

SISTEMA DE POSICIONAMIENTO Y ADQUISICIÓN DE DATOS DE ALTA PRECISIÓN PARA ULTRASONIDOS EN INMERSIÓN CONTROLADA

PACS: 43.58.e

Daniel Tarrazó-Serrano¹; Pilar Candelas¹; José Miguel Fuster²; Sergio Pérez-López¹.

¹ Centro de Tecnologías Físicas, Universitat Politècnica de València. Camí de Vera S/N, 46022. València. Spain.

² Departamento de Comunicaciones, Universitat Politècnica de València, Camí de Vera s/n 46022 València, Spain.

E-Mail: datarser@upv.es, pcandelas@fis.upv.es, jmfuster@dc.com.upv.es, serpelo1@teleco.upv.es

Palabras Clave: sistema adquisición de datos, tanque de inmersión, medidas experimentales, metodología

ABSTRACT

The development of technologies applied to ultrasounds field of work require of high precision systems which allow a reliable data acquisition. This is due to the detail level that is needed in the experimental setups and the physical difficulties that involve measuring underwater. In this proceeding it is presented the main characteristics of an underwater acquisition system designed in the Universitat Politècnica de València (UPV). Besides, some experimental setups and measures carried out by Physics Technology Center (CTF) are shown, and they prove that a completely robotized and automated high precision movement system is necessary in order to obtain reliable results that help to the characterization and analysis of the involved acoustic phenomenon.

RESUMEN .

El desarrollo de tecnologías aplicadas al campo de los ultrasonidos requiere de sistemas de alta precisión que permitan una adquisición de datos fiable. Esto es debido al nivel de detalle que se necesitan en los montajes experimentales y las dificultades físicas que supone medir en sumergido. En esta comunicación se presentan las principales características de un sistema de adquisición ultrasonido subacuático implementado en la Universitat Politècnica de València (UPV). Además, se muestran algunos montajes/experimentos que han sido desarrollados por el Centro de Tecnologías Físicas (CTF) y que demuestran que un sistema completamente robotizado e informatizado de alta precisión de movimiento y adquisición es necesario para la obtención de resultados de gran fiabilidad que ayuden al conocimiento de los fenómenos acústicos involucrados.

INTRODUCCIÓN

La acústica estudia las ondas mecánicas que se producen, transmiten e interactúan en un medio. En la actualidad existen diversos campos de estudio dentro de la acústica. Uno de estos campos es el estudio de los ultrasonidos. Uno de los medios de estudio de los ultrasonidos suele ser, por las características de propagación de dichas ondas, el agua. Por tanto, es de sumo interés el desarrollo de modelos teóricos que permitan la comprensión de los fenómenos físicos que se producen por la interacción de los ultrasonidos con los dispositivos implementados, para el estudio de sus posibles aplicaciones tecnológicas.

Es necesario contrastar los resultados de modelos teóricos con otras soluciones como pueden ser los modelos numéricos y los modelos experimentales. En este sentido, la obtención de resultados experimentales es fundamental para la validación de los modelos teóricos ya que permiten aceptar y refutar predicciones teóricas de forma precisa. Para poder realizar los experimentos se requiere un sistema complejo de medidas y adquisición dadas las dificultades técnicas para poder controlar los dispositivos subacuáticos. En esta comunicación se presenta un sistema de posicionamiento y adquisición de datos de alta precisión completamente robotizado para su aplicación en el campo de los ultrasonidos sumergidos. Además, se exponen un ejemplo donde se puede valorar la capacidad del sistema para poder realizar medidas en condiciones relativamente complejas.

SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS: ARQUÍMEDES

Por las características de los experimentos acústicos que se realizan en una situación de inmersión, era necesario desarrollar un sistema completamente automatizado de adquisición de datos que permita la obtención de datos de la presión en cualquier punto del espacio del tanque de inmersión. Mediante estos resultados es posible caracterizar el comportamiento de los diferentes dispositivos acústicos desarrollados por el grupo.

El nombre del sistema completo de adquisición es Arquímedes. El formato de adquisición de los datos es 3DReAMS (3 Dimensional e-Acoustic Measurement System), tal y como su propio nombre indica en inglés, un sistema de medida digital tridimensional. Al igual que el sistema que actualmente está funcionando en la cámara anecoica de la Universitat Politècnica de València [1], Arquímedes ha sido desarrollado solidariamente con el CPOH (Grupo de Control Predictivo y Optimización Heurística de la UPV), encargándose este grupo de la parte de control de movimiento del robot y del desarrollo del software para la adquisición de datos acústicos. El sistema mecánico del robot ha sido diseñado y construido por la empresa de automatización ARTITECNIC. Se puede dividir Arquímedes en 3 partes fundamentales: El sistema robotizado con su control de movimiento, el sistema de adquisición de datos y los transductores y amplificadores que se utilizan para la generación, transmisión y recepción de las ondas ultrasónicas.

Robot Y Control De Movimiento

El robot está construido en base al tamaño del tanque de inmersión donde se realizan los ensayos, que contiene agua destilada (desmineralizada y desionizada) y tiene unas dimensiones de 0.5 metro de ancho por 0.5 metro de alto por 1 metro de largo. Estas dimensiones suponen que el tanque de inmersión debe de contener en torno a 200 litros de agua destilada para ser funcional y que permita que, tanto los transductores como los dispositivos, estén completamente sumergidos, y evitar reflexiones por los cambios de impedancia producidos por el cambio de medio.

Las partes que constituyen el robot (Figura 1) son: la estructura de sujeción o bastidor, tres brazos cartesianos, el brazo de muestra y el brazo manual del sensor. Arquímedes permite el control de los brazos cartesianos y el brazo de muestra. El brazo de la muestra dispone de un servomotor que otorga un grado de libertad al poder rotar la muestra modificando el azimut. Los brazos cartesianos permiten controlar y automatizar el posicionamiento en las 3 dimensiones espaciales (x, y, z), siendo cada uno de los brazos el encargado del movimiento en uno de los tres ejes. El brazo de muestra, a pesar de contar con el servomotor de rotación, permite un ajuste manual a lo largo de los ejes x y z para poder colocar la muestra a la distancia y altura deseadas. Por último, el brazo manual del sensor es completamente manual. Esto permite el ajuste de la posición del transductor emisor de presión en cualquier posición del tanque de inmersión, aunque sin la libertad de poder cambiar su posición durante las medidas.

El funcionamiento del robot es el siguiente: cada uno de los servomotores está conectado a un controlador que regula el suministro de corriente a los mismos y regula el paso de movimiento, de esta forma se controla la dirección del mismo. Los servomotores permiten la medida en pasos de 0.005 mm en cada uno de los tres ejes espaciales. En el caso del servomotor que controla el azimut se puede trasladar la resolución espacial a una resolución angular de 0.144º. Los controladores están conectados a su vez a una placa controladora modelo PCI-7330, de National Instruments, que se encarga de dirigir los movimientos del robot. El movimiento de los brazos con servomotores está controlado por el software del CPOH (3DReAMSUltra).

Dicho programa permite el diseño y la automatización de las medidas experimentales, ya que se pueden establecer planos o volúmenes de medida configurando el movimiento de cada uno de los ejes de posicionamiento. Como medidas de seguridad añadidas al sistema mecánico, están los relés de final de carrera que evitan que un brazo pueda colisionar con otro y evitar cualquier daño producido por un error de programación. Adicionalmente, existe un pulsador de parada de emergencia que detiene inmediatamente el movimiento del robot.

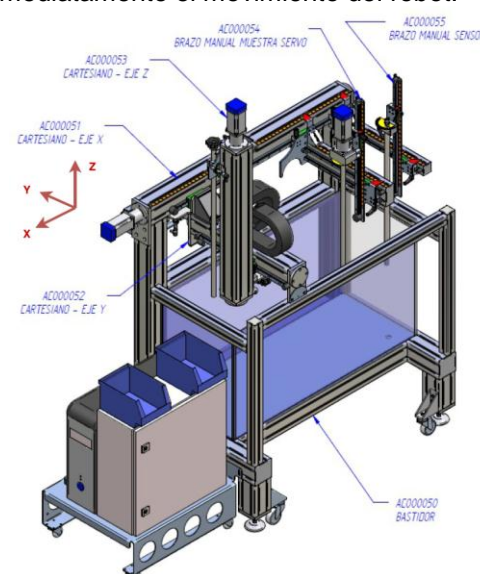


Figura 1.- Esquema del tanque de inmersión [2].

Una vez que se enciende el robot y arranca el programa de control 3DReAMSUltra, se realiza una autocalibración del sistema. Esta calibración se basa en colocar en el origen de coordenadas el brazo cartesiano y dejar a un azimut de 0º el brazo de muestra.

Por último, hay que comentar que el robot está construido conforme a las directivas y normas que rigen en materia de seguridad industrial. Las directivas 2006/42/CE sobre maquinaria; la directiva 73/23/CEE modificada por la 2006/95/CEE de baja tensión, la directiva de compatibilidad electromagnética 92/31/CEE modificada por la 93/68/CEE y 2004/108/CE. Además de las normas armonizadas UNE-EN 1050, UNE-EN 418, UNE-EN 954 y UNE-EN 60204-1 que regulan la seguridad de maquinaria, evaluación de riesgo, paradas de emergencia, diseño y equipo eléctrico respectivamente.

Sistema De Adquisición De Datos

El sistema de adquisición de datos está formado por la tarjeta de control de movimiento NI PCI-7330, el osciloscopio digital PicoScope 3224 y el programa de adquisición 3DReAMSUltra, desarrollado en LabVIEW.

La tarjeta NI PCI-7330 tiene como función el control del robot ya que su arquitectura de doble procesador procesa en tiempo real hasta cuatro ejes de movimiento coordinado. [3] Esta tarjeta calcula la posición instantánea y controla la aceleración y la velocidad del movimiento de los ejes hasta la posición marcada. Para obtener las señales se utiliza un osciloscopio digital modelo PicoScope 3224 que se conecta por USB al ordenador. El osciloscopio dispone de dos canales y obtiene muestras con una resolución de 12 bits [4]. Tiene un margen dinámico de 72 dB y un ancho de banda de 10 MHz. Tanto la placa de control como el osciloscopio están controladas por el programa 3DReAMSUltra instalado en el ordenador del laboratorio de acústica. Dicho programa está desarrollado en LabVIEW por el CPOH.

Transductores Y Amplificadores

Para poder medir las muestras es necesario el uso de transductores y amplificadores que posibilitan la conversión de una señal digital en una señal acústica de suficiente potencia en transmisión y que permiten obtener una señal digital a partir de una señal acústica en recepción. Los modelos experimentales suelen contar con tres tipos de configuraciones generalmente. La primera de ellas es utilizar un único transductor como emisor y receptor a la vez. Esta configuración se utiliza para medir la respuesta de eco provocada por la muestra. La segunda configuración es utilizar una pareja de transductores, los cuales se utilizan uno como emisor y otro como receptor indistintamente. Esta configuración está pensada para medir los coeficientes de transmisión de los dispositivos acústicos y todo lo relacionado con el mismo. También es posible realizar una medida de plano o volumen de presión, aunque con algunas limitaciones de resolución debido al diámetro del transductor. La tercera y última configuración es utilizar un transductor de emisor y colocar un hidrófono en el brazo cartesiano para medir líneas, planos o volúmenes de presión. Gracias al tamaño reducido del hidrófono se puede medir con una resolución mucho mayor que utilizando una pareja de transductores. Arquímedes permite utilizar cualquiera de las combinaciones mencionadas anteriormente, ya que se puede colocar el tipo de transductor que se desee en los brazos habilitados para ello. A continuación, se van a mostrar los transductores y amplificadores que más se han utilizado por el CTF en los últimos modelos experimentales realizados.

Uno de los elementos más importantes para la medición de planos acústicos es el hidrófono. El CTF cuenta con un hidrófono de Precision Acoustics, modelo 1.0 mm Needle Hydrophone (Figura 2). Este hidrófono es capaz de medir altas frecuencias, aunque tengan un nivel de señal muy débil. La sensibilidad del hidrófono es de 850 nV/Pa (-241.4 dB @ 1V/uPa) con una tolerancia de +/- 3 dB. La respuesta en frecuencia es plana +/- 2 dB entre 3 y 12 MHz y +/- 4 dB entre 200 kHz hasta 15 MHz. El ancho de banda va de 5 kHz hasta 15 MHz.



Figura 2.- Fotografía del hidrófono y el preamplificador empleados. Fuente [5].

Los transductores que se están utilizando en la actualidad permiten ser sumergidos durante largos periodos de tiempo. Algunos de los que están disponible en el laboratorio de acústica son: Imasonic 250 kHz, Olympus 500 kHz, Panametrics A303S 1 MHz [6], Sonic concepts SU-102 3.5 MHz. Se disponen de parejas de transductores para el Imasonic como el Olympus y el Panametrics.

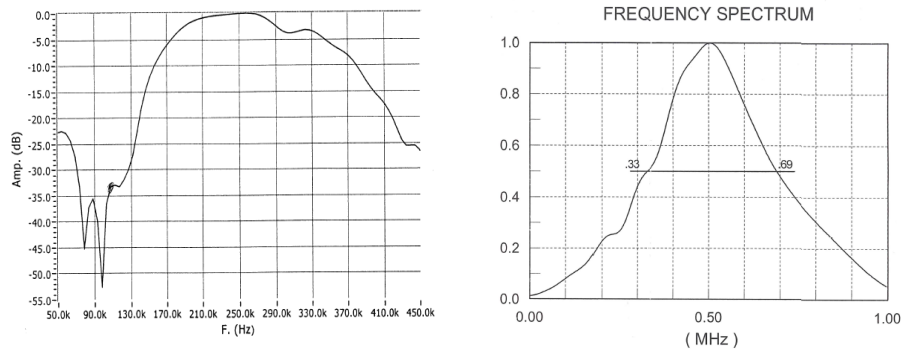


Figura 3.- Función de transferencia del transductor Imasonic (izquierda) y del transductor Olympus (derecha).

Tanto los transductores Imasonic como Olympus tienen una función de transferencia (Figura 3) que permiten emitir en un ancho de banda frecuencial más amplio que la frecuencia central. Este fenómeno se tendrá que tener en cuenta a la hora de analizar los resultados experimentales, puesto que, aunque el diseño teórico se suele realizar para una única frecuencia de funcionamiento, el transductor estará estimulando el dispositivo/muestra con un mayor número de componentes frecuenciales, dependiendo del ancho de banda del transductor empleado en emisión. Por otro lado, el transductor SU-102 se emplea con propósito del estudio de la aplicación de ultrasonidos con elevada potencia (HIFU, High Intensity Focused Ultrasound) a diferentes tipos de muestras, principalmente para aplicaciones de ingeniería biomédica.

Para poder generar y amplificar las señales se utilizan dos tipos de configuraciones diferentes. La primera de ellas es utilizar un generador de funciones externo conectado a un amplificador de alta potencia. La segunda configuración es utilizar un generador de pulsos (Pulser) con amplificador integrado que tiene dos puertos, uno de salida y otro de entrada. Dependiendo del montaje experimental y los objetivos que se persigan se deberá utilizar uno u otro. Para realizar medidas de eco-impulso en las diferentes configuraciones se utilizará un Pulser modelo 5077PR de Panametrics [7]. Este generador y amplificador permite generar pulsos con frecuencias comprendidas entre 100 kHz y 20 MHz, una PRF (Pulse Repetition Frequency) desde 100 Hz hasta 5 kHz y una amplitud de pulso entre 100 y 400 V. El hándicap del uso de este generador-amplificador es la potencia máxima de salida que limita su uso para aplicaciones de baja potencia en régimen lineal.

En aplicaciones de alta potencia, el Centro de Tecnologías Físicas de la Universitat Politècnica de València cuenta con un amplificador Amplifier Research modelo 75A250A de altas prestaciones. Este dispositivo permite utilizar transductores HIFU como el SU-102 para diversas aplicaciones como las que se están implementando en la actualidad con lentes de posible uso en biomedicina. Este amplificador tiene una potencia máxima de 4096 W. Este amplificador supera la barrera de 100 mW/cm² que marca el límite entre aplicaciones de diagnóstico, NTD y las aplicaciones de potencia.

Para poder utilizar el hidrófono se requiere de un preamplificador [8] y un acoplador DC [9]. El preamplificador está acoplado directamente a la salida del hidrófono. El acoplador DC, conectado al preamplificador, se encarga de suministrar la potencia necesaria al preamplificador.

EJEMPLO DE MONTAJE EXPERIMENTAL CON ARQUÍMEDES

A continuación, se ha mostrado un ejemplo de un montaje experimental que ha servido para validar un modelo teórico y un modelo numérico. El objetivo del trabajo de P. Candelas *et al.* es el diseño y análisis de lentes de Fresnel multifoco [10].

Las lentes de Fresnel (FZP, Fresnel Zone Plates) son estructuras planas que permiten la focalización en situaciones que sería difícil de implementar lentes convencionales. La focalización se produce por una interferencia constructiva del campo de presión difractado en los diferentes anillos concéntricos que conforman la lente. Este tipo de lentes acústicas se diseñan para que focalicen la presión acústica en un único punto. En dicho trabajo se presenta un método de diseño de lentes multifoco basadas en la combinación de varios FZP. Esto se consigue diseñando los anillos interiores de la lente para que focalicen en una determinada posición y diseñando los anillos exteriores para que focalicen en otra posición distinta, tal y como se puede apreciar en la Figura 4.

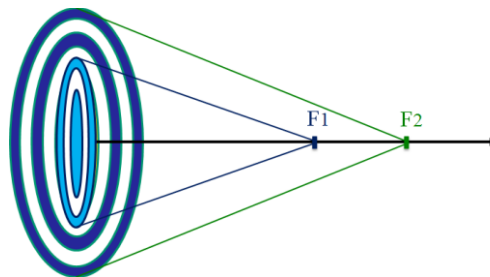


Figura 4. Esquema de la lente bifocal propuesta

La lente bifocal fabricada para contrastar el modelo teórico con el experimental está hecha en latón. Tiene 15 regiones de Fresnel, de las cuales 6 contribuyen a un foco situado a 0.04 m y 9 de ellas para un foco a 0.08 m, todo ello para una frecuencia de diseño de 250 kHz. El radio externo de la lente era de 0.084 m. Se limitó el tamaño máximo de la lente debido a la apertura del haz del transductor empleado y el tamaño del tanque de inmersión (Figura 5).

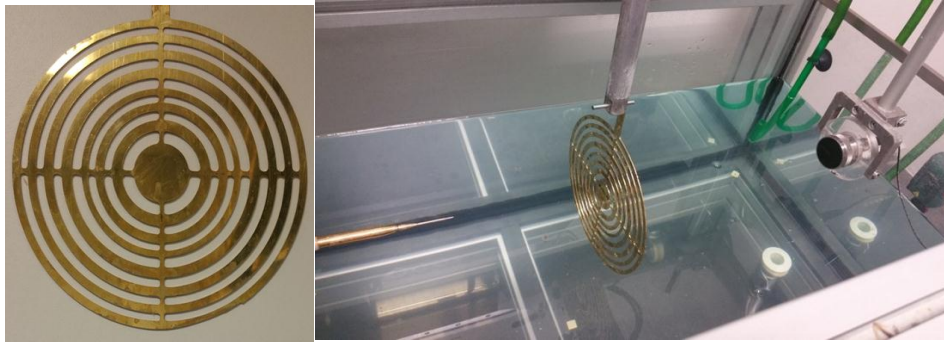


Figura 5.- Lente construida (izquierda) y montaje experimental (derecha).

Empleando Arquímedes, se automatizó la medida de un plano de presión de 0.06 m de ancho por 0.13 m de largo. Se utilizaron para esta medida el transductor Imasonic de 250 kHz y el hidrófono. El resultado que se obtiene al procesar las medidas experimentales es el mostrado en la Figura 6.

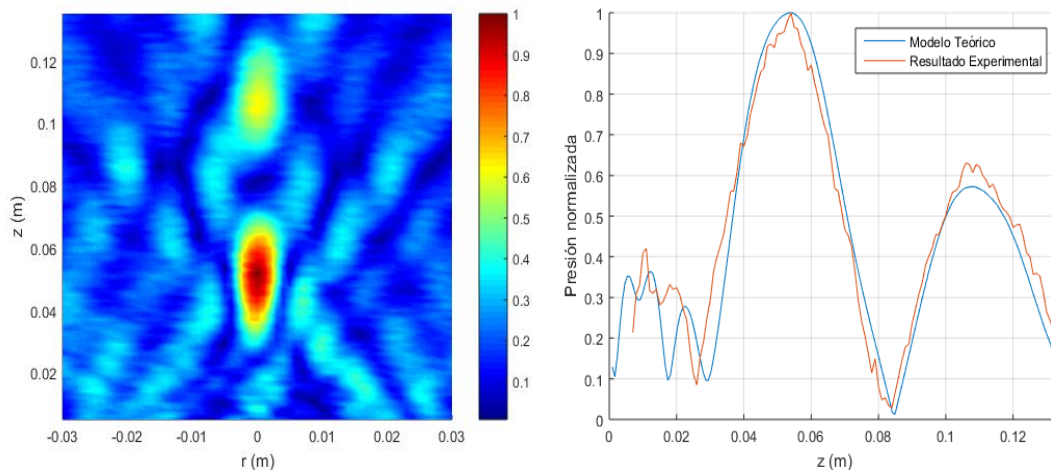


Figura 6.- Plano de presión normalizada medido experimentalmente (izquierda) y comparación con el modelo teórico (derecha)

Existe un desplazamiento de los focos respecto al diseño teórico. Esto es debido a que el modelo teórico supone que sobre la lente incide una onda plana, mientras que en realidad esto no sucede, puesto que la lente se está iluminando con un transductor que presenta una determinada directividad. Si se añade el efecto del transductor en el modelo teórico, se aprecia que el resultado experimental coincide con el resultado que se obtiene mediante simulaciones numéricas, por lo que el modelo queda validado.

Se concluyó que la FZP bifocal es capaz de generar dos distancias focales y es viable para su uso con ultrasonidos en sistemas sumergidos en agua. Estos resultados sirvieron para validar los modelos teóricos y numéricos, además de permitir el avance de la línea de investigación con estas lentes.

CONCLUSIONES

El sistema Arquímedes es un sistema de posicionamiento y adquisición para ultrasonidos que actualmente está situado en el laboratorio de acústica de la E.T.S.I. Telecomunicaciones de la Universitat Politècnica de València donde por sus características y resultados, se ha demostrado su utilidad en diferentes líneas de investigación. El sistema permite obtener resultados experimentales que validan los modelos teóricos propuestos mediante la obtención de puntos, planos o volúmenes de presión en el tanque de inmersión, gracias a las diferentes configuraciones de medida que se disponen.

Los resultados mostrados son sólo un ejemplo de las posibilidades que alberga este sistema, que tiene como finalidad el servicio a la comunidad científica para su progreso en la comprensión de los fenómenos físicos y el desarrollo de dispositivos tecnológicos. En el futuro se espera poder mejorar los brazos dotándolos de un sistema robotizado más completo que otorgue un incremento de grados de libertad, así como de una ampliación de las dimensiones del tanque de inmersión para poder medir muestras de mayor tamaño.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] C. Rubio et al. "SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS DE ALTA PRECISIÓN PARA EL RANGO AUDIBLE EN CONDICIONES CONTROLADAS: 3DReAMS," in Tecnia Acústica, 2011, pp. 1–8.
- [2] Manual Robot de medida.
- [3] Hardware de adquisición NI PCI-7330. Enlace: <http://www.ni.com/pdf/manuals/370837b.pdf>
- [4] Osciloscopio digital (PicoScope 3224: Hoja Características (Farnell))
<http://www.farnell.com/datasheets/37501.pdf>
- [5] Hidrófono Precision Acoustics (1.0mm Needle Hydrophone)
<https://www.acoustics.co.uk/product/1mm-needle-hydrophone/>
- [6] 1 MHz Panametrics A303S Enlace: <http://www.olympus-ims.com/en/ultrasonic-transducers/immersion/>
- [7] Pulser Panametrics 5077PR. Enlace: http://www.olympus-ims.com/es/.downloads/download/?file=285213012&fl=en_US
- [8] Preamplificador Preamplifier. Enlace: <http://www.acoustics.co.uk/product/preamplifier/>
- [9] DC Coupler Precision Acoustics. Enlace: <http://www.acoustics.co.uk/product/dc-coupler/>
- [10] P. Candelas, J. M. Fuster, C. Rubio, S. Castiñeira-Ibañez, and D. Tarrazó-Serrano, "Analysis and Design of Fresnel Zone Plates with Multiple Foci," 173rd Meeting of the Acoustical Society of America and the 8th Forum Acusticum, 2017.