



FIA 2018

XI Congreso Iberoamericano de Acústica; X Congreso Ibérico de Acústica; 49º Congreso Español de Acústica -TECNIACUSTICA'18- 24 al 26 de octubre

EVALUACIÓN PERCEPTUAL DEL EFECTO CORAL

PACS: 47.75.Rs

García Barrios, Guillermo¹; Gutiérrez Arriola, Juana M.¹; Pedrero González, Antonio²; Fraile Muñoz, Rubén¹; Gómez Alfageme, Juan José¹; Osma Ruiz, Víctor¹.

¹CITSEM de la Universidad Politécnica de Madrid (UPM). ²Grupo de Acústica Arquitectónica Edificio La Arboleda. Campus Sur UPM. Calle Alan Turing 3. 28031 Madrid.

Madrid

España

+34914524900 ext 20787

garciabarrios.g12@gmail.com

Palabras Clave: Efecto coral, coro, test perceptual, canto mozárabe.

ABSTRACT

This communication describes the design of a subjective evaluation test for researching the particular conditions that produce the choral effect. The subjects that perform the test receive two different types of acoustic stimulus: same waveform with different pitch curves or different waveforms with the same pitch curve. The final results demonstrate that the choral effect is perceived to a larger extent when the pitch curve is modified, although the waveform is maintained.

RESUMEN

En esta comunicación se describe el diseño de una prueba de evaluación subjetiva para investigar las condiciones que producen el efecto coral. Los estímulos que reciben los sujetos que realizan la prueba son de dos tipos: misma forma de onda con diferentes curvas de tono o distintas formas de onda con la misma curva de tono. Los resultados muestran que se percibe el efecto coral en mayor medida cuando se cambia la curva de tono, aunque se mantenga la forma de onda.

1. INTRODUCCIÓN

El efecto coro es difícil de definir ya que se puede interpretar de diferentes maneras. La más común es aquella que hace referencia al campo de los efectos digitales de audio. Sin embargo, la interpretación que se estudia en esta comunicación es aquella que se refiere al efecto coro



FIA 2018

XI Congreso Iberoamericano de Acústica; X Congreso Ibérico de Acústica; 49º Congreso Español de Acústica -TECNIACUSTICA'18-
24 al 26 de octubre

como “la transformación acústica de una única fuente de audio en múltiples fuentes sonando a la vez” [4]. En este caso, esta es la definición más apropiada, ya que el efecto coro que se pretende estudiar corresponde a un canto litúrgico medieval que recibe el nombre de Canto Mozárabe. Por este motivo, nos referimos al efecto coro como *efecto coral*, el cuál necesita al menos tres intérpretes para producirse [2].

Esta comunicación se encuentra dentro de un proyecto cuyo propósito era el desarrollo de una aplicación que permitiera sintetizar el efecto coral a partir de un único audio. Una de sus partes consistía en determinar cuál era el método idóneo para realizar esta simulación, para lo cual se diseñó y llevo a cabo un test perceptual. El propósito de esta comunicación es explicar este proceso paso a paso, y mostrar el mejor método para simular el efecto coral.

2. ESTADO DEL ARTE

Para diseñar el test perceptual ha sido necesario encontrar experimentos similares que ayuden a determinar el procedimiento más preciso para llevarlo a cabo. El primer experimento que se ha encontrado no presenta resultados de interés, por lo que se ha descartado [3]. El segundo experimento tenía como objetivo determinar el grado de dispersión en F0 y en las frecuencias formantes (F3 y F5) que unos expertos preferirían o tolerarían escuchando sonidos de un coro al unísono. En esta investigación, se establecía que una representación estereofónica era mejor que una monofónica. El experimento se llevó a cabo dentro de una oficina tranquila y el procedimiento consistía en diferentes tareas. En cada uno de los intentos, el participante era instruido antes de cada tarea utilizando un ordenador controlado por ratón para interactuar con el entorno gráfico. Además, el procedimiento estaba automatizado y era aleatorio (las muestras de audio se presentaban en distinto orden en cada intento), la duración de la prueba se encontraba entre siete y quince minutos. En este caso, había diferentes tipos de participantes: cinco eran directores de orquesta y cuatro cantantes profesionales. En total, había cinco mujeres y cuatro hombres con edades comprendidas entre 24 y 45 años, con avanzado conocimiento coral [7].

Los dos experimentos comentados son la única documentación que se ha encontrado relacionada con el análisis perceptual del efecto coral. Se ha considerado que el segundo es más preciso debido a que justifica el proceso completo de la prueba. Por esta razón, el test perceptual que se ha creado está basado en este último.

3. BASE DE DATOS

Los audios usados en este proyecto se han obtenido de un experimento llevado a cabo por Antonio Pedrero [5][6]. En este estudio, se hicieron una serie de grabaciones en una cámara anecoica cuya finalidad era usarlos en un proyecto orientado a la restauración del sonido del Rito Hispánico con método de realidad virtual acústica. Para ello, se grabaron ocho piezas de un repertorio de Canto Mozárabe, cada una interpretada por seis cantantes diferentes. Todos ellos eran miembros del grupo musical Schola Antiqua formado por hombres de la Choir School of the Santa Cruz del Valle de los Caídos Abbey. La idea de seleccionar seis cantantes diferentes fue para obtener distintos timbres vocales. Además, las ocho piezas fueron seleccionadas debido a



FIA 2018

XI Congreso Iberoamericano de Acústica; X Congreso Ibérico de Acústica; 49º Congreso Español de Acústica -TECNIACUSTICA'18-
24 al 26 de octubre

sus notas tenores, el rango vocal y sus diferencias en el estilo melódico. Más en detalle, una de ellas correspondía a *Rite of the Consecration of the Alter* y las otras a *Office of the Dead*.

4. DISEÑO

Para diseñar un sistema capaz de simular el efecto coral, es importante determinar cuáles son las características acústicas de la voz que caracterizan este fenómeno. Aparte de estos, es de vital importancia estudiar cómo el tono y la forma de onda afectan al efecto coral. Para ello, se ha diseñado un test perceptual.

El primer paso es establecer cuál es el propósito del test. El objetivo es determinar qué característica de la voz (tono, forma de onda o ambos) es decisivo para obtener el efecto coral. Para ello, el test perceptual implementado consiste en escuchar una serie de audios para su evaluación. En este test, las preguntas están orientadas a conocer el número de cantantes que los participantes perciben. Por este motivo, el tipo de test es perceptual, ya que la intención es conocer qué escuchan los sujetos, no sus preferencias [1].

Como se ha comentado, el test perceptual consiste en la escucha de muestras de audio. Estas se han obtenido de la base de datos de Canto Mozárabe proporcionada por Antonio Pedrero generando los siguientes tipos:

- *Tipo A*: aplicando distintas curvas de tono a una misma forma de onda.
- *Tipo B*: aplicando una misma curva de tono a distintas formas de onda.
- *Tipo C*: audios naturales, sin ningún tipo de procesado.

Los audios de *Tipo A* y *Tipo B* tiene en común que para su generación es necesario poder aplicar una curva de tono a una forma de onda, para lo cual se ha utilizado el algoritmo PSOLA (*Pitch Synchronous Overlapp and Add*). De esta manera, para cada una de las canciones se ha hecho lo siguiente: para cada audio de un cantante, se ha extraído su curva de tono y se ha aplicado al resto, y así para todos los cantantes, obteniendo para cada canción 36 audios diferentes (6 por cada curva de tono correspondiente a un cantante). Finalmente, combinando estos archivos resultantes debidamente, se pueden obtener los audios de *Tipo A* y *Tipo B*.

Hay que destacar que para seleccionar estos fragmentos se han tenido en cuenta algunos aspectos. El primero es que fueran de corta duración para permitir una buena comparación y que la duración del test no fuera demasiado larga. El otro es que los audios correspondiesen a fragmentos con vocales ligadas, ya que el funcionamiento del algoritmo PSOLA es mucho mejor. Por último, para dar la sensación de una formación coral se ha añadido reverberación natural a los audios resultantes.

Por otro lado, en un test perceptual es importante determinar el número de participantes necesarios para considerar los resultados como válidos. Normalmente, los valores suelen estar entre 10 y cientos de participantes, pero se considera que de 16 a 32 personas es más que suficiente para un test fiable [1]. En este caso, se ha contado con la participación de 26 personas, de las cuales 5 eran mujeres y 21 hombres. Además, dentro de todos los participantes, 12 de ellos poseían formación musical y 14 no.



FIA 2018

XI Congreso Iberoamericano de Acústica; X Congreso Ibérico de Acústica; 49º Congreso Español de Acústica -TECNIACUSTICA'18-
24 al 26 de octubre

5. SOFTWARE

La intención de este apartado es mostrar en qué consiste el test perceptual que se llevó a cabo. En este caso, se trata de una aplicación desarrollada en MATLAB donde los participantes debían contestar dos tipos de preguntas, cuya información permitiría determinar el método óptimo para simular el efecto coral. Para entender el procedimiento, se va explicar paso a paso el funcionamiento del test.

Antes de iniciar el test, los participantes recibían por escrito una hoja de información y otra hoja de declaración de consentimiento informado. Una vez hecho esto, se procedía a la realización del test diseñado en MATLAB. En primer lugar, el participante debía introducir los siguientes datos: nombre, apellidos, edad, sexo, si poseía formación musical, y si tenía algún tipo de problema auditivo. Una vez hecho esto, el sujeto tenía que completar un entrenamiento que consistía en escuchar audios naturales del efecto coral con uno, dos y varios cantantes, para familiarizarse con el efecto coral. Una vez escuchados todos los audios, el participante podía iniciar la primera parte del test.

En la primera parte, la tarea consistía en escuchar un audio, y seleccionar el número de cantantes que se percibían, pudiendo elegir entre tres opciones: un cantante, dos cantantes y tres o más cantantes. Además, se debía indicar el grado de seguridad de la respuesta, dónde las opciones eran *Con duda* o *Seguro*. En la segunda parte del test, el participante tenía que escuchar dos audios, los cuales tenían el mismo número de cantantes, pero habían sido generados por distintos métodos (*Tipo A*, *Tipo B* y *Tipo C*). En este caso, el sujeto debía indicar en que audio percibía más cantantes o si percibía el mismo número. Igual que en el primer tipo de preguntas, se debía responder el grado de seguridad en la respuesta. Finalmente, una vez completadas las dos partes del test, los resultados se guardaban en tres archivos Excel.

6. INSTRUMENTACIÓN

El test se ha realizado en una oficina tranquila, donde los participantes interactuaban con la aplicación mediante un ratón y el teclado. Para escuchar los audios, se han utilizado los cascos Sennheiser HD 650. Estos se han seleccionado debido a su respuesta plana en frecuencia y su capacidad de aislamiento, cuyas características los hacían idóneos para el estudio.

7. RESULTADOS

Una vez llevado a cabo el test, los resultados guardados en los ficheros Excel previamente comentados, se procesaron para extraer gráficos representativos. Primero se van a analizar ambas partes por separado, y después ya se podrá determinar cuál de los dos métodos (*Tipo A* o *Tipo B*) es el idóneo para simular el efecto coral.

En primer lugar, se van a estudiar los resultados de la primera parte del test perceptual. En este caso, se han obtenido tres gráficos, uno para cada tipo de audio: audios generados por el método de aplicar diferentes curvas de tono a una misma forma de onda, audios generados por el método

FIA 2018

XI Congreso Iberoamericano de Acústica; X Congreso Ibérico de Acústica; 49º Congreso Español de Acústica -TECNIACUSTICA'18-
24 al 26 de octubre

de aplicar una misma curva de tono a diferentes formas de onda, y los audios naturales. Cada uno de los gráficos va a mostrar el porcentaje de cantantes percibidos (un cantante, dos cantantes, tres o más cantantes) para cada número de cantantes originales (de uno a seis). Después del correspondiente tratamiento de los resultados, los gráficos obtenidos se representan en las figuras 1, 2 y 3.

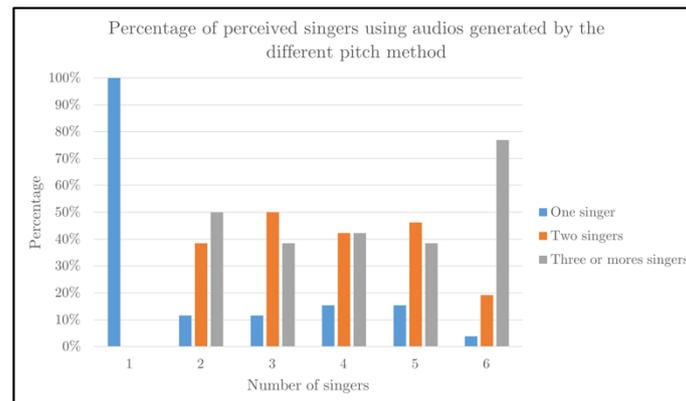


Figura 1. Representación del porcentaje de cantantes percibidos usando audios generados por el método de aplicar diferentes curvas de tono a una misma forma de onda.

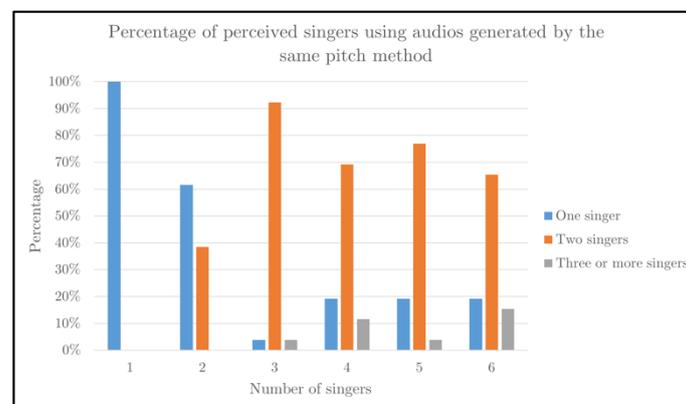


Figura 2. Representación del porcentaje de cantantes percibidos usando audios generados por el método de aplicar una misma curva de tono a diferentes formas de onda.

Con la comparación de las tres figuras comentadas, se pueden obtener algunas conclusiones importantes. En el caso del gráfico que representa el método de aplicar diferentes curvas de tono a una misma forma de onda (ver Figura 1), se puede observar que, para dos, tres, cuatro y cinco cantantes, el porcentaje de dos y tres o más cantantes percibidos es muy parecido, y en algunos casos estos se han percibido como un único cantante. Si estos resultados se comparan con la percepción de los audios naturales (ver Figura 3) se pueden encontrar diferencias importantes. Cuando se emplean audios naturales, el número de cantantes percibidos se corresponde con el número real de intérpretes, excepto en el caso de tres cantantes en el que son bastante similares. Además, a parte del caso en el que canta un vocalista, hay otras pocas situaciones en las que se ha percibido un cantante. En un primer momento, puede parecer que los resultados para este método son insuficientes, sin embargo, en casi la mitad de los casos en los que el número de intérpretes era mayor que dos, los participantes los han percibido como tres o más cantantes. Si estos resultados se comparan con el método de aplicar una misma curva de tono a diferentes formas de onda (ver Figura 2), se puede apreciar que el método de las diferentes curvas de tono

FIA 2018

XI Congreso Iberoamericano de Acústica; X Congreso Ibérico de Acústica; 49º Congreso Español de Acústica -TECNIACUSTICA'18-
24 al 26 de octubre

es mejor. En el caso del método de aplicar una misma curva de tono, para todos los números de cantantes originales (exceptuando uno y dos cantantes) los participantes han percibidos dos cantantes. De acuerdo con la definición del efecto coral establecida, donde se ha determinado que se necesita al menos la percepción de tres cantantes para la simulación, si el método de aplicar una misma curva de tono no consigue la percepción de más de dos cantantes no es un método válido. Pese a esta importante conclusión, antes de decantarse por el mejor método, se deben estudiar los resultados de la segunda parte del test.

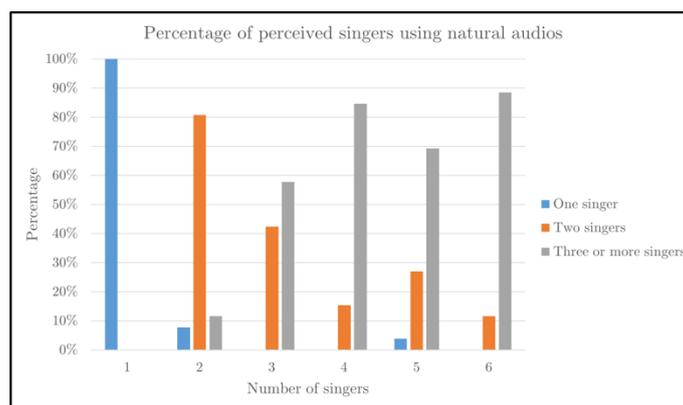


Figura 3. Representación del porcentaje de cantantes percibidos usando audios naturales.

En la segunda parte, la tarea consistía en comparar dos audios con el mismo número de cantantes, pero generados por distintos métodos: aplicación de diferentes curvas tono, aplicación de una única curva de tono, y la utilización de audios naturales. La finalidad de este tipo de pregunta era determinar con qué método se percibía un mayor número de cantantes. Debido a que la comparación se realizaba por parejas, solo dos métodos se pueden evaluar simultáneamente. Por esta razón, se han obtenido tres gráficas distintas a partir de los resultados guardados en el Excel correspondiente. Todos los gráficos representan el porcentaje de respuestas que indican qué método concreto tiene más cantante que otro. La Figura 4 compara el método de las diferentes curvas de tono y el método de la misma curva de tono, la Figura 5 compara el método de las diferentes curvas de tono con los audios naturales, y la Figura 6 compara el método de la misma curva de tono con los audios naturales.

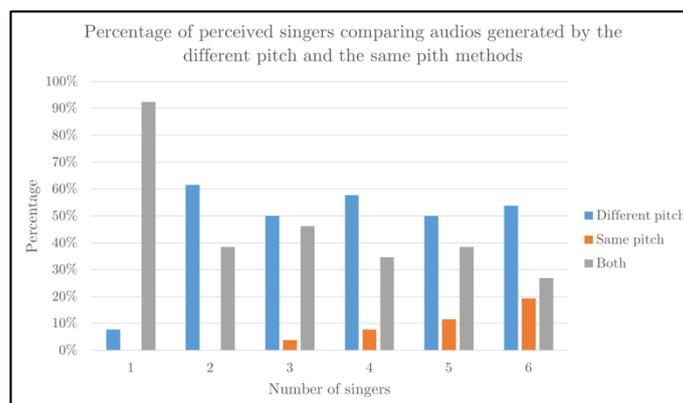


Figura 4. Representación del porcentaje de cantantes percibidos comparando audios generados por el método de aplicar diferentes curvas de tono a una forma de onda y el método de aplicar una misma curva de tono a varias formas de onda.

FIA 2018

XI Congreso Iberoamericano de Acústica; X Congreso Ibérico de Acústica; 49º Congreso Español de Acústica -TECNIACUSTICA'18-
24 al 26 de octubre

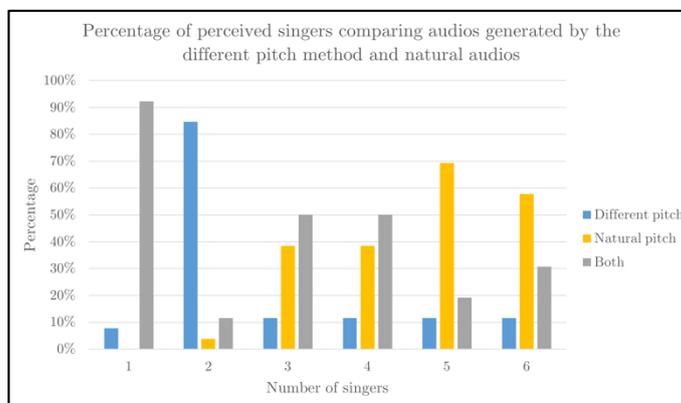


Figura 5. Representación del porcentaje de cantantes percibidos comparando audios generados por el método de aplicar diferentes curvas de tono a una forma de onda y audios naturales.

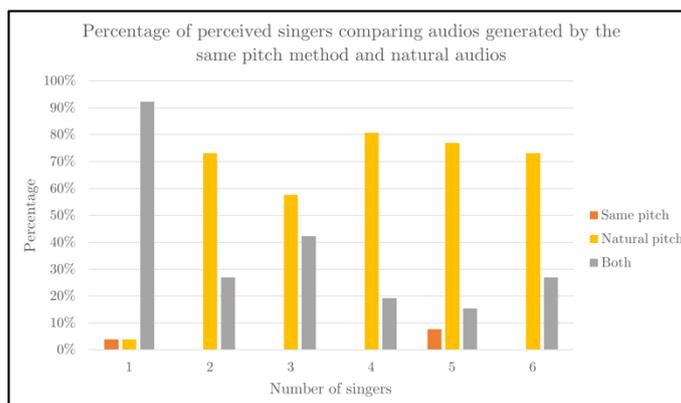


Figura 6. Representación del porcentaje de cantantes percibidos comparando audios generados por el método de aplicar una misma curva de tono a diferentes formas de onda y audios naturales.

En primer lugar, si los audios generados por el método de las diferentes curvas de tono y los generados por el método de la misma curva de tono se comparan (ver Figura 4), se puede ver que en todos los casos los participantes han percibido más vocalistas para el método de diferentes curvas de tono. Además, el porcentaje correspondiente a la respuesta que indica que se han percibido el mismo número de cantantes para ambos métodos está alrededor de un 30%. A lo que se suma, que el porcentaje de número cantantes percibidos se incrementa a la vez que lo hace el número de cantantes originales. Por esta razón, debido a que los participantes han percibido un mayor número de cantantes para el método de las diferentes curvas de tono (en más de un 50% de los casos), se puede concluir que este método es mejor que el de aplicar la misma curva de tono.

En segundo lugar, si los audios generados por el método de las diferentes curvas de tono se comparan con los audios naturales (ver Figura 5), se puede observar que los sujetos han percibido mayor número de cantantes para los audios naturales. A pesar de ello, cuando el número de cantantes originales es dos, la mayoría de los participantes contestaron que percibían mayor número de cantantes para el método de las diferentes curvas de tono. Es más, en el caso de tres y cuatro vocalistas, el 50% de las respuestas afirman que ambos audios tenían el mismo número de cantantes. Este hecho es muy importante, ya que muestra que, para tres y cuatro intérpretes, el método de las diferentes curvas de tono es capaz de simular el efecto coral.



FIA 2018

XI Congreso Iberoamericano de Acústica; X Congreso Ibérico de Acústica; 49º Congreso Español de Acústica -TECNIACUSTICA'18-
24 al 26 de octubre

Finalmente, el último paso consiste en comparar los audios generados con el método de la misma curva de tono y los audios naturales (ver Figura 6). Si el caso de un único cantante se obvia, solamente cuando hay cinco cantantes, un pequeño porcentaje del método de la misma curva de tono aparece. Además, el porcentaje que indica que en ambos audios se han percibido el mismo número de cantantes no supera el 30%. Solamente en el caso de tres cantantes el porcentaje de respuestas en el que se ha indicado que presentan el mismo número de cantantes y que los audios naturales tienen más es similar. En conclusión, el método de la misma curva de tono no es capaz de simular el efecto coral observando las grandes diferencias respecto a los audios naturales.

8. CONCLUSIÓN

Una vez que los resultados del test perceptual se han estudiado, se debe decidir si uno de los dos métodos estudiados es adecuado para simular el efecto coral. Como se ha comentado, el método de la misma curva de tono no es capaz de simular más de dos cantantes, y cuando se compara con los audios naturales los participantes han detectado grandes diferencias. Por esta razón, se ha decidido que el método de aplicar una curva de tono a distintas formas de onda no es el apropiado para simular el efecto coral. En el caso del método de las distintas curvas de tono, se ha visto que, en la mitad de las comparaciones con los audios naturales, los sujetos han percibido el mismo número de cantantes. Es más, la Figura 1, muestra que este método es capaz de simular más de tres cantantes. Como consecuencia, se puede afirmar que el método de aplicar diferentes curvas de tono a una misma forma de onda es el mejor método para simular el efecto coral. Esta decisión indica que las pequeñas variaciones en la curva de tono son más decisivas a la hora de percibir un determinado número de cantantes en el efecto coral que la forma de onda.

9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] (2002). Acoustics: Human sound perception - Guidelines for listening tests. *NORDTEST Method*.
- [2] Kahlin, D. and Ternstrom, S. (1999). The chorus effect revisited-experiments in frequency-domain analysis and simulation of ensemble sounds. In *Proceedings 25th EUROMICRO Conference. Informatics: Theory and Practice for the New Millennium*, volume 2, pages 75–80 vol.2.
- [3] Martens, W. L. and Atsushi, M. (2006). Categories of perception for vibrato, flange, and stereo chorus: Mapping out the musically useful ranges of modulation rate and depth for delay-based effects. In *9th Int. Conference on Digital Audio Effects (DAFx 2006), Montreal*, pages 149–152. Citeseer.
- [4] Nam, J. (2018). The chorus effect – simulation of multiple sound sources playing in unison.
- [5] Pedrero, A. (2014). Restauración virtual del patrimonio sonoro. Aplicación al antiguo rito hispánico.
- [6] Pedrero, A., Pollow, M., Dietrich, P., Behler, G., Vorländer, M., Díaz, C., and Díaz, A. (2012). Mozarabic chant anechoic recordings for auralization purposes. In *ACÚSTICA 2012 : VIII Congreso Ibero-americano de Acústica, 1-3 outubro, Évora - Portugal*, pages 1–8.
- [7] Ternström, S. (1993). Perceptual evaluations of voice scatter in unison choir sounds. *Journal of Voice*, 7(2):129 – 135. The Voice Foundation's 22nd Annual Symposium.