

# Using mathematics to solve concert hall acoustics problems

## Utilizando las matemáticas para resolver problemas de acústica de salas

Anna Vidal Meló, Romina del Rey Tormos,  
Almanzor Sapena Piera, Bernardino Roig Sala  
UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA  
avidal@mat.upv.es, roderey@doctor.upv.es,  
alsapie@mat.upv.es, broig@mat.upv.es

Vicente D. Estruch Fuster, Francisco J.  
Boigues Planes, Jesús Alba  
UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA  
vdestruc@mat.upv.es, fraboipl@mat.upv.es,  
jesalba@fis.upv.es

---

### Abstract

*This article shows how students can approach hall acoustics problems in a first degree course with the aid of Mathematics subjects. In this way, students find a direct application to their future workplace of the acquired knowledge in Mathematics subjects. This project is located in the Grado de Ingeniería de Sistemas de Telecomunicación, Sonido e Imagen of the Escuela Politécnica Superior de Gandia in the Universitat Politècnica de València.*

*En este artículo se muestra cómo un alumno puede abordar problemas de acústica de salas ya en un primer curso de Grado, con el soporte de las asignaturas de Matemáticas. De este modo, el alumno, encuentra una aplicabilidad directa de los conocimientos adquiridos en asignaturas de Matemáticas en su futuro entorno laboral. Este proyecto se ubica en el Grado de Ingeniería de Sistemas de Telecomunicación, Sonido e Imagen de la Escuela Politécnica Superior de Gandia de la Universitat Politècnica de València.*

---

Keywords: Mathematics, Acoustics, Statistics, Interdepartmental interaction, data setting

Palabras clave: Matemáticas, Acústica, Estadística, interacción interdepartamental, ajuste

## 1 Introducción

Según el perfil del estudiante, la construcción del conocimiento matemático presenta características peculiares. La idea básica es que las competencias matemáticas que han de adquirir los estudiantes de ingeniería han de ir asociadas a las necesidades formativas del ingeniero. Para un ingeniero, un aspecto importante a tener en cuenta es la aplicabilidad de las matemáticas. Por lo tanto, una enseñanza basada en la resolución de problemas aplicados es un elemento básico para que comprendan mejor las matemáticas, además de constituir una motivación importante para el estudio.

### 1.1 Proyectos de Innovación y Mejora Educativa

En este trabajo se expone la implementación y desarrollo de parte de un Proyecto de Innovación y Mejora Educativa (PIME) en el que han colaborado los departamentos de Matemática Aplicada y de Física Aplicada en la Escuela Politécnica Superior de Gandia (EPSG) de la Universitat Politècnica de València (UPV). Aunque dicha colaboración empezó con un trabajo conjunto en el curso 2008-2009 (Alba et al., 2009), en el curso 2011-2012, con el PIME-UPV 2011-2012, “Metodologías activas en una experiencia de colaboración entre dos asignaturas del GSTSI: Matemáticas 2 y Acústica” nos centramos en el estudio colaborativo sobre mapas de ruido relacionados con la problemática del ruido del tráfico, utilizando el puzle de Aronson (Aronson, Blaney, Stephin, Sikes & Snapp, 1978) con el alumnado de primer Grado de Ingeniería de Sistemas de Telecomunicación, Sonido e Imagen (GISTSI), obteniéndose diversas experiencias y resultados (Vidal et al. , 2012) (Vidal et al. b), 2012) (Vidal et al., 2013). Durante el curso 2012-2013, se consigue otro PIME, continuación del primero, cuyos objetivos se centran en la elaboración de nuevos materiales y en abordar el estudio de la calidad acústica de recintos cerrados. Para este tipo de recintos es importante valorar su acondicionamiento acústico mediante varios parámetros. Nuestro proyecto se basa en el estudio de uno de ellos, la homogeneidad de la presión sonora mediante herramientas Matemáticas de primer curso de grado. Aunque este estudio podría realizarse con herramientas de Estadística Descriptiva de primer semestre del GISTSI, nuestro proyecto se centra más en la solución proporcionada por técnicas de interpolación y ajuste estudiadas en la asignatura Matemáticas 2 del mismo Grado. En cualquier caso, tal y como veremos, la conclusión es la misma.

### 1.2 Las asignaturas de Matemáticas en el GISTSI

Matemáticas 1 y Matemáticas 2 son asignaturas de formación básica del GISTSI. El alumno puede consultar la guía docente de estas asignaturas así como obtener los recursos que proporciona el profesor en la plataforma informática de soporte a la docencia de la asignatura, Poliformat, en el apartado de Recursos. La plataforma también permite dar de alta distintas Tareas a realizar por el alumno, calificarlas y recoger su opinión.

Matemáticas 1 se imparte en el primer semestre, comprendiendo la estadística descriptiva en la primera parte y la teoría de conjuntos y el álgebra lineal en la segunda. De un total de 6 créditos ECTS, 2.5 ECTS corresponden a la parte de estadística. La asignatura anual de primer curso Matemáticas 2 tiene un total de 9 créditos ECTS: 4.6 ECTS para las clases de teoría y práctica de aula, 3 ECTS para clases de seminario de una hora semanal y 1.4 ECTS para prácticas de laboratorio informático. El programa abarca el estudio del cálculo integral de funciones de una variable, ecuaciones diferenciales ordinarias, series numéricas y de potencias,

cálculo diferencial e integral de campos escalares y cálculo numérico. Se realizan 7 sesiones de prácticas informáticas, de dos horas cada una, utilizando MATLAB<sup>®</sup>. La tercera de ellas es la que se corresponde con la parte central de este trabajo: interpolación y ajuste de curvas. El alumno dispone de un guion de la práctica en el que se distingue una primera parte de desarrollo de la base teórica necesaria y una segunda parte donde se debe interactuar directamente con el programa MATLAB<sup>®</sup>, que denominamos “Manos a la obra” (MAO). En general, el profesor explica el contenido teórico de la práctica al principio de la sesión, dejando tiempo para que el alumno realice a continuación los apartados correspondientes al MAO. En el curso 2012/2013 se introduce un pequeño cambio: para cada práctica, y por grupos de trabajo, se debe presentar, en Poliformat, una memoria correspondiente a la resolución de un problema aplicado, para lo cual disponen de un plazo de 15 días. En la nota final de la asignatura, un 20% corresponde a la valoración de estas memorias.

## 2 Planteamiento del problema de acústica de salas

La acústica de salas estudia el modo en que la sala modifica la transmisión del sonido con objeto de optimizarla así como el conjunto de actuaciones necesarias para que el sonido producido en el interior de la sala llegue en perfectas condiciones al oyente (David Egan, 2007). En cualquier auditorio, salón de actos, sala multiusos, cine, etc. es imprescindible el estudio del acondicionamiento acústico con el fin de determinar las propiedades acústicas que deben reunir los materiales que recubrirán el interior de la sala, así como su colocación e instalación, para conseguir una adecuada audición (Carrión Isbert, 1998) (Arau H, 1999). Para valorar el acondicionamiento acústico de una sala es necesario conocer al menos dos parámetros acústicos. En primer lugar es importante comprobar la homogeneidad de los niveles de presión sonora. En cualquier punto del recinto donde se prevea audiencia (gente sentada o de pie) se mide (con micrófonos) el nivel de presión sonora que llega desde una fuente de referencia colocada en el escenario. En el caso ideal, a todos los puntos debería llegar el mismo nivel y, de esta forma, el oyente recibiría la audición con el mismo nivel de presión sonora sea cual sea su posición dentro de la sala de butacas. Otro parámetro a tener en cuenta, desde el punto de vista del acondicionamiento, es el tiempo de reverberación (TR), muy utilizado como criterio de calidad. Es el tiempo requerido para que la densidad de energía acústica media en un recinto decrezca en 60dB una vez que la emisión de la fuente ha cesado. Se expresa en segundos. El TR debe ajustarse más o menos a los valores de la Tabla 9.1, que actualmente son los reconocidos (DBHR, 2012).

En este trabajo se considera solo la homogeneidad de los niveles de presión sonora. Partimos de una misma sala en la que se plantean tres casos o situaciones distintas. Se indican las posiciones de la fuente, las posiciones del micrófono y los valores de los niveles de presión sonora (PS) en cada caso. El objetivo principal es determinar cuál de los tres casos es el más favorable en cuanto a la calidad acústica del recinto.

Como origen de coordenadas (A0) se toma el punto del escenario donde se sitúa la fuente emisora, los micrófonos registran el nivel de presión de forma distribuida por el espacio que ocupan las butacas de la sala (Pi), esto es, donde puede haber público. En la Figura 1 se observa la posición de los micrófonos y en la Tabla 6.2 sus coordenadas.

Se consideran tres casos distintos para una misma sala, que se diferencian por los materiales que recubren parte de las superficies de la sala. En el caso 1, C1, el recubrimiento de techo, suelo y paredes es el estándar de cualquier edificio, sin especificar el uso del mismo. En el caso

Tabla 1.1: Márgenes de valores recomendados de TR en función del tipo de recintos ocupados.

Tipo de sala	TR (s) sala ocupada
Sala de conferencias	0.7–1.0
Cine	1.0–1.2
Sala polivalente	1.2–1.5
Teatro de opera	1.2–1.5
Sala de conciertos (música de cámara)	1.3–1.7
Sala de conciertos (música sinfónica)	1.8– 2.0
Iglesia / catedral (órgano y canto coral)	2.0–3.0
Locutorio de radio	0.2 –0.4

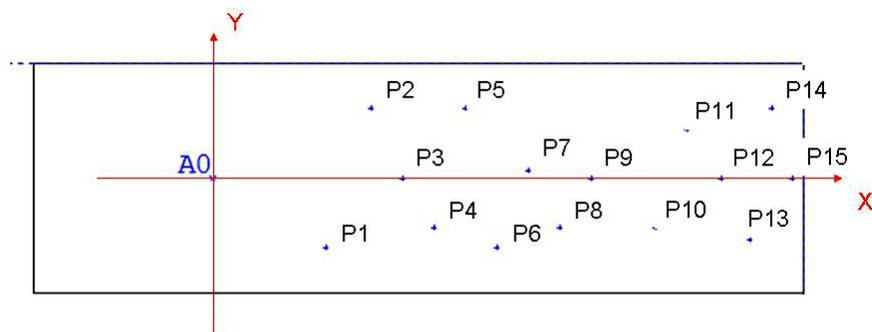


Figura 1: Distribución de puntos de emisión y de registro de señal. A0 (0,0) origen de coordenadas. X distancia horizontal en metros (m), Y distancia vertical en metros (m).

Tabla 1.2: Coordenadas de los puntos donde se sitúan los micrófonos, en metros (m).

	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15
X	2.7	3.7	4.5	5.2	6.0	6.7	7.5	8.2	9.0	10.5	11.2	12.1	12.7	13.2	13.7
Y	-1.7	1.7	0.0	-1.2	1.7	-1.7	0.2	-1.2	0.0	-1.2	1.2	0.0	-1.5	1.7	0.0

2, C2, se recubre la pared del escenario con una cortina cuyas características acústicas así como la colocación de la misma han sido estudiadas en la propia EPSG (del Rey et al., 2013). En el caso 3, C3, se propone moquetear parte del suelo y techo de la sala, sin tener en cuenta la cortina del caso 2. En la Figura 2 se muestran tres imágenes que reflejan los tres casos, que también aparecen en el material que se les pasará al alumnado. Por otro lado los niveles de presión sonora, en dB, en los puntos de medida, en las tres situaciones distintas, se reflejan en la Tabla 1.3.

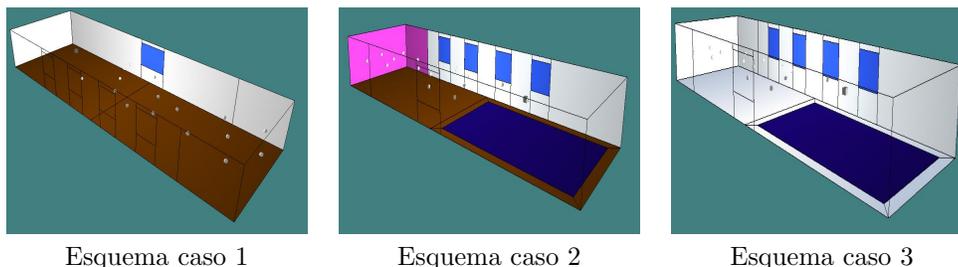


Figura 2: Esquema de la sala en los tres casos estudiados.

Tabla 1.3: Niveles de presión sonora (dB) en los puntos de medida en los tres casos.

	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8
PS C1	96.3	95.9	95.7	95.5	95.1	94.9	94.8	94.7
PS C2	91.8	90.9	90.5	90.2	89.9	89.7	89.8	89.7
PS C3	92.2	91.6	91.6	91.3	91.2	91.3	91.1	91.2

	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15
PS C1	94.6	94.4	94.2	94.2	94.4	94.2	93.9
PS C2	89.4	89.2	89.0	89.0	88.7	88.2	88.2
PS C3	91.3	91.1	90.8	91.0	90.8	90.9	90.4

### 3 Resolución del problema desde la asignatura de Matemáticas 1

Como hemos indicado, en la primera parte de esta asignatura se estudian los conceptos relativos a la estadística descriptiva que es el primer paso del estudio de un conjunto de datos donde, además de la obtención de gráficos, se introducen los parámetros representativos de la serie de datos (Estruch, Gregori & Sapena, 2010). Consideremos una variable estadística cuantitativa,  $X$ , en una población de  $N$  elementos, que toma los valores distintos  $x_1, x_2, x_3, \dots, x_r$ , ordenados de menor a mayor. Para  $N$  grande se recurre a las frecuencias absolutas  $f_i$  correspondientes a cada  $x_i$ ,  $i = 1, 2, \dots, r$ , de manera que  $\sum_{i=1}^r f_i = N$ . Los valores centrales de la variable  $X$  representan de alguna forma a todos los  $x_i$  y el de uso más generalizado es la media aritmética

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^r f_i x_i}{N}.$$

Se denomina desviación de un valor  $x_i$  respecto de la media aritmética, a la diferencia  $d_i = x_i - \bar{x}$ . El conocimiento de un valor de centralización como la media aritmética no es suficiente para representar a  $X$ . También es importante saber hasta qué punto los valores  $x_i$  están próximos o alejados de la media. Las medidas de dispersión respecto de la media indican cuán agrupados están los valores  $x_i$  alrededor del valor promedio. Cuanto mayor sea el valor de dispersión, más “alejados” estarán los valores respecto de la media y, por lo tanto, menor será la representatividad de los valores centrales. Entre las medidas de dispersión destacamos la varianza,

$$\sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^r f_i (x_i - \bar{x})^2}{N},$$

y su raíz cuadrada positiva,  $\sigma$ , que se denomina desviación típica. La desviación típica suele ser un buen indicador de la homogeneidad de una muestra.

Aunque en realidad durante el curso 2012/2013, el problema planteado, no se resolvió en esta asignatura, nuestro objetivo es hacerlo durante los próximos cursos, presentándolo en el listado general de problemas que se resuelven en clase. Se puede plantear el cálculo de la desviación típica correspondiente a los datos de PS de cada caso, obteniéndose las siguientes para cada uno de los casos:  $\sigma_1 = 0.6869, \sigma_2 = 0.9486, \sigma_3 = 0.4047$ . Por tanto, con el resultado obtenido para los valores de las correspondientes desviaciones típicas podemos concluir que la muestra

del caso 3 es en la que se distribuye más homogéneamente la presión sonora de la sala y, por contra la muestra C2 es en la que la distribuye más heterogéneamente.

## 4 Resolución del problema desde la asignatura de Matemáticas 2

La resolución del problema acústico se ha desarrollado en la tercera práctica informática, dedicada a interpolación y ajuste, colaborando en la sesión práctica tanto profesores de Matemáticas 2 como de Acústica. Los alumnos se distribuyeron en cuatro grupos de prácticas y la han realizado en fechas distintas.

### 4.1 Interpolación y ajuste con MATLAB<sup>©</sup>

Frecuentemente, al realizar trabajos experimentales, la información de una función  $f(x)$  desconocida o de difícil cálculo se tiene a partir de una tabla de valores como la Tabla 1.4, donde  $x_1, x_2, \dots, x_{n+1}$  son los llamados nodos de interpolación, que supondremos ordenados de menor a mayor y que  $y_i = f(x_i)$ ,  $i = 1, 2, \dots, n + 1$ .

Tabla 1.4: Valores conocidos de la función incógnita .

$\mathbf{x}$	$x_1$	$x_2$	$\dots$	$x_{n+1}$
$\mathbf{f}(\mathbf{x})$	$y_1$	$y_2$	$\dots$	$y_{n+1}$

El objetivo es obtener una función  $P(x)$  que aproxime a  $f(x)$ . Una vez obtenida ésta, se puede utilizar para dar un valor aproximado de  $f(x)$  en un punto  $x^*$  no tabulado mediante el valor  $P(x^*)$ . Al ser los polinomios muy fáciles de manipular, se buscará una función polinómica  $P(x)$ .

En el problema de interpolación se exige que  $P(x)$  también pase por los mismos puntos de la Tabla 1.4, al igual que la función  $f(x)$ , obteniéndose el polinomio de interpolación de grado  $n$  (o menor si algún coeficiente es nulo). Pero cuando se sabe a priori que los valores  $y_i$  obtenidos para cada  $x_i$  contienen un cierto error de precisión, debido a la limitación de los instrumentos de medida utilizados o a la pericia del técnico que toma las muestras, no tiene sentido exigir al polinomio que pase exactamente por los puntos de la Tabla 1.4, sino que se “acerque”. En este caso, fijado un polinomio  $P_r(x)$  de este tipo, en cada nodo se comete un error determinado por  $|y_i - P_r(x_i)|$ . Se busca un polinomio  $P_r(x)$  que minimice el error de alguna forma.  $P_r(x) = a_0 + a_1x + a_2x^2 + \dots + a_rx^r$  es el polinomio de ajuste o regresión de grado  $r < n$  de los puntos de la Tabla 1.4, si y sólo si minimiza el error cuadrático medio

$$\frac{1}{n+1} \sum_{i=1}^{n+1} |y_i - P_r(x_i)|^2.$$

Minimizar este error equivale gráficamente a minimizar la suma de los cuadrados de las distancias verticales  $d_i$  de cada punto  $(x_i, y_i)$  a la curva de ajuste, según la Figura 3.

MATLAB<sup>©</sup> dispone del comando `polyfit(x,y,t)`, donde  $\mathbf{x}$  e  $\mathbf{y}$  son dos vectores que definen los puntos  $(x_i, y_i)$  que se tienen como datos y  $t$  es un número natural estrictamente menor que el número de puntos. En cualquier caso  $\mathbf{C}=\text{polyfit}(\mathbf{x},\mathbf{y},t)$  es un vector de longitud  $t + 1$  cuyas componentes son los coeficientes del polinomio interpolador (si  $t = n$ ) o de regresión (si  $t < n$ ),

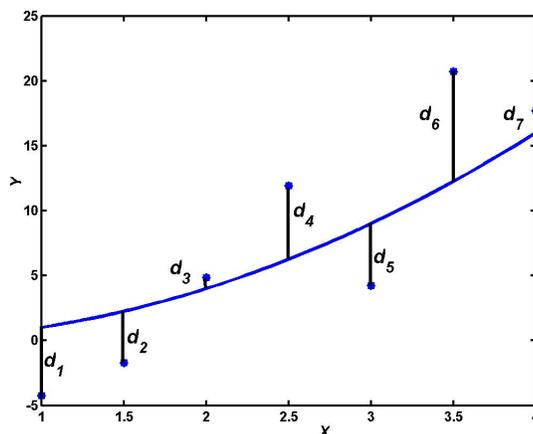


Figura 3: Ejemplo de curva de ajuste.

ordenados de izquierda a derecha de mayor a menor grado. El comando `polyval(C,xi)` evalúa el polinomio definido mediante el vector `C` en `xi`.

## 4.2 Metodología y desarrollo de la sesión práctica

A continuación pasamos a describir la metodología utilizada durante el curso 2012-2013 para la resolución del problema acústico en la citada práctica de la asignatura de Matemáticas 2. El tiempo total de esta sesión es de 2 horas y los alumnos forman grupos de 2. La secuenciación del trabajo ha sido la que se expone a continuación.

**Primera parte, 80’:** El alumno dispone de un guion de prácticas, (Alamar, Roig & Vidal, 2008), con los conceptos necesarios, entre ellos los explicados en la Sección 4.1 y el profesor de Matemáticas realiza las explicaciones pertinentes, realizándose al final dos ejercicios correspondientes al MAO (uno para determinar el polinomio interpolador correspondiente a la trayectoria a seguir por un brazo robot con 6 puntos o nodos de control, así como la trayectoria obtenida por interpolación segmentaria por splines; y el segundo para aplicar un ajuste de los datos correspondientes a la medida de una antena parabólica).

**Segunda parte, 20’:** Continúa el mismo profesor, indicando que dentro de la plataforma Poliformat se ha dado de alta una tarea relacionada con el problema a resolver, así como los plazos de entrega y la documentación disponible. En la tarea correspondiente se adjuntan dos archivos, uno con una memoria informativa y otro con la plantilla que los alumnos deben presentar rellena. El documento informativo, con el planteamiento del problema (visto en la Sección 2 de este trabajo), es explicado por el profesor de Acústica, exponiendo el problema a resolver con una breve introducción sobre acústica de salas en la que se destaca la importancia de conocer el comportamiento del campo sonoro en toda la sala. Para el caso que nos ocupa, es necesario conocer el nivel de homogeneidad del campo sonoro, es decir que independientemente de donde esté sentado el espectador, el nivel de presión sonora debe ser similar, teóricamente constante. Teniendo en cuenta la distancia de cada asiento al foco emisor,  $d$ , los valores de la presión sonora (PS) deben ser independientes de  $d$ , así que las rectas de regresión (polinomios de grado 1), deberían ser, en teoría, horizontales, es decir el caso ideal sería la recta más horizontal o con pendiente menor en valor absoluto. Notemos que en el caso ideal de pendiente nula, el resultado de la regresión sería una constante igual a la media aritmética de los valores

de presión sonora. En el mismo texto, se identifican los puntos de emisión y registro, explicados en la Sección 2, que son puntos donde se sitúan fuente de sonido y micrófonos, respectivamente. Con toda esta información se plantea al alumno la siguiente secuencia de tareas a realizar:

1. Definir los vectores  $x$ ,  $y$ , así como el de la presión sonora,  $PS$ , correspondiente a cada situación o caso. Definir el vector  $d$  de con las distancias de cada punto  $(x, y)$  a la fuente y calcular las tres rectas que ajustan la nube de puntos  $(d, PS)$ .
2. Realizar un dibujo solapado, de las tres nubes y las tres rectas, (correspondientes a las 3 salas), en tres colores distintos: azul para la nube y la recta del primer caso, rojo para el segundo y verde para el tercero. Además, en la gráfica debe aparecer una leyenda con Caso 1, Caso 2 y Caso 3 con sus colores respectivos.
3. Decidir a través del dibujo y de las pendientes la mejor calidad acústica.

**Tercera parte, 20'**: los grupos aprovechan para empezar a resolver el problema. Se les da un plazo de 15 días para presentar la memoria, así como para opinar acerca del interés por la memoria realizada.

### 4.3 Resultados obtenidos

Los alumnos fueron capaces de resolver el problema de acústica de salas, utilizando distintos comandos del MATLAB<sup>®</sup>. Así, definieron los vectores correspondientes a las coordenadas de los asientos elegidos para medir la presión sonora, y sus distancias al foco emisor con:

```
x=[2.70 3.70 4.50 5.20 6.00 6.70 7.50 8.20 9.00 10.50 11.20 12.10 12.70
13.20 13.70]; y=[-1.70 1.70 0.00 -1.20 1.70 -1.70 0.20 -1.20 0.00 -1.20 1.20
0.00 -1.50 1.70 0.00]; d=sqrt(x.^2+y.^2);
```

Como ejemplo, para el caso 1, definieron los niveles de presión sonora:

```
PS1=[96.30 95.90 95.70 95.50 95.10 94.90 94.80 94.70 94.60 94.40 94.20
94.20 94.40 94.20 93.90];
```

El vector resultado de la orden  $C1=polyfit(d,PS1,1)$ , contiene los coeficientes, de mayor a menor grado, de la recta que ajusta los valores  $(d,PS1)$ , siendo el primero de ellos la pendiente de la recta de ajuste. Análogamente se hace en los otros dos casos y mediante comandos de dibujo de forma solapada se obtienen las tres rectas de la Figura 4. A simple vista se observa que la recta “más horizontal” es la que corresponde con al caso 3.

El valor de las pendientes de las tres rectas fueron,  $-0.1906$  para el primer caso, para el segundo caso  $-0.2648$  y  $-0.1042$  para el tercer caso. Obviamente, el signo de la pendiente de la recta de ajuste será siempre negativo puesto que entre la distancia a la fuente y la presión sonora existe una relación inversa: A mayor distancia a la fuente, menor presión sonora. Además, el valor concreto de la pendiente es un indicador del decaimiento de la presión sonora con la distancia (en dB / unidad de longitud).

La valoración de la sala puede realizarse teniendo en cuenta 2 indicadores conjuntamente: Por una parte la pendiente de la recta, que ha de ser lo más pequeña posible y por otra el error

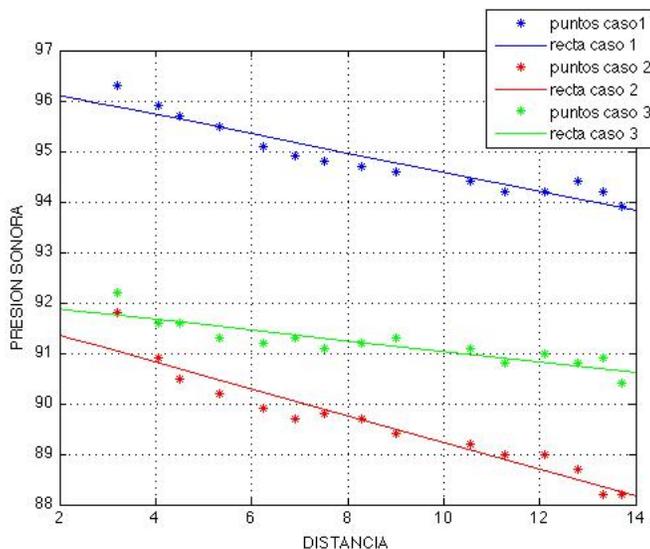


Figura 4: Solape de las tres rectas que representan los tres casos estudiados. Eje de abscisas, distancia en metros (m), eje de ordenadas, presión sonora en decibelios (dB).

cuadrático medio, que también ha de ser lo más pequeño posible. Calculando el error cuadrático medio para el primer caso con

$$\text{error}_1 = \text{sum}((\text{polyval}(C1, x) - PS1).^2) ./ \text{length}(x)$$

se obtiene

$$\text{error}_1 = 0.04163628274228$$

$$\text{error}_2 = 0.07101064441948$$

$$\text{error}_3 = 0.03507407263644$$

Los alumnos deciden que el caso con mayor homogeneidad de los niveles de presión es el caso 3, por ser el menor tanto el valor absoluto de la pendiente de la recta que representa los puntos de medida; como el error cuadrático medio, seguido del caso 1 y por último del caso 2. Cabe señalar que los resultados coinciden con los del estudio basado en las desviaciones típicas.

## 5 Conclusiones del trabajo

Tras la realización de la sesión práctica, podemos asegurar que los resultados han sido satisfactorios. En lo que respecta a la evaluación por parte de cada uno de los grupos, obtuvimos 34 contestaciones a la pregunta planteada “¿Te ha resultado interesante la memoria sobre el recinto correspondiente a la práctica de Matlab?”. Cerca del 60% del alumnado les ha resultado de interés (interesante o muy interesante) el planteamiento del problema de la calidad acústica.

Esta práctica se relaciona directamente con la naturaleza de la titulación, puesto que se ha contextualizado en uno de sus campos de estudio más importantes: el sonido y la acústica

de salas o diseño acústico de recintos. En próximos cursos se propone a los profesores de la asignatura de Matemáticas 1 que calculen las desviaciones típicas para que de esta forma que el alumno experimente con dos aproximaciones diferentes para abordar el problema.

## Agradecimientos

Los autores agradecen al Vicerrectorado de Estudios y Convergencia Europea de la UPV y a la Agència Valenciana d’Avaluació i Prospectiva (AVAP) la aprobación del PIME-2012 “Colaboración entre las asignaturas de Matemáticas 2 y Acústica para la aplicación de metodologías activas en primer curso del Grado en Sistemas de Telecomunicación Sonido e Imagen (Continuación del PIME A06/11)”.

## Referencias

-  Alba Fernández J., Vidal Meló A., Escuder Silla E., Del Rey Tormos R. (2009). *Aprendizaje multidisciplinar en mapas acústicos entre el departamento de física y matemáticas en ingeniería técnica de telecomunicación especialidad sonido e imagen*. XVII CUIEET. Valencia.
-  Aronson E. , Blaney N. , Stephin C., Sikes J., Snapp M. (1978). *The Jigsaw Classroom*. Sage Publications, Beverly Hills, California.
-  Vidal A., Roig B., del Rey R., Alba J., Estruch V. D., Boigues F. J. (2012). *Modelizando mapas II*. Terceras Jornadas de Modelización Matemática, Grau de Gandia, Valencia, España.
-  Vidal A., Roig B., Estruch V. D., Boigues F. J., del Rey R., Alba J. (2012). *Rompiendo con la rutina: dos experiencias matemáticas con el puzzle de Aronson*. XX CUIEET. Gran Canaria, España.
-  Vidal A., Roig B., Estruch V. D., Boigues F. J., del Rey R., Alba J. (2013). *Modelos de mapas topográficos y acústicos: del papel al ordenador*. Modelling in Science Education and Learning, 6(2), 67-81.
-  David Egan M. (2007). *Architectural Acoustics*. McGraw-Hill.
-  Carrión Isbert A. (1998). *Diseño de espacios arquitectónicos*. UPC.
-  Arau H. (1999). *ABC de la acústica arquitectónica*. CEAC.
-  Documento Básico de Protección Contra el Ruido (DB-HR). Código Técnico de la Edificación. (2012). <http://www.codigotecnico.org/web/>
-  Del Rey R., Alba J., Blanes M., Marco B. (2013). *Absorción acústica de cortinas textiles en función del vuelo*. Revista Materiales de la Construcción. 63 (312), 569-580.
-  Estruch V. D., Gregori V., Sapena A. (2010). *Lecciones de Estadística*. Editorial UPV, Valencia.
-  Alamar M., Roig B., Vidal A. (2008). *Fonaments Matemàtics: pràctiques de laboratori*. Editorial UPV, Valencia.