



Universitat d'Alacant  
Universidad de Alicante

UA

UNIVERSIDAD DE ALICANTE  
Vicerrectorado de Estudios, Formación y Calidad  
ICE- Instituto de Ciencias de la Educación

# XII JORNADAS DE REDES DE INVESTIGACIÓN EN DOCENCIA UNIVERSITARIA

El reconocimiento docente: innovar e investigar con criterios de calidad

ISBN: 978-84-697-0709-8



Disenio: Gabinete de Imagen y Comunicación Gráfica de la Universidad de Alicante

# XII JORNADES DE XARXES D'INVESTIGACIÓ EN DOCÈNCIA UNIVERSITÀRIA

El reconeixement docent: innovar i investigar amb criteris de qualitat

**Coordinadores**

**María Teresa Tortosa Ybáñez**

**José Daniel Álvarez Teruel**

**Neus Pellín Buades**

© **Del texto: los autores**

© **De esta edición:**

**Universidad de Alicante**

**Vicerrectorado de Estudios, Formación y Calidad**

**Instituto de Ciencias de la Educación (ICE)**

**ISBN: 978-84-697-0709-8**

**Revisión y maquetación: Neus Pellín Buades**

## **Desarrollo de aplicaciones para el estudio de sistemas acústicos con la herramienta MATLAB©**

J. Ramis Soriano; J. Carbajo San Martín

*Física, Ingeniería de Sistemas y Teoría de la Señal  
Universidad de Alicante*

### **RESUMEN**

Con el objetivo de facilitar el aprendizaje del alumnado en el área de ingeniería acústica, se vienen desarrollando diferentes aplicaciones para el estudio de sistemas acústicos con la herramienta MATLAB© que se utilizan con relativo éxito. Dichos sistemas se pueden agrupar en diferentes ámbitos presentes en los planes de estudio de diferentes titulaciones: diseño de sistemas radiantes en baja frecuencia, materiales acústicos, transductores ultrasónicos.... En este trabajo se muestra el proceso llevado a cabo para implementar alguna de estas herramientas. Además, se describe el procedimiento que se sigue a la hora de presentarlas al alumnado con el objetivo de que el proceso de aprendizaje sea eficaz y se proponen algunas actividades basadas en la utilización de las citadas herramientas. Aunque las aplicaciones objeto de este trabajo se han concebido especialmente para su utilización en las clases de prácticas pueden ser utilizadas con provecho en actividades no presenciales propuestas por el profesorado

**Palabras clave:** Ingeniería acústica, Matlab, sistemas acústicos, sistemas radiantes, absorción.

## 1.INTRODUCCIÓN

### 1.1 Problema/cuestión.

En ocasiones, a la hora de plantear la resolución de determinados problemas el profesorado compite con la rapidez con la que soluciones profesionales llevan a cabo los cálculos. El alumnado puede no llegar a percibir la utilidad del desarrollo que está planteando el profesor si no se tiene la posibilidad de realizar cálculos y representaciones rápidamente, a ser posible integradas en una aplicación similar a las que se utilizan profesionalmente, aunque no con todas las prestaciones. Es importante, con el objetivo de motivar al alumnado disponer de herramientas fáciles de implementar y susceptibles de una intervención por parte del alumnado en cualquier ámbito como elemento de motivación.

### 1.2 Revisión de la literatura

Para cada problema que se plantea siempre es posible encontrar en el mercado software desarrollado utilizando métodos numéricos. No siempre es fácil llevar a cabo experimentos en los que el alumnado visualice fácilmente un determinado problema y en muchas ocasiones se recurre a simulaciones en distintos soportes y con distintos métodos numéricos que no están al alcance de cualquier laboratorio. Alguno de los métodos más extendidos son las Diferencias Finitas en el Dominio del Tiempo (FDTD, en inglés) [1], el Método de los Elementos de Contorno (BEM, en inglés) [2] o el Método de los Elementos Finitos (FEM, en inglés) [3], entre otros.

### 1.3 Propósito

Con el objetivo de facilitar el aprendizaje del alumnado en el área de ingeniería acústica, se vienen desarrollando diferentes aplicaciones para el estudio de sistemas acústicos con la herramienta Matlab© que se utilizan con relativo éxito. Dichos sistemas se pueden agrupar en diferentes ámbitos presentes en los planes de estudio de diferentes titulaciones: diseño de sistemas radiantes en baja frecuencia, materiales acústicos, transductores ultrasónicos, etc. En este trabajo se muestra el proceso llevado a cabo para implementar alguna de estas herramientas. Además, se describe el procedimiento que se sigue a la hora de presentarlas al alumnado con el objetivo de que el proceso de aprendizaje sea eficaz y se proponen algunas actividades basadas en la utilización de las citadas herramientas. Aunque las aplicaciones objeto de este trabajo se

han concebido especialmente para su utilización en las clases de prácticas pueden ser utilizadas con provecho en actividades no presenciales propuestas por el profesorado.

## 2. METODOLOGÍA

### 2.1. Descripción del contexto y de los participantes

Como se ha mencionado más arriba, las aplicaciones objeto de este trabajo se han concebido especialmente para su utilización en las clases de prácticas pero pueden ser utilizadas con provecho en actividades no presenciales propuestas por el profesorado. La práctica totalidad de las aplicaciones se han concebido para alumnado entre segundo y tercer curso de cualquier carrera técnica con contenidos en los temas que se tratan (diseño de sistemas radiantes, materiales acústicos, transductores ultrasónicos, etc)

### 2.2. Materiales e instrumentos

La única instrumentación necesaria es un ordenador y una licencia de Matlab, además del acceso a los contenidos necesarios para implementar la aplicación.

### 2.3. Procedimientos

No se desarrollará en este trabajo una explicación sobre el software Matlab ya que existen multitud de manuales entre los cuales al alcance del lector interesado como por ejemplo [4] además de la propia ayuda del software

## 3. RESULTADOS

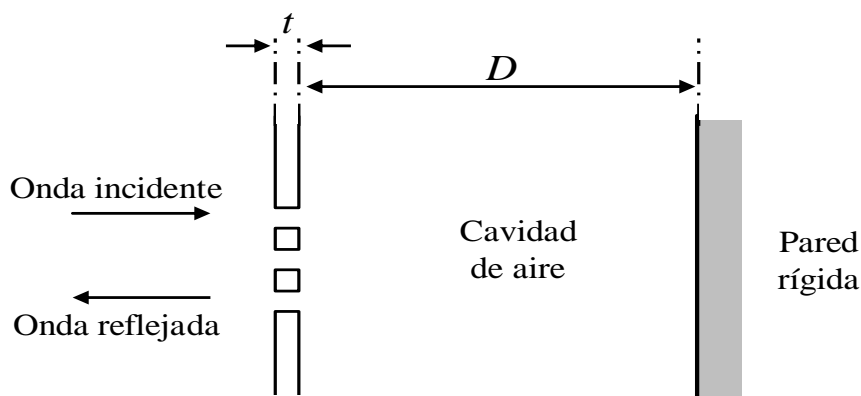
En esta sección se presentan algunas de las aplicaciones desarrolladas. En la primera de ellas, *CarmatGIA*, que será la descrita más exhaustivamente, se expondrá brevemente la teoría necesaria a lo que seguirá un manual de usuario. A continuación de presentarán otras aplicaciones no tan exhaustivamente.

El software *CarmatGIA*, concebido para ser utilizado en un curso avanzado de acondicionamiento acústico, permite obtener el coeficiente de absorción sonora de paneles perforados y materiales porosos y fibrosos a partir de dos modelos teóricos ampliamente extendidos.

Los paneles perforados son paneles planos rígidos con orificios normalmente distribuidos de forma periódica a lo largo de su superficie. En el caso que nos ocupa supondremos que los orificios son circulares. Aunque suelen fabricarse a partir de plástico o metal, también pueden ser de cartón o madera contrachapada. Disponiendo un

panel perforado a una distancia  $D$  de una pared rígida se formará un “colchón de aire” o plenum de tal forma que la vibración del aire en sus orificios se vea amortiguada, creando un absorbente sonoro o resonador. Así, los factores que intervienen en el modelado de la impedancia acústica  $z$  de dicho sistema y por tanto de su absorción acústica son esa distancia  $D$ , la porosidad  $s$  del panel, el diámetro de sus perforaciones  $d$  y su espesor  $t$ . Un modelo que permite obtener dicha impedancia acústica es el propuesto por Maa [5]. La Figura 1 muestra un panel perforado con una cavidad de aire o plenum contigua y se visualizan las variables anteriormente mencionadas.

Figura 1 Esquema de un panel perforado con una cavidad de aire o plenum contigua.



Los materiales absorbentes porosos son aquellos materiales en los que la propagación sonora tiene lugar a lo largo de una red de poros, mayormente interconectados, de forma que la disipación de la energía acústica se produce por efectos térmicos y viscosos, confiriéndoles una serie de propiedades de absorción dependientes de la frecuencia. Las fibras sintéticas y naturales se obtienen a partir de procesos de fundición de diversos materiales, viniendo su absorción acústica determinada no solo por su composición, densidad y dimensiones, sino también por la orientación de sus fibras. A la hora de estimar su impedancia acústica  $z$  será necesario considerar dos parámetros: resistividad al flujo y porosidad. Ambos pueden obtenerse experimentalmente [6, 7] y constituyen la información de entrada a gran parte de los modelos teóricos existentes.

Delany y Bazley [8] desarrollaron un modelo empírico para la obtención de la impedancia acústica específica de una muestra de material fibroso de espesor  $e$  y que es

el que se utiliza como referencia en el Documento Básico de Protección Frente al Ruido (DB-HR) del Código Técnico de la Edificación. Así, la impedancia acústica puede obtenerse a partir de las ecuaciones:

$$Z = r_0 c_0 (1 + 0.0571X^{-0.754} - j0.087X^{-0.732}) \quad (1)$$

$$G = j \frac{2pf}{c_0} (1 + 0.0978X^{-0.700} - j0.189X^{-0.595}) \quad (2)$$


$$z = Z \coth(Ge) \quad (3)$$

donde  $X = r_0 f / s$ ,  $f$  la frecuencia del sonido,  $s$  la resistividad al flujo de aire de la muestra,  $Z$  y  $G$  la impedancia característica del material y su constante de propagación, respectivamente.

Por lo que se refiere al uso de la aplicación *CarmatGIA* sólo es necesario disponer de un ordenador que tenga instalada la versión 7 o superiores del software MATLAB.

El primer paso para trabajar con *CarmatGIA* es ejecutar Matlab y una vez arrancado el programa acceder al directorio en el que se encuentra la herramienta *CarmatGIA* y escribir en la línea de comandos la sentencia: `>> CarmatGIA`. Hecho esto debe aparecer una pantalla como la que se muestra en la figura 2 y que cuenta con una serie de comandos y botones que permiten al usuario seleccionar los datos de entrada correspondientes a las características del panel perforado o material fibroso que se desea estudiar y realizar los cálculos del coeficiente de absorción sonora.

Tabla 1. Parámetros de entrada al programa <i>CarmatGIA</i> .
d [m] = espesor del panel perforado.
p (%) = porosidad del panel perforado
t [m] = espesor del panel perforado
D [m] = espesor de la cavidad de aire o plenum
s [Pa·s/m <sup>2</sup> ] = resistividad al flujo de aire del material fibroso
e [m] = espesor de la muestra de material fibroso

El botón **Calcular** , que ejecuta los cálculos necesarios para la obtención del coeficiente de absorción a partir de los Parámetros de entrada anteriores y muestra



gráficamente los resultados obtenidos. Adicionalmente se dispone de un botón de Ayuda  para el uso rápido de la aplicación, así como un panel con una serie de controles gráficos:

Figura 2 Pantalla inicial del software *CarmatGIA*.



 = habilita el modo Zoom.

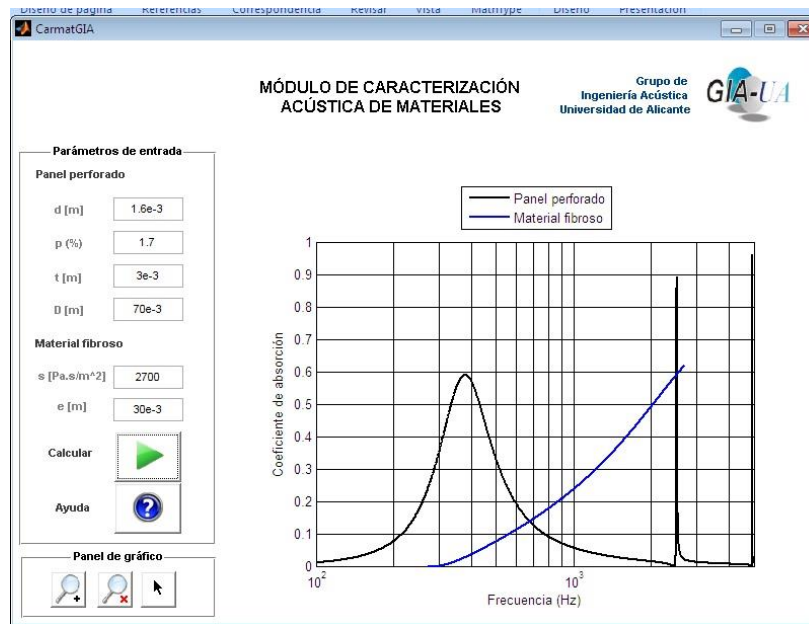
 = deshace cualquier Zoom.

 = habilita el cursor de datos (para visualizar valores en la gráfica).

La Figura 3 muestra los resultados obtenidos para un panel perforado y un material fibroso dados. NOTA: la curva de absorción del material fibroso se calcula únicamente en el rango de validez especificado en [5].

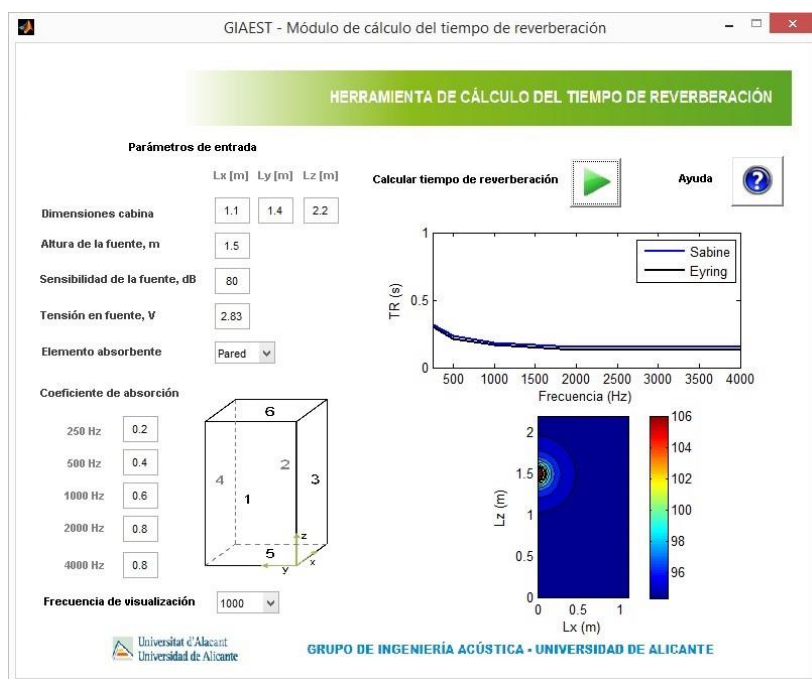
Figura 3 Resultados para un panel perforado y un material fibroso dado.





Para estudiar el efecto de la instalación de estos u otros materiales en una sala, se ha implementado el software *GIAEST*, cuya pantalla principal se muestra en la figura 4. El programa permite visualizar la distribución del nivel de presión sonora en la sala cuando a partir de los datos de sensibilidad de la fuente y tensión eléctrica a la que se somete, considerando las hipótesis de la teoría estadística. También determina el tiempo de reverberación en función de la frecuencia a partir de las ecuaciones de Eyring y Sabine [9].

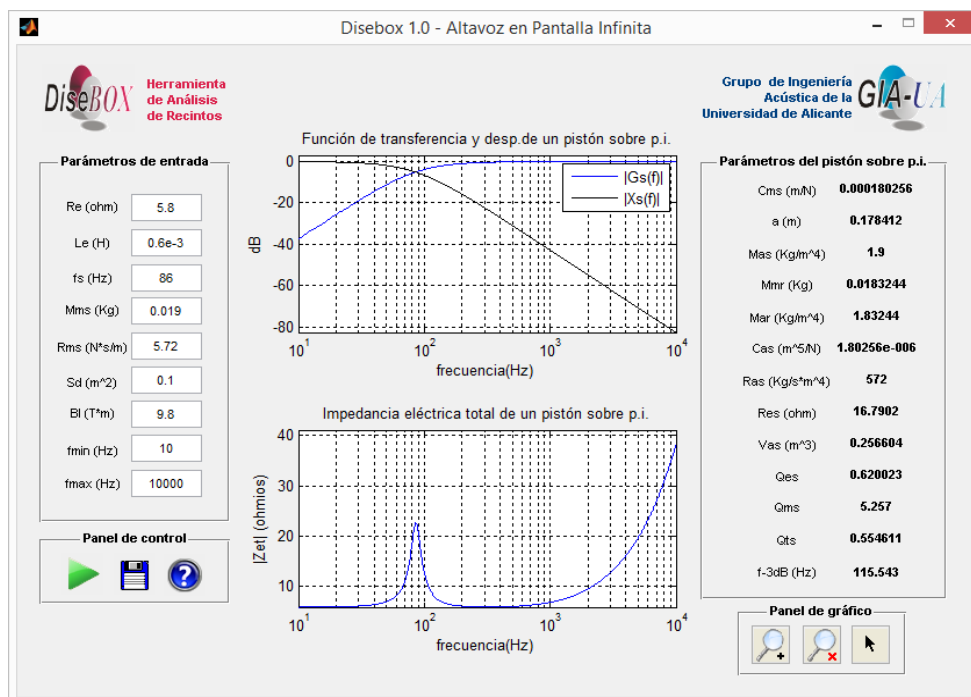
Figura 4 Pantalla principal del software *GIAEST*



El siguiente software implementado que presentamos en esta comunicación lo hemos denominado *Diseboxpi*, concebido para estudiar el comportamiento del altavoz dinámico en pantalla infinita [10]. A partir de la resistencia eléctrica, la autoinducción de la bobina la frecuencia de resonancia del conjunto móvil, la masa del diafragma, la resistencia mecánica, la superficie y el factor de fuerza,  $Bl$ , se pueden obtener las de respuesta en frecuencia y el desplazamiento relativo del diafragma y la impedancia eléctrica total. La pantalla principal se muestra en la figura 5.

Para estudiar el problema del diseño de los sistemas radiantes en baja frecuencia se ha desarrollado tres aplicaciones más: *Diseboxcc*, para el sistema caja cerrada, *Diseboxbr* para el sistemas bass-reflex, en dos variantes: análisis y diseño.

Figura 5 Pantalla principal del software *Diseboxpi*

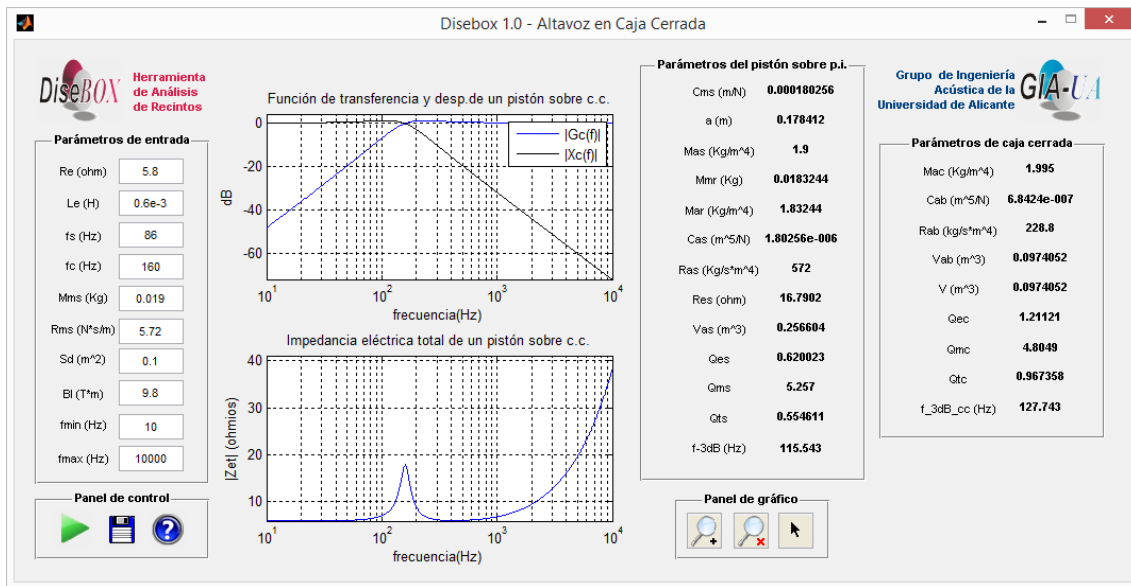


También se dispone de una aplicación para el estudio del sistema activo pasivo y del paso banda. Se muestra, en la figura 5 la pantalla principal de la aplicación *Diseboxcc*. Como se puede apreciar, se ha intentado que la apariencia fuera lo más similar posible. No se recogen las pantallas principales de las demás aplicaciones ya que son similares.

En el caso del sistema caja cerrada se ha optado por la opción de que las variables de entrada sean: la resistencia eléctrica, la autoinducción de la bobina, la frecuencia de resonancia del altavoz, la frecuencia de resonancia del sistema altavoz-caja, la resistencia mecánica del diafragma y el factor de fuerza. El software determina la respuesta en frecuencia, el desplazamiento relativo del diafragma y la impedancia eléctrica además de otros parámetros intermedios.

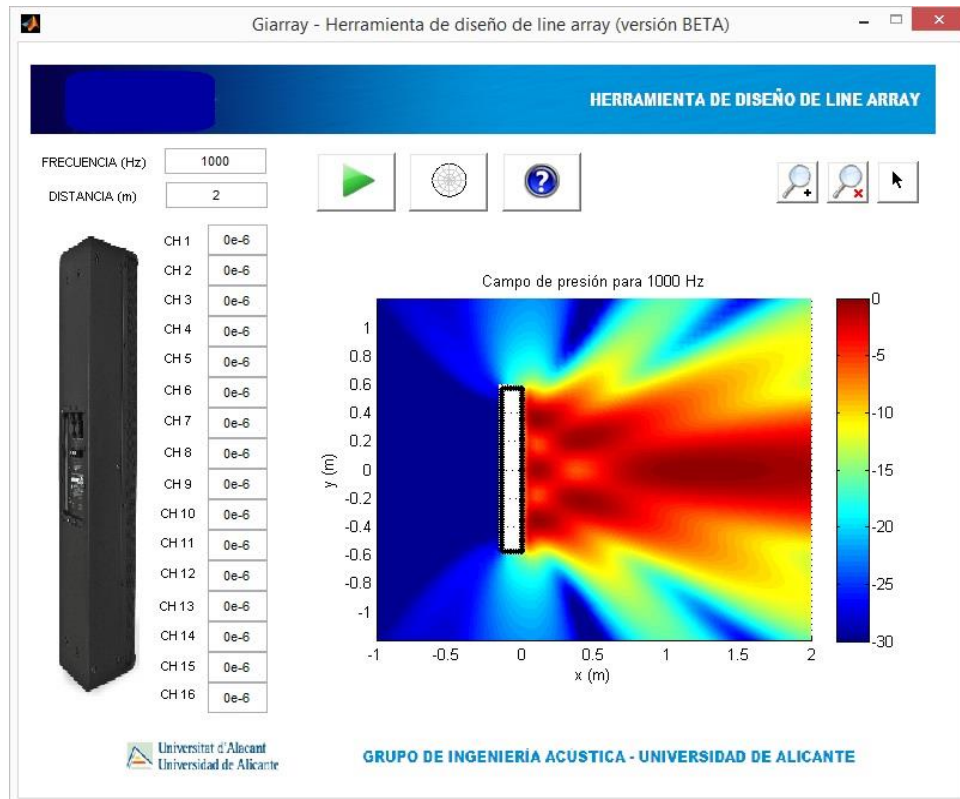
Para el estudio de la directividad de fuentes y agrupaciones de fuentes, se han desarrollado varias aplicaciones. En la más reciente se ha implementado un algoritmo en BEM para el estudio de arrays lineales, que hemos denominado *Giarray*. A partir de una distribución lineal de fuentes tipo pistón se determina la distribución del nivel de presión sonora y la directividad a una distancia dada. El usuario puede comparar por su cuenta con los resultados que ofrece el cálculo considerando sólo el modelo del pistón.

Figura 6 Pantalla principal del software *Diseboxcc*



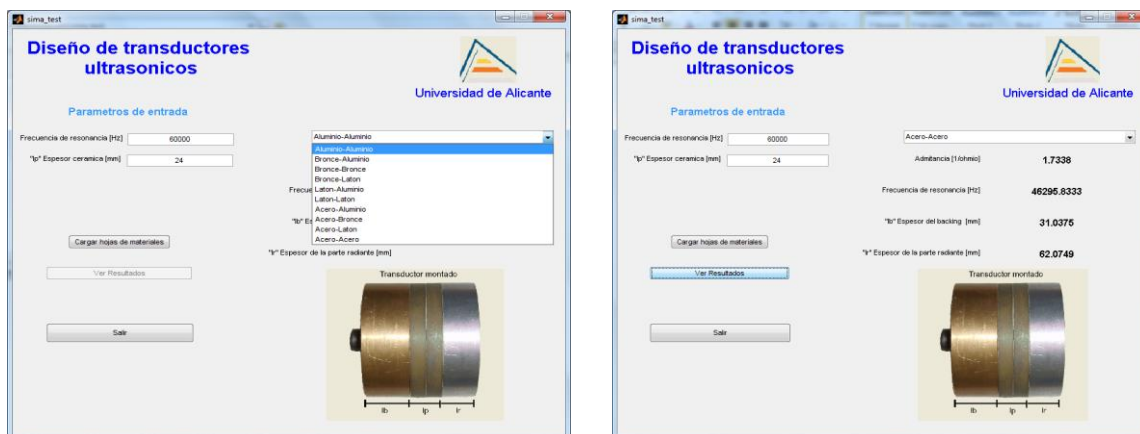
En la figura 7 se presenta la pantalla principal de esta aplicación en la que se puede ver la distribución de nivel de presión generada por el array para la frecuencia de 1000 Hz hasta la distancia de 2 metros.

Figura 7 Pantalla principal de *Giarray* en la que se muestra la distribución de nivel de presión generada por el array para la frecuencia de 1000 Hz hasta la distancia de 2 metros



También se han desarrollado herramientas para el diseño de transductores ultrasónicos. La aplicación más utilizada en la que utilizando las ecuaciones de Langevin [11] permite determinar las dimensiones de las partes trasera y delantera de este tipo de transductores. En la figuras 8 izquierda y derecha se muestran las pantallas de esta aplicación y se puede visualizar, para el lector no familiarizado con la temática, la estructura de este tipo de emisores.

Figura 8 Pantallas principales de la aplicación para el diseño de transductores ultrasónicos tipo Langevin. Izquierda: Elección de los materiales de parte trasera y delantera. Derecha: Obtención de dimensiones



#### 4. CONCLUSIONES

Se han presentado algunas de las aplicaciones desarrolladas para facilitar el aprendizaje alumnado en el área de ingeniería acústica: Todas ellas se han implementado con el software Matlab y vienen siendo utilizadas con bastante éxito. Se ha optado por describir *Carmatgia* con mayor profundidad con el objeto de no ser reiterativo ya que cada aplicación podría ser objeto de una comunicación. Las actividades que se pueden proponer a partir de estas herramientas de código abierto son infinitas. Desde la propuesta de problemas utilizando el software como calculadora para comprobar la solución hasta la propuesta de mejora de la aplicación incorporando nuevas utilidades.

#### 5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Von Neumann, J., Richtmyer, R. D. (1950). A Method for the Numerical Calculation of Hydrodynamic Shocks. *Journal of Applied Physics*, 21, pp. 232-237.
- [2] Wu, T. W. (2000). *Boundary Element Acoustics: Fundamental and Computer Codes (Advances in Boundary Codes)*. WIT Press.
- [3] Zienkiewicz, O. C., Taylor, R. L., Zhu, J. Z. (2013). *The Finite Element Method: Its Basis and Fundamentals*. Elsevier.
- [4] MATLAB 7. (2008) "Creating Graphical User Interfaces", The Mathworks.
- [5] D. Y. Maa. Potential of microperforated panel absorber. *Journal of the Acoustical Society of America*, Vol. 104, pp. 2861-66 (1998)
- [6] ISO 9053. *Acoustics – Materials for acoustical applications (1991) Determination of airflow resistance*

[7] Y. Champoux, M. R. Stinson, G. A. Daigle (1991) Air-based system for the Measurement of Porosity. Journal of the Acoustical Society of America, Vol. 89, pp. 910-16.

[8] M. E. Delany y E. N. Bazley (1970). Acoustical properties of fibrous absorbent Materials. Applied Acoustics, Vol. 3, pp. 105-16.

[9] Cremer L. y Müller H.A. (1982) Principles And Applications of Room Acoustics. Applied Science Publishers, Ltd. Barking, Essex, Inglaterra,. Volumen 1 y 2

[10] Leo L. Beranek and Tim Mellow (2012) Acoustics: Sound Fields and Transducers Edited by: Academic Press Elsevier .ISBN: 978-0-12-391421-7

[11] Dominguez, R., y Ranz, C.(1973) (1973) Sandwich transducer simplified mathematical model (I y II)". ACUSTICA, 29, (3), pp: 156-167