



AdAA2009-A009R

Análisis acústico de un tiple colombiano por medio de la obtención de la respuesta al impulso con método directo

Laura Vanessa Acero Martinez ^(a), César Dario Bustos Ortiz ^(b),
Luis Fernando Hermida Cadena ^(c).

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

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

(c) Cátedra de Acústica, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Buenaventura sede Bogotá, Cra 45 No. 57-47 Apto 501, Bogotá, Colombia. E-mail: lhermida@docentes.usbbog.edu.co

Abstract

Musical Acoustics is an interesting field of study with important applications to the analysis of musical instruments performance. The knowledge of how that these instruments process a signal allows to obtain useful tools for optimization, record and DSP simulation. For stringed instruments, if one considers the input signal as the vibration produced by the strings and the output signal as the sound produced by the entire instrument, then one can consider the instrument body as the sound modifier or transfer function which describes the instrument performance or behaviour. An electro-mechanic transducer was designed in order to excite the tiple with uniform beats in an optimum frequency range, so that it generates an output signal which is recorded by a flat-response microphone. Then a deconvolution process is carried out to obtain the transfer function. This experiment was conducted in a room that simulates an anechoic chamber in order to avoid the sound reflections. The determination of the impulse response with this method called "direct", opens up many applications in the musical production field.

Resumen

La acústica musical es una interesante rama de estudio con importante aplicación en el análisis del comportamiento de instrumentos musicales. Conociendo la forma en que éstos procesan una señal, se pueden obtener útiles herramientas para su optimización, captura e incluso la simulación de éstos por medio de DSP. Para instrumentos de cuerda, si se considera como señal de entrada la vibración producida por las cuerdas tensadas y señal de salida como el sonido producido por todo el instrumento, se puede también considerar al cuerpo del instrumento como el modificador de sonidos o función de transferencia que describe el comportamiento propio del instrumento. Para este experimento se diseñó un transductor que excita el tiple con golpes uniformes en un rango de frecuencias óptimo, de tal manera que se genera una señal de salida capturada por un micrófono de respuesta plana para luego realizar un proceso de deconvolución y obtener la función de transferencia. Esto fue hecho en un espacio que simula una cámara anecoica para evitar el efecto de reflexiones sobre la captura. La obtención de la respuesta al impulso con este método denominado "directo" abre las puertas para múltiples aplicaciones en el campo de la producción musical.

1 Introducción

La acústica musical es una de las ramas de mayor campo de investigación en materia de instrumentos musicales, gracias a las investigaciones realizadas en esta rama de la acústica, se ha fomentado el desarrollo de nuevas herramientas en el campo de la música y la producción musical, el perfil del ingeniero de sonido se acomoda para el desarrollo y mejoramiento de estas herramientas por lo tanto el propósito de este semillero es seguir con estas investigaciones realizando un énfasis en los instrumentos típicos colombianos, en este caso el tiple.

En este artículo, el lector podrá encontrar información sobre el tiple como instrumento nacional, su análisis acústico y los métodos utilizados en la medición.

2 Desarrollo del problema

2.1 Marco teórico

2.1.1 Instrumentos musicales

Los instrumentos musicales son fuentes sonoras cuyo funcionamiento puede ser analizado como un sistema donde se tiene una señal entrante $x(t)$, una función de transferencia $h(t)$ y una señal de salida $y(t)$. La señal entrante puede ser una cuerda tensada (instrumentos de cuerda), una columna de aire (instrumentos de viento) o un impulso (instrumentos de percusión). La función de transferencia es también conocida como modificador de sonidos y se encarga de darle carácter al sonido, $y(t)$ es la salida de todo el instrumento producto de la interacción entre $x(t)$ y $h(t)$. En este proyecto se hace énfasis en los instrumentos de cuerda que a continuación se explican brevemente:

2.1.2 Instrumentos de cuerda

Los instrumentos de cuerda deben su nombre a la disposición de unas cuerdas tensadas que producen sonido cuando son frotadas, punteadas y percutidas. Al primer grupo pertenecen el violín, la viola, el violonchelo y el contrabajo; el segundo, el clavecín, el arpa y la guitarra, y al tercero el piano. En la Fig. 1 se describe el comportamiento del tiple colombiano, que hace parte del grupo de los instrumentos de cuerda.

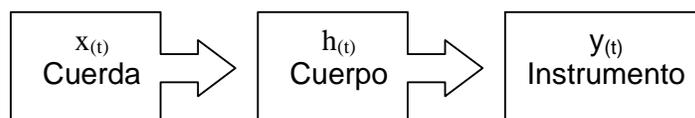


Figura 1. Comportamiento de instrumentos musicales.

2.1.3 El tiple colombiano

El tiple colombiano es descendiente directo de la guitarra y la vihuela de cuatro órdenes que llegaron a la Nueva Granada a comienzos del siglo XVI. Estos instrumentos fueron adoptados, trabajados y modificados por los habitantes hasta el primer prototipo de tiple que constaba de grupos pareados de cuerdas.

Pero es hasta el comienzo del siglo XIX donde se habla del tiple como un cordófono distinto de la guitarra. Se crea la primera familia constructora de tiples en Chiquinquirá, Boyacá llamada Norato.

Desde mediados del siglo XIX el tiple toma gran importancia en el ámbito social colombiano y en 1849 se publica el primer artículo descriptivo sobre tres variedades de tiple colombiano: de 4 cuerdas simples, 5 cuerdas y 8 cuerdas (todas pareadas).

En 1868 José Eleuterio Suárez publica el primer método para tiple de 8 cuerdas donde el tercer cuarto grupo de cuerdas tienen cuerdas octavadas. La investigación y experimentación de José Eleuterio Suárez, José Viteri y Telésforo D'Alemán, llegan a su auge en 1915 cuando dan origen al tiple que hoy en día se conoce: un cordófono con mástil dividido en trastes y caja de fondo plano, cuyo encordado consta de 4 grupos de 3 cuerdas metálicas que además llevan la cuerda central octava, excepto el grupo más agudo afinado al unísono.

A continuación, algunas especificaciones de los materiales de construcción para la caja acústica:

Tabla 1. Especificaciones del tiple colombiano.

Elemento	Material Usado
Tapa armónica	Madera de pino, abeto, comino, nogal
Aros laterales y espalda	Madera de palo de rosa, cedro, comino
Mástil y talón	Madera de cedro, guayacán
Diapasón	Madera de ébano, nogal
Cejuela	El elemento superpuesto a la tapa en madera de ébano, nogal Las cuerdas reposan en cacho, hueso, tagua, plástico.
Trastes	Alambre de cobre rojo o amarillo, incrustado en el diapasón
Clavijas	Chuguacá, ébano, cedro, naranjo, coralito
Lacas, barnices y pegantes	Mezcla de cola, ácido oxálico, jugo cítrico y albayalde

2.1.4 Obtención de la respuesta al impulso del tiple colombiano

Para la obtención de la respuesta al impulso de un instrumento de cuerda que tiene acoplado, Farina propone dos métodos en sus artículos titulados “*Comparison of violin impulse responses by listening to convoluted signals*” y “*Acoustic characterisation of "virtual" musical instruments: using MLS technique on ancient violins*”. Uno de ellos se titula método directo, donde se excita el instrumento en su puente con una fuerza conocida y el campo sonoro generado es capturado con un micrófono de respuesta plana para luego realizar una deconvolución y obtener la respuesta al impulso. Cabe destacar que las cuerdas han de estar tapadas para que no generen ningún tipo de ruido que altere la medición.

El otro método, denominado indirecto es una forma recíproca del anterior, donde se excita el instrumento con un campo sonoro generado por un altoparlante, y se captura el movimiento del instrumento con un acelerómetro ubicado en el puente. Sigue el mismo proceso que el primer método para encontrar la respuesta al impulso.

Para éste artículo, se trabajará sobre el método directo, donde la fuerza conocida será ejercida por un transductor que tenga la capacidad de generar una señal conocida, como se verá a continuación.

2.2 Desarrollo ingenieril

2.2.1 Diseño del transductor

Para encontrar la respuesta al impulso del instrumento, se ha diseñado un transductor que tenga la capacidad de generar un movimiento mecánico proporcional a una frecuencia específica, de esa manera generar un barrido de frecuencias y realizar una respectiva convolución para encontrar la respuesta al impulso del tiple.

El transductor se ha hecho a partir de un parlante al cual se le extrae el cono, y éste es reemplazado por un cilindro de pequeño diámetro (alrededor de 4mm) similar a un pitillo. Se ha diseñado una base para que el movimiento de dicho cilindro sea perfectamente en dirección axial de tal manera que golpee correctamente el puente del instrumento.

Dicho parlante, fue suspendido en una base de madera, de tal manera que sus extremos estén desacoplados. Dicha base, tiene un diseño tal que permite golpear el tiple cuando éste se suspende de manera vertical, tal como aparece en la figura 1.



Figura 2. Montaje experimental del transductor al instrumento.

El tiple se ha suspendido con hilo resistente, y sus cuerdas fueron silenciadas con un trozo de papel para evitar que el sonido de éstas al resonar con la presión sonora generada por el parlante, fuese capturado por el micrófono que será usado para capturar la señal procesada por el tiple.

2.2.2 Montaje Experimental y mediciones realizadas

Inicialmente, se ha hecho la medición de respuesta en frecuencia del parlante con el cono, se ha encontrado sus frecuencias de resonancia con el método Thielle-Small.

Luego, una vez acoplado correctamente el transductor al instrumento, se procede a generar un barrido de frecuencias y capturar la señal procesada por el tiple con un micrófono de medición a aproximadamente 10cm apuntando al puente del instrumento.

Para encontrar las frecuencias de resonancia del sistema, se prosigue a usar el método Thielle-Small.



Figura 3. Montaje experimental para capturar respuesta al impulso.



Figura 4. Montaje experimental para medición según Thielle-Small.

Para encontrar la respuesta en frecuencia del tiple, se han capturado 6 muestras del tiple, a los cuales se les realizará una Transformada Rápida de Fourier (FFT). Dos de dichas muestras tienen la nota más grave y la más aguda; los otros 4 son ritmos de música colombiana.

2.3 Análisis de datos

La respuesta en frecuencia del parlante con cono es la ilustrada en la figura 5.

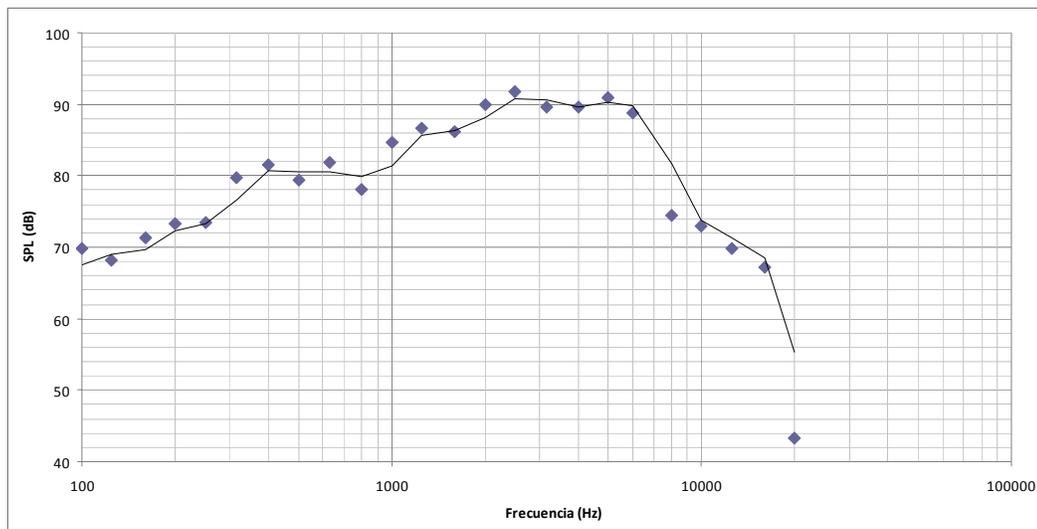


Figura 5. Respuesta en frecuencia del parlante.

La frecuencia de resonancia se encontró alrededor de **250 Hz**.

Al encontrar la respuesta al impulso del tiple con ayuda del software Adobe Audition con el plug-in Aurora de Angelo Farina, se ha encontrado la gráfica de la figura 6.

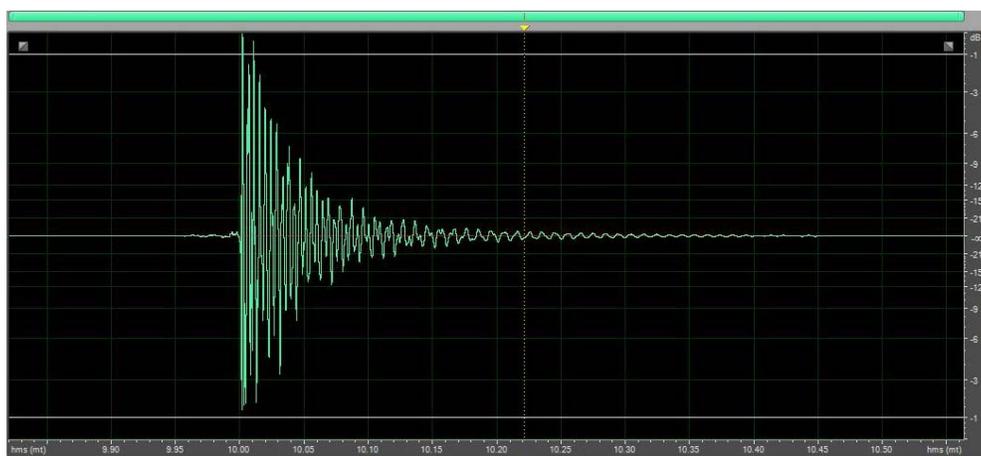


Figura 6. Gráfica de la respuesta al impulso obtenida por el método directo.

Se han realizado cuatro capturas a las cuales se les aplico una transformada de Fourier, para ver su comportamiento en respuesta en frecuencia. Sus gráficas son:

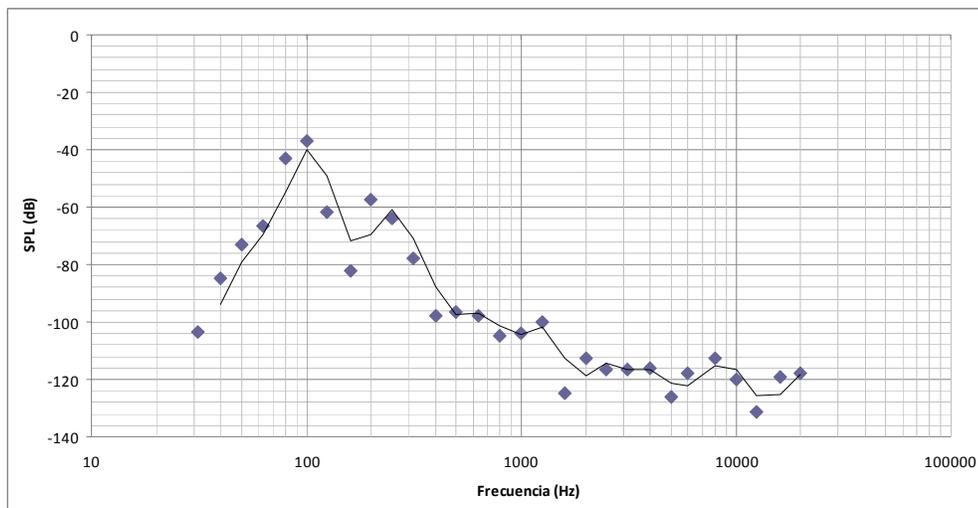


Figura 7. Gráfica de FFT de respuesta al impulso 1.

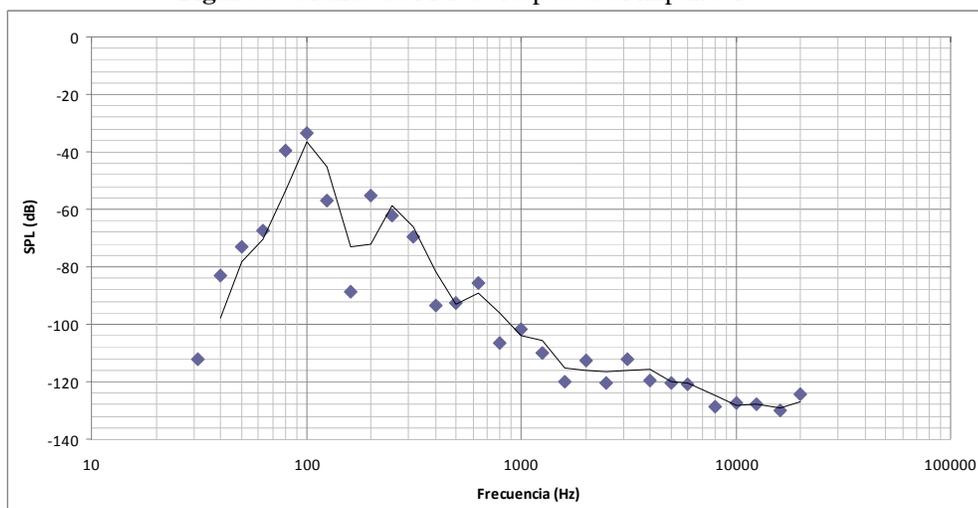


Figura 8. Gráfica de FFT de respuesta al impulso 2.

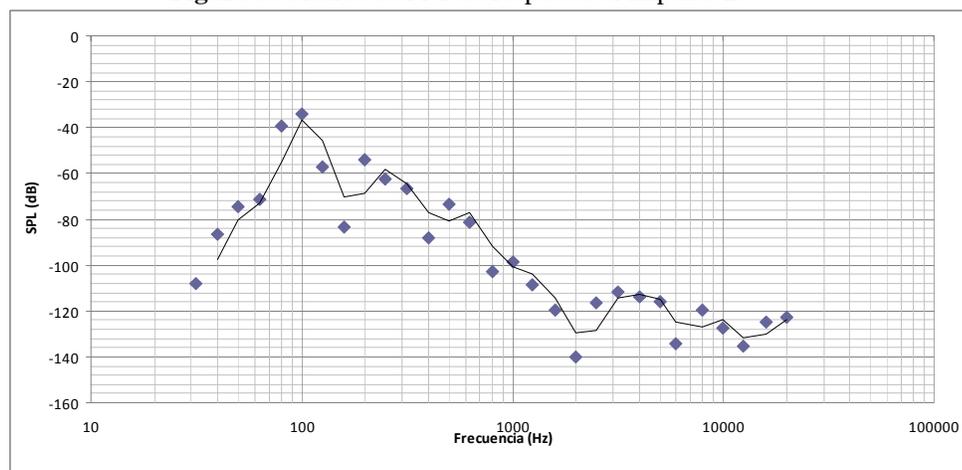


Figura 9. Gráfica de FFT de respuesta al impulso 3.

En las tres mediciones se tiene un comportamiento similar por lo cual se deduce el éxito del transductor.

En las tres gráficas se presentan 3 picos en **100Hz, 250Hz y 630Hz**.

La primera frecuencia de resonancia es debida al comportamiento del cuerpo del tiple como un resonador de Helmholtz. Al medir el volumen y las dimensiones del tiple se calculó la frecuencia de resonancia como resonador de Helmholtz y se encontró que f_0 es **117Hz**. La segunda frecuencia de resonancia coincide con la frecuencia de resonancia del parlante al aire libre, por lo cual se deduce que ésta es debida al acople del transductor y el tiple. La tercera frecuencia de resonancia, ha de ser causada por el acople de la cara posterior y las caras laterales, ó de éstas con la cara trasera. Se deduce lo anterior al realizar un circuito eléctrico equivalente del tiple similar al expuesto en el libro “*The Physics of Musical Instruments*” de Thomas D. Rossing:

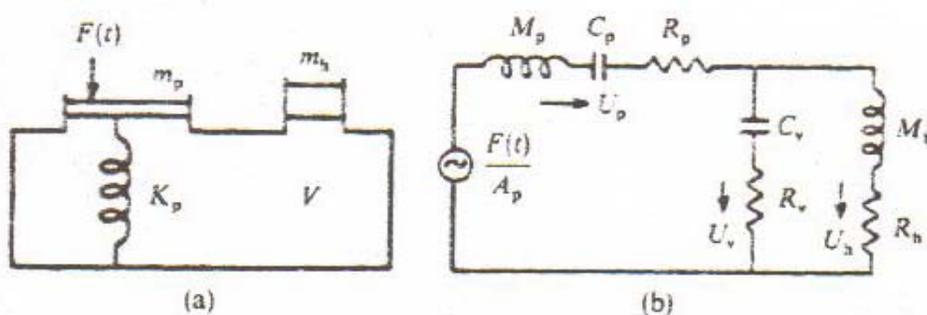


Figura 10. Circuito equivalente a un instrumento de cuerdas pulsadas.

Este circuito se ha hecho teniendo en cuenta que se ha ignorado el movimiento de las caras laterales y trasera, es decir que se tiene en cuenta solo la cara posterior acoplada al puente. Se sospecha entonces de una frecuencia de resonancia dado por la compliancia mecánica de la cara posterior (C_p) y por la inercia de la misma (M_p).

La respuesta en frecuencia del tiple se ha conseguido al realizar una transformada de Fourier a unas muestras capturadas.

La muestra en la cual se interpreta una melodía tiene la siguiente respuesta en frecuencia:

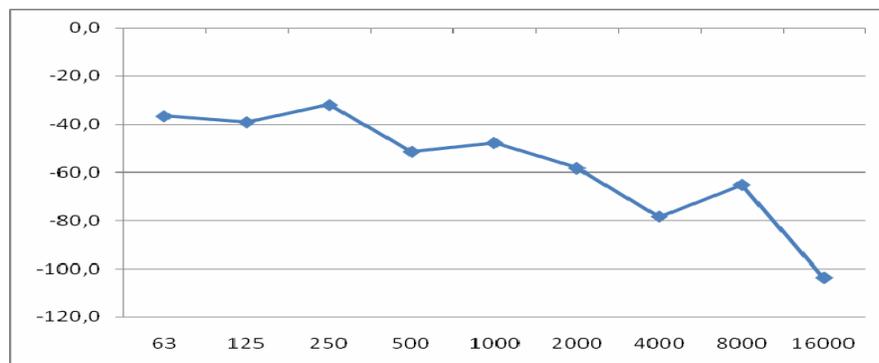


Figura 1. Respuesta en frecuencia del tiple, melodía capturada.

Para la nota más grave se obtuvo la siguiente gráfica:

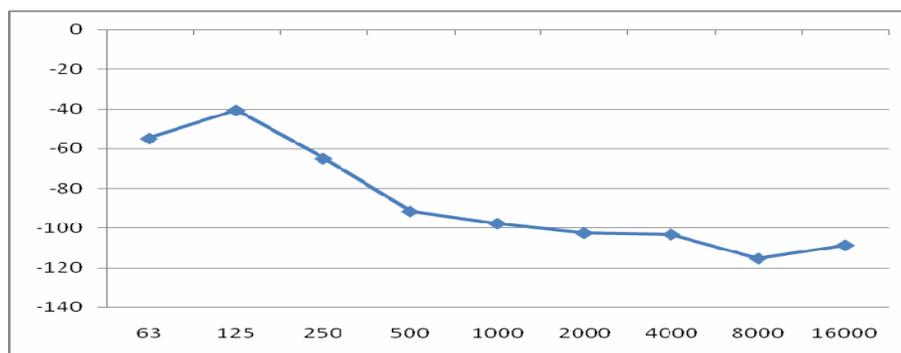


Figura 12. Respuesta en frecuencia del tiple, nota más grave.

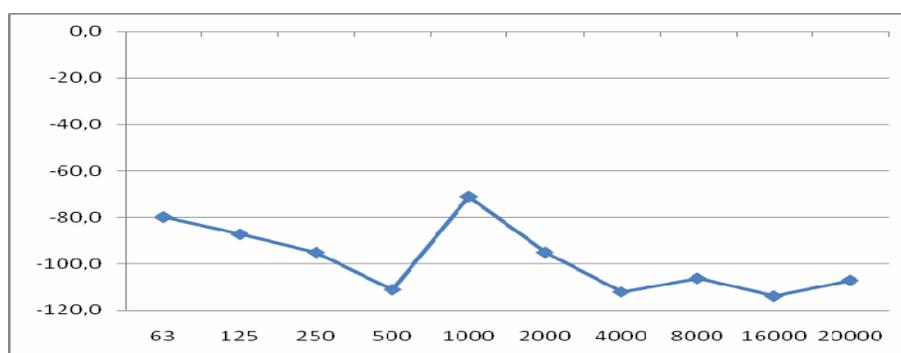


Figura 13. Respuesta en frecuencia del tiple, nota más aguda.

Como se puede apreciar en las gráficas, la respuesta del tiple está entre 120Hz aproximadamente y 16000Hz, donde está el último armónico con un SPL significativo.

Al comparar el ancho de banda del análisis de Fourier de las muestras con el de la respuesta al impulso, se puede ver que están en el mismo ancho de banda.

2.4 Errores sistemáticos

- La sala en donde se realizaron las mediciones no estaba totalmente libre de reflexiones, por lo cual las capturas pueden presentar en sus datos algunos de estas y alterar el análisis del sistema.

- Los equipos utilizados, pueden presentar problemas de calibración, ajuste en incluso manipulación por parte de las personas encargadas de la medición.

- El parlante usado para el diseño del transductor tiene una respuesta en frecuencia limitada y muy poca potencia acústica, esto puede afectar los resultados.

- En la discretización del tiple se hicieron numerosas aproximaciones para facilitar el cálculo de la frecuencia de resonancia.

3 Conclusiones

- El transductor diseñado a partir de un parlante funcionó exitosamente, ya que logró excitar el cuerpo del tiple en un rango de frecuencia óptimo.

- La señal proveniente del tiple cuando fue excitado, se capturó correctamente y la respuesta al impulso obtenida por medio de una convolución dio la información necesaria para realizar el análisis del instrumento.

- El tiple es un instrumento de cuerda pulsada cuya respuesta en frecuencia está desde 146,83Hz (D2) y se extiende aproximadamente a un 16000Hz.
- El tiple posee tres frecuencias de resonancia significativas, causadas por el cuerpo del tiple como un resonador de Helmholtz, por el acople con el sistema de medición y por el acople de las caras posterior, lateral y trasera.
- Al ser el tiple un instrumento típico colombiano, es importante conocer sus características acústicas tales como la respuesta en frecuencia, los valores y causas de las resonancias propias del sistema, para así poder realizar un análisis más preciso.
- A partir de este análisis se pretende crear e innovar herramientas en el campo de la producción musical enfocado a instrumentos típicos folclóricos tales como el tiple colombiano.

Referencias

- Puerta Zuluaga, David Puerta (1988). "Los Caminos del Tiple". Primera Edición. Ediciones AMP. Biblioteca Luis Ángel Arango, Bogotá Colombia.
- Beranek, Leo (1961). "Acústica". Primera Edición. Editorial Hispanoamericana. Buenos Aires, Argentina.
- Howard, David Martin (2001). "Acoustics and Psicoacoustics". Segunda Edición. Oxford, Focal Press. Oxfordshire, Inglaterra.
- Puerta Zuluaga, David Puerta (1988). "Los Caminos del Tiple". Primera Edición. Ediciones AMP. Biblioteca Luis Ángel Arango, Bogotá Colombia.
- Ruffa, Fransisco (2008). Cátedra de la asignatura Diseño de Sistemas I, en la Universidad de San Buenaventura, sede Bogotá, Colombia.
- Hermida Cadena, Luis Fernando (2009). Cátedra de la asignatura Mediciones Acústicas en la Universidad de San Buenaventura, sede Bogotá, Colombia.
- Fletcher, Neville Horner (2000). "The physics of musical instruments". Primera Edición. Springer Verlag, New York, Estados Unidos.
- Farina, Angelo; Langhoff, Andread; Tronchin, Lamberto. "Comparison of Violin Impulse Responses by Listentint to Convolutad Signals". Institute for System Engineering and Informatics, E.C. Joint Research Center y Scuola Internazionale di Liuteria, Cremona. Ispra, Italia
- Farina, Angelo; Langhoff, Andread; 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, Italina. D.I.E.N.C.A, Facolta di Ingeneria, Univerisity of Bolonga, Italia.