

## ¿Cómo seleccionar transductores ultrasónicos?

VIRGINIA MABEL SILBERGLEIT\*

*Departamento de Ciencias Geológicas, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales  
Universidad de Buenos Aires, Ciudad Universitaria, 1428 Buenos Aires, Argentina*

Recibido el 3 de diciembre de 1991; aceptado el 23 de junio de 1992

**RESUMEN.** Se presenta el cálculo del campo de presiones creado por radiadores convergentes ultrasónicos en medios no atenuantes. Se utilizan los resultados teóricos obtenidos a través del método de la respuesta impulsiva para valores determinados de los parámetros de forma y de tamaño relativo. Este método es aplicable a la selección de transductores ultrasónicos.

**ABSTRACT.** A theoretical model to calculate the pressure field patterns of focused ultrasonic radiators in non-attenuating media is introduced. Predicted signals are compared with the ones obtained through experiments for two dimensionless parameters. This method is applicable to the selection of transducers.

PACS: 06.70.Mx

### 1. INTRODUCCIÓN

En este trabajo se presenta un estudio teórico del campo de presiones originado por un transductor cóncavo. Se implementa un algoritmo que simula el funcionamiento de un vibrador periódico mediante el método de la respuesta impulsiva. A través del cálculo de una sola integral numérica, se obtienen las variaciones de presión (con respecto al equilibrio) en todos los puntos del fluido. Se consideran las superficies vibrantes levemente curvadas de manera de poder despreciar las difracciones secundarias existentes en las mismas. Para un conjunto de valores de los parámetros antes mencionados es posible seleccionar el cristal más apto para el intervalo de frecuencias de trabajo.

### 2. TEORÍA

El método de la respuesta impulsiva es rigurosamente aplicable a los casos de fuentes (vibradores) planas; sin embargo, también es válido, en primera aproximación, en el caso de transductores suavemente curvados, es decir cuando las dimensiones laterales y el radio de curvatura del cristal son grandes comparados con la longitud de onda utilizada.

De acuerdo con la Ec. (1) presentada en la Ref. [1], la expresión de la presión producida por una onda sonora en un dado punto de un fluido, está dada por

$$p(M, t) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_S \phi(t_0) \frac{\delta(t - t_0 - r/c)}{2\pi r} dS dt_0, \quad (1)$$

\*Miembro de la Carrera Científica del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) de Argentina.

donde  $M$  representa la posición del punto campo,  $\phi(t_0)$  la derivada normal de la presión sobre la superficie radiante,  $c$  la velocidad de propagación del sonido en el medio y  $\delta(t)$  la función delta de Dirac.

Para el caso de una superficie que vibra armónicamente en el tiempo con una frecuencia  $w$  resulta

$$\phi(t_0) = -jw\sigma v_0 \exp(jwt), \tag{2}$$

donde  $\sigma$  es la densidad del medio y  $v_0$  la amplitud de la velocidad normal a la superficie radiante.

La expresión (2) muestra que la función  $\phi(t_0)$  es independiente de las coordenadas espaciales y puede ser directamente medible con un pequeño hidrófono de banda ancha colocado en el punto de focalización.

La expresión final para la presión resulta

$$p(M, t) = -jw\sigma v_0 \exp(jwt) \int_{-\infty}^{\infty} h(M, t') \exp(-j\omega t') dt', \tag{3}$$

siendo  $h(M, t)$  la función respuesta impulsiva, que sólo es distinta de cero en un pequeño intervalo de tiempo.

De acuerdo con la Ref. [2], el valor de la función respuesta impulsiva sobre el eje de la simetría del vibrador es

$$h(y = 0, z > 0, t) = \frac{cF}{|z|}, \tag{4}$$

donde  $F$  es la distancia focal del transductor,  $z$  es la coordenada axial y  $y$  es la coordenada radial del punto campo ( $y, z$  se miden desde el punto focal).

La expresión (4) muestra cómo la respuesta impulsiva toma un valor constante durante la llegada de la perturbación y luego se hace cero; en consecuencia, es posible escribir

$$h(y = 0, z > 0, t) = \frac{cF}{|z|} H(t - t') H(t'' - t), \tag{5}$$

donde  $H$  es la función de Heaviside,  $t'$  y  $t''$  son los tiempos de arribo de la primera y la última contribución, que llegan al punto campo  $M$  provenientes del transductor.

En el punto de focalización ( $y = z = 0$ ), el valor de la función  $h(0, t)$  se hace infinito y su intervalo de definición tiende a cero. De acuerdo con la Ref. [1] la función  $h(0, t)$  se hace igual a la función delta de Dirac, la cual es no nula sólo para el intervalo de tiempo requerido por la onda en recorrer la distancia entre la superficie radiante y el punto focal, en consecuencia resulta

$$h(t) = \{F - (F^2 - a^2)^{1/2}\} \delta(t - F/c), \tag{6}$$

siendo  $a$  el radio transductor.

Para puntos sobre el plano focal ( $z = 0$ ) la presión puede ser calculada a partir de la Ec. (3). Considerando la Ref. [3] resulta

$$h(y > 0, z = 0, t) = \frac{cF}{\pi y} \arccos \left\{ \frac{1 - a^2/F^2}{1 - [(F^2 - c^2t^2 + y^2)^2/4y^2F^2]} \right\}^{1/2}. \quad (7)$$

### 3. MÉTODO DE CÁLCULO

Se implementó un programa computacional para el cálculo del campo de presiones utilizando la Ec. (3). Los límites de integración quedaron determinados a partir de la elección de las zonas de trabajo. Se presentan los resultados obtenidos sobre el eje de simetría y el plano focal del radiador en función de los parámetros adimensionales  $T$  y  $G$  que están definidos como sigue:

i) De tamaño relativo:

$$T = \frac{af}{c}. \quad (8)$$

ii) De forma:

$$G = \frac{a}{c}. \quad (9)$$

iii) De campo:

$$K = \begin{cases} \frac{z}{F} & \text{(sobre el eje de simetría)} \\ \frac{y}{F} & \text{(sobre el plano focal).} \end{cases} \quad (10)$$

Los parámetros  $T$  y  $G$  se relacionan con las dimensiones propias de cada vibrador. Para cada radiador es posible optimizar el parámetro  $T$  a partir de la elección de la frecuencia  $f$  de trabajo.

### 4. EJEMPLO NUMÉRICO

En el presente trabajo se aplica el método de cálculo numérico para determinar el campo de presiones producido por un vibrador que oscila con una frecuencia de 2.46 MHz en agua. Las características del cristal se representan por los valores de los parámetros

$$T = 15.77,$$

$$G = 0.086$$

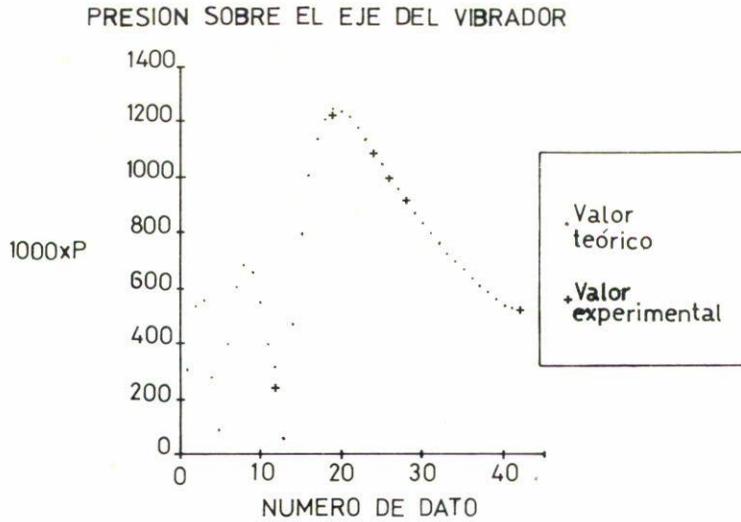


FIGURA 1. Gráfica de los valores de la presión normalizada (teórica y experimental), sobre el eje axial, de acuerdo con la Ref. [4] para los valores de  $T = 15.77$ ;  $G = 0.086$  y  $f = 2.46$  MHz.

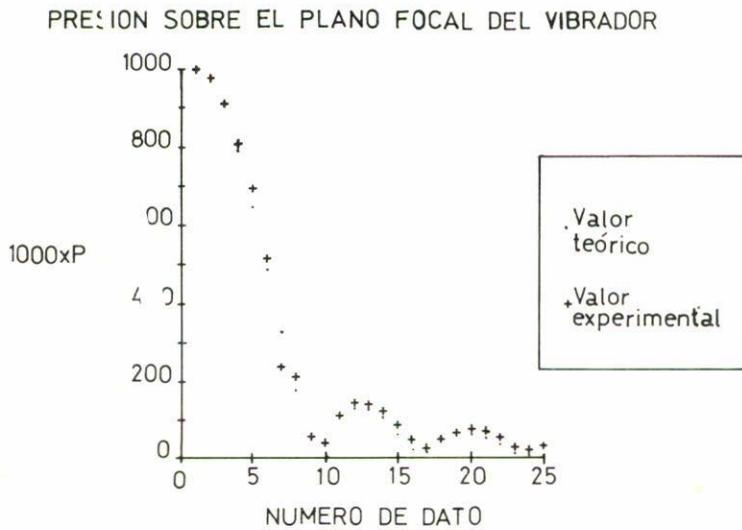


FIGURA 2. Gráfica de los valores de la presión normalizada (teórica y experimental), sobre el plano focal, de acuerdo con la ref. [4] para los valores de  $T = 15.77$ ;  $G = 0.086$  y  $f = 2.46$  MHz.

En las Figs. 1 y 2 se verifica el buen acuerdo existente entre las mediciones realizadas por los autores de la Ref. [4] y los valores predichos por este trabajo.

## 5. CONCLUSIONES

La comparación gráfica de los valores teóricos y experimentales (como se muestra en este trabajo), permite seleccionar cristales emisores en función de los parámetros  $T$  y  $G$ . En el ejemplo, la bondad del ajuste indica que las características del vibrador usado en la Ref. [4] son aceptables para su funcionamiento a una frecuencia de trabajo de 2.46 MHz.

Asimismo el estudio de las amplitudes de las señales observadas provee información acerca de las aberraciones debidas al transductor, de la frecuencia óptima de trabajo, de la buena disposición experimental, etc.

El uso del modelo propuesto garantiza la simplicidad, rapidez y bajo costo del método de selección. En particular, para el presente estudio se utilizó agua como fluido de prueba y como herramienta de cálculo una computadora de tipo hogareño.

Futuros modelos de simulación pueden contribuir a mejorar las técnicas de selección de cristales, considerando por ejemplo las características propias del medio en los que deben ser utilizados.

## REFERENCIAS

1. A. Penttinen and M. Luukkala, "The impulse response and pressure nearfield of a curved ultrasonic radiator", *Journal of Physics D* **9** (1976) 1547.
2. M.R. Bianchini, "Simulation du rayonnement d'un transducteur concave. Méthode de la réponse impulsionelle", Rapport de Stage de P.E.A. (1985).
3. E.A. Cingolani, "Estudio de radiadores circulares cóncavos ultrasónicos", Tesis de Licenciatura en Ciencias Físicas, U.B.A. (1987).
4. E. Madsen, M. Goodsitt and J. Zagzebski, "Continuous waves generated by focused radiators", *J.A.S.A.* **70** (1981) 1508.