

## SÍNTESIS Y CONFORMACIÓN DE EMISIÓN ULTRASÓNICA

J. M. Martín<sup>1</sup>, A. Gómez<sup>2</sup>, L. Calderón<sup>1</sup>, R. Ceres<sup>1</sup>  
<sup>1</sup> Dr. en Ciencias Físicas, <sup>2</sup> Licenciado en Ciencias Físicas

Instituto de Automática Industrial, Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC).

CN III, Km. 22,80. 28500 ARGANDA DEL REY (Madrid). España

Tlf.: 34-91-871 19 00. Fax : 34-91-871 70 50

e-mail: leopoldo@iai.csic.es

### SUMMARY

In many of the applications based on ultrasonic sensors, several emitting transducers are used in order to increase the emission energy or to conform a certain emission field.

The present work has as objective to simulate the wave that is transmitted through the air when several emitters connected in parallel and excited by pulses. It is assumed that the resulting wave is the vectorial sum of those produced by each one of the emitters. This way it will be possible to simulate the behavior of a series of emitters without necessity of their experimental assembly, what represents a saving of time and material.

To make the simulation of a group of emitters, firstly it should be analyzed the shape of wave of the emitters individually. For it, the temporary function, the dependence of the amplitude with the distance and the angular variation of the emitted signal are applied.

The good agreement among the measured results and simulated, allows to assure that the simulation tool is adequate to obtain a quick evaluation of the field corresponding to a certain configuration of ultrasonic transducers.

### INTRODUCCIÓN

Los fenómenos que provocan los ultrasonidos al propagarse en sólidos, líquidos y gases han dado lugar a numerosas aplicaciones técnicas y científicas.

Una de las aplicaciones más utilizadas en robótica ha sido el sistema de anticollision basado en ultrasonidos. Sin embargo, en la robótica móvil no solamente es necesario evitar los obstáculos en su entorno de trabajo sino también posibilitar su movimiento de forma fiable para seguir, alcanzar o situar en las posiciones requeridas al robot. Actualmente, los robots móviles utilizan sistemas rígidos de navegación (railes, filoguiados, balizas ópticas o magnéticas, etc.), mientras que la investigación tiende a conseguir sistemas más flexibles que permitan la navegación libre. Un caso similar, también analizado, sería un sensor de ayuda a la movilidad de personas con discapacidad visual.

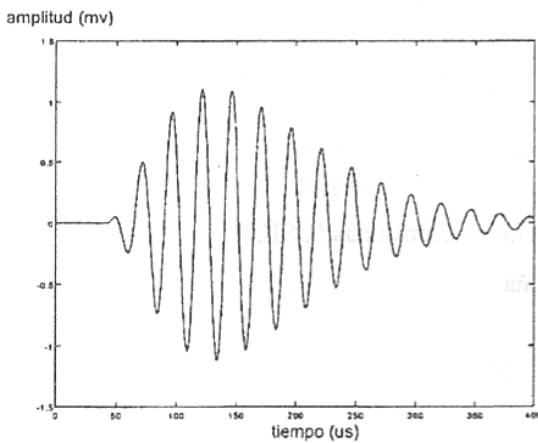
El IAI ha desarrollado un sistema de navegación y está basado fundamentalmente en sensores ultrasónicos. Consta de emisores fijos y un receptor embarcado en el robot, los cuales proporcionan continuamente la posición y la orientación al robot en su movimiento.

Para conseguir la determinación de dichas posiciones y orientaciones en todo momento, se necesitarán obtener unos campos acústicos de determinadas geometrías. Así, el emisor ultrasónico deberá ser configurado para emitir en una semiesfera, mientras el receptor deberá detectar toda la esfera. Estos campos acústicos podrán ser generados con múltiples transductores y con determinadas configuraciones.

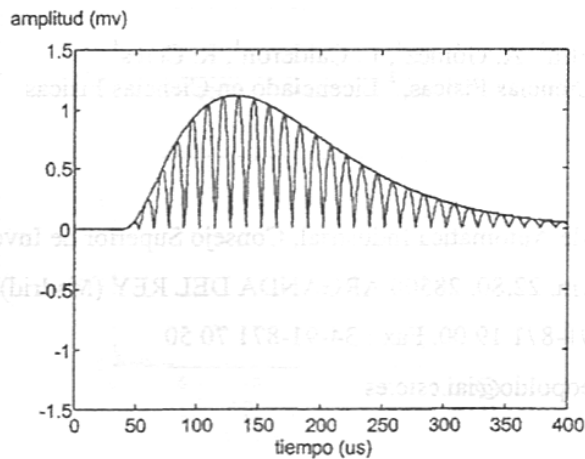
En este trabajo se presenta una simulación de la forma de las ondas ultrasónicas y la distribución angular de los diferentes dispositivos emisores, para reproducir los fenómenos interferenciales que se producen al disponer dos o más emisores y teniendo en cuenta la posición y distribución de estos. De esta forma se podrán obtener de forma rápida diagramas del campo acústico que producirá un determinado diseño.

### MODELO GENERAL DE SIMULACIÓN

Se desea encontrar un modelo para la forma del eco, que se ajuste lo más realmente posible a la realidad. El proceso completo de generación de un eco, desde que se suministra la señal eléctrica (p.e. un pulso cuadrado) al emisor, es demasiado complejo para tratar de formularlo exactamente y poder utilizar esa formulación para cálculos en tiempo real. Por estas razones se ha tratado de obtener un modelo basado en la realidad física sin pretender describirla exactamente, aunque efectivamente contemple ciertos problemas asociados al fenómeno de la propagación, siendo algunos evaluados experimentalmente.



Forma de la señal de eco



Señal rectificada y envolvente

#### Forma del eco

Si es excitado el emisor con un pulso, la señal obtenida y representada en la figura anterior se aproxima de forma general a la expresión siguiente [1]:

$$C_1 \cdot t^n \cdot e^{-at} \cdot \sin(2\pi \cdot f \cdot t + \theta) \quad \text{si } t > 0$$

$$0 \quad \text{si } t \leq 0$$

en la que:

$C_1$  es una constante,  $n$  es una constante que identifica al tipo de transductor usado,  $a$  es una constante que depende del emisor y caracteriza el tiempo de subida hasta el máximo de la señal,  $\theta$  es el valor de desfase de la onda con respecto a la señal emitida.

En la forma de eco anterior y para  $t > 0$ , se pueden distinguir dos partes: la envolvente representada por  $C_1 \cdot t^n \cdot e^{-at}$ , y la portadora por  $\sin(2\pi \cdot f \cdot t + \theta)$ .

#### Atenuación con la distancia

En la formula general planteada se puede observar que es en principio independiente tanto de la distancia como del ángulo. La variación de la amplitud con la distancia depende fundamentalmente de dos fenómenos físicos: la atenuación y la dispersión, combinando los dos fenómenos obtenemos la formulación siguiente [1]:

$$\frac{C_2 \cdot e^{-a \cdot x}}{x}$$

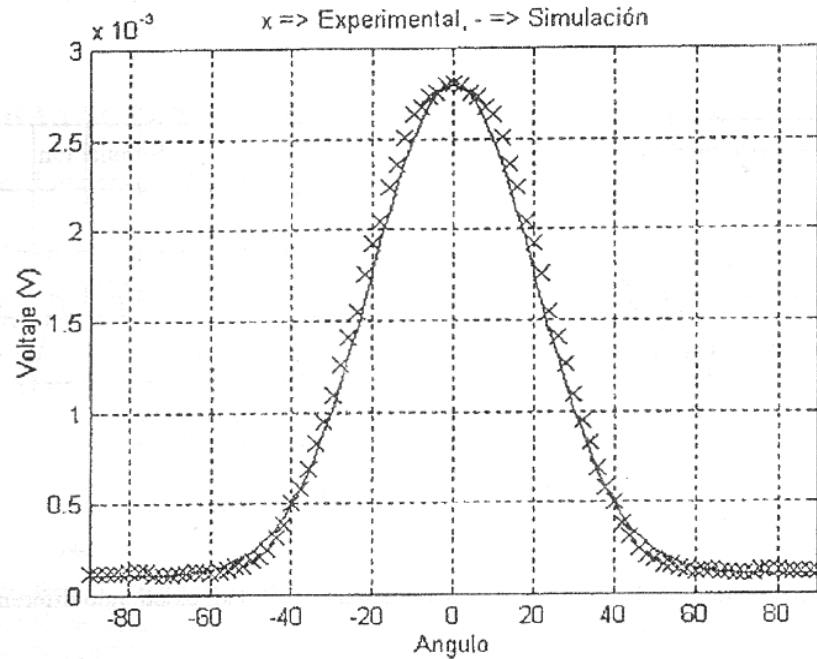
$C_2$  es la constante de la amplitud respecto a una referencia,  $a$ , es el coeficiente de atenuación del medio (en el aire tiene el valor  $1.85 \cdot 10^{-11} \cdot f^2$ ), y  $x$  es la distancia del emisor al punto de cálculo.

### Variación angular

Además de la variación con la distancia, existe una variación en la amplitud de la señal según sea el ángulo (del punto de cálculo) respecto a la normal de la superficie del transductor emisor. Según se demuestra en la referencia [6] y cumpliéndose unas determinadas condiciones (como estar en el campo lejano), esta variación puede aproximarse empíricamente con una expresión basada en la distribución normal:

$$C_3 \cdot e^{-\frac{\alpha^2}{2 \cdot S^2}}$$

$\alpha$  es el ángulo de orientación emisor-punto de cálculo con respecto a la normal del transductor,  $S$  tiene que ver con la naturaleza y forma del transductor.



Señal experimental y simulada

### Modelo completo

Teniendo en cuenta los apartados anteriores, se llega a la expresión que representa la señal acústica producida por un emisor, a una distancia  $x$  del emisor y formando un ángulo  $\alpha$  a la normal de dicho emisor. Si se supone que la señal comienza en  $t = 0$ , la excitación se produce con un único pulso,  $\alpha_0 = 0$  y el desfase es nulo ( $\theta = 0$ ) se tendrá:

$$C \cdot e^{-\frac{\alpha^2}{2 \cdot S^2}} \cdot t^n \cdot e^{-at} \cdot \text{sen}(2 \cdot \pi \cdot f \cdot t + \theta) \quad \text{si } t > 0$$

$$0 \quad \text{si } t < 0$$

Por tanto, se deberán determinar los siguientes parámetros de la expresión anterior:

$C$  = amplitud de la señal,  $S^2$  = variación angular del diagrama de la señal,  $a$  = tipo de transductor,  $n$  = tipo de cerámica piezoeléctrica y montaje.

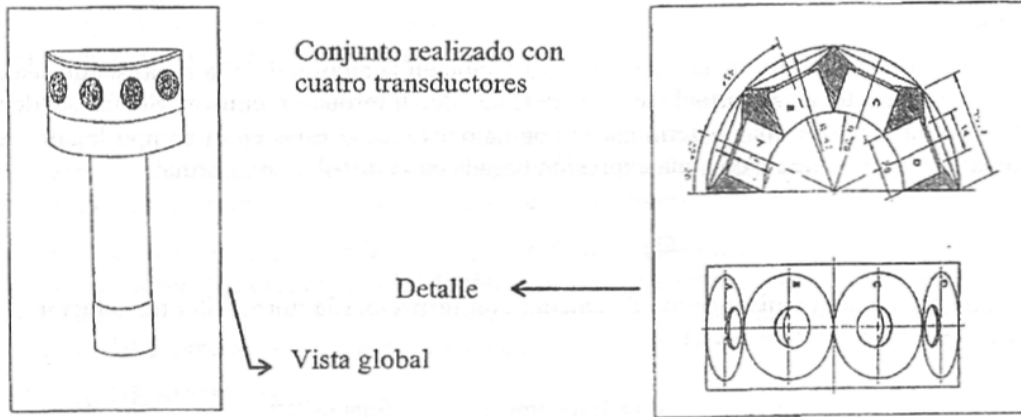
### APLICACIÓN

En el sistema de navegación libre para robots, diseñado en nuestro Instituto, se contempla la utilización de emisores ultrasónicos que abarquen en su emisión un radio de  $180^\circ$ . Con un único transductor no se cubre adecuadamente la franja semicircular frontal del sensor, habiéndose integrado cuatro transductores en el emisor para obviar dicho problema y conseguir una señal plana en el espacio indicado.

Mediante la simulación de la distribución del campo acústico en el espacio de trabajo se consigue conocer de forma inmediata dicha distribución en relación al número y a la posición de los transductores utilizados. Los transductores empleados son del tipo MA 40B5 (40 kHz) y dispuestos según se indica en la siguiente figura.

Los parámetros empleados en las simulaciones para dicho transductor son los relatados a continuación:

$$a = 2.9523 \cdot 10^3 \text{ s}^{-1}, n = 0.7813, C = 1.9350, S^2 = 0.1268$$

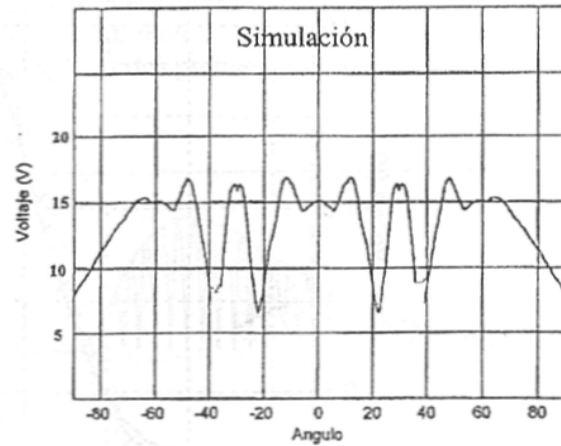
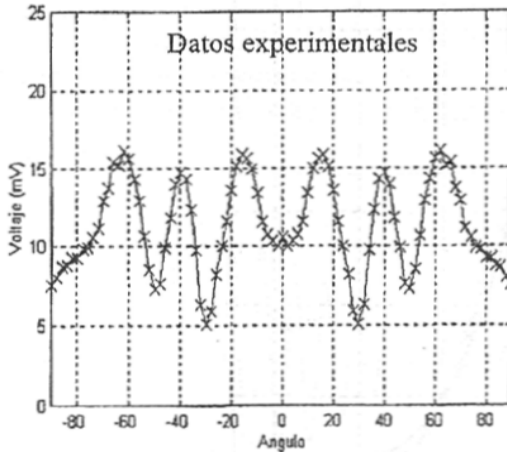


Conjunto realizado con cuatro transductores

Detalle

Vista global

## RESULTADOS



Se observa que la forma general de las gráficas se aproximan a la realidad, existiendo diferencia en su amplitud.

## CONCLUSIONES

La herramienta de simulación presentada puede extenderse a cualquier tipo de transductores tanto emisores como receptores (y no solamente piezoeléctricos), y a cualquier configuración que pueda realizarse con ellos.

Con unos pocos parámetros que caracterizan la forma de onda ultrasónica generada y la variación de la señal se consiguen resultados bastante fiables. Además, estos parámetros son fácilmente medibles, teniendo la posibilidad de obtenerlos de forma automática a partir de datos digitalizados.

Se pueden simular configuraciones complejas de sensores sin necesidad de realizar la construcción física del dispositivo, consiguiéndose ahorro de tiempo de montaje, de medida y de material.

Las diferencias entre simulación y resultados experimentales, creemos que se deben por una parte a: diferencias de señal entre distintos transductores (aún siendo del mismo tipo), asimetrías en el transductor, y errores en el montaje del dispositivo; y por otra parte a simplificaciones efectuadas como son: suposición de la puntualidad del transductor y la no consideración de los lóbulos laterales.

## REFERENCIAS

1. J. M. Martín, "Análisis de señales ultrasónicas para la definición de entornos en el campo de la robótica", Tesis doctoral, Universidad Complutense de Madrid, 1990.
2. J. M. Gutiérrez Arroyo, "Localizador ultrasónico bidimensional para robots móviles", Trabajo de maestría, Master en Tecnologías de la Información en Fabricación, Universidad Politécnica de Madrid, 1994.
3. F. S. Crawford, "Ondas", Berkeley Physics Course, Volumen 3, Editorial Reverté S. A., 1979.
4. A. C. Knoll, "Ultrasonic holography techniques for localizing and imaging solid objects", IEEE Transactions on Robotics and Automation, Vol. 7, N° 4, August 1991.
5. E. Almazán Aguilera, "Simulación de un multisensor ultrasónico detector de obstáculos como ayuda a la movilidad y orientación de personas con deficiencia visual", Trabajo fin de carrera, Universidad Politécnica de Madrid, 1992.
6. J. M. Martín, L. Calderón, R. Ceres, T. Freire, "Ultrasonic echoes from different orientations finding the normal inclination", Sensors and Actuators A, 37-38, 1993.