



Memòries del Programa de Xarxes-I<sup>3</sup>CE  
de qualitat, innovació i investigació  
en docència universitària. Convocatòria 2017-18

Rosabel Roig-Vila (Coord.)  
Jordi M. Antolí Martínez, Asunción Lledó Carreres  
& Neus Pellín Buades (Eds.)



Memorias del Programa de Redes-I<sup>3</sup>CE  
de calidad, innovación e investigación  
en docencia universitaria. Convocatoria 2017-18

Memorias del Programa de Redes-I3CE  
de calidad, innovación e investigación  
en docencia universitaria.  
Convocatoria 2017-18

Rosabel Roig-Vila (Coord.), Jordi M. Antolí Martínez, Asunción Lledó  
Carreres & Neus Pellín Buades (Eds.)

Memòries de les xarxes d'investigació en docència universitària pertanyent al Programa Xarxes-I3CE d'Investigació en docència universitària del curs 2017-18 / *Memorias de las redes de investigación en docencia universitatira que pertenece al Programa Redes -I3CE de investigación en docencia universitaria del curso 2017-18.*

Organització: Institut de Ciències de l'Educació (Vicerectorat de Qualitat i Innovació Educativa) de la Universitat d'Alacant/ *Organización: Instituto de Ciencias de la Educación (Vicerrectorado de Calidad e Innovación Educativa) de la Universidad de Alicante*

Edició / *Edición*: Rosabel Roig-Vila (Coord.), Jordi M. Antolí Martínez, Asunción Lledó Carreres & Neus Pellín Buades (Eds.)

Comité tècnic / *Comité técnico*: Neus Pellín Buades

Revisió i maquetació: ICE de la Universitat d'Alacant/ *Revisión y maquetación*: ICE de la Universidad de Alicante

Primera edició: / *Primera edición*: desembre 2018/ *diciembre 2018*

© De l'edició/ *De la edición*: Rosabel Roig-Vila , Jordi M. Antolí Martínez, Asunción Lledó Carreres & Neus Pellín Buades.

© Del text: les autores i autors / *Del texto: las autoras y autores*

© D'aquesta edició: Institut de Ciències de l'Educació (ICE) de la Universitat d'Alacant / *De esta edición: Instituto de Ciencias de la Educación (ICE) de la Universidad de Alicante*

ice@ua.es

ISBN: 978-84-09-07041-1

Qualsevol forma de reproducció, distribució, comunicació pública o transformació d'aquesta obra només pot ser realitzada amb l'autorització dels seus titulars, llevat de les excepcions previstes per la llei. Adreceu-vos a CEDRO (Centro Español de Derechos Reprográficos, [www.cedro.org](http://www.cedro.org)) si necessiteu fotocopiar o escanejar algun fragment d'aquesta obra. / *Cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública o transformación de esta obra sólo puede ser realizada con la autorización de sus titulares, salvo excepción prevista por la ley. Diríjase a CEDRO (Centro Español de Derechos Reprográficos, [www.cedro.org](http://www.cedro.org)) si necesita fotocopiar o escanear algún fragmento de esta obra.*

Producció: Institut de Ciències de l'Educació (ICE) de la Universitat d'Alacant / *Producción: Instituto de Ciencias de la Educación (ICE) de la Universidad de Alicante*

EDITORIAL: Les opinions i continguts dels resums publicats en aquesta obra són de responsabilitat exclusiva dels autors. / *Las opiniones y contenidos de los resúmenes publicados en esta obra son de responsabilidad exclusiva de los autores.*

## 101. Aprendizaje basado en proyectos en las materias transductores acústicos y vibroacústica

Ramis Soriano, Jaime<sup>1</sup>; Carbajo San Martín, Jesús<sup>2</sup>; González Ruiz, Juan de Dios<sup>1</sup>; Poveda Martínez, Pedro<sup>3</sup>; Requena Plens, José M.; Segovia Eulogio, Enrique G.<sup>2</sup>

*jramis@ua.es; jesus.cargajo@ua.es; jgonzalez@ua.es; pedro.poveda@ua.es;*

*jmrp15@alu.ua.es; enrique.gonzalo@ua.es*

<sup>1</sup>*Departamento de Física, Ingeniería de Sistemas y Teoría de la Señal*

<sup>2</sup>*Departamento de Ingeniería Civil*

<sup>3</sup>*Instituto de Física Aplicada a las Ciencias y las Tecnologías*

*Universidad de Alicante*

### RESUM (ABSTRACT)

El presente trabajo resume las experiencias llevadas a cabo durante el curso 2017-18 con el objetivo de introducir la metodología de aprendizaje basado en proyectos (ABP) en dos materias de segundo y tercer curso, respectivamente, de la titulación de Grado en Ingeniería en Sonido e Imagen en Telecomunicación (GISIT) que se imparte en la Universidad de Alicante. La primera de ellas, denominada Transductores Acústicos, corresponde a una asignatura obligatoria de cuarto cuatrimestre mientras que la segunda, Vibroacústica, es una materia optativa. Ambas constituyen un escenario apropiado para aplicar la metodología de ABP. La experiencia que se está llevando a cabo este curso pretende ser el anticipo a una propuesta completa de cambio de metodología si así lo permiten las circunstancias.

**Palabras clave:** Aprendizaje Basado en proyectos (ABP), Sistemas radiantes, *Bass-Reflex*

## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1 Planteamiento del problema

Con objeto de aplicar la metodología de aprendizaje basada en proyectos (ABP) se lleva a cabo una experiencia durante el curso 2017-2018 en diferentes asignaturas de la titulación de Grado en Ingeniería en Sonido e Imagen en Telecomunicación (GISIT) de la Universidad de Alicante. El proyecto se desarrolla sobre la materia impartida en Transductores Acústicos, obligatoria de cuarto cuatrimestre; y Vibroacústica, de carácter optativo. Ambas asignaturas constituyen un escenario apropiado para la metodología de ABP, por lo que la experiencia pretende ser el anticipo a una propuesta completa de cambio de metodología si así lo permiten las circunstancias.

El proyecto se centrará en el diseño de sistema radiantes con altavoces de pequeño tamaño. El uso de este tipo de transductores se ha incrementado notablemente con el auge de las nuevas tecnologías, lo que aporta un grado de motivación extra para el alumnado. La caracterización de altavoces miniatura y la evaluación de su calidad sonora es una línea de trabajo consolidada en el campo de la investigación, lo cual se hace patente en los numerosos estudios científicos existentes en la literatura.

### 1.2 Revisión del estado del arte

Como se ha mencionado en el apartado anterior, la temática seleccionada es de candente actualidad. A día de hoy, son muchos los dispositivos en los que se pueden encontrar altavoces de pequeño tamaño (móviles, *tablets*, ordenadores, ...) que sirven de base de sistemas radiantes [1, 2, 3].

Por lo que respecta a la metodología propuesta, la estrategia de una enseñanza activa en un contexto de ingeniería parece muy adecuada. El ABP o PBL, *Project-based learning*, implica la realización de un proyecto, normalmente de cierta envergadura, y en grupo. Este método docente hace que el estudiante sea protagonista de su propio aprendizaje, lo que puede ayudar a mejorar la destreza de los alumnos ofreciendo el acceso a un proyecto real de ingeniería antes de finalizar su carrera [4]. Gracias a esta técnica deben manejar diferentes fuentes de información, analizar y sintetizar los datos, resolver problemas complejos que

abarcen varias disciplinas, aplicar el pensamiento crítico, planificarse, organizarse, tomar decisiones, etc [5]. Existen múltiples ejemplos al respecto [6 - 9].

### 1.3 Objetivos

El objetivo del proyecto consiste en aplicar la metodología de aprendizaje basada en proyectos en diferentes asignaturas del GISIT de la Universidad de Alicante. De esta forma se pretenden establecer las bases para una futura implantación del método.

## 2. MÉTODO

### 2.1. Contextualización

#### 2.1.1. La materia “Transductores Acústicos”

La asignatura Transductores Acústicos, objeto de este proyecto, se imparte actualmente en el cuarto cuatrimestre del GISIT. Es una de las materias básicas que junto con Acústica (tercer semestre), Aislamiento y Acondicionamiento Acústico y Tratamiento digital de Audio (ambas del quinto semestre) forman lo que se podría denominar como itinerario de Ingeniería Acústica. Nos encontramos por tanto ante un segundo curso de una carrera técnica, etapa previa a la especialización del alumno. Conviene recordar que el riesgo de caer en la parcelación y estanqueidad en la enseñanza universitaria, es mayor aún en los nuevos planes de estudio debido a su alto nivel de fragmentación. Con estos criterios generales se aborda la tarea de planificación de la materia Transductores Acústicos.

La asignatura está compuesta por 6 créditos ó 60 horas, los cuales quedan desglosados en 3 para las clases de teoría y de problemas, y 1,5 créditos o 15 horas para la realización de las prácticas de laboratorio.

En un canal, considerando éste como la vía física por donde se transmite la información, los transductores son los módulos o dispositivos encargados de la transformación de un tipo de energía en otro, por lo que constituyen el primer eslabón de la cadena de transmisión. Teniendo en cuenta el contexto en el que nos encontramos, los transductores más relevantes son los llamados electro-acústicos. Estos dispositivos serán los

encargados de “convertir” la energía eléctrica en acústica y viceversa. En este sentido, el transductor más elemental y con mayor relevancia es el denominado electro-mecánico. Suele estar constituido por una superficie (diafragma) de un determinado material que vibra o se le hace vibrar en un medio. Por norma general, los transductores electro-acústicos se denominarán emisores o altavoces, mientras que los acústico-eléctricos pasarán a llamarse receptores o micrófonos. Este proyecto se centra en los emisores, sin embargo, dado que las leyes que gobiernan estos dispositivos son válidas en los dos sentidos, todo lo que se diga es igualmente cierto para el caso de los receptores. En la cadena de conversión de señales eléctricas a acústicas el altavoz constituye el último eslabón. Por lo tanto, éste se diseña para radiar energía audible en un medio fluido que generalmente es el aire.

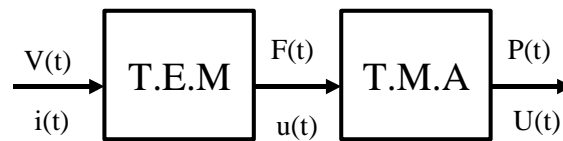
Una de las primeras cuestiones que debe clarificarse es que la transformación energética se realiza en dos pasos sucesivos. De este modo, el transductor electro-acústico está formado por dos transductores elementales: el electro-mecánico y el mecánico-acústico.

$$TEA=TEM+TMA$$

La cadena de transformación energética funciona en los dos sentidos. Las características de los transductores dependerán del tipo de transductores elementales que lo constituyan. Por este motivo, para comprender el funcionamiento de cualquier transductor, es necesario dominar los parámetros que caracterizan las propiedades de los transductores, conocer las leyes físicas que relacionan las variables mecánicas o acústicas con las eléctricas; y disponer de un formalismo que contemple todas las variables involucradas (acústicas, mecánicas y eléctricas) y proporcione un método de análisis del dispositivo en su conjunto.

Tal y como se ve en la figura 1, la señal que activa al altavoz es eléctrica y procede del amplificador al que se halla conectado. La señal actúa sobre el transductor electromecánico, el cual a su vez activa al transductor mecánico-acústico generando una vibración síncrona con la fuente original de sonido. El mecanismo vibratorio del altavoz excita al aire circundante, desplazándolo hacia adelante y hacia atrás, convirtiéndose así en una fuente sonora dentro de nuestro rango de audición.

Figura 1. Transductores elementales en un Transductor electroacústico.



El temario de esta materia es el siguiente:

## **TEORÍA:**

### **Tema 1. Fundamentos.**

- 1.1. Características generales de los transductores.
- 1.2. Formalismo general para el estudio de los transductores. Circuitos equivalentes.

### **Tema 2. Transductores y micrófonos electrodinámicos.**

- 2.1. Altavoces dinámicos. Respuesta en frecuencia. Rendimiento.
- 2.2. El micrófono dinámico y el de cinta.
- 2.3. Diseño de sistemas radiantes en baja frecuencia.
- 2.4. Altavoces de radiación indirecta.

### **Tema 3. Transductores piezoeléctricos.**

### **Tema 4. Transductores electrostáticos.**

### **Tema 5. Otros tipos de transductores acústicos.**

## **PRÁCTICAS:**

- P1.** Sensibilidad, rendimiento y distorsión de un sistema radiante. Medidas en campo cercano.
- P2.** Caracterización de componentes acústicos.



**P3.** Caracterización de un altavoz dinámico. Impedancia eléctrica. Impedancia del movimiento. Parámetros de *Thiell & Small*.

**P4.** Filtros pasivos para altavoces.

**P5.** Análisis paramétrico de los sistemas caja cerrada y *Bass-Reflex*.

**P6.** Caracterización de un transductor piezoeléctrico.

La problemática del diseño de sistemas radiantes, se aborda en la sección 2.3 y en la sesión de prácticas nº5.

Los sistemas radiantes en baja frecuencia básicos son el sistema caja cerrada, el *Bass-Reflex*, el sistema activo-pasivo y los sistemas de carga simétrica, también llamados paso banda.

El sistema de caja abierta o *Bass-Reflex* consiste en un recinto en el que se han practicado dos aperturas. En una se acomoda el altavoz mientras que en la otra, comúnmente denominada puerta, es posible dejar un simple orificio o bien colocar un tubo que se extienda hacia dentro del recinto.

El sistema activo pasivo es un sistema de radiación directa que también tiene dos aberturas: la primera acomoda un altavoz y la segunda un conjunto móvil (sin bobina ni motor). El sistema pasivo es muy similar al de caja abierta o *Bass-Reflex*, con la diferencia de la suspensión del radiador pasivo, la cual no está presente en el tubo. Se comportará igual que un *Bass-Reflex* si la compliancia del radiador pasivo es muy grande.

Respecto a los sistemas de carga simétrica, consisten en un sistema caja cerrada (recinto de 4º orden o simétricos) o abierta (recinto de 6º orden o asimétricos) al que se le ha acoplado un segundo resonador que actúa como limitador de la banda pasante del sistema. Los recintos de cuarto orden sólo presentan una abertura o puerta por uno de los recintos, el delantero, de modo que poseen la misma pendiente de subida (baja frecuencia) que de bajada (alta frecuencia) - 12 dB/octava. Por el contrario, los recintos de sexto orden poseen dos aberturas, una para el volumen delantero y otra para el trasero. En este caso el sistema presenta una pendiente de subida de 24 dB/octava (baja frecuencia) y de 12 dB/octava de bajada (alta frecuencia).

En las siguientes figuras se muestra un esquema de los sistemas radiantes definidos anteriormente, así como la forma de la curva de impedancia eléctrica genérica en cada caso.

Figura 2. Izquierda: sistema caja cerrada. Derecha: impedancia eléctrica en función de la frecuencia para un sistema caja cerrada.

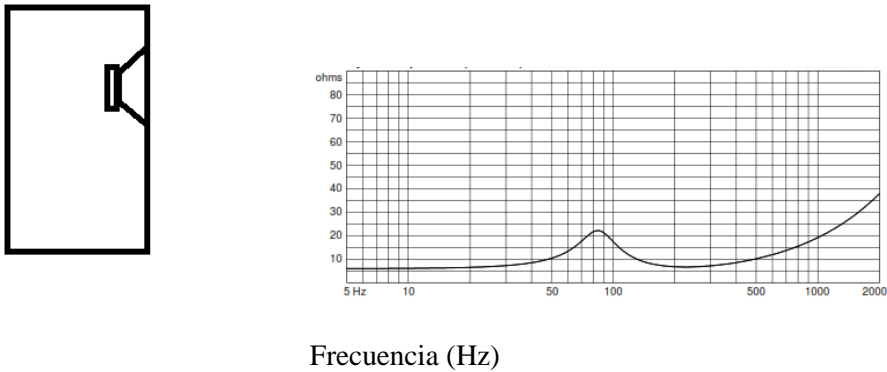


Figura 3. Izquierda: sistema *Bass-Reflex*. Derecha: impedancia eléctrica en función de la frecuencia para un sistema de este tipo. Como se aprecia, se puede modelar en baja frecuencia como un sistema de dos grados de libertad

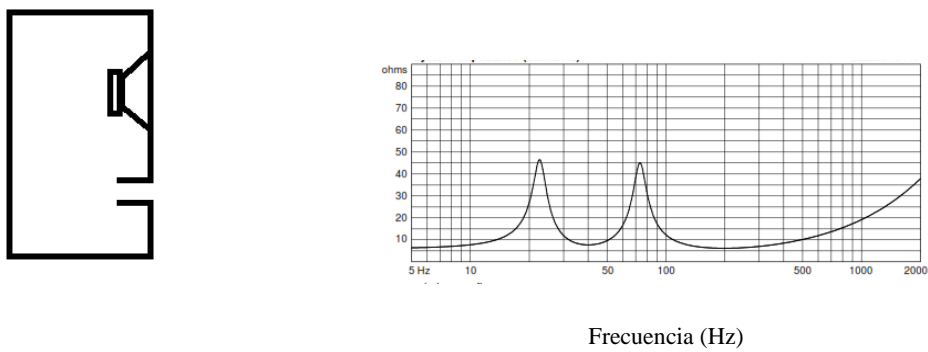
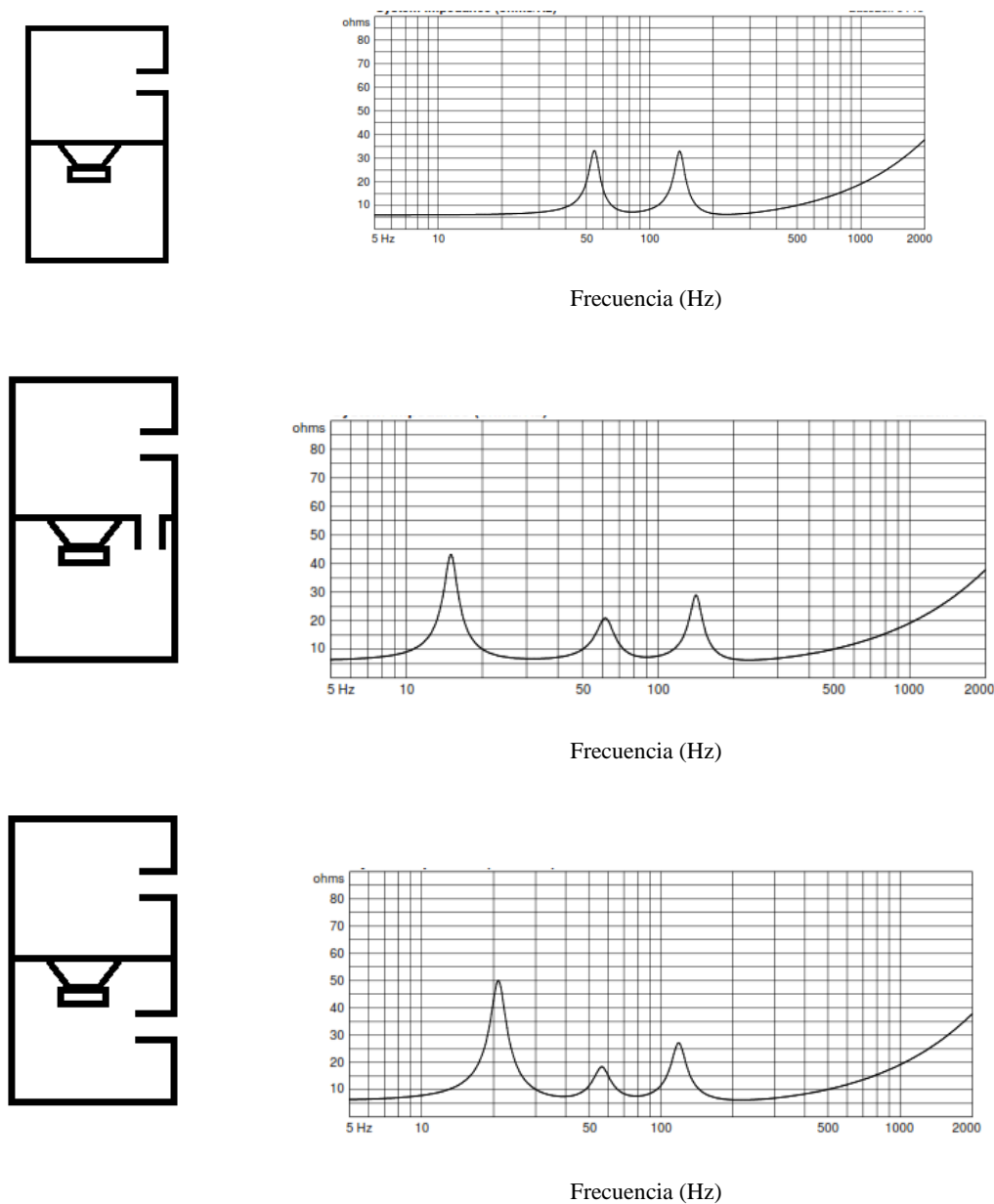


Figura 4. Configuraciones de sistemas paso banda con sus respectivas curvas de impedancia eléctrica.



### 2.1.1. La materia “Vibroacústica”

Vibroacústica es una asignatura optativa que se imparte en sexto cuatrimestre, después de haber cursado materias como acústica (3C), transductores acústicos (4C) y aislamiento y acondicionamiento acústico (5C). Se apoya en los conceptos impartidos en estas asignaturas, especialmente en TA, aunque a su vez hace uso de otras herramientas de segundo curso.

El objetivo de la asignatura consiste en abordar problemas de radiación de placas, así como las pérdidas por transmisión de particiones formadas por varias capas o las técnicas experimentales para caracterizar elementos vibratorios y sistemas radiantes. Una parte importante de las prácticas se dedica a las técnicas vibroacústicas para la caracterización de materiales. Sin embargo, las primeras prácticas se centran en estudiar los sistemas radiantes de caja cerrada, *Bass-Reflex*, activo pasivo y paso banda, lo que permite conectar con los contenidos de la asignatura transductores acústicos. El estudio de estos sistemas se aborda desde un prisma diferente, profundizando en los conceptos de sistemas vibroacústicos con un número finito de grados de libertad. Se asimilan las técnicas y procedimientos de caracterización de sistemas radiantes más utilizados, introduciendo los sensores y la instrumentación para la medida de vibraciones con y sin contacto.

Concretamente, el temario de esta materia relacionado con el proyecto es el siguiente:

## **TEORÍA:**

### **1. Dinámica de vibraciones.**

- 1.1. Sistemas de uno y dos grados de libertad.
- 1.2. Sistemas continuos unidimensionales y bidimensionales.
- 1.3. Sistemas acoplados. Los transductores como sistemas acoplados.

## **PRÁCTICAS:**

**P1.** Estudio de los sistemas caja cerrada y *Bass-Reflex*. Desplazamiento del diafragma y respuesta en frecuencia del sistema.

**P2.** Estudio de los sistemas activo pasivo y sistema paso banda. Desplazamiento del diafragma.

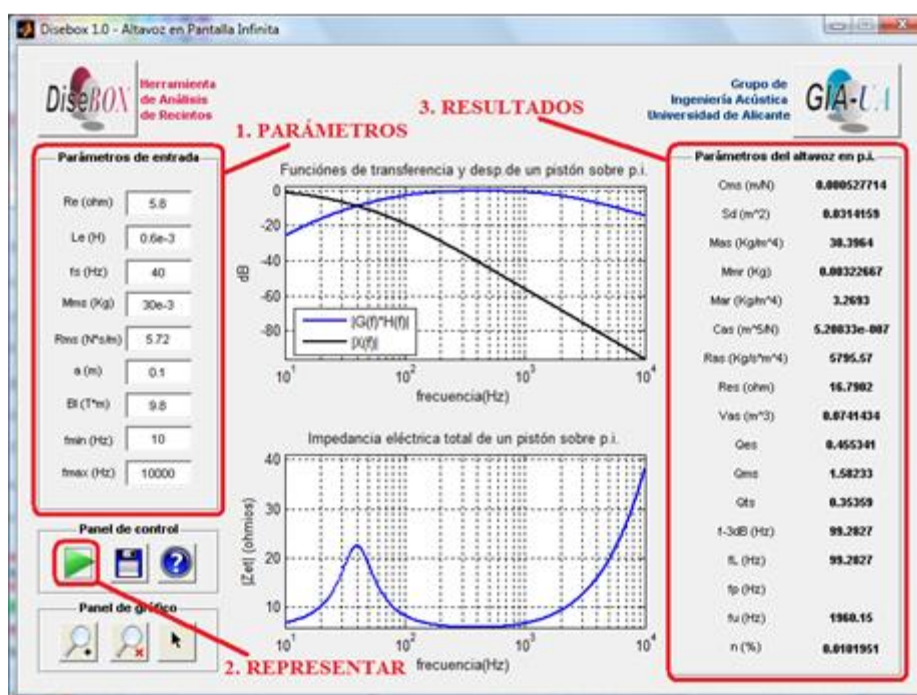
La problemática del diseño de sistemas radiantes, se aborda en la sección 1.1 y 1.2 y en las dos primeras sesiones de prácticas.

## 2.2. Proceso

### 2.2.1. Transductores Acústicos

- Primer paso: breve explicación teórica (clase de teoría) sobre los conceptos más relevantes de la materia.

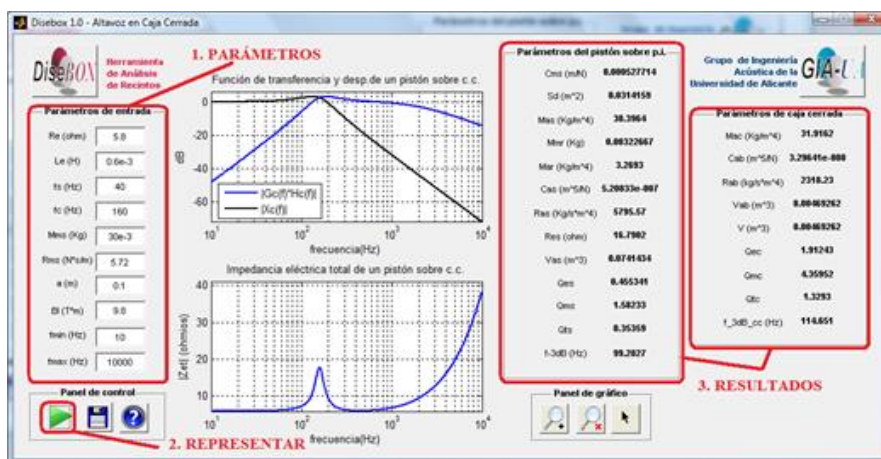
Figura 5. Panel frontal de la aplicación para el diseño de altavoces en pantalla infinita.



- Segundo paso: análisis paramétrico de sistemas radiantes, haciendo especial hincapié en los sistemas *Bass-Reflex* (sesión de práctica). Se hace uso de diferentes scrips de Matlab (figura 5 y 6). Estas aplicaciones nos permiten obtener, a partir de los parámetros característicos del altavoz, la curva de impedancia eléctrica (módulo), el desplazamiento del diafragma y la respuesta en frecuencia (relativas). Del mismo modo, proporciona diferentes parámetros del altavoz en pantalla infinita.
- Tercer paso: medidas de impedancia eléctrica de los diferentes sistemas que se muestran en la figura 7. A partir de estas medidas se caracterizan los altavoces que se toman como referencia.

- Cuarto paso: a partir de los datos de las medidas de impedancia eléctrica se propone al alumnado dos actividades. En primer lugar, se realizará un análisis detallado de los resultados. Seguidamente, se propondrá y justificarán los cambios oportunos para mejorar la respuesta en frecuencia del sistema *Bass-Reflex*.

Figura 6. Panel frontal de la aplicación software para el diseño de altavoces en caja cerrada.



- Quinto paso: realización del modelo. Se llevarán a cabo los modelos en una impresora 3D cedida por el Grupo de Acústica Aplicada de la UA. El alumnado participará en la preparación del dibujo para la impresión en 3D de las piezas necesarias para el diseño previsto para el proyecto de su grupo.
- Sexto paso: evaluación de los resultados obtenidos por los grupos para los diseños realizados.

Los sistemas diseñados por cada grupo de alumnos deben cubrir un análisis paramétrico de los sistemas citados, de forma que, al analizar los resultados de las medidas finales, se pueda visualizar el efecto de incrementar la longitud de los tubos que forman parte del diseño y de la superficie radiante de estos, así como de la terminación en forma de bocina del mismo.

Figura 7. Prototipos de partida.



Altavoz en caja cerrada



Altavoz *Bass-Reflex*. Diámetro agujero 1.5 mm



Altavoz *Bass-Reflex*. Diámetro agujero 3 mm



Altavoz *Bass-Reflex*. Diámetro agujero 5 mm



Profundidad de caja 30 mm



Profundidad de caja 20 mm

### 2.2.2. Vibroacústica

Se han seguido los mismos pasos que en el apartado anterior, pero en este caso el proyecto se ha enfocado al sistema paso banda.

## 3. RESULTADOS

La experiencia se ha planteado en cuatro grupos de prácticas. El alumnado, en grupo de tres o individualmente, ha hecho propuestas en el sentido indicado en el apartado anterior. Sin embargo, el tiempo para la discusión de los prototipos ha sido limitado. Asimismo, no ha podido llevarse a cabo la fabricación de todas las soluciones propuestas durante el periodo lectivo. El equipo de trabajo entiende que se trata de una experiencia motivadora y se incorporará el próximo curso cuidando la planificación para mejorar los resultados.

## 4. CONCLUSIONES

Pese a constatarse la motivación del alumnado, la falta de tiempo ha dado lugar a que los resultados no sean del todo satisfactorios. La actividad correspondiente a la propuesta de mejoras se ha planteado como voluntaria, por lo que su valoración se ha contemplado con un peso inferior al 5%. Este hecho, junto con la existencia de otras pruebas de evaluación en la época en la que se propuso la actividad, ha conducido a una baja participación del alumnado. Sin embargo, estamos convencidos de que este es el camino y se seguirá profundizando en la propuesta de actividades para mejorar la participación del alumnado.



## 5. TAREAS DESARROLLADAS EN LA RED

<b>PARTICIPANTE DE LA RED</b>	<b>TAREAS QUE DESARROLLA</b>
Ramis Soriano, Jaime	Coordinación de la red
Carbajo San Martín, Jesús	Implementación de software
Segovia Eulogio, Enrique	Soporte teórico
Poveda Martinez, Pedro	Impresión 3D de prototipos
Gonzalez Ruiz, Juan de Dios	Implementación de software
Requena Plens, Jose Manuel	Colaboración y apoyo en distintas tareas

## 8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Kim, D., Jeong, H. An optimal design of the internal space in a micro-speaker module. 2015. International Journal of Precision Engineering and Manufacturing. Vol. 16, Issue 6, pp. 1141-1147.
- [2] Chao, P. C., Wang, I. T. Dynamical modelling and experimental validation of a micro-speaker with corrugated diaphragm for mobile phones. 2007. Microsystem Technologies. Vol. 13, pp 1241-1252.
- [3] Lee, C. H., Hwang, G. Y & C. C. Performance comparison between circular and elliptical type micro-speakers for celular phones. 2003. IEEE International Magnetics Conference.
- [4] Case, J. M., Light, G. Emerging Methodologies in Engineering Education. 2011. Research. Journal of Engineering Education, Vol. 100 (1), pp. 186–210.
- [5] De-Miguel, M. Modalidades de Enseñanza centradas en el desarrollo de competencias. 2006. Universidad de Oviedo
- [6] Urraza-Digón, G., Ortega-Arcelo, J. Diseño de una experiencia de aprendizaje por proyectos en la asignatura de Expresión gráfica y diseño asistido por ordenador mediante grupos cooperativos. 2009. Revista de Formación e Innovación Educativa Universitaria (REFIEDU). Vol. 2, nº3, pp. 261-271.

[7] Calvo, I., López-Guede, J. M., Zuleta, E. Aplicando la metodología Project Based Learning en la docencia de Ingeniería Técnica en Informática de Gestión. 2010. Revista de Formación e Innovación Educativa Universitaria. Vol. 3, nº 4, pp. 166-181

[8] Alba, J., Del-Rey, R., Vidal, A., Roig, B. Aprendizaje basado en proyectos en el Grado en Ingeniería de Sistemas de Telecomunicaciones, Sonido e Imagen. Caso práctico del electroscópio como experiencia interdisciplinar entre Física y Matemáticas. 2015. 23 Congreso Universitario de Innovación Educativa de las Enseñanzas Técnicas (XXIII CUIEET). Valencia, 15-17 de julio de 2015.

[9] Alba J., Torregrosa C., Del-Rey R. Aprendizaje basado en proyectos: primera experiencia en la asignatura de Física del Grado en Ingeniería de Telecomunicación, Sonido e Imagen. 2015. Universitat Politècnica de València. Congreso IN-RED.