

PARAMETRIC GENERATION FOR SHALLOW WATER APPLICATIONS

PACS: 43.25+y; 43.25-x; 43.30+m; 43.30-k; 43.35-c; 62.50.-p

Patricia Ordóñez Cebrián^{1*}, Víctor Espinosa Roselló¹, Manuel Bou Cabo¹, Vicente Puig-Pons¹, Susana Llorens¹, Isabel Pérez Arjona¹,

¹Instituto de Investigación para la Gestión integrada de zonas Costeras (IGIC). Universitat Politècnica de València-Campus de Gandía, C/Paranimf nº1, 46730 Grao de Gandía, Valencia, España.

*E-mail: patorceb@epsg.upv.es

Palabras Clave: Generación no lineal, Ecosonda Paramétrica, Aguas poco profundas, Simulación numérica, Acuicultura.

ABSTRACT

This work presents the operation capability of two transducer's prototypes as part of a parametric scientific echosounder for shallow water measurements. First, a previous study, based in numerical simulation, is presented as a tool to establish some measurements parameters. Secondly, experimental measurements are described with the materials and methods used. Finally, results and simulation comparison are presented.

RESUMEN

Este trabajo presenta la capacidad de operación de dos prototipos de transductores como parte de una ecosonda científica paramétrica para mediciones en aguas poco profundas. En primer lugar, se realiza un estudio previo, basado en la simulación numérica, como una herramienta para definir algunos parámetros de medición. En segundo lugar, se describen las medidas experimentales con los materiales y métodos utilizados. Finalmente, se presentan los resultados experimentales y la comparación con la simulación realizada

1. INTRODUCCION

Las técnicas acústicas se han convertido en las últimas décadas en las herramientas más apropiadas para la estimación de biomasa en el sector pesquero. Esto es debido a que las ondas acústicas son las únicas que pueden utilizarse para teledetección en el medio acuático, por su baja atenuación, comparadas con las ondas electromagnéticas, que son las usadas habitualmente en comunicaciones a larga distancia en la atmósfera.

Por otro lado, como consecuencia de la sobreexplotación de los recursos pesqueros y para cubrir la demanda creciente para su consumo, se ha desarrollado como alternativa a la captura, la producción piscícola [1].

La aplicación de las técnicas desarrolladas en el campo de la acústica de pesquerías para el control y estimación de la biomasa en jaulas flotantes, es una demanda del sector acuicultor [2].

Los avances en el estudio de la biomasa o en la clasificación de especies han ido en paralelo con el desarrollo de los sistemas sonar y ecosondas usados para este tipo de aplicaciones, y particularmente con la evolución de los transductores ultrasónicos empleados para ello [2].

Además, otras vertientes de investigación están adquiriendo mayor relevancia en este sector, como por ejemplo, el estudio de la generación no lineal paramétrica de sonido. Esta generación o efecto paramétrico, producido en el medio, se ha enfocado hasta ahora especialmente en batimetrías o en la clasificación del subsuelo oceánico, por ofrecer frecuencias de trabajo mucho más bajas con la misma directividad que el haz generado a alta frecuencia. Actualmente, se estudia su viabilidad para ser aplicado a pesquerías o a acuicultura, debido a la posibilidad de trabajar a varias frecuencias con un mismo transductor, presentado éstas las mismas características de radiación, lo que no es posible en el régimen lineal.

En este trabajo se estudia el comportamiento de dos transductores ultrasónicos en régimen no lineal y la validación de un modelo numérico mediante la comparación los resultados experimentales.

2. K-WAVE PSEUDO SPECTRAL METHOD. PRELIMINARY STUDY

Cuando la amplitud de las ondas sonoras es suficientemente grande, entramos en régimen no lineal. Uno de los efectos no lineales más importantes es la generación paramétrica. Hoy en día esta técnica se ha utilizado en ecosondas, tanto en mar abierto como en aguas poco profundas. Para realizar medidas correctas en aguas poco profundas, en términos de estimación de biomasa y caracterización de especies, necesitamos que se cumplan ciertas características. Estas características son la utilización de haces más anchos para insonificar los bancos de peces en su totalidad y por otro lado, la generación de haces colimados, libres de lóbulos laterales con el fin de evitar interfaces reflectantes tanto como sea posible. Aparte de eso, otras características importantes para asegurar buenos resultados son la posibilidad de tomar mediciones de multifrecuencia en la misma área insonificada, así como evitar los efectos de extra atenuación producido por las altas densidades dentro del banco de peces.

El efecto paramétrico fue el primer efecto acústico no lineal de interés para aplicaciones prácticas. Fue sugerido por Westervelt en 1963 [3]. Este efecto consiste en un haz de sonido modulado de alta potencia. Las propiedades no lineales de la propagación del sonido en el medio hacen que dicho haz actúe como una distribución de fuentes para las frecuencias de modulación y, como resultado, el sonido a estas frecuencias se irradia a partir de un *end-fire array*. Si el haz primario está compuesto por dos ondas de frecuencias f_1 y f_2 , respectivamente, el haz de sonido generado en el medio tendrá nuevas componentes espectrales como las frecuencias de suma ($f_1 + f_2$), las frecuencias de diferencia ($f_2 - f_1$) y otras más altas armónicos de orden ($2f_1$, $2f_2$, etc.) [4]

En esta sección se describe el modelo numérico para simular el comportamiento de la generación paramétrica de un transductor así como un estudio previo a las medidas experimentales.

El K-wave pseudo espectral es el método numérico utilizado por K-wave MATLAB toolbox. Esta herramienta resuelve la simulación en el dominio temporal de frentes de ondas acústicas en 1D, 2D o 3D. Funciona tanto para el sistema de propagación lineal como no lineal. Ha sido

desarrollado desde 2009 por Bradley Treeby y Ben Cox (Universidad de Londres). Hay una versión de C ++ dirigida por Jiri Jaros [5]

Las ecuaciones que rigen el método k-wave son las ecuaciones diferenciales de primer orden basadas en las ecuaciones de conservación de masa, momento y densidad de presión. Para modelar el comportamiento paramétrico, el parámetro no lineal debe introducirse modificando las tres ecuaciones principales. La adición de este parámetro, junto con la absorción y dispersión del medio, da una forma generalizada de la ecuación de Westervelt.

El método pseudo-espectral del k-wave combina el análisis espectral de las derivadas parciales (utilizando el método de Fourier) con un propagador temporal expresado en el espacio k.

Para validar el modelo, se realiza una simulación en lineal de la directividad a 120kHz de un transductor plano de 19mm de radio, igual que los prototipos bajo estudio. La Figura 1 presenta la comparación de directividad entre simulación y mediciones experimentales para ambos prototipos a 120 kHz.

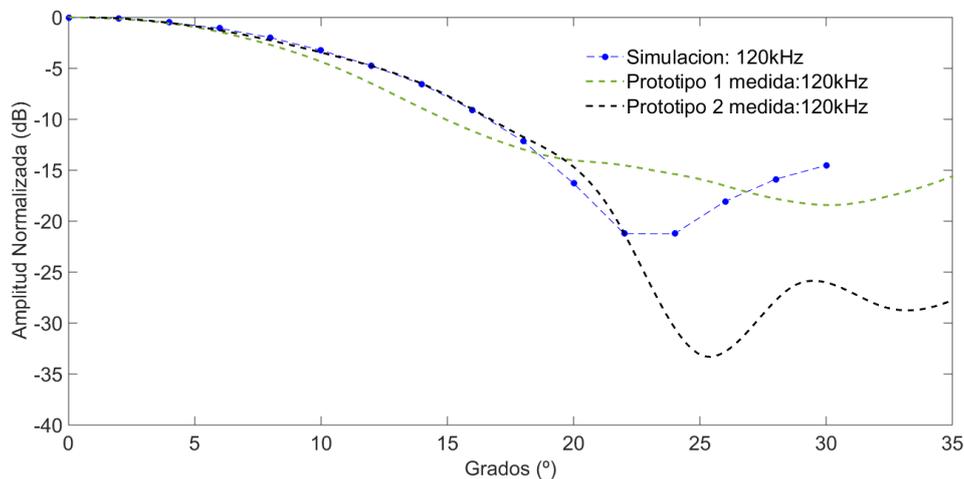


Figura 1. Comparación de directividad entre la simulación K-wave y las medidas experimentales a 120 kHz

A través de los resultados, se observa que tanto la simulación como las mediciones experimentales concuerdan. El prototipo 1 presenta una ligera discrepancia, mientras que el prototipo 2 encaja perfectamente hasta los 20°. El nivel de lóbulo lateral en la simulación sobreestima el valor real.

Una vez validado el modelo, se cambia la señal de entrada para generar el efecto paramétrico. Se seleccionará una señal bifrecuencia, de 90 y 150 kHz que generará una armónico diferencia de 60 kHz siguiendo la configuración experimental. Esta señal se evalúa a diferentes rangos de presión, de 50000 Pa a 1MPa, y se obtiene densidad espectral de potencia (PSD) para diferentes distancias (1cm, 40cm... hasta 1,61m).

En la Figura 2 se presentan resultados para cada simulación. A través de PSD, se obtiene la energía contenida en cada componente espectral. En los gráficos se observa que en todos los niveles de presión hay generación paramétrica. Se puede observar que en lo que se refiere al armónico diferencia por ejemplo, para una presión de 50000 Pa presenta muy poco nivel mientras que en presiones superiores a 100000Pa empieza a diferenciarse con mayor claridad. Las medidas experimentales deberán por tanto situarse en este rango de presiones para poder observar el efecto con claridad.

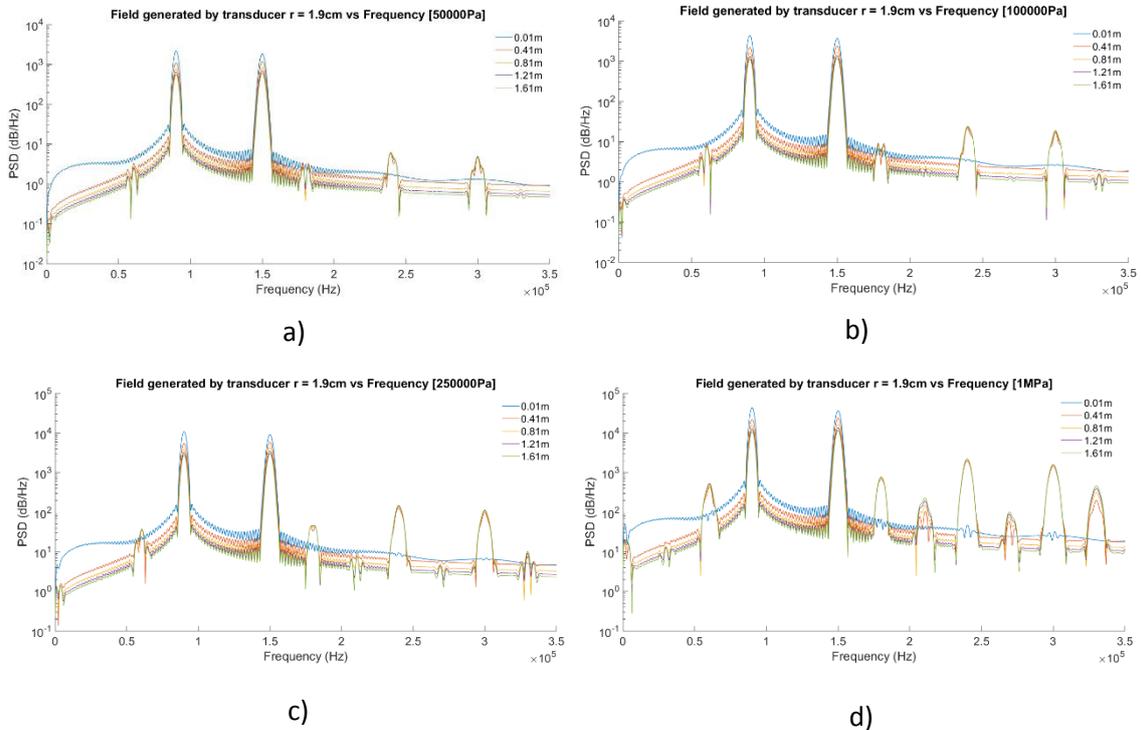


Figura 2. Simulación bifrecuencial en K-wave de un transductor de 19mm de radio a diferentes distancias. a) Componentes espectrales generados con una presión de entrada de 50000Pa. b) Componentes espectrales generados con una presión de entrada de 100000Pa. c) Componentes espectrales generados con una presión de entrada de 250000Pa. d) Componentes espectrales generados con una presión de entrada de 1MPa

3. MEDIDAS EXPERIMENTALES: MATERIALES Y MÉTODOS

Los prototipos utilizados para realizar las medidas experimentales son dos transductores planos de elemento simple. Ambos prototipos, presentan un radio de 19mm y trabajan a 120 kHz con una directividad que oscila en 17 y 19°. La única diferencia entre ellos es el material del elemento activo.

Se utilizan tres procedimientos de medición para caracterizar la generación paramétrica en cada transductor: Amplitud & Voltaje de entrada, Amplitud & Distancia y Directividad. La señal de entrada es una señal bifrecuencia de 90 y 150kHz y en cada una de las mediciones se analiza la amplitud de todos los componentes espectrales generados. La atención se focaliza en el armónico diferencia (60kHz) y en el armónico suma (240kHz).

Las medidas se realizan en las instalaciones de la Unidad mixta, en el puerto de Gandía, y son llevadas a cabo en un tanque de calibración de (10 X 5 X 1.5 m³). Este tanque tiene un sistema de posicionamiento con movimientos en el eje X,Y y Z además de un movimiento rotacional. El sistema de generación y adquisición de la señal está basado en un sistema de red Pitaya [6] controlado a través del software MATLAB.

De todos los resultados obtenidos se exponen, a continuación, los concernientes a la comparación en directividad entre la frecuencia de resonancia lineal (120kHz) con los armónicos suma (240kHz) y diferencia (60kHz) para cada prototipo, así como la dependencia de la amplitud de dichas frecuencias respecto al voltaje de entrada para el prototipo 2.

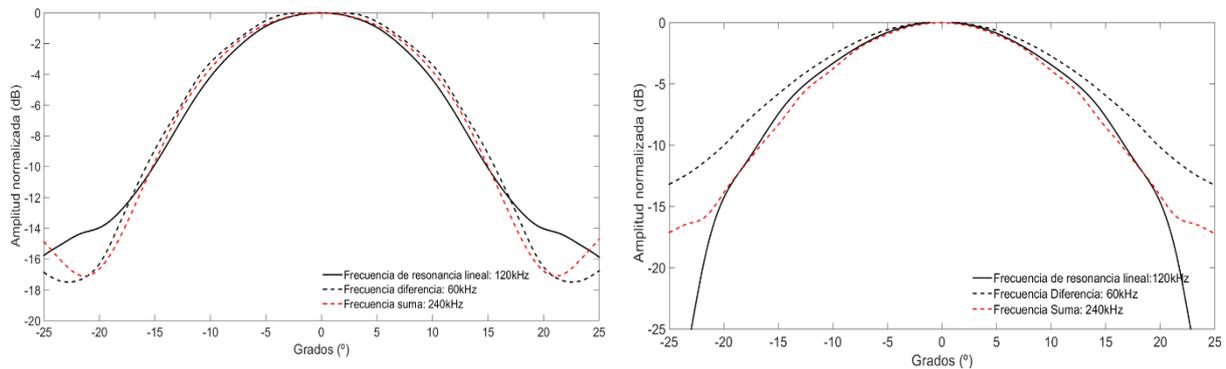


Figura 3. Comparación de la directividad a través de las medidas experimentales entre la frecuencia de resonancia lineal y los armónicos diferencia y suma. Prototipo1 (izquierda) y prototipo 2 (derecha)

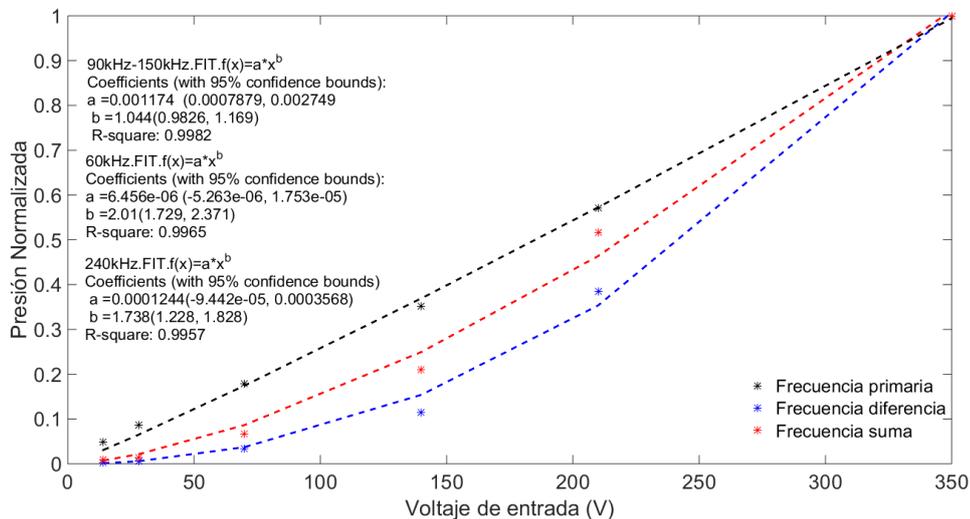


Figura 4. Comparación de la amplitud & el voltaje de entrada entre la frecuencia de resonancia lineal y los armónicos diferencia y suma para el prototipo 2

En la figura 3, se observa que ambos prototipos presentan un comportamiento no lineal y que las nuevas componentes espectrales que aparecen en el medio, adquieren los patrones de directividad de la frecuencia primaria. En la figura 4, se observa que tanto para el armónico suma como para el diferencia el comportamiento no es lineal cuando se incrementa el voltaje de

entrada y difiere del comportamiento de la frecuencia primaria, por lo que se puede confirmar que se produce generación paramétrica.

4. RESULTADOS EXPERIMENTALES Vs SIMULACIÓN NUMÉRICA

Una vez finalizada la fase experimental, realizamos la comparación con la simulación obtenida en K-wave. En la figura 5, se presenta la comparativa entre las directividad obtenida en la simulación y las medidas realizadas en los prototipos para la armónica diferencia de 60kHz.

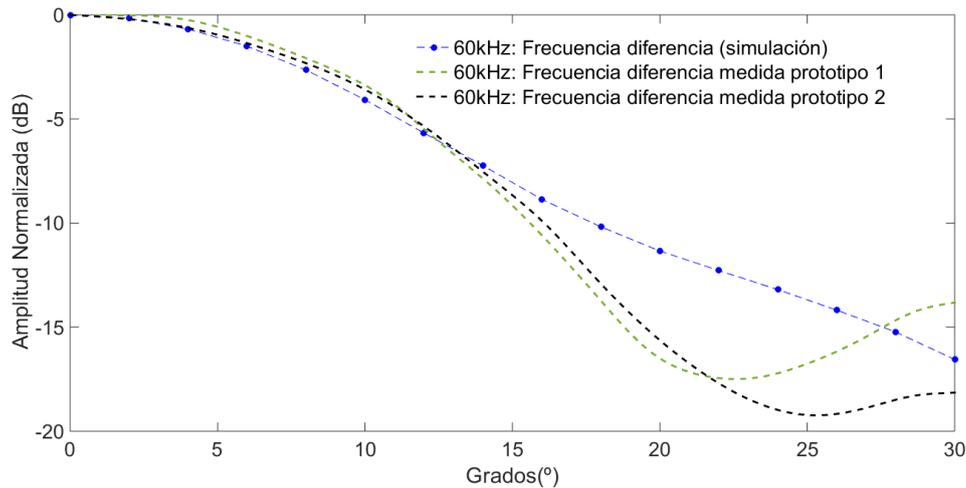


Figura 5. Comparación entre simulación y medidas experimentales de los dos prototipos para la frecuencia diferencia de 60kHz

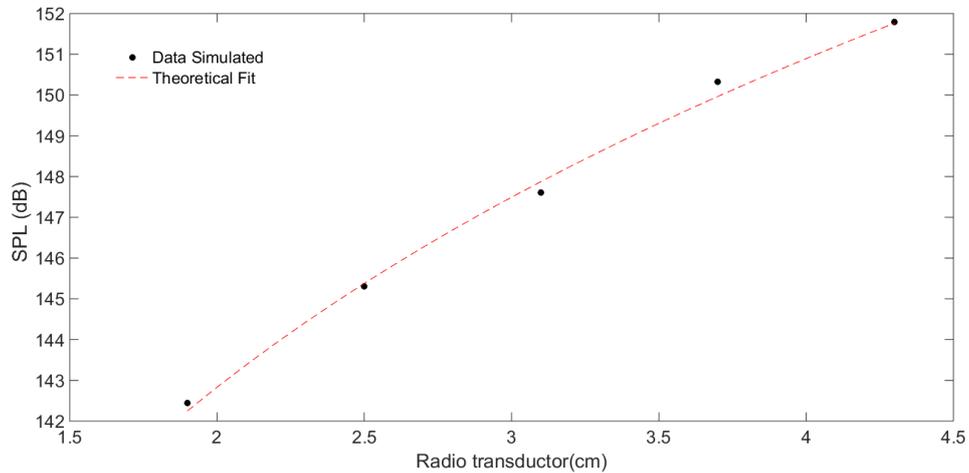
Por otro lado, la tabla 1 muestra los valores experimentales de nivel de presión a 1.5m de cada prototipo y la simulación bajo las mismas condiciones. Se observa que la simulación tiende a sobrestimar los resultados experimentales, especialmente en el haz primario.

LP _{recibido} (dB)	PROTOTIPO 1	PROTOTIPO 2	SIMULACION
F _{90-150kHz/170-230kHz}	173.3	173,8	179.5
f _{60kHz}	141.4	141	142.4
f _{240kHz/400kHz}	143.3	137.4	----

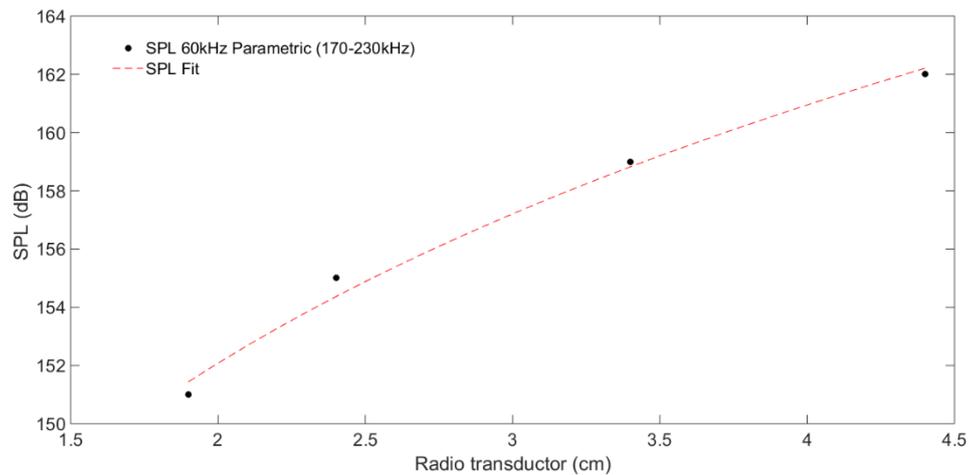
Tabla 1. Comparación de la amplitud & el voltaje de entrada entre la frecuencia de resonancia lineal y los armónicos diferencia y suma para el prototipo 2

Una vez validado el modelo en régimen no lineal se presenta el segundo estudio para mejorar el nivel obtenido en el armónico diferencia. Este se centra en trabajar a frecuencias primarias mayores, 170 kHz y 230 kHz, para obtener la misma frecuencia diferencia: 60 kHz. A partir de ahí, el nivel de presión de este parámetro se simula en función de la apertura del transductor. El aumento de las frecuencias primarias tiene como objetivo aumentar la eficiencia de la generación paramétrica. También a mayor frecuencia, los haces son más direccionales y se obtiene una

mayor concentración de energía a lo largo del eje que provoca una conversión de generación paramétrica



a)



b)

Figura 6. Simulación del nivel de presión obtenido por la frecuencia diferencia en función del radio del transductor. a) Para una señal bifrecuencia de 90 y 150 kHz. b) Para una señal bifrecuencia de 170 y 230 kHz

La Figura 6b muestra que para el mismo radio de los prototipos, por ejemplo 1.9cm hay un incremento de aproximadamente 10dB con respecto a los valores obtenidos en la Figura 6a. De 142dB pasa a 151 dB.

5. CONCLUSIONES

Los estudios presentados en esta comunicación revelan la posibilidad de utilizar simulaciones numéricas aplicando el método de pseudo spectral k-wave para describir el comportamiento no-lineal de los transductores y poder utilizarlo para posibles mejoras.

Por otro lado los prototipos bajo estudio son capaces de generar comportamiento paramétrico con la posibilidad de trabajar a varias frecuencias presentando condiciones de radiación similares. Estos resultados son favorables para poder llevar a cabo futuras campañas de medida en el sector de la acuicultura en aguas poco profundas.

6. REFERENCIAS

- [1] FAO: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Estadísticas 2014
- [2] APROMAR. 2009. “La Acuicultura Marina de Peces En España.” : 1–68.
- [3] Westervelt, Peter J. 1963. “Parametric Acoustic Array.” The Journal of the Acoustical Society of America 35(1960): 535–37.
- [4] Hobaek, H, and M Vestrheim. 1977. “Parametric Acoustic Arrays Formed by Diverging Sound Beams.” Acustica 37: 74–81.
- [5] Treeby, Bradley, Ben Cox, and Jiri Jaros. 2016. “K-Wave, Manual Version 1.1.” 1.
- [6] “Redpitaya.” <https://redpitaya.com/>.