

UNIVERSIDAD POLITECNICA DE VALENCIA

ESCUELA POLITECNICA SUPERIOR DE GANDIA

Grado en Ing. Sist. de Telecom., Sonido e Imagen



**UNIVERSIDAD
POLITECNICA
DE VALENCIA**



**ESCUELA POLITECNICA
SUPERIOR DE GANDIA**

“Medición de la Calidad de Cajas Acústicas. Una investigación perceptiva”

TRABAJO FINAL DE GRADO

Autor/a:
Parrilla Navarro, Manuel Jesús

Tutor/a:
Dr. Javier Redondo Pastor

Iván Felis Enguix

GANDIA, 2016

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, me gustaría agradecer en este trabajo la dedicación día a día de mis padres y mi hermano que, gracias a su apoyo, he podido formarme en la universidad, y en especial a mi abuelo Marcos Navarro, de mayor quiero ser como tú, abuelo.

También me llevo muy cerca del corazón a las personas que me ha dado Gandía, en especial Laura y Clara, no han faltado en ningún momento en estos 4 años y se han convertido en parte de mi familia, junto con La Gran Duda. Y a todos aquellos que aun estando lejos de casa, y grandes temporadas sin vernos, han seguido estando día a día, especialmente, a mi enfermera preferida.

Como punto final, agradecer a Javi y a Iván su ayuda y disposición, ya no como docentes, sobre todo como amigos. Espero tener un futuro no muy alejado de vosotros.

RESUMEN

El propósito de este trabajo es encontrar la relación calidad-precio de las cajas acústicas. Para ello se diseñará y realizará una experiencia psicoacústica. Se presenta un análisis estadístico de los resultados llegándose a la conclusión que no siempre las cajas más caras son percibidas como las mejores.

PALABRAS CLAVE

Psicoacústica, percepción, altavoz, estadística, diagrama de cajas.

ABSTRACT

The purpose of this work is to find out the price-performance ratio of loudspeaker cabinets. For that purpose a psychoacoustic experiment has been designed and carried out. A statistical analysis of the results is presented leading to the conclusion that not always the most expensive cabinets are the best ones.

KEYWORDS

Psychoacoustic, perception, loudspeaker, statistical, box plot.

Índice

Capítulo 1. Introducción y objetivos.....	1
1.1 Objetivos.....	1
1.2 Selección de la muestra de cajas a ensayar.....	1
Capítulo 2. Estado del arte.....	2
2.1 ¿Qué es la psicoacústica?.....	2
2.2 El oído humano.....	2
2.3 Umbrales de audición.....	4
2.4 Enmascaramiento sonoro.....	6
2.5 Bandas críticas.....	6
2.6 Sonoridad.....	6
2.7 Estudios sobre percepción de la calidad acústica.....	8
Capítulo 3. Diseño del test.....	9
3.1 Sala del test: Estudio de radio de la EPSG.....	10
3.2 Estímulo del test: Money For Nothing.....	10
3.3 Cajas a testear.....	11
3.4 Encuesta a los sujetos.....	15
Capítulo 4. Resultados.....	17
4.1 Interpretación global.....	19
4.2 Valoración dependiendo del sexo.....	22
4.3 Valoración dependiendo del empleo.....	24
4.4 Valoración dependiendo de si tienen formación musical o no.....	25
4.5 Valoración dependiendo del grado de formación musical.....	27
4.6 Medias por grupos.....	28
Capítulo 5. Conclusiones.....	29
5.1 Conclusiones.....	29
5.2 Líneas futuras.....	30
Referencias.....	31

Capítulo 1. Introducción y objetivos

1.1 Objetivos

En este trabajo se expondrá un estudio sobre la percepción de la calidad de cajas acústicas o altavoces. Para ello, se implementará un experimento en el que cierta cantidad de sujetos realizarán un test sobre cómo perciben la calidad de cajas acústicas de diferentes precios. Asimismo se medirá la respuesta en frecuencia de cada caja, para valorar objetivamente y clasificar *a priori* la calidad de las mismas. Por lo tanto, el objetivo principal de este trabajo consiste en encontrar la relación entre la calidad objetiva y la calidad subjetiva de las cajas acústicas para tratar de averiguar si los altavoces con mayor precio son en realidad los que son percibidos como de mayor calidad sonora.

En segundo plano, se irán desarrollando durante todo el trabajo los siguientes objetivos secundarios:

- Aprender conceptos básicos sobre la psicoacústica y aplicarlos a este trabajo.
- Aprender a diseñar un test que permita obtener unos resultados lo más concluyentes posibles.
- Realizar un estudio acústico (medición de la respuesta en frecuencia) de las cajas que se utilizarán en el test.
- Aplicar los conocimientos adquiridos sobre estadística y probabilidad en el grado para poder expresar los resultados del test realizado.
- Relacionar las características de cada caja con los resultados obtenidos en el test.

1.2 Selección de la muestra de cajas a ensayar

En la actualidad, existen muchos fabricantes que ofrecen sus productos con precios muy diferentes pero, ¿los precios altos conllevan más calidad de sonido? Por supuesto, la respuesta a esta pregunta dependerá de cada consumidor, algunos prefieren una caja con más refuerzo de graves, otros con refuerzo de agudos, etc.

En este estudio se dispondrá de 4 cajas de diferentes fabricantes y diferente gama de precios. Se espera que, en promedio, la caja que sea mejor valorada corresponda a la de mayor precio. Se realizará una comparación entre las respuestas en frecuencia de cada caja, una audiometría a cada sujeto en estudio, y un test del que se extraigan las notas obtenidas de cada individuo, con el precio de cada una de las cajas para, con todo intentar llegar a una conclusión en cuanto la relación calidad-precio de estas cajas.

Capítulo 2. Estado del arte

2.1 ¿Qué es la psicoacústica?

La psicoacústica es una rama de la psicofísica¹ que estudia la relación entre estímulos sonoros y las respuestas psicológicas asociadas a éstos. Los objetivos de la psicoacústica son:

- Caracterizar la respuesta de nuestro sistema auditivo.
- Obtener el umbral absoluto de la sensación
- Obtener el umbral diferencial de determinados parámetros de los estímulos.
- Comprender y obtener la capacidad de resolución del sistema auditivo para separar estímulos simultáneos.
- Entender la variación temporal de la sensación del estímulo.

Para llegar a cada uno de estos objetivos, es necesario empezar desde donde se produce la interpretación del sonido, es decir, el oído humano. Una vez entendida la fisiología y el funcionamiento de éste, se van a definir unos parámetros que ayuden a comprender cómo el ser humano procesa los estímulos existentes en la naturaleza, tales como el enmascaramiento sonoro, los umbrales de audición, las bandas críticas o la sonoridad.

2.2 El oído humano

El oído humano es un receptor de sonido altamente sensible, en cuyo *oído interno* las fluctuaciones de presión son transformadas en vibraciones de los huesecillos del *oído medio* que, posteriormente, llegan a la cóclea, en el *oído interno*, órgano encargado de transformar estas vibraciones en estímulos nerviosos que, por último, son enviados al cerebro. Por lo tanto, el oído queda dividido en tres partes, además del sistema auditivo central [2].

- Oído externo:

Las ondas sonoras son recogidas por el *pabellón auricular*, que por su forma helicoidal, funciona como una especie de “embudo”. Las vibraciones provocadas por la variación de presión del aire cruzan el canal auditivo externo y llegan hasta la membrana del *tímpano*.

¹Psicofísica: rama de la psicología que estudia la relación entre la magnitud de un estímulo físico y la intensidad con la que este es percibido por parte de un observador [1].

- Oído medio:

Aquí se produce un fenómeno conocido como transducción, que es la transformación de un tipo de energía en otra, en este caso de energía acústica a energía mecánica. Por ello, se puede considerar el oído medio como un transductor acústico-mecánico.

En este sentido, la presión de las ondas sonoras hace que el *tímpano* vibre, empujando a los huesecillos del oído (*martillo, yunque y estribo*), que transmiten el movimiento del tímpano al oído interno.

- Oído interno:

El *pie de estribo* empuja a la *ventana oval*. Esta fuerza es unas 20 veces mayor que la que empuja la membrana del *tímpano*, debido a la diferencia de tamaño. La presión ejercida sobre la *ventana oval*, penetra en el interior de la *cóclea* (también conocido como *caracol*), gracias a la *helicotrema* y pone en movimiento el líquido linfático que contiene.

El líquido linfático se mueve como una especie de ola, y transmite las vibraciones a las dos membranas que forman la *cóclea*. Entre ambas membranas, se encuentra el *órgano de Corti*, el transductor principal (en este caso mecánico-eléctrico), debido a que es donde se encuentran las células receptoras. Desde la *cóclea*, la señal eléctrica resultante es enviada al cerebro a través del *nervio auditivo* (*Figura 2.1*).

- Sistema auditivo central:

El cerebro procesa las señales recibidas en tres niveles:

1. En el primer nivel, el cerebro identifica la procedencia del sonido, para lo que se tiene en cuenta la *escucha binaural*, es decir, el hecho de recibir dos señales simultáneas y deferentes de un mismo sonido.
2. En el segundo nivel, el cerebro identifica el sonido propiamente dicho, es decir, las características tímbricas.
3. En el tercer nivel, se determinan las propiedades temporales de los sonidos.

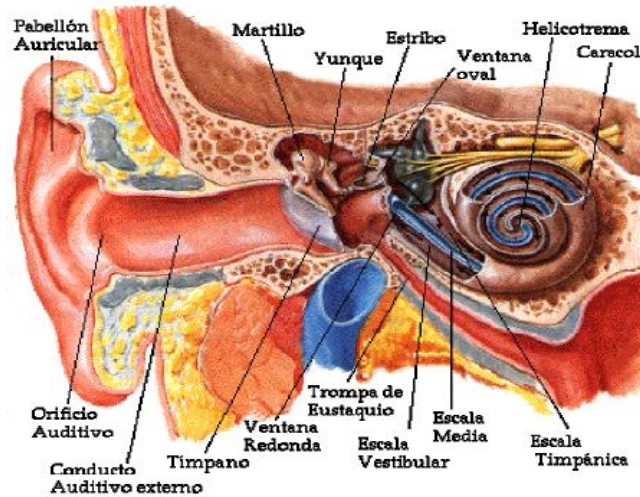


Figura 2.1 – El oído humano

2.3 Umbrales de audición

Una de las características más importantes del sistema auditivo es el umbral de audición, es decir, el mínimo nivel que un determinado estímulo debe tener para provocar una reacción en el sujeto al que se le está realizando el test.

Existen dos tipos diferentes de umbrales: los umbrales absolutos y los umbrales diferenciales.

- Umbrales absolutos

Los umbrales absolutos son aquellos valores de uno de los parámetros del estímulo físico (amplitud, por ejemplo) a partir del cual la sensación comienza a, o deja de, producirse (umbral inferior y superior, respectivamente). Este umbral determina la mínima intensidad de un determinado estímulo para el que, en un 50% de las veces, los sujetos hayan confirmado la presencia del estímulo.

Dentro de este tipo de umbrales se encuentra el umbral auditivo (*Figura 2.2*), que se define como la presión (o nivel de presión) mínima para que un sonido pueda ser percibido. Como se puede observar, este umbral depende tan solo de la frecuencia.

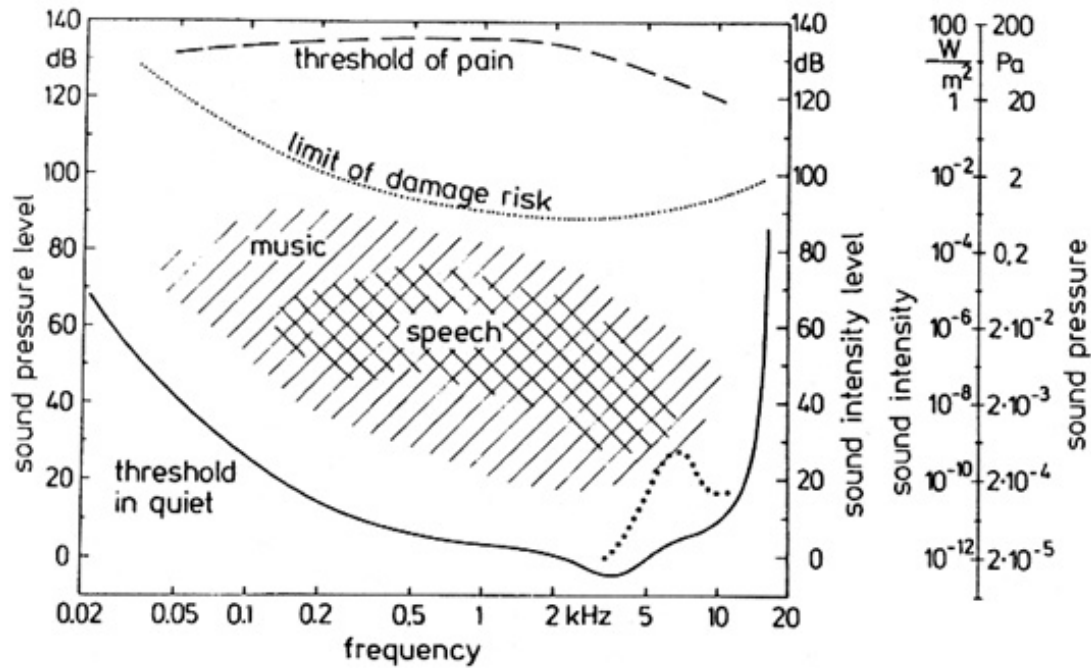


Figura 2.2 - Umbrales de audición

- Umbrales diferenciales:

Estos umbrales señalan las mínimas variaciones de uno de los parámetros del estímulo físico, necesarias para que se produzca un cambio en la sensación. Más concretamente, es la mínima intensidad con que un estímulo debe exceder a otro para que el sujeto los reconozca como diferentes en un 50% de las pruebas [3].

Algo a tener en cuenta para el estudio realizado en este trabajo será el umbral de audición del sujeto en estudio, debido a que si presenta algún problema en la audición, podría tener problemas al percibir la calidad adecuada de las cajas. Por ejemplo, si presenta problemas auditivos a altas frecuencias, percibirá que la caja atenúa esas frecuencias. Por esto, se realizará junto con el test de percepción, una pequeña audiometría, que servirá para poder discernir, en la interpretación de los datos finales, aquellos sujetos con problemas auditivos respecto del conjunto de individuos que realizan el test.

2.4 Enmascaramiento sonoro

El enmascaramiento puede ser definido como el proceso por el cual el umbral de audibilidad correspondiente a un sonido aumenta debido a la presencia de otro sonido. Este fenómeno puede apreciarse cuando dos personas conversan y el sonido ambiente impide que una de las personas escuche total o parcialmente lo que le está diciendo la otra [2].

Existen dos tipos de enmascaramiento:

- Enmascaramiento simultáneo, donde el sonido de prueba y el enmascarador coinciden temporalmente
- Enmascaramiento no simultáneo, cuando el sonido de prueba puede ser anterior o posterior al enmascarador.

En este experimento, no existirá ningún enmascaramiento, debido a que el test se realiza en un entorno controlado, acondicionado acústicamente y con el sujeto en el campo directo de emisión de las cajas.

2.5 Bandas críticas

El concepto de banda crítica permite explicar por qué dado un tono de cierta frecuencia, un ruido de ancho de banda angosto centrado en dicha frecuencia produce la misma cantidad de enmascaramiento sobre el tono que un ruido de gran ancho de banda, incluso cuando el nivel de densidad de presión sonora de ambos ruidos sea igual y, por tanto, la energía de banda estrecha sea menor [2].

Al estar las bandas críticas tan estrechamente relacionadas con el enmascaramiento, se puede concluir que no afectará a este estudio, por lo que no se tendrá en cuenta.

2.6 Sonoridad

La sonoridad es un parámetro perceptivo fundamental del sonido. Es el atributo que nos permite ordenar sonidos en una escala desde el más fuerte al más débil. Está vinculado a la intensidad del sonido, que describe la energía transmitida por la onda sonora.

Además de la intensidad de la onda, la sonoridad depende también de su frecuencia, del ancho de banda, del contenido espectral y de la duración del sonido, además de otras magnitudes psicológicas.

El estudio más destacable sobre este parámetro es el realizado por Fletcher y Munson en 1993 en el que, utilizando un tono de 1 kHz de intensidad fija como referencia y otro tono de misma frecuencia pero intensidad variable, pedían a los sujetos a prueba que regularan la intensidad del segundo tono hasta conseguir oírlo con la misma intensidad que el primero. De esta forma, se obtuvieron unas curvas (*Figura 2.3*) que permiten comparar la intensidad de dos tonos puros de diferentes frecuencias e intensidades [3].

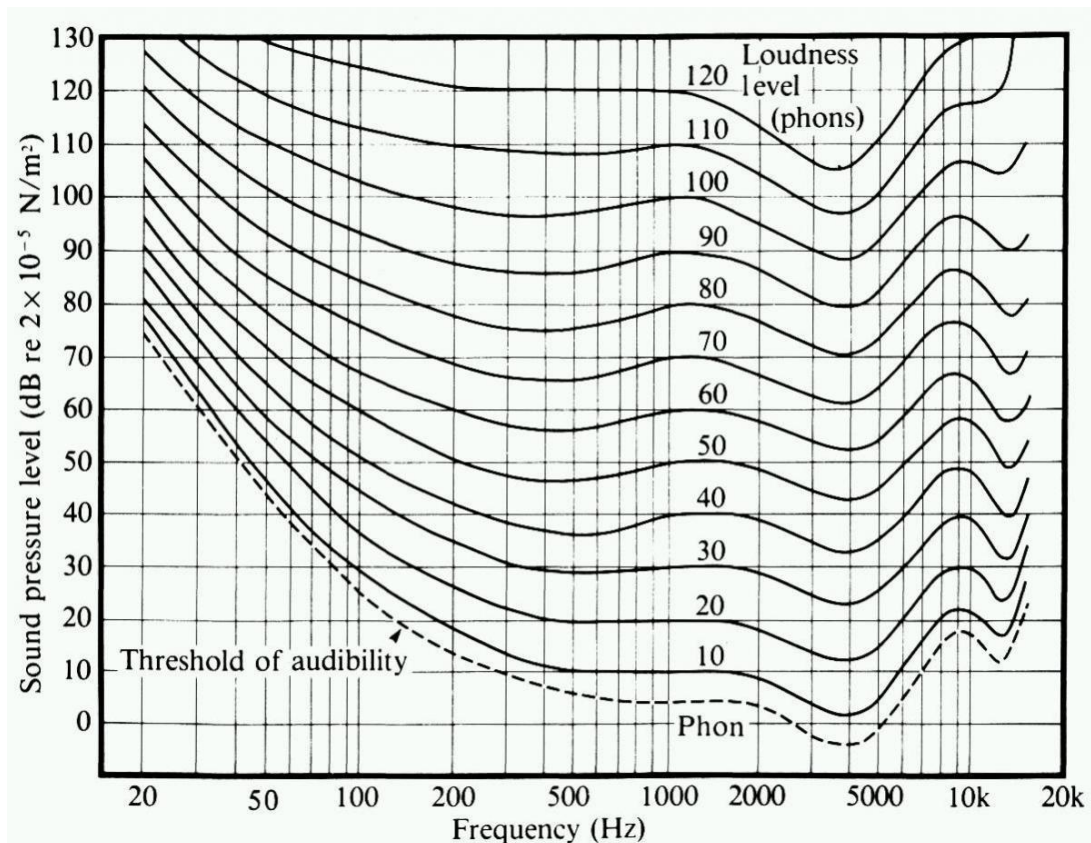


Figura 2.3 - Curvas Fletcher-Munson

Para este test, se controlará el nivel de presión sonora con ponderación A² de las 4 cajas, para que todas emitan al mismo nivel, por lo que no existirán diferencias en cuanto a la sonoridad percibida por el sujeto que esté realizando el test.

² Ponderación A: ajuste del nivel de presión sonora introducido en los sonómetros para ajustar las mediciones al umbral de sensibilidad del oído humano. Se representa como dBA [4].

2.7 Estudios sobre percepción de la calidad acústica

En la actualidad, existen muy pocos artículos científicos que hayan tratado de explicar cómo perciben los humanos la calidad de los altavoces. Por lo tanto, el presente trabajo se puede considerar novedoso, debido a que no se han encontrado artículos que traten de diferenciar la calidad de distintos altavoces con un estudio perceptivo a un grupo de individuos que evalúan las cajas subjetivamente. A pesar de esto, no se puede considerar concluyentes los resultados obtenidos en este trabajo pues, para ello, sería necesario que este mismo estudio se realizara un mayor número de veces, con más sujetos, distintos tipos de cajas con diferentes combinaciones, utilizando diferentes estímulos, etc. Aun así, como se irá exponiendo a lo largo del texto y en el análisis de los resultados, se extraerán conclusiones relevantes sobre la falta de discriminación subjetiva entre un altavoz de precio muy superior a otro. Asimismo este estudio puede servir de base para futuros trabajos en esta línea de investigación en Psicoacústica.

A modo de resumen previo al siguiente capítulo, comentar que en este test, se utilizarán 4 tipos de cajas diferentes, con distinta gama de precios y de distintos fabricantes, y cada sujeto realizará una valoración subjetiva de 0 a 10 de la calidad de cada caja. En el siguiente capítulo [[“Capítulo 3.Diseño del test”](#)] se realizará una descripción detallada de cómo se realizará el test y los factores a tener en cuenta.

Capítulo 3. Diseño del test

El test para la percepción de la calidad acústica de las cajas se realizará haciendo una comparación entre 4 cajas, que se detallarán en el presente capítulo, mientras está sonando un evento sonoro. De esta manera, el sujeto a control podrá elegir en qué momento desea escuchar cada caja para, de esta forma, poder comparar todas y evaluarlas en una escala de 0 a 10. Los elementos a tener en cuenta para diseñar este test, serán los siguientes:

- Sala elegida para realizar el test. Deberá ser una sala con un alto aislamiento para evitar que ruidos exteriores interfieran en la interpretación de cada sujeto sobre lo que está escuchando, pero también con un adecuado acondicionamiento acústico, de modo que la reverberación sea la adecuada para una audición de calidad
- Un evento sonoro que permita al sujeto analizar correctamente cada caja. Se seleccionará un audio con un espectro frecuencial muy ancho, para escuchar el comportamiento de cada caja en el mayor rango de frecuencias posible.
- Elegir cajas de diferente categoría de precios. Al elegir cajas con diferentes precios, se asegura, en principio, que la calidad de estas sea diferente entre ellas. Otra cosa es la percepción que tengan los individuos de ellas
- Estudio de la respuesta en frecuencia de las 4 cajas que se utilizarán, para comprobar las especificaciones proporcionadas por cada fabricante, e intentar justificar la relación calidad-precio.
- Disposición adecuada de las cajas frente al sujeto.
- Mismo nivel de presión sonora en todas las cajas, de esta forma, la única variación en el evento sonoro emitido será la introducida por las condiciones de cada una de las cajas.
- Los sujetos deberán rellenar un test con preguntas personales (sexo, edad, estudios, empleo...) que permitirán poder diferenciar entre diferentes grupos a la hora de analizar los resultados.

A continuación se procede a concretar y detallar las características de estos elementos.

3.1 Sala del test: Estudio de radio de la EPSG

El sitio elegido para realizar el test será el estudio de radio de la EPSG, concretamente, la sala de control debido a que es una sala con un elevado aislamiento para evitar que ruidos del exterior interfieran en las tareas que se llevan a cabo en el mismo. Adicionalmente la sala está acondicionada acústicamente como una sala LEDE³. El tiempo de reverberación es de 0,4 segundos.

En esta sala se encuentra toda una configuración de un sistema de audio 5.1, que será utilizada para montar las 4 cajas. Además de este cableado, se utilizará la tarjeta de audio Focusrite Scarlett 18i20 y su controlador en el ordenador del control, para escuchar individualmente cada caja.

3.2 Estímulo del test: Money For Nothing

Según diferentes páginas web y diversas opiniones de técnicos de sonido en directo [5] [6] [7], existen gran cantidad de canciones que serían válidas para comprobar la calidad de equipos de sonido. De entre ellas, en este caso se elige un fragmento del tema “*Money For Nothing*” de *Dire Straits*, del disco *Brothers in Arms* (1985). Esta canción tiene una introducción en un rango, tanto dinámico como de frecuencias (*Figura 3.1*), muy elevado, por lo que se considera que será una buena elección para que los sujetos consigan evaluar correctamente cada caja. La *Figura 3.1* muestra el espectro de frecuencias de dicho evento sonoro.

El audio que se utilizará tendrá formato .*WAV*, es decir, sin pérdidas, para evitar que el audio pueda contener modificaciones que interfieran en la evaluación correcta de la caja. Además, se convertirá manualmente en una señal mono, debido a que se enviará este audio de forma individual a cada caja, así se asegura que en todo momento, el audio que emite cada caja sea siempre igual.

³ Sala LEDE³: Tipo de sala de control utilizadas en las cabinas de control de los estudios de grabación en la que la parte posterior está acondicionada muy reflectante y la parte trasera con difusores, para conseguir que se aprecien las primeras reflexiones pero sin exceso de sonido reflejado [8].

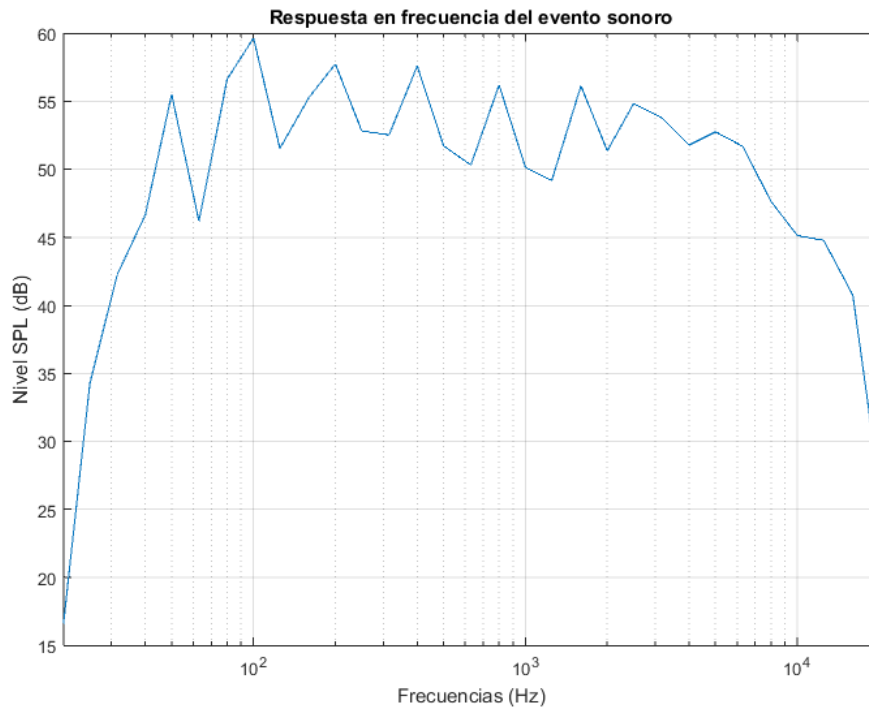


Figura 3.1 - Rango frecuencial del evento sonoro

3.3 Cajas a testear

Para este test, se dispondrá de 4 cajas situadas en horizontal frente al sujeto que realiza la prueba. Estas cajas tendrán precios diferentes y además, serán de distintos fabricantes. Las cajas elegidas presentan las siguientes características (proporcionadas por el fabricante):

- Caja 1:
 - o Precio: 49 €-
 - o Woofer de 6".
 - o Respuesta en frecuencia de 40 Hz – 20 kHz.
- Caja 2:
 - o Precio: 159 €.
 - o Woofer de 6".
 - o Respuesta en frecuencia de 38 Hz – 35 kHz.
- Caja 3:
 - o Precio: 198 €.
 - o Woofer de 6.5" y tweeter de 1".
 - o Bass Reflex de 95 W.
 - o Respuesta en frecuencia de 43 Hz – 30 kHz.

- Caja 4:
 - o Precio: 559 €
 - o Woofer de 5”.
 - o Respuesta en frecuencia de 58 Hz – 20k Hz.

Antes de realizar el test con los sujetos, se medirá la respuesta en frecuencia de cada caja para establecer un parámetro de calidad objetivo de cada una. Para esto la medida se realizará en la cámara anecoica de la EPSG, para ver cómo responde cada caja frente a un ruido blanco⁴ de 5 segundos de duración. El sistema utilizado para esta medición será el siguiente:

- Caja en estudio.
- Micrófono Behringer ECM 8000.
- Tarjeta de sonido M-Audio Fast Track Pro para adquisición.
- Adobe Audition CC para registrar los datos y generar el ruido blanco.
- Matlab para procesar todos los datos obtenidos.

Tras realizar las mediciones (*Figura 3.2*), se ha procedido a procesar todos los datos obtenidos de cada caja. Para ello, se ha realizado un suavizado de por doceavos de octava, obteniéndose las siguientes respuestas en frecuencia (*Figura 3.3*):

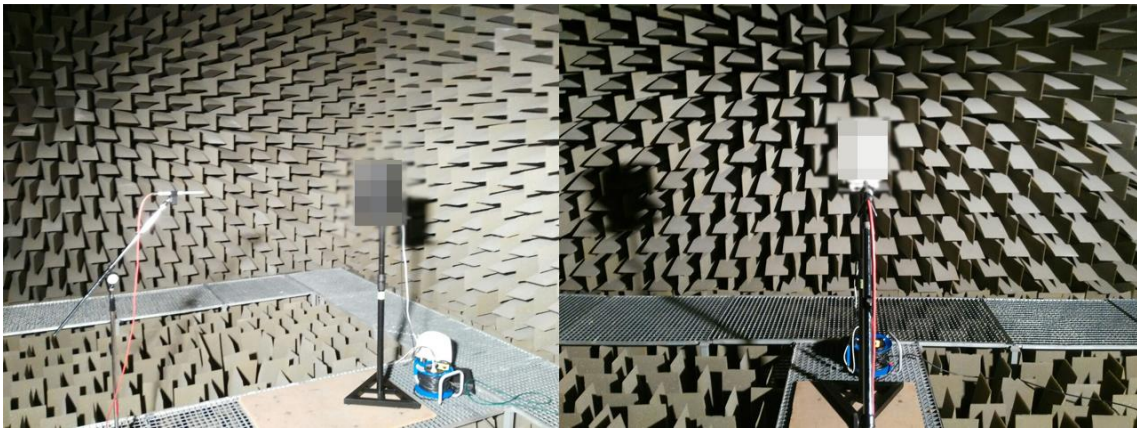


Figura 3.2 - Medida cámara anecoica

⁴ Ruido blanco: señal aleatoria que contiene todas las frecuencias y todas ellas muestran la misma potencia [9].

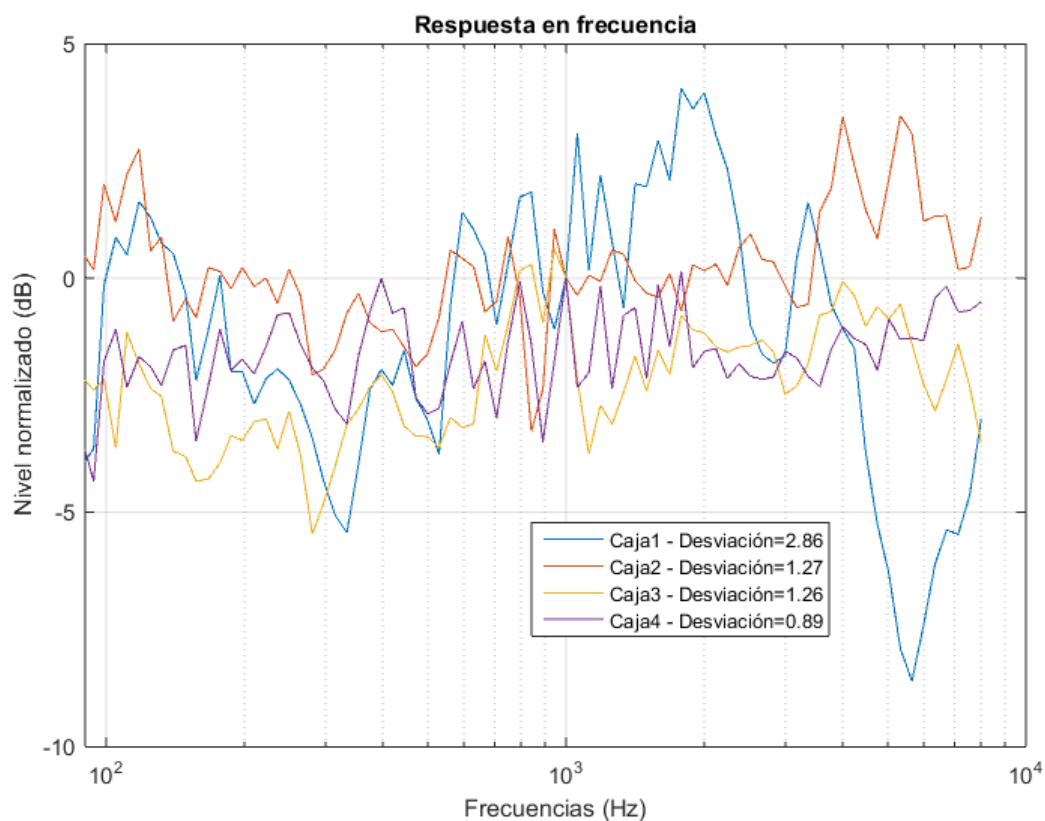


Figura 3.3 - Respuesta en frecuencia de las cajas

Para analizar la respuesta en frecuencia de cada caja, se realizará una normalización del nivel medido a partir del valor en 1 kHz de cada caja, así todas las cajas tendrán el nivel de presión sonora en 0 dB a 1 kHz. Esto se realiza para poder comparar mejor la desviación de cada una de las respuestas. Como se puede observar en la *Figura 3.3*, la caja con menor desviación es la caja 4, que corresponde con la caja de mayor precio. La caja número 1 posee mayor desviación, lo que se debería traducir en una peor calidad en comparación con las 4 cajas que se poseen para este test.

Las 4 cajas se dispondrán horizontalmente a 2 metros del sujeto. En este caso, la separación entre ellas no será del todo relevante debido a que se colocará una tela delante de ellas (*Figura 3.4*) lo suficientemente delgada como para no apantallar el sonido, evitando que al ver la marca pueda afectar a las respuestas de los sujetos. Además, se dispondrán de forma descolocada respecto a su precio, es decir, en primer lugar la caja 3, de 198€, al lado la caja 4, de 559€, seguida de la caja 2 de 159€ y por último la caja 1, de 49€.



Figura 3.4 - Sujeto realizando el test

Tras la colocación adecuada de las cajas frente al sujeto, se realizará una comparación y ajuste de los niveles de presión sonora equivalentes (dB_A) de cada altavoz, para que emitan al mismo nivel. En este caso, se ha elegido un nivel de presión sonora de 68 dB_A , que se conseguirán manipulando los potenciómetros individuales de cada caja, mientras que se va comparando el nivel de presión sonora con un sonómetro (*Figura 3.5*).

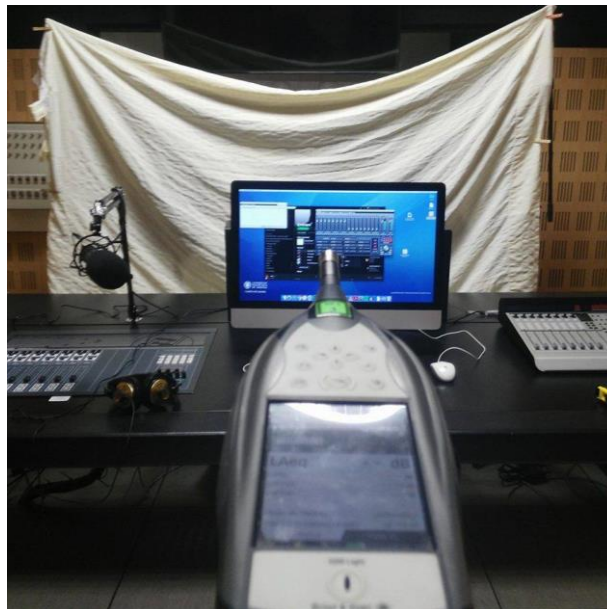


Figura 3.5 - Medida con sonómetro SPL

3.4 Encuesta a los sujetos

Los sujetos deberán rellenar una pequeña encuesta para poder realizar un estudio en función del sexo, edad, formación musical o trabajo que realizan, es decir, estudiar cómo influye en la percepción de la calidad acústica de las cajas al discriminar en función de cada uno de estos parámetros. Las preguntas que se realizan en este test son las siguientes:

- Sexo.
- Edad.
- Si posee formación musical, y qué grado.
- Si toca algún instrumento.
- Si se dedica a algún trabajo relacionado con la acústica, el sonido en directo o técnico de grabación.

Posteriormente, cada uno de los sujetos realizarán una evaluación de la calidad de las cajas, atendiendo a parámetros subjetivos, de 0 a 10.

La herramienta utilizada para realizar la encuesta es “*Google Formularios*”, que almacena los datos en una hoja de *Excel*, que servirá para representar los resultados obtenidos con *Matlab*.

Test de percepción de cajas acústicas

**Obligatorio*

1. Sexo: *

Hombre

Mujer

2. Edad: *

Tu respuesta _____

3. ¿Tiene usted alguna formación musical? *

Sí

No (Saltar a la pregunta 5)

4. ¿Qué grado de formación?

Amateur

Grado Elemental

Grado Medio

Grado Superior

5. Toca algún instrumento? *

Guitarra/bajo

Percusión

Instrumentos clásicos viento

Instrumentos clásicos cuerda

Cantante/otros

No

6. ¿Se dedica a algo relacionado con el sonido (acústica/live/estudio) ? *

Sí

No

Figura 3.6 - Encuesta de *Google Formularios*

Evaluación de las cajas

Escuche la canción en bucle y evalúe del 1 al 10 las 4 cajas acústicas. Para seleccionar qué caja desea escuchar, seguir las instrucciones de cada caja y utilice el software de control Scarlett MixControl

Caja 1 *

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Caja 2 *

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Caja 3 *

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Caja 4 *

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Figura 3.7 - Apartado de la encuesta de evaluación de cajas

Esta encuesta (*Figuras 3.6 y 3.7*) y, por tanto, el test sobre percepción acústica, fue realizado por 50 sujetos. Cuando se alcanzó esta cifra, se observó una clara tendencia en todas las respuestas, que serán analizadas en el siguiente capítulo [[Capítulo 4.Resultados](#)], por lo que se decidió no realizar el test a más sujetos.

Capítulo 4. Resultados

Como se ha comentado en el capítulo anterior [[“Capítulo 3. Diseño del test”](#)], la herramienta utilizada para recopilar todos los test realizados ha sido “*Google Formularios*”. Esta herramienta agrupa todas las respuestas de cada test en una hoja de *Excel* de modo que, en columnas, aparecen cada una de las preguntas que se realizan en el test y, en las filas, las respuestas de cada sujeto.

Como se ha comentado, tras realizar el test a los 50 sujetos, se observó una clara tendencia en la valoración de cada una de las cajas, por lo que se consideró que no era necesario seguir realizando el test a más sujetos. Después de un análisis preliminar de los resultados, se decidió utilizar herramientas básicas de descripción estadística y probabilidad para un análisis más exhaustivo. Los conceptos estadísticos y de probabilidad que se usarán son los siguientes:

- Media (1): medida de tendencia central que resulta de efectuar una serie determinada de operaciones con un conjunto de números [10]. Con esta herramienta, se podrá obtener la valoración media de cada caja, lo que permitirá establecer en primera medida, qué caja es la mejor valorada.

Sea un conjunto n de valores x_i , se define como:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (1)$$

- Mediana (igual que el Percentil 50, p50): valor que representa la posición central en un conjunto de datos ordenados [11].
- Desviación media (σ) (2): medida de dispersión entre los valores de una misma serie [12]. Este valor servirá para saber si las valoraciones han tenido valores parecidos en todos los sujetos, los sujetos han evaluado una caja con notas muy dispares. A partir de la media, se define como:

$$D_{\bar{x}} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n |x_i - \bar{x}| \quad (2)$$

- Percentil 25 (p25 ó Q1): medida de posición que indica el valor de la variable por debajo del cual se encuentra el 25% de observadores [13].
- Percentil 75 (p75 ó Q3): medida de posición que indica el valor de la variable por debajo del cual se encuentra el 75% de observadores [13].
- IQR (Rango intercuartílico) (3): diferencia entre p75 y p25 de una distribución. Este parámetro se utilizará para definir los valores máximos y mínimos que se tendrán en cuenta a la hora de obtener Q1 y Q3 [14]. Cabe la opción de añadir un factor multiplicativo a esta elección, que permitirá ser más permisivos (tener en cuenta la nota de más sujetos) o menos. Para este estudio, este factor se considerará igual a 1. Se define como:

$$IQR = Q3 - Q1 \quad (3)$$

- Outlier: observación que es numéricamente distante del resto de los datos [15]. En este caso, indicará el número de sujetos que no se tendrán en cuenta a la hora de realizar el diagrama de cajas, debido a su poca relevancia dentro del conjunto de datos. En concreto, se considerará outliers a los resultados que estén por encima y por debajo de *Mediana + IQR* y *Mediana - IQR*, respectivamente. Como se ha comentado, si se eligiese un factor multiplicativo para el IQR, se estaría permitiendo un mayor número de sujetos.

Además de tener claros todos estos conceptos, se necesitará representar los conjuntos de datos que se obtengan. Para ello, se utilizarán:

- Histogramas: representación gráfica de una variable en forma de barras, donde la superficie de cada barra es proporcional a la frecuencia de los valores representados [16].
- Diagrama con barras de error: en este diagrama se representan gráficamente todas las variables anteriormente comentadas (para cada una de las cajas).

Para analizar todas las medidas obtenidas se utilizará el software matemático *Matlab*, debido a que posee varias formas de representación y cálculo de todos los parámetros anteriormente descritos, lo que facilita la interpretación de los resultados. Todo el código realizado para estos cálculos se adjunta en los anexos [*Anexo I*]

Todos estos análisis estadísticos se realizarán, inicialmente, al conjunto completo de notas obtenidas y, posteriormente, se irá discriminando el estudio por grupos (sexos, formación música, empleo, etc.) para tratar de obtener diferencias de valoraciones de las cajas entre ellos.

Cabe destacar, que aunque en la encuesta que realizaron las personas que realizaron el test se les preguntaba qué edad tenían, debido a que el rango de edades obtenido ha sido muy bajo (todos los sujetos entre 20 y 30 años), no se ha realizado un estudio en diferente rango de edades, debido a que la audición a esas edades es muy similar.

Además, las audiometrías realizadas han servido para poder analizar si los sujetos encuestados presentaban problemas de audición. Estas audiometrías se adjuntan en los anexos [*Anexo II*], en las que se puede observar que todos los sujetos presentan una audición dentro de los umbrales esperados, mencionados en el capítulo 2 [[2.3 Umbrales de audición](#)].

4.1 Interpretación global

Como se ha comentado, para poder obtener alguna conclusión general sobre la calidad percibida por todos los sujetos, inicialmente se estudia la valoración global de cada una de las cajas, es decir, no se deja ningún grupo de lado para este estudio.

En primer lugar, se realiza una representación del histograma de cada una de las cajas (*Figura 4.1*), para intentar predecir cómo van a resultar los parámetros estadísticos antes descritos:

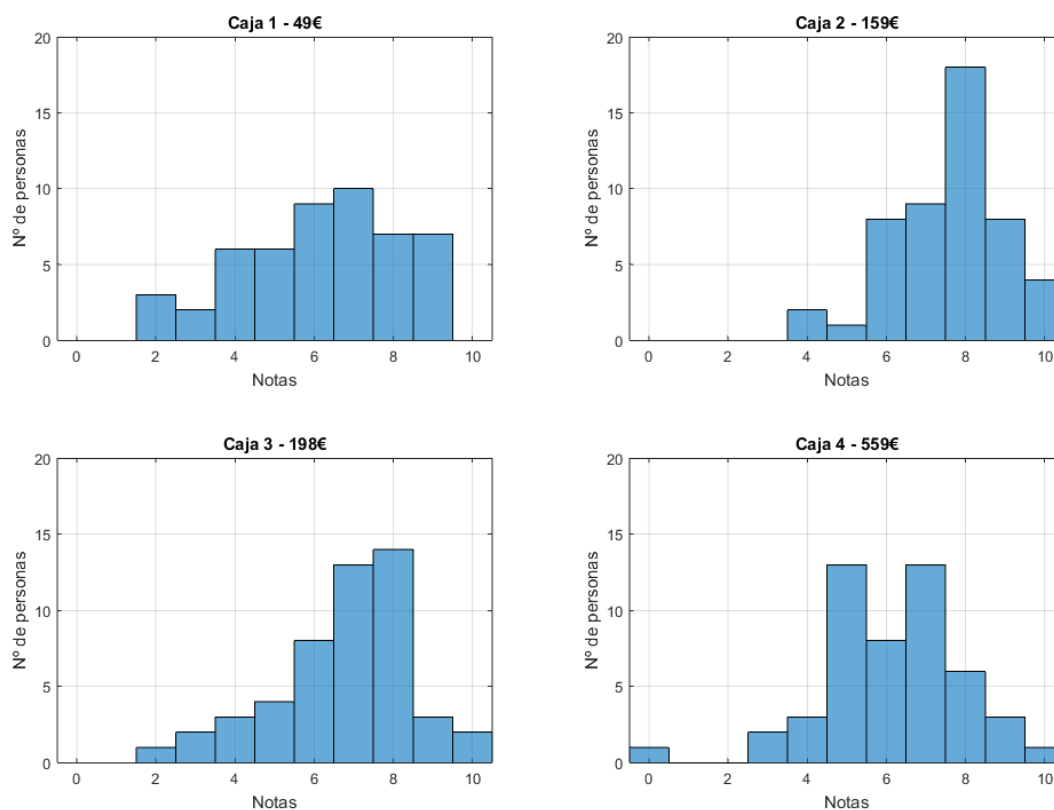


Figura 4.1 - Histograma de evaluaciones de las cajas

De estos histogramas se observa:

- Atendiendo al valor promedio, la caja mejor valorada será la caja 2.
- La caja 4, la más cara, no ha resultado ser la mejor valorada, seguramente se encuentre en segunda o tercera posición.
- La caja con la media más baja será la caja 1, la más económica, debido a que tiene más valoraciones negativas que las otras 3 cajas.

Además de una obtener una valoración inicial de cada caja, a partir de los histogramas se puede deducir el grado de desviación típica que existirá entre las notas. La caja 2, tendrá la desviación típica más baja, las cajas 3 y 4, una

desviación bastante parecida, y la caja 1 tendrá la desviación más alta de todas las cajas.

Para comprobar los datos antes representados (*Figuras 4.1*), en la siguiente tabla (*Tabla 4.1*) se encuentra un resumen de todos los parámetros anteriormente descritos cuando se tiene en cuenta las notas de todos los sujetos que han realizado el test, sin discriminación:

	\bar{x}	P50	σ	P25	P75	IQR	MIN= (P25 - IQR)	MAX= (P75 + IQR)	OUTLIERS
CAJA 1	6,18	6	1,99	5	8	3	2	10	0
CAJA 2	6,76	7	1,74	6	8	2	4	10	3
CAJA 3	7,6	8	1,41	7	8	1	6	9	7
CAJA 4	6,14	6	1,79	5	7	2	3	9	2

Tabla 4.1 - Parámetros estadísticos de cada caja

La primera conclusión que se puede obtener observando la *Tabla 1*, es que la caja que se esperaba que fuera la caja mejor valorada (atendiendo a su precio y a la respuesta en frecuencia obtenida), la caja 4, ha sido valorada como la peor de las cuatro cajas, incluso por debajo de la caja 1 (con precio 49€).

La mejor valorada, en este caso, ha sido la caja 3, con una respuesta en frecuencia no muy distante de la caja 2 y 3, pero con una nota media mucho mejor que éstas. Además, cabe destacar la baja desviación (menor que 1,5), lo que indica que ha habido una gran unanimidad a la hora de evaluar esta caja como la mejor de las 4.

Otra manera de poder ver estos datos obtenidos, pero gráficamente, es mediante un diagrama de cajas y bigotes (*Figura 4.2*), en el que se representan todos los datos estadísticos de cada caja de la *Tabla 1*.

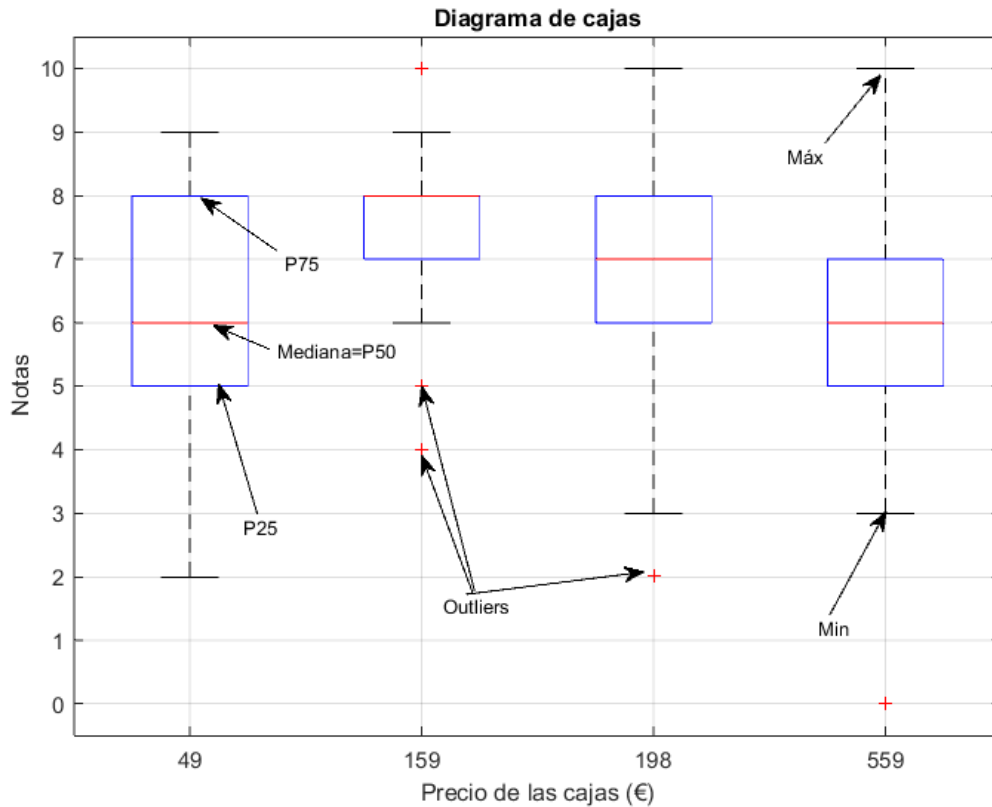


Figura 4.2 - Diagrama de cajas global

Como se puede observar, la mediana de la caja 2 es la más alta de todas, lo que concuerda con la media obtenida. Debido al parámetro elegido para calcular los máximos y mínimos a partir del IQR, para la caja 2 se descartan 3 outliers, para la caja 3, 7 outliers, para la caja 4, 2 outliers y para la caja 1 no se descarta ninguno. Esto se traduce en que, ese parámetro elegido contempla las notas a partir de un 2 en la caja 1, en la caja 2 un 6 y en la caja 3 y 4 un 3, por lo que todos los sujetos que evaluaron a esas cajas con notas menores a las citadas, no se tienen en cuenta. Además, para la caja 2 existe un Outlier por encima del máximo, que será también excluido

4.2 Valoración dependiendo del sexo

La primera distinción que se tiene en cuenta a la hora de dividir a todo el grupo de sujetos en pequeños grupos es el sexo. A partir de aquí, se realizan dos tipos de representaciones de los datos de cada grupo, un diagrama de cajas y bigotes, como ya se ha observado en la figura 4.2 (*Figura 4.2*), y el diagrama con barras de error, que servirá para destacar la media y la desviación típica la valoración de cada una de las cajas.

Primero, se estudiará el diagrama de cajas (*Figura 4.3*):

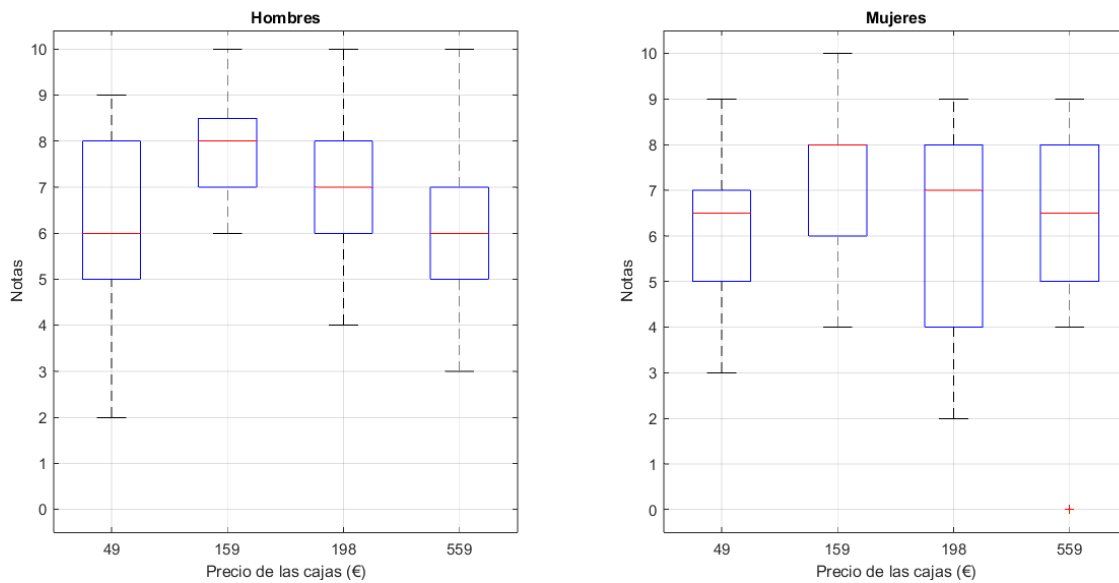


Figura 4.2 - Diagrama cajas por sexos

Se puede observar que tanto hombres como mujeres, coinciden en que la mejor caja es la caja 2, con una mediana de 8 en ambos casos. Cabe destacar que la diferencia entre la mediana y el p75 en las mujeres es nula, es decir, más del 75% de las mujeres que han realizado el test, están de acuerdo en que la caja 2 tiene un 8 de valoración. La caja 3 posee la misma media en ambos casos, pero en el caso de las mujeres, hay mucha mayor población entre el p25 y la mediana, que implica que gran parte de las mujeres han evaluado la caja 3 con una nota entre 4 y 7. Las cajas 1 y 4 son valoradas por los hombres con una mediana de 6, y con una mediana de las mujeres de 6,5.

Para resaltar los datos que nos permitirán obtener una conclusión más específica se utilizará el diagrama con barras de error (*Figura 4.4*):

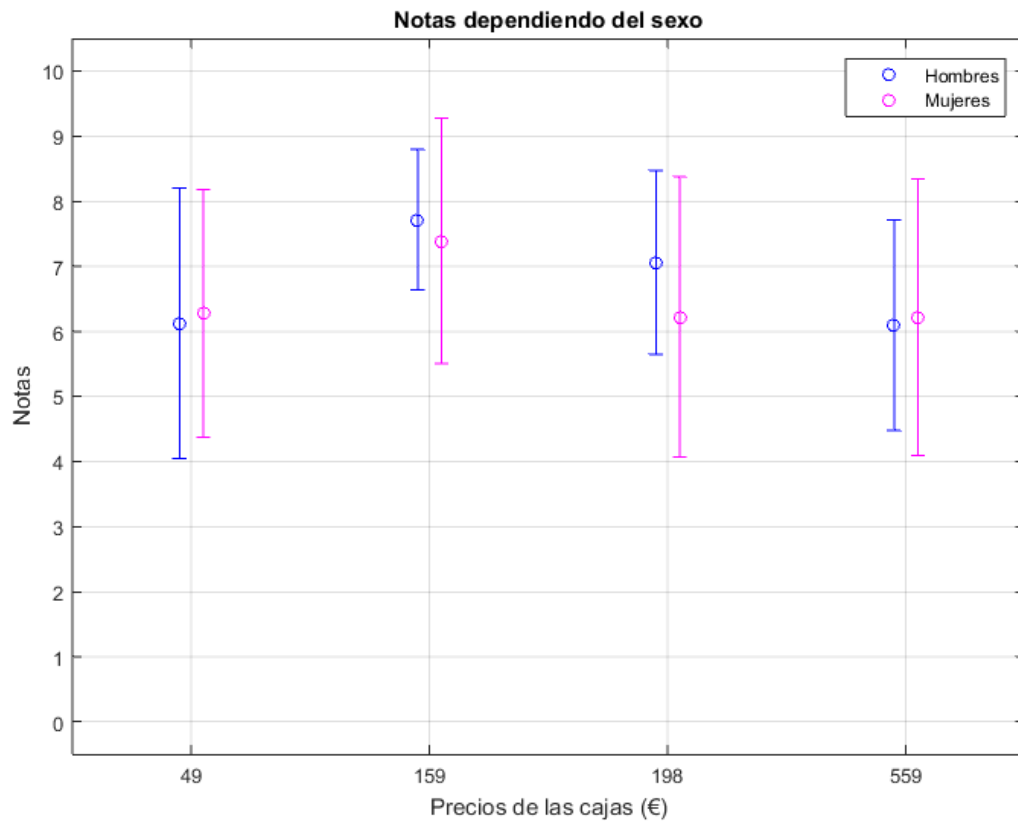


Figura 4.3 - Diagrama barras de error por sexo

Del diagrama de barras de error (*Figura 4.4*) se puede obtener la información que la caja con mejor media, tanto en hombres como mujeres, es la caja 2. En el caso de las mujeres, tanto las cajas 1, 3 y 4 son valoradas muy similares, con una media en torno a 6,22. Los hombres diferencian un poco más estas 3 cajas, valorando de mayor a menor las cajas 3, 1 y 4.

Como conclusión de esta primera distinción entre grupos, se puede obtener que claramente, la caja mejor valorada es la caja 2, cuando se esperaba según la respuesta en frecuencia obtenida en el Capítulo 3 [[“Capítulo 3. Diseño del test”](#)], fuera la caja 4. Además, la caja 4 es la peor valorada del conjunto.

4.3 Valoración dependiendo del empleo

En el test se realizó la pregunta sobre si el sujeto se dedicaba laboralmente a algún oficio relacionado con el sonido en directo, grabación en estudio o con la acústica. Esto podría ser relevante debido a que se trata de gente que está en continuo contacto con altavoces, y deberán poder ofrecer un juicio crítico sobre cada una de las cajas. A continuación analizamos el diagrama de cajas y de barras de error obtenido de las personas que se dedican a algún oficio antes explicado o no (*Figuras 4.5 y 4.6*).

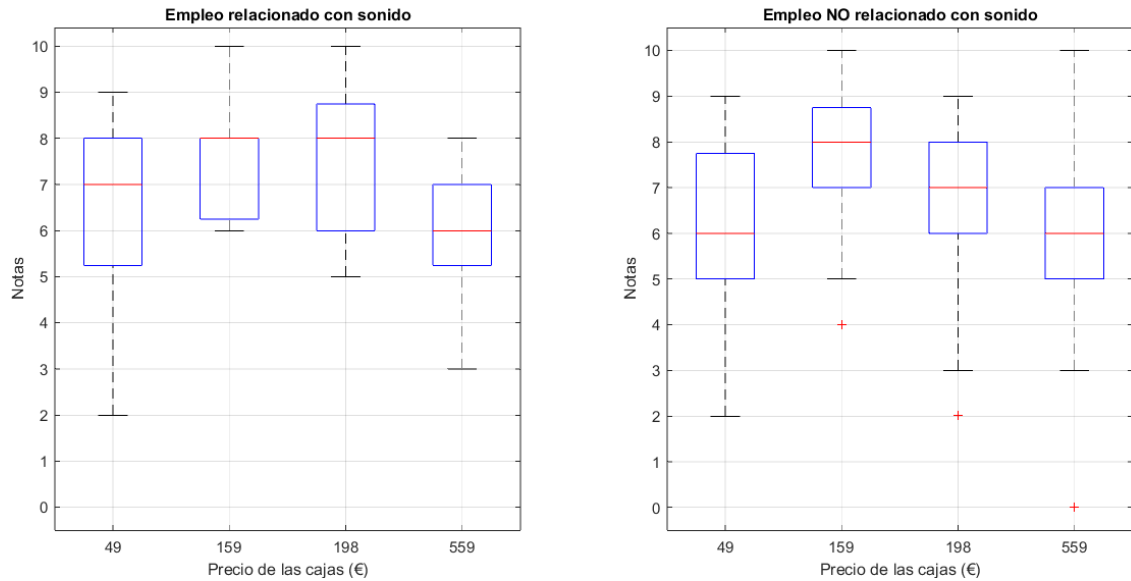


Figura 4.4 - Diagrama de cajas dependiendo del empleo

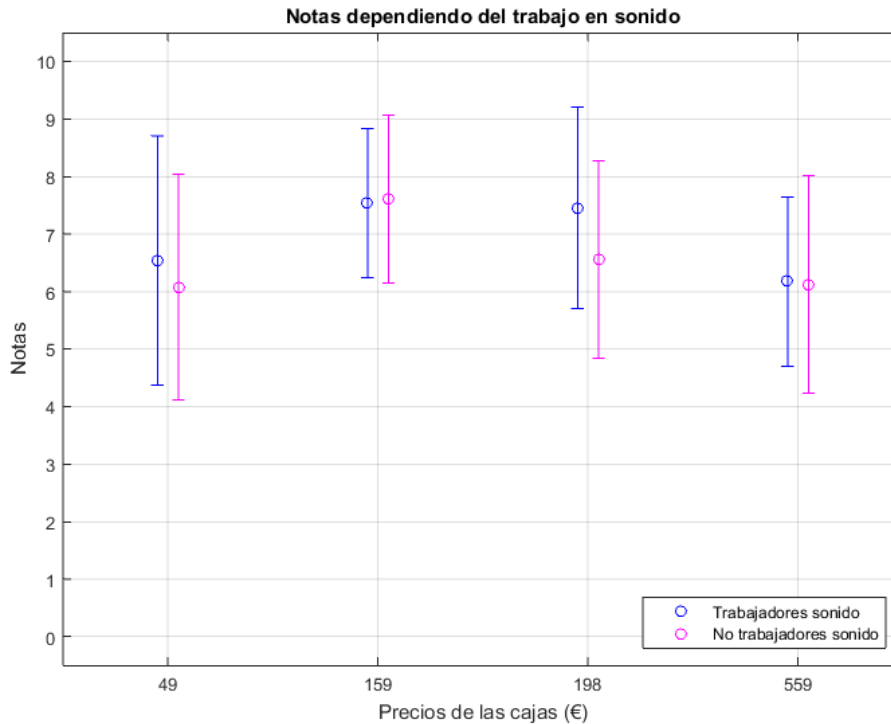


Figura 4.5 - Diagrama de barras de error dependiendo del empleo

En este caso ocurre algo bastante parecido a cuando se ha realizado la distinción entre sexos de los sujetos. La caja 2 es la mejor valorada, mientras que la caja 4 sigue siendo la peor. Para los empleados en el mundo del sonido, la caja 4 es peor valorada que para los que no se dedican a ese mundo. Del diagrama de barras de error se puede leer que la desviación típica en cuanto a las cajas 2 y 4 es mucho menor que en el resto, es decir, hay mayor cantidad de notas que dan una nota más cercana a la media que en el resto de los casos.

En definitiva, la caja 2 sigue siendo la mejor valorada, seguida por la caja 3, la caja 1, y en última posición, la caja 4, a pesar de ser la cara con más valor en el mercado.

4.4 Valoración dependiendo de si tienen formación musical o no

La siguiente pregunta del test que ayudará a obtener una distinción entre los sujetos será si poseen algún grado de formación musical. En el siguiente apartado, se llevará una comparativa entre los diferentes grados de formación que existen (amateur o formación de conservatorio), pero en este caso, sólo interesará si tienen algunos conocimientos o no. Los gráficos obtenidos son los siguientes (*Figuras 4.7 y 4.8*):

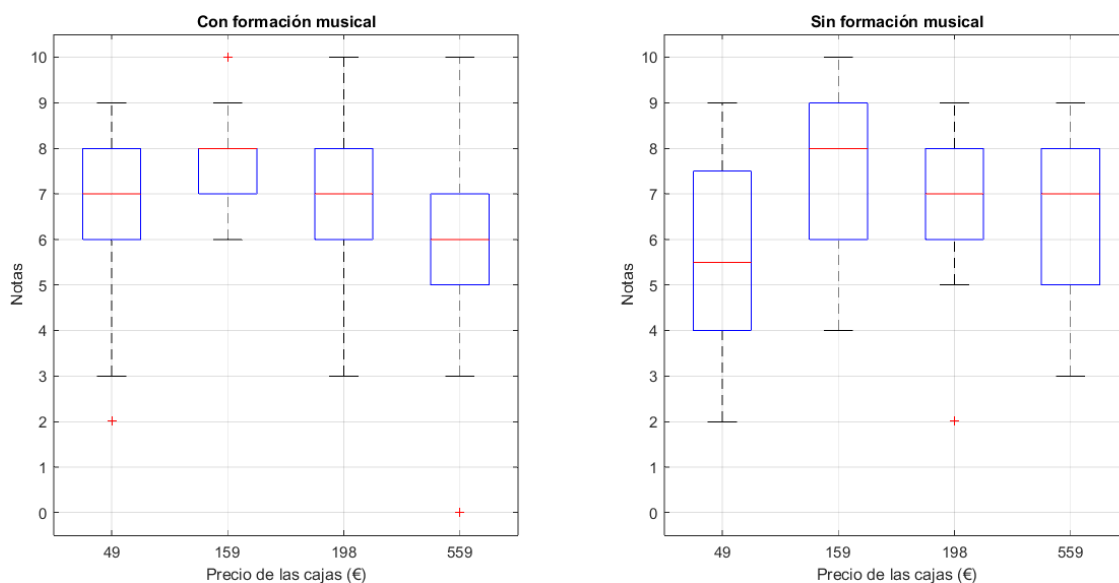


Figura 4.6 - Diagrama de cajas dependiendo de la formación musical

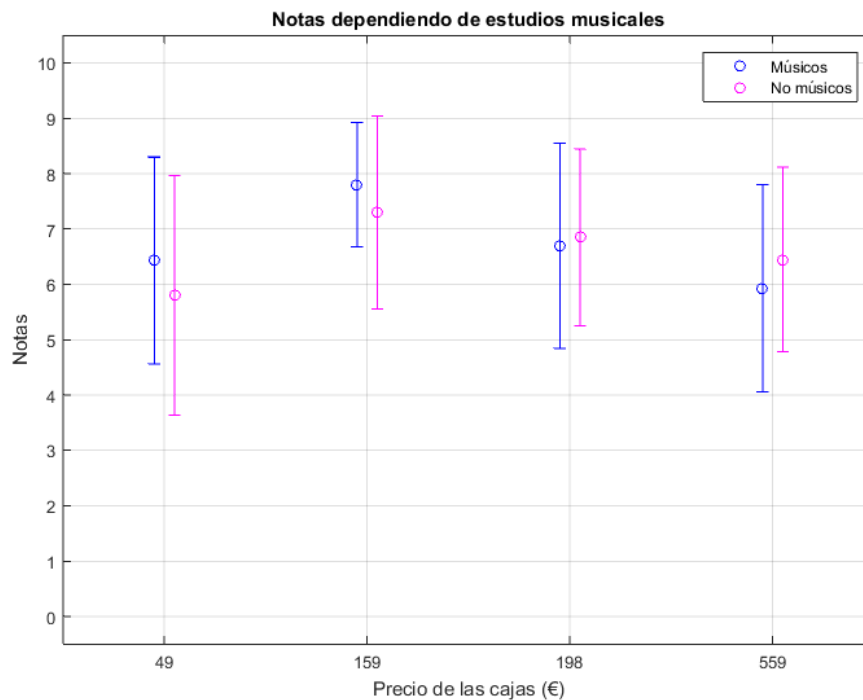


Figura 4.7 - Diagrama de barras de error dependiendo de la formación musical

En este caso, se esperaba que los músicos valoraran mejor la caja 4, que por precio y por respuesta en frecuencia, debería corresponder con la caja mejor valorada en el test. Pero como se puede apreciar, este caso es el más claro en el que la caja 4 es la peor valorada (con un 5,93 de media). En cambio, la caja 2 sigue siendo la mejor valorada, como en los anteriores casos.

Tras estas 3 primeras distinciones se podría concluir que la caja mejor valorada y con mejor calidad, según los sujetos encuestados y las condiciones del test que se describen en el capítulo 3 [[“Capítulo 3. Diseño del test”](#)], es la caja 2, correspondiente a un precio de 159 €, y la caja 4, con un precio de 559 €, es la que tiene la peor calidad de las 4 que se están comparando, aunque se realizará un desglose más en los grupos de sujetos que realizaron el test.

A pesar de esto, no se puede decir que este resultado sea concluyente, para ello sería necesario realizar el estudio repetidas veces, con mayor cantidad de sujetos, distintas cajas, con mayores precios y en diferentes espacios.

4.5 Valoración dependiendo del grado de formación musical

Como último grupo que se podría realizar distinción entre todos los sujetos que realizaron el test, se preguntó qué grado de formación musical poseían aquellos sujetos que habían respondido que sí tenían conocimientos sobre la música. Se dio la opción de elegir entre formación amateur o formación en conservatorio. Los datos obtenidos se observan en los siguientes gráficos (*Figuras 4.9 y 4.10*):

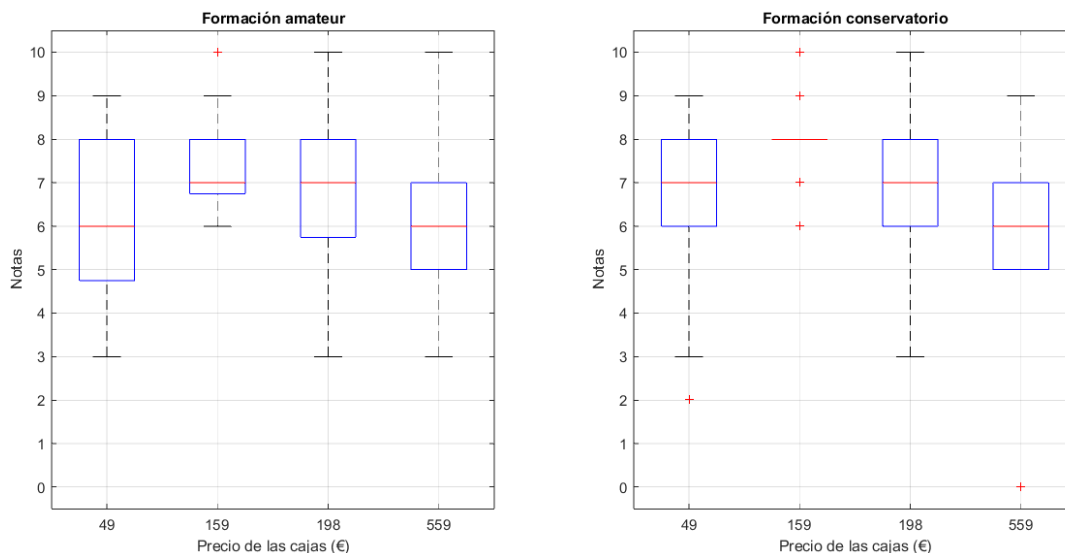


Figura 4.8 - Diagrama de cajas dependiendo del grado de formación musical

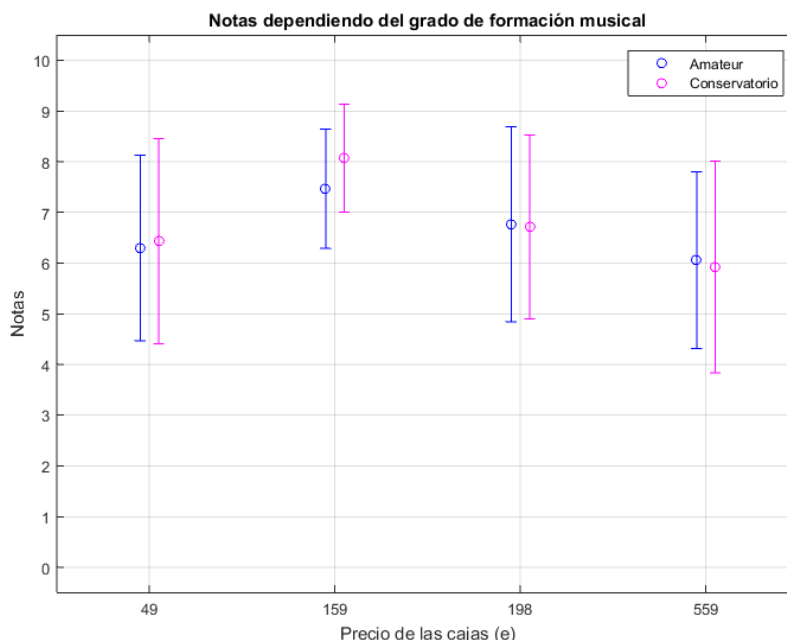


Figura 4.9 - Diagrama de barras de error dependiendo del grado de formación musical

En este caso, cabe destacar los gráficos obtenidos con los músicos de conservatorio. El diagrama de cajas (*Figura 4.9*) presenta la particularidad de la caja 2, en la que, tanto como nota mínima y máxima, la mediana, el p25 y p75 coinciden en el la valoración de un 8. La explicación de esto lo podemos observar con más facilidad en el diagrama de barras de error (*Figura 4.10*), en el que se observa que la desviación típica de la caja 2 es muy baja. Además, destacar que la caja 4 sigue siendo la peor valorada.

4.6 Medias por grupos

Tras el estudio individual realizado, en la siguiente tabla se añade la información antes explicada relacionándola con los parámetros estadísticos de la media y la desviación típica (*Tabla 4.2*):

		CAJA 1	CAJA 2	CAJA 3	CAJA 4
HOMBRES	Media	6,13	7,72	7,03	6,09
	Desviación	2,08	1,08	1,41	1,61
MUJERES	Media	6,27	7,38	6,23	6,22
	Desviación	1,90	1,88	2,16	2,13
EMPLEO SONIDO	Media	6,54	7,54	7,45	6,18
	Desviación	2,16	1,29	1,75	1,47
NO EMPLEO SONIDO	Media	6,07	7,61	6,56	6,12
	Desviación	1,97	1,46	1,71	1,89
FORMACIÓN MUSICAL	Media	6,43	7,80	6,70	5,93
	Desviación	1,87	1,13	1,86	1,87
SIN FORMACIÓN MUSICAL	Media	5,80	7,30	6,85	6,45
	Desviación	2,17	1,75	1,60	1,67
AMATEUR	Media	6,29	7,47	6,76	6,05
	Desviación	1,83	1,18	1,92	1,75
CONSERVATORIO	Media	6,42	8,07	6,71	5,92
	Desviación	2,03	1,07	1,82	2,09

Tabla 4.2 - Medias y desviaciones por grupos

Tras este estudio por grupos, se puede concluir que la caja mejor valorada ha sido la caja 2, de 159 €. Salvo en dos grupos (los sujetos que no se dedican al sonido de forma profesional y los sujetos sin formación musical), la caja peor valorada es la caja 24, de 559 €.

Capítulo 5. Conclusiones

5.1 Conclusiones

Tras todo el análisis realizado en el capítulo anterior [[“Capítulo 4. Resultados”](#)], se puede concluir que la caja 2, con un precio de 159€ es la mejor valorada, y la caja 4, de 559 €, la peor de todas. Por tanto, la calidad de las cajas no está directamente relacionada con su precio.

A pesar de esta conclusión, este resultado no se puede considerar concluyente, en primer lugar, debido a que para ello habría que realizar el test con mayor número de sujetos, un mayor número de cajas y una mayor variedad de eventos sonoros y, en segundo lugar, debido a que la diferencia de valoraciones obtenidas entre las cajas no es significativa. La diferencia de la media global entre las cajas mejor y peor valoradas es de 1,46 puntos, la caja 2 (159 €) con un 7,6 y la caja 4 (559 €) con un 6,14.

Con el fin de no dañar la imagen corporativa de los fabricantes de las cajas utilizadas para el estudio, nos hemos retraído en mostrar la imagen de las cajas, así como datos específicos y las marcas de los fabricantes.

En definitiva, se han conseguido finalizar todos los objetivos planteados al comienzo de este TFG:

- Se ha realizado un estudio psicoacústico para tratar de encontrar la relación entre la calidad objetiva y la calidad subjetiva de un conjunto de cajas.
- Para realizar ese test e interpretar los resultados obtenidos se han aplicado los conocimientos sobre psicoacústica explicados en el capítulo de este trabajo [[“Capítulo 2. Estado del arte”](#)].
- Se ha realizado el estudio acústico de cada una de las cajas de las que se disponía, obteniendo su respuesta en frecuencia.
- A pesar de no ser unos resultados concluyentes, parece no haber una relación directa entre el precio de las cajas acústicas y la calidad percibida.

5.2 Líneas futuras

Este trabajo realiza una comparación de calidad entre cajas acústicas basada principalmente en la evaluación objetiva de un grupo de sujetos que, hasta donde sabemos, no se había realizado anteriormente. Se asientan unas metodologías que podrían aplicarse al estudio sobre la calidad de diferentes productos del mercado del sonido, como micrófonos, instrumentos eléctricos, diferentes tipos de altavoces, etc. Por lo que, si se realizaran estudios psicoacústicos sobre cómo los humanos perciben la calidad de estos equipos atendiendo a parámetros subjetivos, puede servir como guía para comenzar la investigación.

Referencias

- [1] Es.wikipedia.org. (2016). “*Psicofísica*”. [Online] Disponible en: <https://es.wikipedia.org/wiki/Psicof%C3%ADsica>. Consultado: 10/11/2016.
- [2] Miyara, F.: “*Introducción a la Psicoacústica*” [Argentina 2003] Disponible en: <http://www.analfatecnicos.net/archivos/04.IntroduccionPsicoacusticaFedericoMiyara.pdf>.
- [3] Rodríguez, A.: “*Conceptos básicos de la Psicoacústica*” [Uruguay 2005] Disponible en: http://iie.fing.edu.uy/investigacion/grupos/gmm/audio/seminario/seminariosviejos/2005/charlas2005/charla4_Informe.pdf.
- [4] ISO 226:2003 “*Acoustics – Normal equal-loudness-level contours*” Disponible en: http://www.iso.org/iso/catalogue_detail.htm?csnumber=34222.
- [5] www.xatakahome.com (2015). “*Diez temas musicales de referencia que utilizamos para probar equipos HiFi*”. [Online] Disponible en: <http://www.xatakahome.com/servicios-y-aplicaciones-de-audio/diez-temas-musicales-de-referencia-que-utilizamos-para-probar-equipos-de-alta-fidelidad>. Consultado: 15/11/2016.
- [6] www.sound-pixel.com (2015). “*Canciones para poner a prueba un equipo estéreo*”. [Online] Disponible en: <http://www.sound-pixel.com/blog/canciones-para-poner-prueba-un-equipo-est%C3%A9reo>. Consultado: 15/11/2016.
- [7] www.hispasonic.com (2011). “*Música para probar equipos*”. [Online] Disponible en: <http://www.hispasonic.com/foros/musica-para-probar-equipos/360824>. Consultado: 15/11/2016.
- [8] Es.wikipedia.org. (2015). “*Salas de Control*”. [Online] Disponible en: https://es.wikipedia.org/wiki/Salas_de_control#SALA_LEDE. Consultado: 17/11/2016.
- [9] Es.wikipedia.org (2016). “*Ruido Blanco*”. [Online] Disponible en: https://es.wikipedia.org/wiki/Ruido_blanco. Consultado: 20/11/2016.
- [10] Es.wikipedia.org (2016). “*Media (matemáticas)*”. [Online] Disponible en: [https://es.wikipedia.org/wiki/Media_\(matem%C3%A1ticas\)](https://es.wikipedia.org/wiki/Media_(matem%C3%A1ticas)). Consultado: 22/11/2016.
- [11] Es.wikipedia.org (2016). “*Mediana (estadística)*”. [Online] Disponible en: [https://es.wikipedia.org/wiki/Mediana_\(estad%C3%ADstica\)](https://es.wikipedia.org/wiki/Mediana_(estad%C3%ADstica)). Consultado: 22/11/2016.

- [12] Es.wikipedia.org (2016). “*Desviación media*”. [Online] Disponible en: https://es.wikipedia.org/wiki/Desviaci%C3%B3n_media. Consultado: 22/11/2016.
- [13] Es.wikipedia.org (2016). “*Percentil*”. [Online] Disponible en: <https://es.wikipedia.org/wiki/Percentil>. Consultado: 22/11/2016.
- [14] Es.wikipedia.org (2016). “*Rango intercuartílico*”. [Online] Disponible en: https://es.wikipedia.org/wiki/Rango_intercuart%C3%ADlico. Consultado: 22/11/2016.
- [15] Es.wikipedia.org (2016). “*Valor atípico*”. [Online] Disponible en: https://es.wikipedia.org/wiki/Valor_at%C3%ADpico. Consultado: 22/11/2016.
- [16] Es.wikipedia.org (2016). “*Histograma*”. [Online] Disponible en: <https://es.wikipedia.org/wiki/Histograma>. Consultado: 22/11/2016.