

PRIMERAS JORNADAS REGIONALES DE ACÚSTICA AdAA 2009

19 y 20 de noviembre de 2009, Rosario, Argentina



AdAA2009-A006R

Mejora de la calidad sonora mediante la convolución de respuestas al impulso con grabaciones de audio, aplicado al tiple colombiano

Juan David Páez ^(a), Oscar Ivan Pinilla ^(b),
Luis Fernando Hermida ^(c).

(a) Estudiante de Ingeniería de Sonido VIII semestre, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Buenaventura sede Bogotá, Cra 8h No. 172-20, Bogotá, Colombia. E-mail: jdpaez@academia.usbbog.edu.co

(b) Estudiante de Ingeniería de Sonido VIII semestre, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Buenaventura sede Bogotá, Cra 8h No. 172-20, Bogotá, Colombia. E-mail: opinillarodriguez@academia.usbbog.edu.co

(c) Cátedra de Acústica, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Buenaventura sede Bogotá, Cra 8h No. 172-20, Bogotá, Colombia. E-mail: lhermida@docentes.usbbog.edu.co

Abstract

Based on the experiments to obtain the impulse response of a high quality tiple by the inverse and direct methods, a tool is developed to improve the sound quality of recordings using the convolution between a regular tiple audio signal with the impulse response of our tiple. Once the signal is processed, an objective analysis is done to study its behaviour as a function of frequency (FFT) and possible variations in the ADSR envelope. Furthermore it is important for this application to make a subjective analysis which refers to a process of critical listening performed by musicians and sound engineers with an outstanding work in the Colombian music field.

Resumen

Con base en los experimentos referentes a la obtención de la respuesta al impulso de un tiple de alta calidad utilizando los métodos inverso y directo, se desarrolla una herramienta con el propósito de mejorar la calidad sonora de grabaciones mediante la convolución entre la señal de audio de un tiple de baja calidad con la respuesta al impulso de un tiple de alta calidad. Una vez obtenida la señal procesada, se realiza un análisis objetivo que consiste en estudiar su comportamiento en función de la frecuencia (FFT) y las posibles variaciones que surgen en el envolvente acústico. Otra tarea importante realizada es el análisis subjetivo, el cual consiste en un proceso de escucha crítica realizada por músicos e ingenieros de sonido con una importante trayectoria de trabajo en el campo musical colombiano.

1 Introducción

Este documento toma como antecedente las investigaciones realizadas por estudiantes de Ingeniería de Sonido de la Universidad de San Buenaventura sede Bogotá, respecto a la obtención directa e indirecta de la respuesta al impulso del tiple colombiano. Aprovechando el producto obtenido por estos proyectos se propuso desarrollar una herramienta de convolución que permita cargar una respuesta al impulso entre las obtenidas y operarla con la señal de un tiple grabado en estudio, el cual presenta falencias en la calidad de su sonido. Se busca diseñar una interfaz gráfica de usuario que facilite la manipulación de los archivos y que así mismo ofrezca la posibilidad de mezclar la señal original y la procesada para permitir la experimentación y búsqueda de un sonido deseado. Finalmente, por medio de un análisis objetivo y subjetivo se determina si este proceso contribuye o no a la mejora de la calidad del sonido del tiple.

2 Respuesta al impulso del tiple de alta calidad

2.1 Método directo

Es necesario citar la metodología que se llevo a cabo por los estudiantes para obtener la respuesta al impulso del tiple por el método directo. Este consistió principalmente en el desarrollo de un transductor con características de respuesta en frecuencia, resonancia, compliancia, entre otras, debidamente medidas y analizadas. Con este dispositivo se excitaba el instrumento musical y se registraba con un micrófono de medición el campo sonoro radiado por el cuerpo del tiple. Finalmente, la señal de salida del sistema se deconvolucionaba con la señal de entrada para obtener la respuesta al impulso del instrumento.

2.2 Método indirecto

Para el método indirecto el proceso es complementario con el método directo, es decir, se generaba un campo sonoro que excitaba el instrumento. Este generaba ciertas vibraciones características que se registraron con ayuda de un acelerómetro, de igual manera, a través de un proceso de deconvolución se obtenía la respuesta al impulso del tiple.

Los dos métodos son bastante interesantes y brindan diferentes resultados debido a la diferencia en la metodología, las características de los equipos empleados, entre otros factores que finalmente se prestan para un análisis exhaustivo y una gran aplicabilidad en la búsqueda de nuevos sonidos.

3 Desarrollo de la herramienta de convolución

Una herramienta computacional a la cual pueda accederse al código es muy útil a la hora de realizar un estudio, pues esta se puede enfocar a los objetivos y necesidades del trabajo realizado. Es por esto que se desarrolló la programación de la herramienta de convolución empleando el software Matlab. Este brinda gran cantidad de posibilidades que optimizan y facilitan el desarrollo de aplicaciones de procesamiento de señal.

3.1 Interfaz gráfica

La interfaz gráfica se desarrolló por medio del modulo GUI de Matlab, empleando las herramientas básicas de creación de interfaces de usuario como, “botones”, para acceso a ventanas, selección de archivos y ejecución de procesos; “axes” para implementar las gráficas de las formas de onda de los archivos empleados; y finalmente “sliders” para realizar el proceso de mezcla de los niveles de las señales. En la figura 1 se puede observar la composición y estructura de la interfaz gráfica con las herramientas que ofrece al usuario.

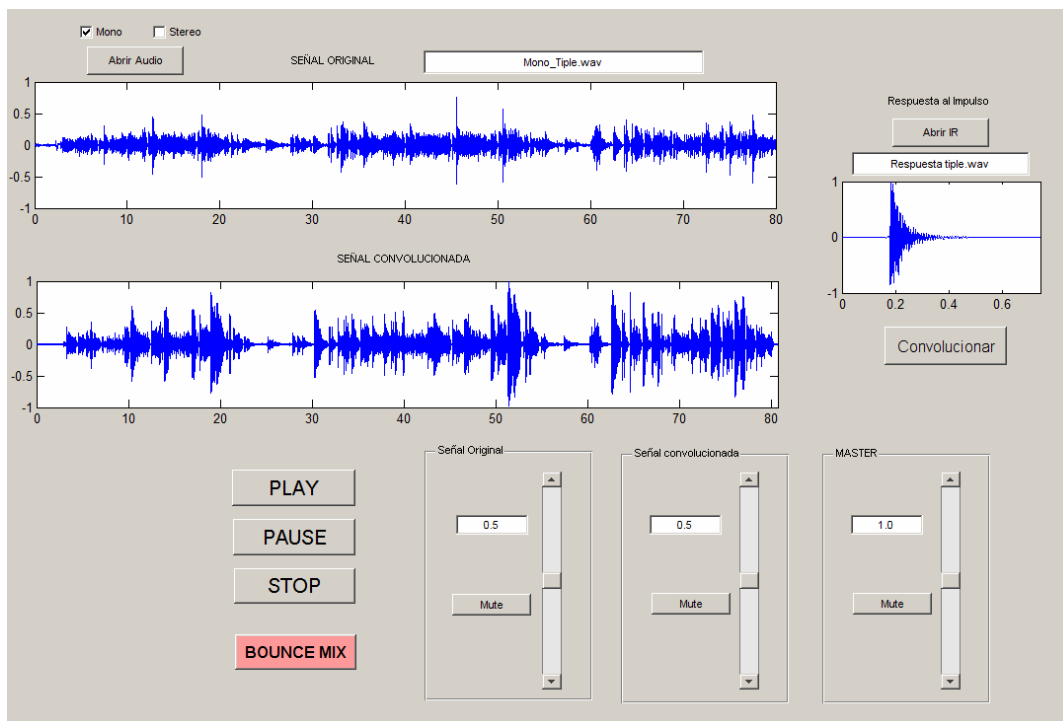


Figura 1. Interfaz gráfica de usuario desarrollada bajo la herramienta GUI de Matlab.

3.2 Programación

El algoritmo para el procesamiento de las señales y las funciones de cada uno de los elementos de la interfaz gráfica se programaron por medio de código y empleando la herramienta Simulink de Matlab. Para hacer más versátil la aplicación del programa se vinculó la posibilidad de aceptar tanto archivos mono como archivos estereo, así mismo dentro de la programación se tuvo en cuenta la frecuencia de muestreo tanto de la respuesta al impulso como la de la señal grabada, las cuales deben ser iguales para procesar la señal.

En cuanto al diagrama de simulink como se muestra en la figura 2, se emplea un flujo de señal muy básico, el cual sólo se activa a la hora de reproducir y mezclar las señales. Se empleó este método debido a que al realizarlo por medio de código la programación resulta ser mucho más compleja.

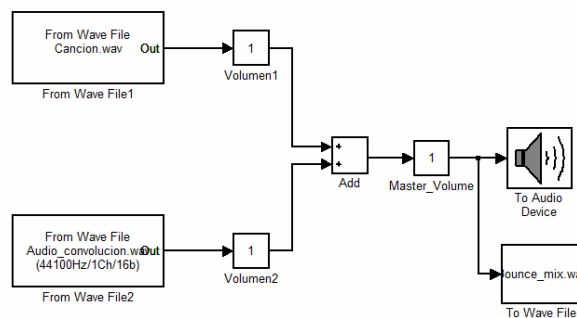


Figura 2. Flujo de señal para la reproducción, balance y registro de la mezcla empleando la herramienta simulink del software Matlab.

El algoritmo que se empleó está basado en la convolución por transformada rápida de Fourier, este utiliza el principio en que la multiplicación en el dominio de la frecuencia corresponde a la convolución en el dominio del tiempo. Inicialmente, las señales de audio de la grabación del tiple ordinario y la respuesta al impulso del tiple de alta calidad se descomponen en el dominio de frecuencia, luego éstas son multiplicadas entre sí, y finalmente, el resultado se retorna al dominio del tiempo por medio de la transformada inversa de Fourier. Este método de convolución resulta ser mucho más rápido que la convolución en el dominio del tiempo. Los archivos de audio resultantes por el procesamiento se guardaron manteniendo la misma frecuencia de muestreo y número de bits de la señal original y de la respuesta al impulso, en nuestro caso estos se manejaron a una tasa de 44100 Hz a 16 bits, en formato Wav.

4 Grabación del tiple de baja calidad

Es indispensable comprender cómo se comporta el instrumento antes y después de ser convolucionado con la respuesta al impulso hallada en los experimentos anteriores, ya que al hacer esto es posible cambiar significativamente las características sonoras del tiple. Para lograr este fin se propuso realizar una grabación del instrumento, esta se llevó a cabo en el estudio digital de la Universidad de San Buenaventura sede Bogotá empleando una técnica estéreo XY con un par de micrófonos AKG C451B situados dentro de la distancia crítica de la sala (0.9 m). La ejecución del instrumento estuvo a cargo del maestro Fáber Grajales, interpretando un bambuco.

5 Análisis y comparación objetiva de los resultados

Los resultados del análisis de frecuencia se exponen en la siguiente gráfica que proporciona la herramienta de análisis de frecuencia del software Adobe Audition 3. En ella se muestran diferentes procesos a los que se sometió la señal original.

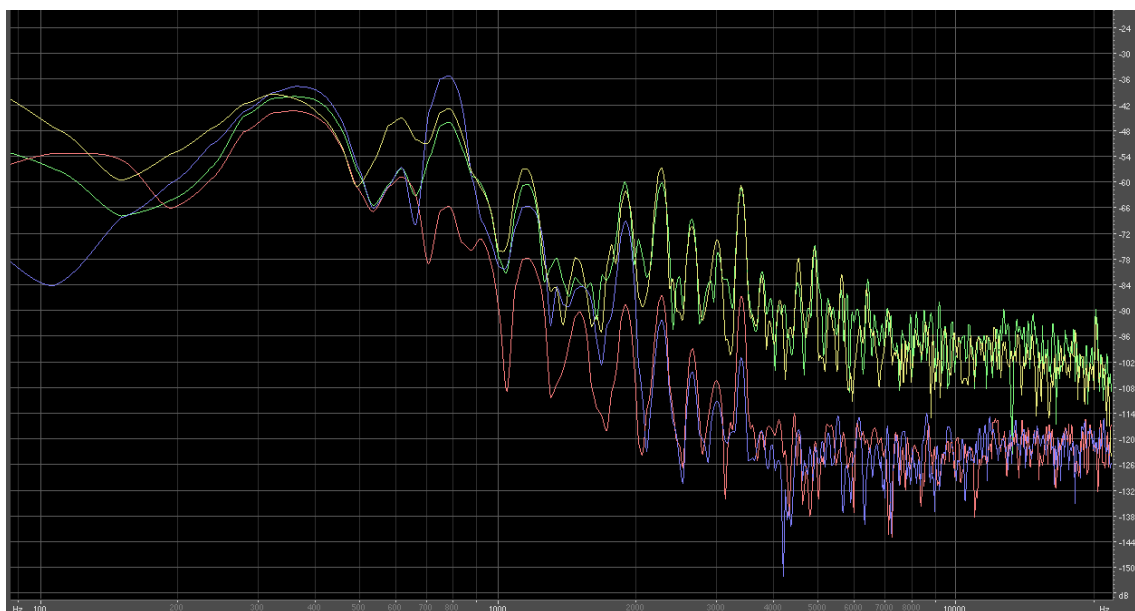


Figura 3. Análisis en función de la frecuencia, de la señal original y las obtenidas por el método de convolución.

Para este análisis de espectro se enfocó el estudio en la nota Sol# la cual corresponde a una frecuencia de 103 Hz aproximadamente, esto debido a que auditivamente se percibió que las señales convolucionadas manifestaban una resonancia en esta nota, además, en la investigación para la obtención de la respuesta al impulso por el método directo se calculó la frecuencia de resonancia del instrumento analizándolo como un resonador de Helmholtz, esta tuvo un valor de 117 Hz aproximadamente. Para empezar a comparar los efectos de los procesos de convolución es necesario analizar también la señal original, la cual será nuestra referencia (señal verde en la gráfica). Se puede ver claramente que existe un comportamiento más o menos parejo de 3000 Hz hacia arriba, y un aumento desde 1000 Hz hacia abajo, partiendo de esto se analiza lo que los procesos de convolución le modifican a la señal.

5.1 Señal de referencia convolucionada con respuesta al impulso hallada por el método directo

La señal obtenida por este proceso corresponde a la línea roja en la figura 3. Este procedimiento arrojó una señal de comportamiento insuficiente en frecuencias altas, reduce considerablemente la respuesta del instrumento a partir de 1 kHz, esto se debe a las características de la respuesta al impulso del tiple de alta calidad y al método que se usó para obtenerla. Además de esto, al escuchar la señal se perciben resonancias en algunas notas, éstas coinciden con las presentadas en el acople del sistema del vibrador mecánico utilizado en el método directo de obtención de la respuesta al impulso del instrumento. A pesar de las características en frecuencia de la señal, ésta puede ser útil a fin de mezclarse con alguna otra y reforzar las frecuencias bajas de un tiple muy brillante.

5.2 Señal de referencia convolucionada con respuesta al impulso hallada por el método indirecto (señal de color morado)

Para este caso, el cambio es similar al anterior aunque no tan pronunciado. Se evidencia un aumento en comparación con las otras señales en la frecuencia de 800 Hz, también es importante tener en cuenta las condiciones de medición en las cuales se trabajó este método de obtención de respuesta al impulso, ya que el transductor no respondía sino hasta 2 kHz. Esto es absolutamente notorio, ya que en la gráfica (señal de color morado) los valores situados después de la frecuencia máxima de respuesta del transductor empleado decaen abruptamente, se puede considerar útil esta señal resultante como una posible solución a problemas de baja frecuencia en grabaciones del instrumento analizado generando expectativa al parecer guardar una relación agradable entre la señal original y la convolucionada. Sería ideal realizar nuevamente el proceso de obtención de respuesta al impulso por este método pero esta vez con un instrumento capaz de analizar y responder en todo el espectro de frecuencias.

5.3 Señal de referencia mezclada con las diferentes respuestas al impulso obtenidas en los métodos descritos anteriormente

La señal de color amarillo en la figura 3 corresponde a una mezcla entre la señal original y las obtenidas por convolución (señal roja y señal morada). En la gráfica se evidencia una alteración sutil pero significativa comparada con el comportamiento de la señal de referencia, pues se observa un mejor comportamiento en bajas frecuencias, y una atenuación por arriba de los 5 kHz, lo que se podría considerar como un suavizado de la curva de respuesta que le aporta al sonido del instrumento al reducir el exceso de frecuencias altas y aumentar las medias bajas y bajas.

6 Encuesta

Para complementar el análisis objetivo se realizó una encuesta a 6 Ingenieros de Sonido de la Universidad de San Buenaventura, con el fin de evaluar las señales procesadas y algunas variantes de estas. Gracias a la aplicación desarrollada en Matlab se obtuvieron los audios separados de las señales procesadas por las convoluciones de ambos métodos para finalmente reproducirlos y mezclarlos en un entorno adecuado, este proceso se llevó a cabo en el estudio digital de las instalaciones de la Universidad, en un sistema HD con Pro Tools 6.9, monitores de campo lejano y cercano, ofreciendo las herramientas y características acústicas adecuadas para llevar a cabo este análisis de escucha crítica.

6.1 Aplicación de la encuesta

En la encuesta se evaluaron 5 parámetros sonoros principales de la percepción del oyente frente al sonido, entre los cuales se encuentran: naturalidad, calidez, brillo, balance e impresión, los cuales se definen de la siguiente manera:

Naturalidad: Este parámetro evalúa qué tan parecido al instrumento físico es el sonido percibido.

Calidez: Se refiere a la percepción de una buena respuesta en bajas frecuencias. La palabra calidez representa, pues, la riqueza de graves.

Brillo: Éste término es un indicativo de que tanto el sonido es claro, rico en armónicos y frecuencias altas.

Balance: Se refiere a la uniformidad o correcto equilibrio del espectro en frecuencias dentro del sonido percibido, es decir, una presencia homogénea tanto de frecuencias bajas, medias y altas.

Impresión: Este parámetro, es una evaluación general de la percepción del oyente frente a la muestra escuchada, es simplemente una calificación de que tan agradable encuentra el sonido del instrumento.

Los parámetros anteriores se evaluaron en un rango de 0 a 5, siendo 0 una carencia total del parámetro evaluado y 5 una buena percepción de este respectivamente.

La encuesta se formuló con el objetivo de comparar la grabación original del tiple ordinario frente a las modificaciones sonoras dadas por la convolución de cada método (directo e indirecto), por otro lado se evaluaron los audios al reproducirlos simultáneamente a igual nivel y así mismo con una determinada mezcla a la cual se llegó buscando el mejor sonido posible; éste se compone principalmente de un mayor nivel en el track del audio original y un refuerzo con las señales convolucionadas a un nivel mas bajo, dichas variaciones también fueron evaluadas y comparadas. La tabla 1, muestra el listado de cada prueba de escucha, especificando la característica respectiva.

Tabla 1. Listado de las pruebas de escucha aplicadas en la encuesta.

Prueba	Característica
A	Grabación original
B	Señal obtenida por convolución con método Directo
C	Señal obtenida por convolución con método Indirecto
D	A+B (Al mismo nivel)
E	A+C (Al mismo nivel)
F	A+B+C (Al mismo nivel)
G	Mezcla entre A+B
H	Mezcla entre A+C
I	Mezcla entre A+B+C

6.2 Resultados y análisis

Las calificaciones obtenidas para cada uno de los parámetros se promediaron y graficaron para realizar su respectivo análisis. A continuación se pueden observar las respectivas tablas y graficas.

Tabla 2. Promediación de los resultados de la encuesta.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
Naturalidad	4,7	1,6	1,5	3,7	3,4	3,7	4,4	4,3	4,8
Calidez	2,3	2,8	1,8	3,5	3,3	3,9	3,6	3,7	4,3
Brillo	3,8	1,7	2,0	3,9	3,6	3,9	4,0	4,1	4,6
Balance	3,5	1,6	1,4	2,5	3,0	2,5	3,7	3,9	4,3
Impresión	3,2	1,6	1,5	3,3	3,1	2,8	4,1	4,2	4,5

Tabla 3. Desviación Estándar.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
Naturalidad	0,4	0,7	0,6	1,0	0,8	1,2	0,5	0,4	0,3
Calidez	0,8	1,2	1,1	0,6	0,9	0,6	0,9	0,5	0,3
Brillo	0,9	0,5	0,9	0,7	0,9	0,8	0,2	0,5	0,4
Balance	0,6	1,0	0,9	0,6	0,1	0,8	0,5	0,2	0,4
Impresión	0,8	0,8	0,5	0,9	0,7	1,2	0,4	0,6	0,4

Como se observa en la tabla 3, las medidas de dispersión no contienen valores tan altos, lo que nos indica que en si los encuestados mantuvieron posturas muy similares a la hora de calificar las pruebas.

Respecto a los parámetros evaluados, la figura 4 muestra la calificación promedio para el parámetro de naturalidad. Se puede notar que las señales obtenidas a partir de los métodos de convolución presentaron una muy baja calificación en este aspecto, esto debido a que estas se percibían como si hubieran sido procesadas por ecualizadores y filtros pasa bajos y pasa altos, como opinaban algunos de los encuestados, con una gran ausencia del sonido propio de un instrumento real. Como es de esperarse, la grabación original, obtuvo la puntuación más alta, así mismo a medida que se realizaban las diferentes mezclas este parámetro presento un incremento en la puntuación.

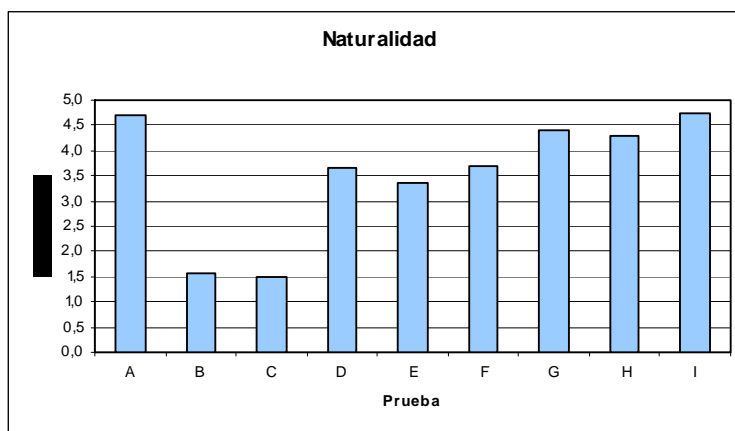


Figura 4. Calificación promedio para el parámetro de naturalidad.

En cuanto al parámetro de calidez, figura 5, se observa que la señal original carecía de una buena respuesta en baja frecuencia, sin embargo la señal obtenida por la convolución del método directo (Prueba B), refleja un mejor comportamiento en frecuencias bajas y así mismo a medida que se mezcla con las demás señales (Pruebas D, F, G, I) se aprecia una mejor calificación para este parámetro, lo que sugiere que al mezclarlo con la señal original éste contribuirá a reforzar las frecuencias bajas del instrumento.

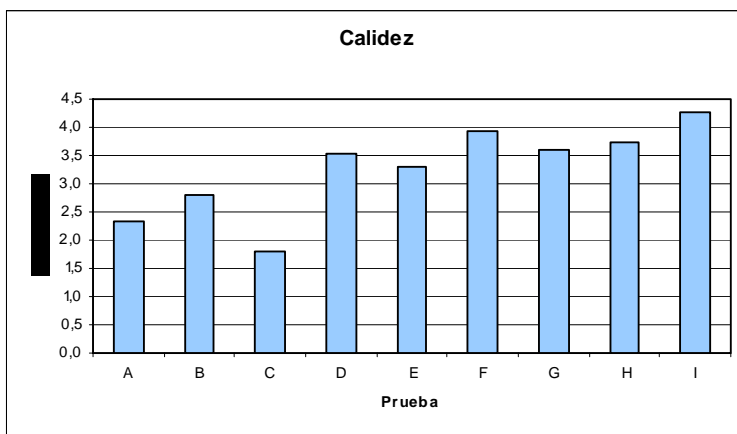


Figura 5. Calificación promedio para el parámetro de calidez.

Como se aprecia en la figura 6, el parámetro de brillo presento altos puntajes para la mayoría de pruebas, sin embargo para las señales obtenidas por convolución se manifestó una deficiencia de frecuencias altas con una leve mejora en la obtenida por el método indirecto, este según los encuestados, presentaba un mayor contenido de energía en frecuencias medias. Sin embargo, de la misma manera en que se observa en la grafica, el sonido del tiple manifiesta de por si solo, una fuerte respuesta de altas frecuencias, por tanto al mezclar las señales no se aprecia un aumento tan marcado en la calificación de este parámetro.

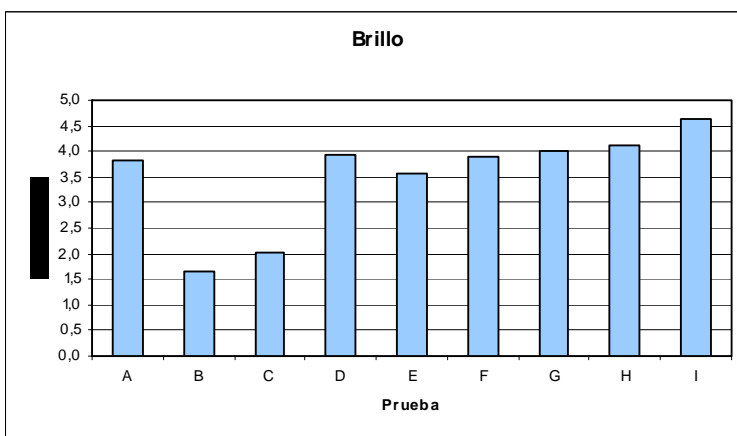


Figura 6. Calificación promedio para el parámetro de brillo.

Respecto al balance, se observa en la figura 7 que aquellas pruebas en donde las señales convolucionadas mantienen el mismo nivel que la señal original (Pruebas B, C, D, E y F), el equilibrio en el espectro en frecuencias es deficiente. Esto como se había dicho antes, es

debido a que las señales obtenidas por convolución manejan componentes en frecuencia enfocadas en bandas específicas, principalmente frecuencias bajas y medias, además presentan cierta resonancia alrededor de los 230 Hz. Sin embargo al realizar la mezcla de las tres señales, se obtiene un mejor balance debido al refuerzo en frecuencias bajas, del cual carece la grabación original del instrumento.

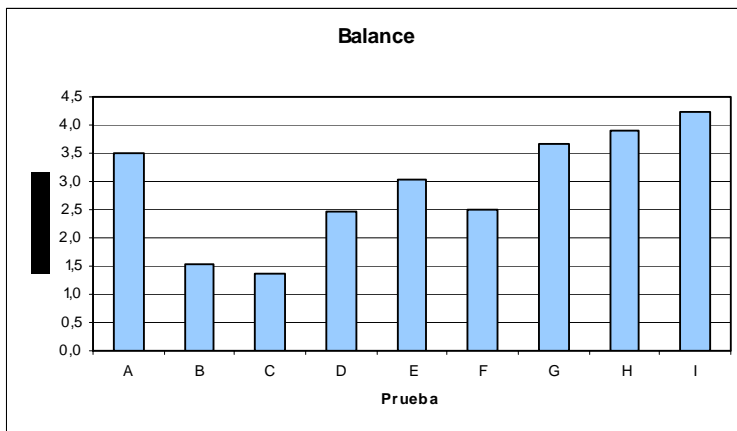


Figura 7. Calificación promedio para el parámetro de balance.

Finalmente, el parámetro de impresión resume las características anteriormente evaluadas, en una calificación de que tan agradable es para el oyente el sonido del instrumento en cada prueba. Según la figura 8, se aprecia que la señal original no genera una total satisfacción en el oyente, como expresaban algunos de los encuestados, el sonido es demasiado brillante a pesar de que es el sonido característico del instrumento. Para las señales obtenidas por el proceso de convolución se obtuvo un agrado muy deficiente, por lo cual el escuchar este sonido individualmente o con gran influencia en la mezcla final resulta ser poco placentero. Sin embargo se ve un aumento considerable para la prueba D, lo cual nos sugiere que la contribución de frecuencias bajas, como se vio en los parámetros anteriores, amplía la respuesta en frecuencia del sonido, logrando un mayor agrado en el oyente. Para las pruebas G, H e I, el grado de satisfacción fue mucho mayor, esto debido a la contribución en el sonido final de cada una de las señales independientes como se pudo observar en los parámetros anteriormente analizados.

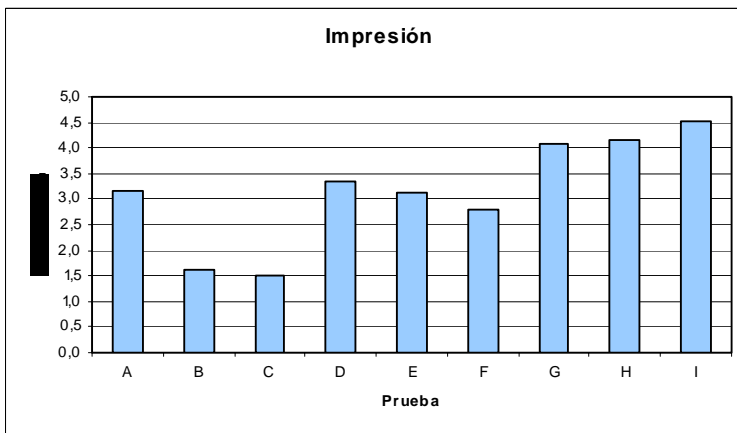


Figura 8. Calificación promedio para el parámetro de impresión.

7 Conclusiones

La herramienta de convolución desarrollada en Matlab posee características que pueden vincularse y aplicarse a programas y software de edición y mezcla de audio; inclusive puede ser una base para contribuir a desarrollar aplicaciones de software libre para procesamiento de audio, ofreciendo acceso al código para que el usuario pueda optimizar la herramienta de acuerdo a sus necesidades.

Matlab es hoy en día una herramienta de muchísimo potencial en procesos de investigación y desarrollo de nuevas tecnologías, por lo que su implementación en campos relacionados al procesamiento de señal permite innovar y desarrollar aplicaciones, modelos, simulaciones, algoritmos etc. referentes a las áreas relacionadas al sonido, como la producción musical, grabación, acústica, diseño de sistemas de sonido, bioacústica entre otros.

A pesar de que el algoritmo de convolución por medio de transformada rápida de Fourier resulta ser mucho más rápido que la convolución basada en el dominio del tiempo, no satisface la necesidad del procesamiento de señal en tiempo real, por lo cual para lograr este fin se debería implementar un DSP o hardware externo que optimice la velocidad de procesamiento de la máquina.

Las señales obtenidas al realizar la convolución de la señal del tiple ordinario con las respuestas al impulso del tiple de alta calidad no son agradables al reproducirlas individualmente, sin embargo, es notable que estas señales contribuyen a la mejora de la calidad del sonido del tiple, principalmente fortaleciendo el contenido en medias y bajas frecuencias.

La calidad, y características sonoras del resultado final dependen fuertemente de la calidad de la respuesta al impulso y por ende de los equipos y la calidad del sistema empleado para obtenerla.

La aplicación de este proceso a la hora de mejorar la calidad del sonido de un instrumento, se puede asimilar como una forma de ecualización natural, la cual está dada por otro instrumento con ciertas características sonoras, sin embargo hay que tener en cuenta las modificaciones que puedan surgir debido al proceso de la señal a través de tantos sistemas diferentes, empezando por la calidad de los transductores para registrar la respuesta al impulso del instrumento.

Referencias

- Oppenheim, Alan; Willsky, Alan. (1996) "Señales y Sistemas" segunda edición. Prentice Hall, U.S.
- Davis, Timothy A.; Sigmon, Kermit (2005). "MATLAB_Primer". Chapman & Hall/CRC, U.S.
- Hunt, Brian R; Lipsman, Ronald L.; Rosenberg, Jonathan M.. (2006) "A_Guide_to_Matlab_for_beginners_and_experienced_users". Cambridge university press, U.S.
- Ortega, Ismael; Orjuela, Andrés; Cortes, David. (2008) Tesis "Diseño_e_Implementación_de_prototipo_funcional_de_reverberador_por_convolucion_en_tiempo_real". Universidad de San Buenaventura.
- Farina, Angelo; Langhoff, Andrea; Tronchin, Lamberto. "Comparison of Violin Impulse Responses by Listeners to Convolved Signals". Institute for System Engineering and Informatics, E.C. Joint Research Center y Scuola Internazionale di Liuteria, Cremona. Ispra, Italia.
- Farina, Angelo; Langhoff, Andrea; Tronchin, Lamberto. "Acoustic characterisation of virtual musical instruments: using MLS technique on ancient violins". Institute for System Engineering and Informatics, E.C. Universidad de Parma, Italia. D.I.E.N.C.A., Facoltà di Ingegneria, University of Bologna, Italia.
- Fletcher, Neville Horner (2000). "The physics of musical instruments". Primera Edición. Springer Verlag. New York, Estados Unidos.