

## **LEVANTAMIENTO DEL CAMPO ACÚSTICO DE UNA FUENTE SONORA SUBACUÁTICA EN EL TANQUE HIDROACÚSTICO DEL INSTITUTO DE ACÚSTICA**

REFERENCIA PACS: 43.30.Jx, 43.30.Sf

C. Ranz Guerra y P. Cobo Parra  
Instituto de Acústica. CSIC.  
C/ Serrano, 144,  
28006 Madrid. España  
Tel.: 91.561.88.06  
Fax: 91.411.76.51  
E-Mail: [iacrg32@cetef.ia.csic.es](mailto:iacrg32@cetef.ia.csic.es)

### **ABSTRACT**

The capabilities of the new Hydroacoustic Tank at the IA allow to move the sensors along any 3D trajectory with steps down to 1 mm. The measurement of the acoustic pressure field around any sensor can become a very tedious task; now the framework of the new tank permits to make that job, in a very quick and easy way. This paper shows how the trajectories are done in the tank, and some results are presented.

### **RESUMEN**

Las nuevas capacidades del Tanque Hidroacústico del Instituto de Acústica permiten mover los sensores en 3D con pasos de hasta 1 mm. La medida de la presión generada en su entorno, por cualquier fuente sonora sumergida, cuando se ejecuta de una manera adecuada, puede proporcionar una visión del campo acústico de dicha fuente. El proceso que podría ser estimado como muy tedioso viene, sin embargo, facilitado por las posibilidades de movimiento de los soportes de los sensores en el tanque hidroacústico. Se describen las tareas de programación de trayectorias y se presentan algunos resultados de visualización de los campos acústicos creados por fuentes típicas.

### **DISPOSICIÓN EXPERIMENTAL**

El Tanque de Experimentación en Acústica Subacuática instalado en el Instituto de Acústica, CSIC, ha consistido en sustituir el viejo puente soporte del emisor, y el puente soporte del receptor, por dos puentes idénticos, carro 1 y carro 2, cuyos movimientos pueden programarse desde un ordenador externo, (Ranz y Cobo, 1998). Todo ello ha sido complementado con todo el procedimiento inherente a la secuenciación de varios procesos: generación de señales-movimiento de sensores-adquisición de señales. Esta secuencia por un lado genera una señal (la más pertinente en relación con la experimentación), mueve los sensores de acuerdo con una trayectoria y finalmente mide (adquiere) las señales en el instante preciso y en el punto preciso. Cada trayectoria es una secuencia de instrucciones en la que aparecen las coordenadas de salida y las de llegada seguidas de las órdenes correspondientes (generar señal, adquirir señal, pasar al punto siguiente, etc.). En la comunicación entre movimientos y adquisición de señal el primer requisito que se plantea es la de la

correcta sincronía entre la toma de datos y el movimiento de los puentes: C1 y C2. Este sincronismo básico se consiguió a través de un interfaz analógico entre las señales digitales de control, tarjetas E/S en el cuadro de control, con las señales digitales de control de la tarjeta de adquisición. La puesta en funcionamiento de esta comunicación se llevó a cabo mediante la conexión, vía cable serie RS-232, entre los PC1 y PC2 junto con el oportuno protocolo de comunicaciones. Los movimientos de los puentes en el tanque son función de las actividades que se llevan a cabo ejecutando movimientos simples como pueden ser giros alrededor de los ejes acústicos de los sensores, (p.e. medidas de directividad) o líneas rectas. En otros casos el movimiento de los sensores se ha de realizar sobre un plano. El Editor de Trayectorias contempla dos modos de hacerlo. Si la exploración se ha de realizar en tres dimensiones es importante decidir qué tipo de superficie se selecciona como base de exploración de partida. El Editor contempla la posibilidad de moverse sobre un paralelepípedo, sobre un cilindro o sobre una esfera. Se puede pensar que cualquier superficie en 3D podrá aproximarse por cualquiera de las tres superficies anteriores circunscrita a la superficie de que se trate, lo que implicará arrastrar un factor de corrección para cada punto.

## **DETERMINACIÓN DEL CAMPO ACÚSTICO**

En este apartado se describe el dispositivo experimental correspondiente a la estimación del campo acústico de un transductor subacuático. Este resultado se comparará, en el apartado siguiente, con el resultado teórico esperable.

El sensor examinado era un array circular formado por cinco sensores en cruz, figura 1, e insertado en un receptáculo específico, cilíndrico y estanco. El sensor receptor era un sensor hidrofónico Brüel & Kjaer 8100, con una respuesta adecuada hasta los 50 kHz.

Los dos sensores, emisor (array) y receptor estaban situados, como posición de partida y referencia, en el eje longitudinal del tanque a 3 m de profundidad. El emisor permaneció en reposo y se movió tan sólo el receptor que lo hizo siguiendo una trayectoria zig-zag sobre un plano rectangular de 2 x 1 m, paralelo a las paredes más pequeñas del tanque. El lado mayor del rectángulo descendía 10 cm por debajo del eje (referencia) emisor-receptor, y ascendía hasta los dos metros de profundidad, en su parte superior.

Los puntos de medida estaban separados por 5 cm tanto en horizontal como en vertical. Así, en total, se dispusieron de  $40 \times 22 = 880$  puntos que cubrieron, uniformemente, el frente de medida.

Junto con cada adquisición de señal se adquiría también la posición del carro hidrofónico de manera que era posible conocer la distancia real emisor-receptor y reducir la señal a aquella que se obtendría si la medida hubiera sido obtenida moviéndose sobre un casco esférico de 1 m de radio, centrado en el emisor.

Una vez adquirida la señal y corregida por distancia (reducción a 1m) se estructuró la matriz de 40 X 22 elementos. Cada elemento de la matriz era la señal temporal obtenida en el correspondiente punto de medida, dado por la posición de los carros emisor y receptor. Esta señal era el resultado de promediar 25 medidas brutas alineadas, para cada posición, por el nivel de disparo, y el pre-trigger correspondiente, que desencadenaban el momento de iniciar la adquisición de señal. El tiempo de pre-disparo era de 1 ms lo que permitía dada la experiencia seleccionar siempre la señal completa.

La señal sintetizada por el sistema de control, para ser radiada por el emisor, era una de tipo "chirp" en una banda entre 18 y 72 kHz. Los procesos de generación y adquisición de señal se realizaron con una frecuencia de muestreo de 250 kHz.

## **RESULTADOS EXPERIMENTALES**

Para representar el campo acústico se puede seleccionar como variable la densidad espectral de potencia acústica. El dispositivo incorporado al Tanque de Experimentación

permite tratar y procesar las señales en entornos específicos, como Matlab. Una posible representación de los resultados es la que aparece en la figura 2. En ella y mediante un código de colores que proporciona el nivel, en dB, respecto al máximo valor, aparece la distribución de la energía radiada en relación a un sistema de coordenadas que coincide con los lados que definen el rectángulo de exploración. Se observa una cierta asimetría en los datos experimentales. La razón estriba en que aunque la disposición del array es básicamente la que aparece en la figura 1, el array está girado un ángulo  $\alpha$  respecto al sistema coordenado que representa la cruz formada por los sensores. El ángulo  $\alpha$  en el array real era  $12.0^\circ$ , el estimado sobre los resultados experimentales, figura 3, era de  $11.3^\circ$ .

Los datos adquiridos conservan información de todas las frecuencias de la banda de manera que es posible con un único registro de señales obtener la direccionalidad del emisor a cualquiera de las frecuencias de aquella.

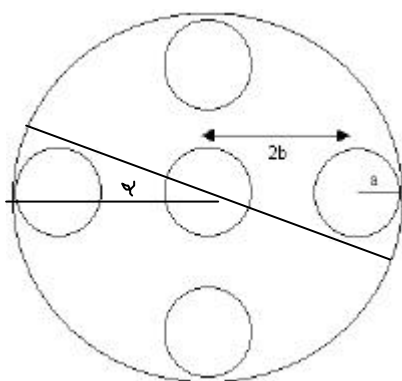


Figura 1. Esquema del sensor

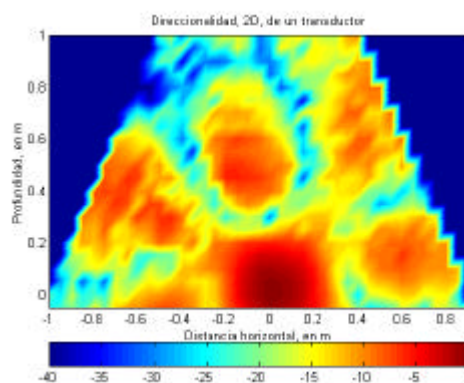


Figura 2. Direccionalidad, 2D a 36 kHz

La figura 3, presenta los resultados en 2D pero para frecuencias que van desde 20 a 50 kHz.

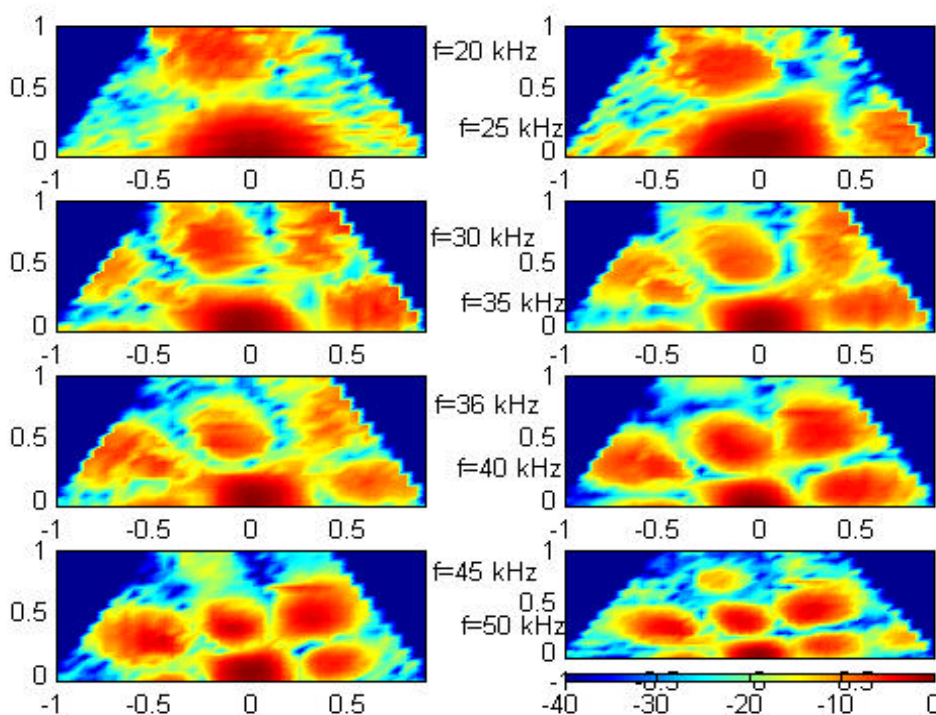


Figura 3. Direccionalidad 2D, para varias frecuencias en la banda 20 a 50 kHz. Abcisas: distancia horizontal, en m. Ordenadas: distancia vertical (profundidad) en m. La escala de colores representa dB respecto al valor máximo.

Se puede observar como la direccionalidad crece a medida que lo hace la frecuencia tanto por disminuir el ancho de los lóbulos como por la aparición de otros nuevos.

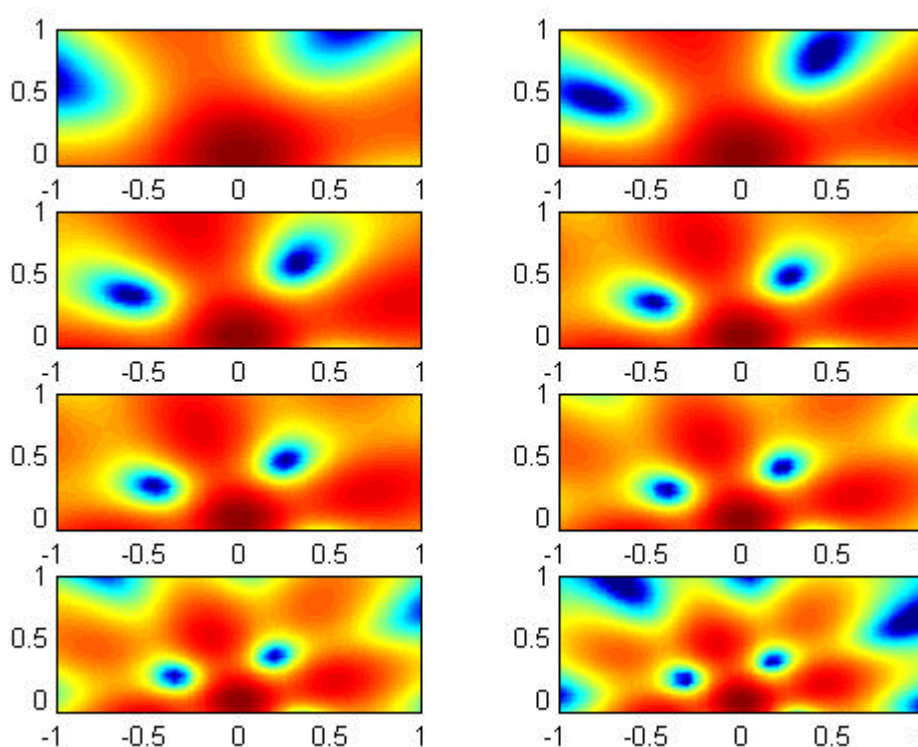
### EXPERIENCIA VERSUS TEORIA

El cálculo de la direccionalidad del array es inmediata. Cada uno de los elementos es un pistón o si se quiere es un radiador circular; en cualquiera de los casos su función directividad viene dada por

$$D_{piston}(K) = 2 \frac{J_1(Kl/2)}{Kl/2}$$

donde  $K$  es el número de onda,  $l = a \sin(\phi)$ , donde  $\phi$  es el ángulo en el espacio, y  $J_1$  es la función de Bessel de primera especie y orden uno. La función directividad para el array en su conjunto es el producto de la direccionalidad de un array formado por  $N$  (cinco) elementos puntuales situados en los vértices de un cuadrado y en su centro, o bien la de dos dipolos idénticos a  $90^\circ$ , multiplicada por la direccionalidad de un solo elemento, más un elemento en el centro. En este clásico resultado se puede observar que la direccionalidad va a depender del ángulo que forma el plano sobre el que se determina la direccionalidad, al cortar el plano del array, en relación con los elementos del mismo, figura 1, (Stephens y Bate, 1966).

$$D_{array}(K) = \left[ 0.5 + \frac{1}{N-1} \sum_{n=1}^{N-1} \exp(jK \sin \theta \cos(\frac{2\pi(n-1)}{N-1} - \alpha)) \right] D_{piston}(K)$$



La figura 4, presenta los resultados teoricos equivalentes a los de la figura 3  
 Figura 4. Direccionalidad 2D, para varias frecuencias en la banda 20 a 50 kHz. Abcisas: distancia horizontal, en m, Ordenadas distancia vertical (profundidad) en m. La escala de colores es la misma que la de la figura experimental, Figura 3, y la correspondencia con la frecuencia es también la misma.

La comparación entre las figuras 3 y 4 puede llevar después de una revisión detallada a observar coincidencias y discrepancias que sería prolijo discutir en estas líneas. No obstante no hay que olvidar que en la derivación de la direccionalidad teórica se supone que los cinco elementos del array irradian exactamente igual y exactamente con la misma fase. Cualquiera que tenga una pequeña experiencia con el diseño y construcción de transductores comprenderá que esto es totalmente inalcanzable; tan sólo después de una larga serie de sensores diseñados con el mismo criterio y a la misma frecuencia es posible seleccionar un pequeño número de aquellos, con características semejantes. Los resultados que presentamos en las dos figuras anteriores, son reflejo de procedimientos experimentales que pueden ayudar, en procesos de producción a gran escala, a una más adecuada selección de sensores.

Las representaciones que aparecen en las figuras 5 y 6 se refieren a representaciones 3D de las respectivas direccionalidades (teórica y experimental).

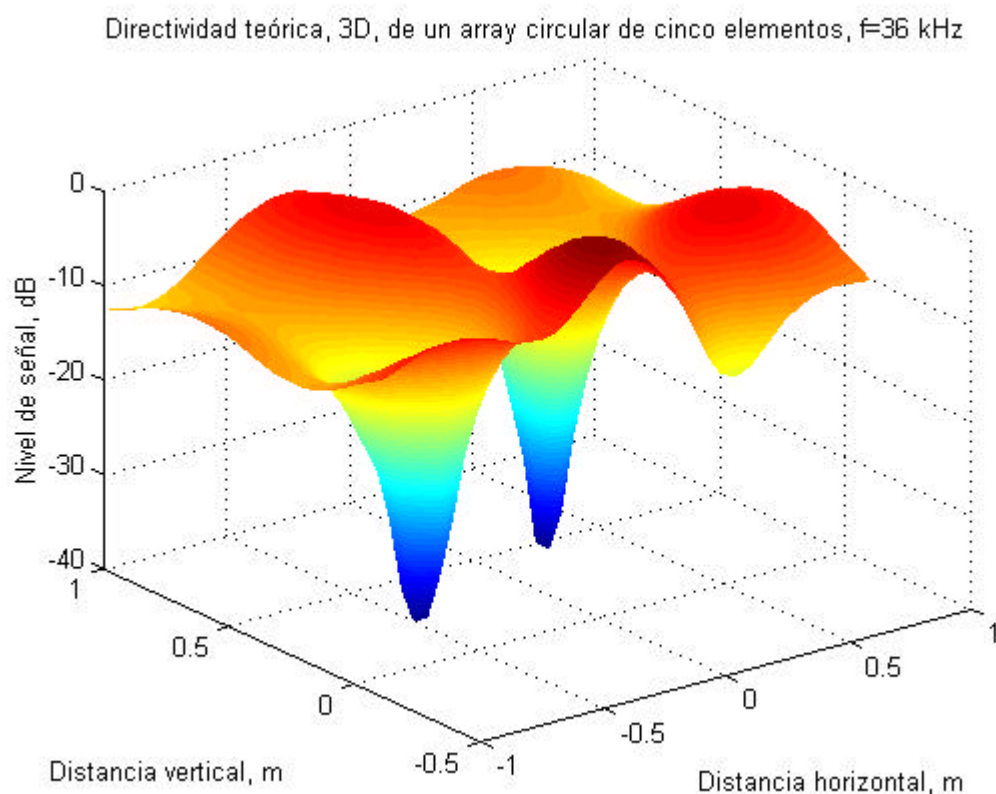


Figura 5. Diagrama de directividad teórica de un array circular de cinco elementos tipo pistón a la frecuencia de resonancia principal del transductor elemental,  $f=36$  kHz.

La figura 6, presenta el mismo resultado pero, en este caso, con los datos experimentales obtenidos en el Laboratorio Tanque del Instituto de Acústica. Hay que observar la presencia de los lóbulos laterales y la distorsión que estos lóbulos sufren por la radiación distinta de cada uno de los elementos componentes del array.

Un último comentario en relación con los resultados experimentales. Se observa en las figuras 3 y 6, que a medida que la profundidad del sensor hidrofónico disminuía, y para las posiciones extremas de la coordenada horizontal, los resultados medidos eran tan débiles, (posiblemente esos puntos podrían corresponder a direcciones en las que la señal era muy pequeña frente a la obtenida en el eje acústico), que no fue factible seleccionar un nivel de disparo suficientemente pequeño para poder medir con cierta precisión, (al no existir un nivel de disparo válido la adquisición de la señal no podía situarse en la misma zona en cada una de las tomas de datos lo que hacía que el promedio careciese de valor). Esos puntos

corresponden a las zonas azuladas triangulares, en 2D, y en las zonas correspondientes en las representaciones 3D.

Directividad experimental, 3D, de un array circular de cinco elementos,  $f=36000$  Hz

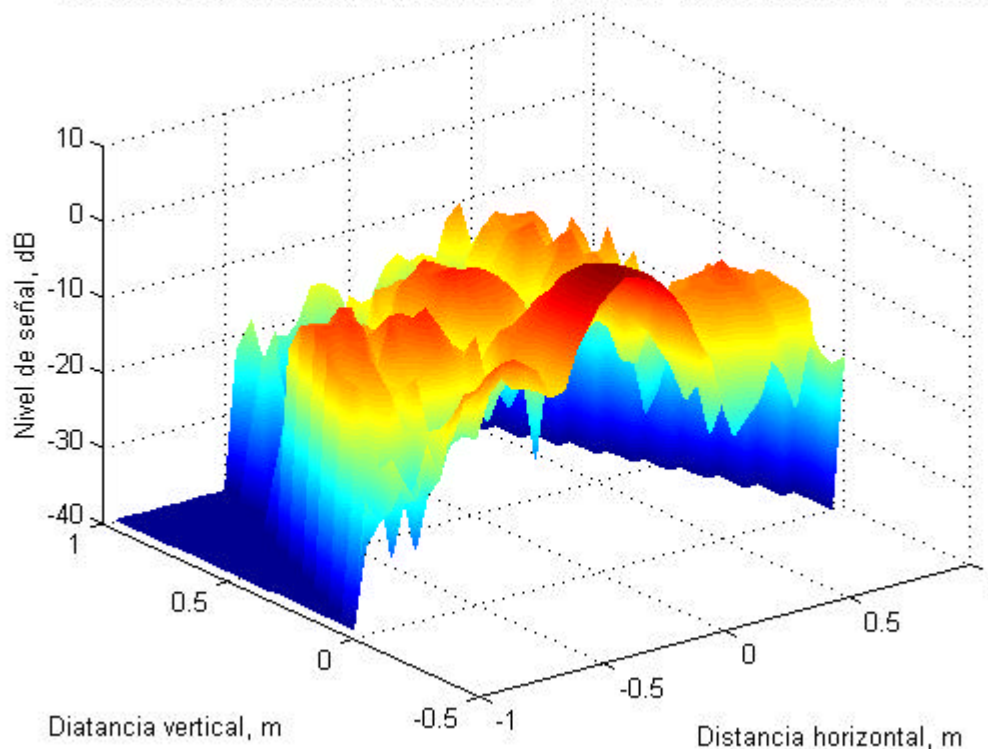


Figura 6. Representación 3D, de la direccionalidad del sensor tipo pistón (cinco elementos) partiendo de los datos experimentales y a la frecuencia de resonancia del sensor elemental, 36 kHz.

## CONCLUSIONES

- 1) Las posibilidades de la instalación actual del tanque hidroacústico del IA, en el levantamiento del campo de radiación de cualquier sensor acústico submarino, se han demostrado factibles.
- 2) La cualidades reales de radiación de un sensor pueden diferir de las previstas teóricamente. Este hecho, cuando es factible valorarlo significa una herramienta muy útil en aquellos procesos en los que es necesario seleccionar un conjunto de sensores con cualidades y características suficientemente próximas, como es el caso de la selección de elementos que conforman los sonares de uso civil y militar.

## REFERENCIAS

1. Ranz, C. y Cobo, P. "**Underwater facility for automated experimentation and measurement**". J.A.S.A., 103, 5, Part. 2, pp 2755. 1998.
2. Ranz, C, y García, M. "**Control remoto del tanque de experimentación hidroacústica del Instituto de Acústica del CSIC**". Tecnoacústica 1999. Avila. Noviembre 1999. Conferencia ASB03.
3. Stephens, R. W. B., y Bate, A. E. "**Acoustics and Vibrational Physics**". Edward Arnold Pub. Ltd. London. 1966. Apéndice 40. Pp: 718-722.