964).
6. C.S. Clay and H. Medwin "Acoustical oceanography". John Wiley and Sons, New York, pp. 178-194. (1977).
7. V.C. Anderson. "Sound scattering from a fluid sphere". Jour. Acoust. Soc. Am. Vol.22 N°4 pp.426-431 (1950).
8. D.N. MacLennan and E.J. Simmonds. "Fisheries Acoustics". Chapman & Hall, London, pp. 32-39. (1992).