

SISTEMA DE PRE-AMPLIFICACIÓN DE SEÑAL DE AUDIO CON MULTI-TRANSFORMADORES

PAC: 43.38.+n

Beltrán Briñez Javier; Mejía, Marcela; Torres Cifuentes, Manuel; Herrera Martínez, Marcelo;
Universidad de San Buenaventura,
Carrera 8 H n.º 172-20.
PBX: (57) 1- 667 1090, Bogotá, Colombia
E-mail: mherrera@usbbog.edu.co

RESUMEN

En este trabajo se presenta un Sistema de pre-amplificación de audio con posibilidad de intercambiar libremente los transformadores que lo constituyen, es decir un banco de pruebas con Multi-Transformadores. Se realiza una evaluación objetiva del sistema con base en mediciones del THD y la Respuesta en Frecuencia. También se realiza una evaluación subjetiva del sistema con dos encuestas, con dos tipos de muestra poblacional, valorando parámetros subjetivos como el brillo y la calidez de la señal sonora.

INTRODUCCIÓN

Uno de los campos de estudio de la ingeniería de sonido es el desarrollo y la implementación de diferentes dispositivos electrónicos, encargados de realizar varios procesos en las señales de audio, buscando siempre manipularla para poder lograr el resultado deseado. Uno de estos dispositivos, es el amplificador de señal pequeña o comercialmente conocido como pre-amplificador. Los primeros amplificadores de señal pequeña en implementarse, fueron diseñados con válvulas al vacío, ya que algunas décadas atrás era el elemento que se conocía para lograr un circuito de amplificación de una señal eléctrica. Posteriormente, en los 60s, la invención del transistor hace posible que dichos circuitos sean logrados con mayor facilidad y economía. Sin embargo, las válvulas al vacío siguen siendo implementadas actualmente por motivos tanto subjetivos tales como la calidez y la suavidad (Barbour, 1998), como objetivos: THD, modelos psicoacústicos (Dobrucki, Maleczek, & Maurycy, 2005), que éstas tienen sobre la señal procesada. En este proyecto se desarrolla un banco de pruebas que permita implementar el diseño de un pre-amplificador de válvulas al vacío con tres opciones de acople de impedancias, con el fin de analizar los parámetros objetivos y subjetivos de las diferentes configuraciones para su posterior comparación entre ellos mismos y algunos dispositivos comerciales.

MARCO DE REFERENCIA DE LAS VÁLVULAS AL VACÍO Y TRANSFORMADORES

Válvulas al vacío –tríodo-

El tríodo es una válvula al vacío que consta de tres componentes activos, el “grid” –reja- G, el “plate” –ánodo- P y el cátodo K. El calentamiento indirecto del cátodo hace que este libere electrones los cuales serán atraídos por la carga positiva del ánodo –efecto Edison-. Así un voltaje negativo es aplicado en el “grid” para controlar el flujo de esa corriente (Ivan & Thomas, 2010)9.

Amplificador de Válvulas

Para que el tríodo funcione como amplificador, el voltaje de la del ánodo al cátodo debe ser positivo, y usualmente el voltaje del “grid” al cátodo es negativo.

Algunas aplicaciones de válvulas en Amplificadores

- 1- Amplificador Cátodo Común
- 2- Amplificador Cátodo seguidor
- 3- Cátodo-seguidor como una carga activa para el amplificador cátodo-común.
- 4- Transformadores de acople

DISEÑO DEL SISTEMA DE PREAMPLIFICACIÓN

El banco de pruebas contará con tres configuraciones:

- 1) Amplificador Cátodo-común, Transformador 1.
- 2) Amplificador Cátodo-común, Transformador 2.
- 3) Amplificador Cátodo-común, Cátodo seguidor.

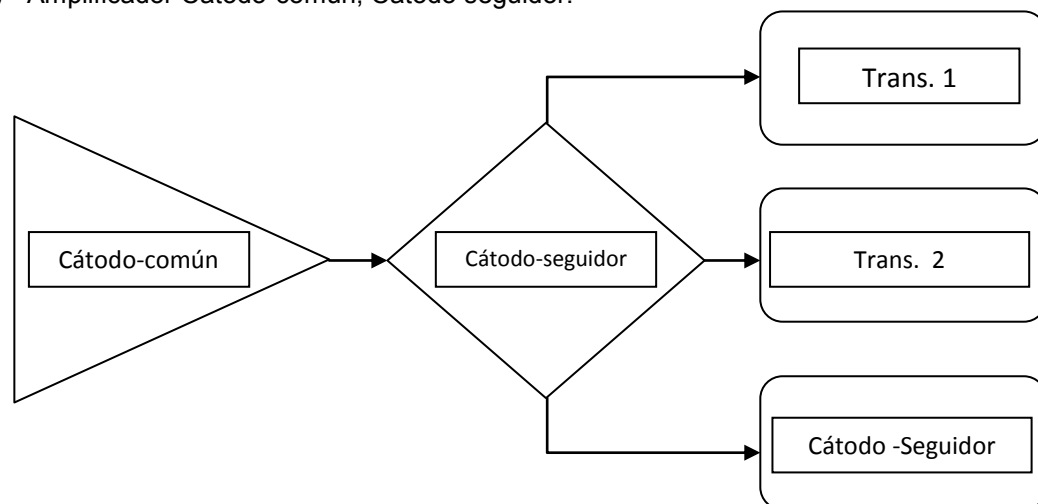


Fig. 1. Diagrama de configuraciones Banco de Pruebas

Desarrollo e implementación el diseño de cátodo común y cátodo seguidor del pre-amplificador de válvulas al vacío

Etapas de amplificación

Se simulan y se implementan cinco modelos dentro del pre-amplificador:

- 1- Simulación del modelo propuesto para el cátodo común
- 2- Simulación del modelo propuesto para el cátodo seguidor

- 3- Simulación del modelo propuesto de cátodo seguidor como carga activa del cátodo común
- 4- Configuración en Cascada sin condensador de acople
- 5- Configuración en cascada con condensador de acople

Transformadores

El banco de pruebas cuenta con tres transformadores: un transformador de entrada, el cual es encargado de recibir la señal balanceada de micrófono: positivo (2), negativo (3) y entregar la señal con una sola fase según la relación del transformador 1:N. Dos transformadores de salida o acople entre etapas.

Se implementan los siguientes sistemas dentro del pre-amplificador:

- 1- Transformador de entrada
- 2- Transformador entre-etapas
- 3- Driver de audio
- 4- Vúmetro
- 5- Alimentación DC para micrófonos de condensador, Phantom Power
- 6- Pad atenuador de -25dB
- 7- Diseño de PCB

Para acoplar finalmente todas las etapas del dispositivo, se decidió entonces realizar todo el montaje en cuatro partes distribuidas de la siguiente manera: la primera parte para la etapa de cátodo común y cátodo seguidor incluyendo el interruptor de cambio de fase, el circuito de acople para el phantom power, el atenuador y la selección de entrada (Fig. 2).

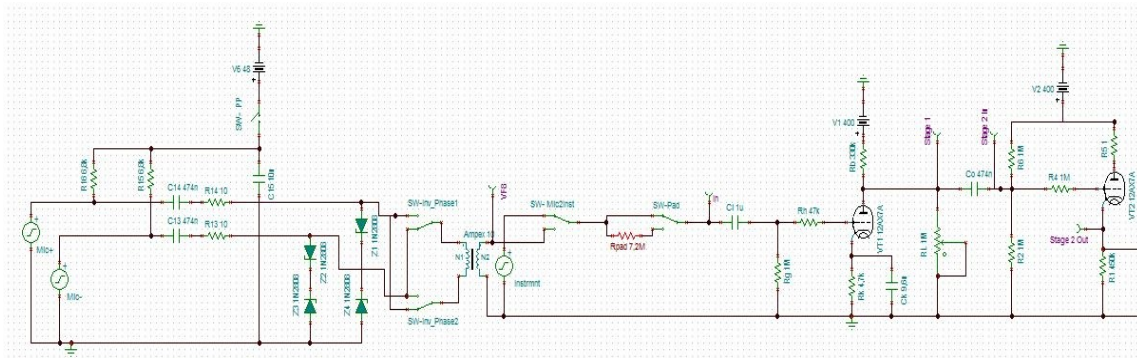


Fig. 1. Esquemático primera parte diseño final

Diseño del chasis

Se procedió a realizar el diseño del chasis. La figura 3 ilustra un esquema:

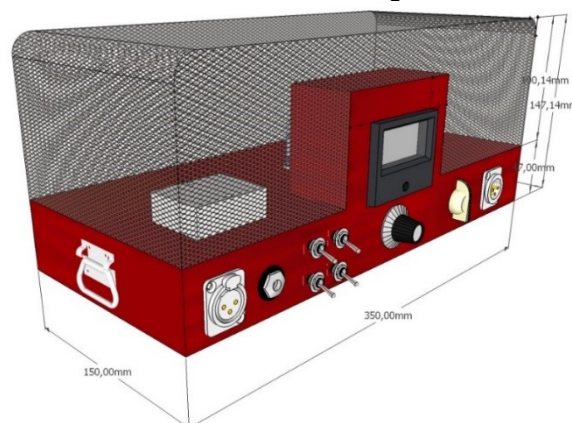


Fig. 3. Esquema 3D chasis

Las tres configuraciones de transformadores son sometidas junto con los pre-amplificadores de audio API 512C y Manley Voxbox a pruebas de carácter objetivo y subjetivo.

Pruebas subjetivas

Se graba una composición musical con: Batería, bajo, teclado, guitarra eléctrica, amplificador, Voz, Saxofón Alto. Los instrumentos que se analizan son la guitarra eléctrica y la voz. La única variable de las muestras son los pre-amplificadores seleccionados para el ensayo.

Cada una de las muestras es expuesta a la población a la cual se aplicará una encuesta para evaluar parámetros de calidad de sonido del instrumento registrado, calidez y brillo de los amplificadores seleccionados. Para la evaluación de los parámetros de calidez (presencia de graves, bajos adecuados y buena relación de los armónicos fundamentales a los armónicos superiores) y brillo (énfasis en altas frecuencias y armónicos con gran presencia con respecto a los fundamentales) se aplica el escalograma de Guttman, siendo 1 la opción más cálida y 5 la más brillante; mientras la evaluación de la calidad de la señal sigue la escala de Likert (Hernández, Fernández, & Baptista, 1998).

Población y Muestra

Al contar con dos clases de pruebas para evaluar la calidad de cada uno de los diferentes preamplificadores son esenciales dos clases de poblaciones. La primera son los amplificadores de audio frecuencia de señal pequeña, en donde las muestras se reducen a tres dispositivos: API 512C, Manley Voxbox, Banco de pre-amplificadores en sus tres configuraciones. La segunda parte contará con la población de ingenieros de sonido con experiencia entre los 15 y 26 años en el área de grabación. Para esto se aplicará la encuesta a una muestra no probabilística de expertos (Hernández, Fernández & Baptista, 1998), conformada por cuatro ingenieros. La entrada del sistema es una señal procesada a través de cada uno de los DUT (Dispositivo Bajo Prueba) que para este caso son cinco (5) dispositivos diferentes: DUT 1 es el pre-amplificador de estado sólido API 512C, DUT 2 es el pre-amplificador de válvulas al vacío Manley Voxbox, DUT 3 es la primera configuración del dispositivo construido BP (Banco de Pre-amplificadores) cuya salida es tomada de una etapa de tubos de cátodo seguidor, DUT 4 es el BP en su segunda configuración haciendo uso del transformador 1 (TRIAD HS-50), DUT 5 es el BP en su tercera configuración haciendo uso del transformador 2 (Hammond 850NA).

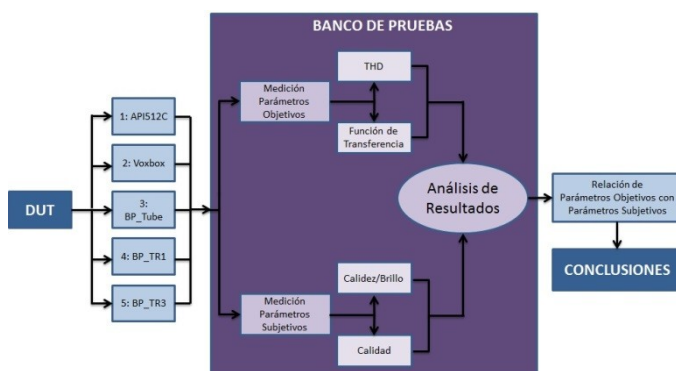


Fig. 4. Diagrama de bloques del Banco de Pruebas desarrollado .

Al ingresar la señal de salida de cada uno de los DUT al Banco de pruebas, éstas son sometidas a las mediciones de parámetros objetivos (THD –Análisis de Fourier- y función de transferencia) y a las mediciones de parámetros subjetivos (Calidez/Brillo y Calidad).

Análisis de parámetros objetivos

Función de Transferencia

Después de haber realizado las respectivas mediciones de cada uno de los DUT, se comparan los resultados de función de transferencia normalizados a 0dB como se muestran en la Fig. 5.

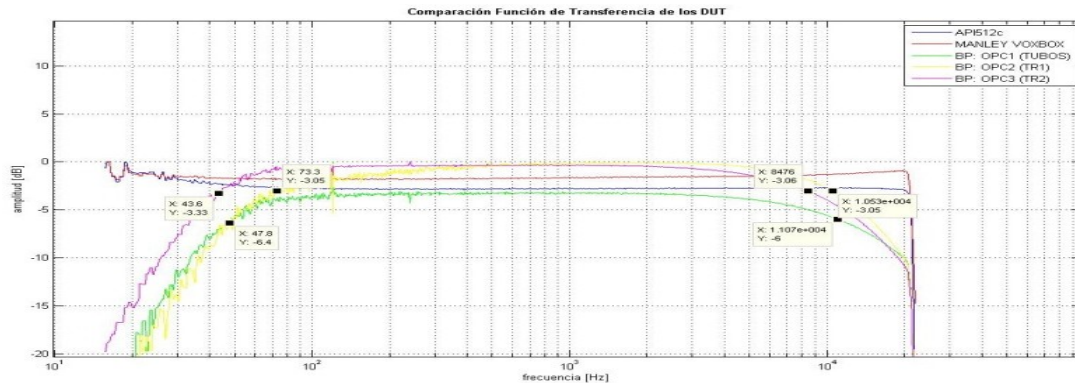


Fig. 5. Función de Transferencia de los DUT. Amplitud [dB] vs Frecuencia [Hz]

El pre-amplificador API 512c (Azul), muestra un comportamiento plano desde los 70Hz hasta los 20KHz (hasta donde permite analizar la frecuencia de muestreo). Se puede observar también que se presenta un incremento en bajas frecuencias de 70Hz hacia abajo. En el caso del Manley Voxbox (Rojo), la respuesta es plana desde los 20Hz (descartando el rizado ocasionado por la respuesta del software), hasta los 4KHz y de ahí en adelante empieza a haber un incremento en altas frecuencias hasta los 20KHz. El banco de pre-amplificadores presenta para sus tres configuraciones un rizado en bajas frecuencias que se extiende hasta los 300Hz ocasionado por la fuente de alimentación. La primera configuración del banco de pre-amplificadores (Tubos-verde), presenta una respuesta plana que va desde los 47Hz hasta los 10KHz y de ahí en adelante hay un decremento en la amplitud. La segunda configuración (Transformador 1- amarillo), presenta una respuesta plana a partir de los 73Hz hasta los 10KHz y posterior a esto decae de manera similar a la configuración uno. La tercera configuración (Transformador 2- magenta), responde de manera plana partiendo de los 43Hz hasta los 8.5KHz y de ahí en adelante empieza a decaer. Para hacer posible la comparación entre las fases de cada DUT, se realizó primero la exclusión de la fase inicial del sistema de medición efectuando una resta entre las fases de cada DUT y la fase del sistema de medición con el fin de encontrar la respuesta en fase de cada dispositivo y así obtener la comparación de la Fig. 6.

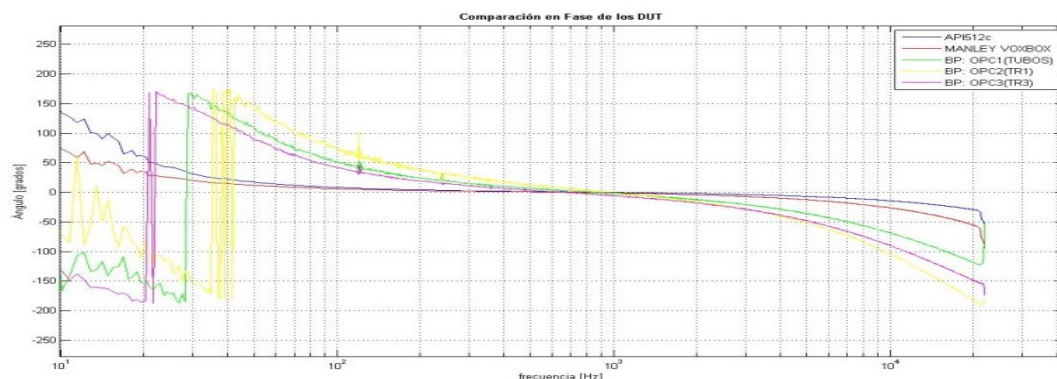


Fig. 6. Respuesta en fase de los DUT, Ángulo [Grados] vs Frecuencia [Hz]

El comportamiento del pre-amplificador API (Azul) y el Manley (Rojo), es lineal entre 20Hz-20KHz, sin embargo en las bajas frecuencias se observa que hay mayor linealidad en el API y para las frecuencias altas ocurre lo contrario, donde el API se comporta más plano que el Manley, partiendo de los 12KHz. Las configuraciones del banco de pruebas, tienen un

comportamiento similar entre sí. La curva de fase no presenta el comportamiento lineal de los dos dispositivos anteriores (API y Manley), el corrimiento máximo de fase (180 grados) se encuentra en 30Hz para la primera configuración, en 40Hz para la segunda y en 20Hz para la tercera. A partir de los 2KHz, el de mayor corrimiento en la fase es la segunda configuración del BP seguido de la opción tres y por último la opción uno.

THD –Análisis de Fourier-

Para analizar los resultados obtenidos en esta medición y poder comparar la distorsión armónica de todos los DUT, se consideraron los diez primeros armónicos y se determinó la amplitud relativa a la frecuencia fundamental para cada uno de los dispositivos, buscando determinar qué tan presente está cada armónico. La tabla 1, relaciona los niveles en dB de cada armónico (2-10) con cada uno de los dispositivos:

Se halla la diferencia del nivel de cada armónico con respecto al nivel de la frecuencia fundamental, obteniendo los resultados de la Fig. 7.

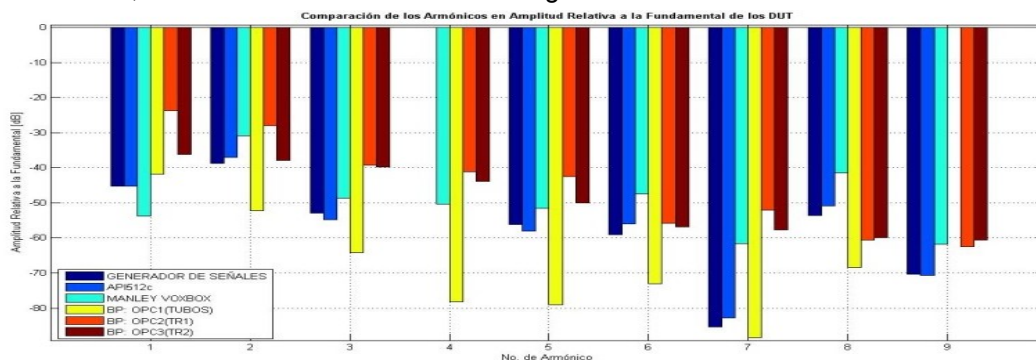


Fig. 7. Comparación de los armónicos en Amplitud Relativa a la Fundamental de los DUT, No. de Armónico Vs Amplitud Relativa a la Fundamental [dB]

En la Fig. 7, los armónicos que se acercan a -100dB son los que poseen menor presencia en el análisis de Fourier. El azul más oscuro representa los armónicos del generador implementado para la medición y azul más claro los del Api 512c. Como se observa, los armónicos del Api son bastante similares a los del generador y están presentes casi al mismo nivel, permitiendo inferir que este primer DUT es bastante limpio y no aporta a la señal un contenido armónico muy distinto a sus propiedades originales. En cuanto a los otros dispositivos, se puede observar que la presencia de armónicos difiere del generador, esto quiere decir que sí imprimen en la señal un contenido armónico diferente a sus características iniciales. Se ve por ejemplo que en el primer armónico, el DUT que posee mayor presencia es el BP en la configuración TR1; aproximadamente a 10dB de diferencia se encuentra el BP en la configuración TR2, seguido por el BP en la configuración Tubos y se observa que el Manley posee una presencia en este armónico incluso menor que la del generador. En el segundo armónico, el de mayor presencia es de nuevo el BP-TR1 pero esta vez de menor nivel que en el armónico anterior, el BP-TR2 se presenta casi al mismo nivel que en el primer armónico y Manley aparece más presente que el generador. El BP-Tubos se encuentra en cambio menos presente que el Api y el generador. El tercer armónico cuenta con una menor presencia de todos los DUT y del generador. El BP-TR1 se encuentra casi al mismo nivel que el BP-TR2 los cuales están por encima de los demás dispositivos y el BP-Tubos es el de menor presencia. En el cuarto armónico, no hay presencia del Api. El BP-TR1 es el más presente y el BP-Tubos el menos presente. En el quinto armónico vuelve a haber presencia del API (y del generador) y se repite el siguiente orden del más presente al menos presente: BP-TR1, BP-TR2, Manley, API y BP-Tubos. En el sexto armónico aparece como el Manley como el más presente y el BP-Tubos como el menos; en el séptimo armónico el BP-TR1 vuelve a ser el más presente, seguido por el BP-TR2 y el BP-Tubos es de nuevo el de menor presencia. En el octavo armónico el Manley es el más presente, seguido por el Api y posteriormente por el BP-TR2, el BP-Tubos es el menos presente. El noveno armónico cuenta con mayor presencia del BP-TR2, seguido por el Manley

posteriormente por el BP-TR1, luego el API y finalmente el BP-Tubos que posee un nivel por debajo de los -100dB.

Análisis de parámetros subjetivos

Partiendo de los datos obtenidos en las encuestas (estos datos son de uso de los investigadores según el consentimiento informado a los encuestados, por lo tanto solo los investigadores tienen acceso a esta tabulación), se calcula el promedio aritmético de cada parámetro evaluado, y se calcula también la covarianza y la correlación entre ambos parámetros para determinar qué tanto se relacionan entre ellos. En la mayoría de los casos la correlación se presenta por encima de 0.5 tanto hacia el lado de una correlación positiva indicando una relación de pendiente positiva entre ambas variables (Calidez/Brillo y Calidad), como hacia el lado negativo que indica una pendiente negativa en la relación de ambas. Los datos recolectados muestran que en el parámetro de calidez y brillo hay resultados similares para los cuatro ingenieros entrevistados y que coincidieron en cuál es pre-amplificador más brillante y cuál el más cálido. Es decir que determinando el promedio entre las apreciaciones realizadas para la voz y la guitarra, es posible ordenar los pre-amplificadores testeados del más cálido al más brillante como se muestra en la tabla 1.

Tabla 1. Promedio Calidez/Brillo de los DUT, del más cálido al más brillante

	DUT	PROMEDIO
Cálido	BP-TR2	1,63
	BP-TR1	1,88
	BP-Tube	2,00
	Manley	2,75
Brillante	API	3,25

En cuanto a la calidad, los ingenieros admiten que lo que algunos prefieren, está basado elementos como las necesidades de la composición musical, el color de la voz del intérprete, el tipo de distorsión en la guitarra del sólo, entre otros. Las apreciaciones sobre el pre-amplificador API, permiten concluir que su marcada presencia en las Ss, no es muy favorable para la voz. El exceso de brillo hace que la muestra pierda naturalidad y fue puntuada por los cuatro ingenieros como la de menor preferencia para este instrumento. En cuanto a la guitarra, ocurrió algo similar y obtuvo también el promedio más bajo en el parámetro de calidad.

En general, el pre-amplificador Manley fue el preferido para la voz con relación al promedio, sin embargo no fue elegido por todos como el mejor. Los criterios que llevan a preferir una grabación más que otra, están relacionados con elementos como la naturalidad del sonido como lo afirma el ingeniero William Romo. Las grabaciones 3,4 y 5 correspondientes al BP en sus respectivas configuraciones, están calificadas como las de mayor calidez. Lo dicho por los ingenieros delata que una coloración que puede favorecer a un instrumento, puede no ser tan necesaria en el otro y que las características propias del pre-amplificador puede que aporten a cierta señal como afirma En cuanto a promedio aritmético, el preferido para la guitarra fue el BP-TR2 correspondiente a la grabación 4, revelando que a pesar de analizar las señales a través de los mismos dispositivos, para un instrumento se puede ajustar mejor uno y para el otro instrumento algo distinto siempre buscando que suene musical y favorezca a la composición.

Conclusiones

El hecho de que el DUT1 (API512c) haya sido considerado el más brillante, está relacionado con que este dispositivo presenta una respuesta en frecuencia plana en el rango audible como se observa en la fig. 7 y su comportamiento en los nueve primeros armónicos, corresponde a la distorsión de la señal entrante (generador de señales) como se observa en la fig. 7, lo que indica que este DUT es el que la conserva con mayor fidelidad con una diferencia no mayor de 3dB en cada armónico. En cuanto al DUT2 (Manley Voxbox), el ingeniero Francisco Castro afirmó que “se escucha no solo bonito, sino como musical, abierto, es como debería sonar la música, grande, tapada de armónicos”. Esta afirmación coincide con la contribución de este DUT en los nueve primeros armónicos analizados, donde se observa (fig. 7) que hay mayor presencia en comparación con el nivel de los armónicos de la fuente (generador de señales) y con su respuesta en frecuencia que presenta un realce a partir de los 12KHz como revela la fig. 7. El DUT 3 en su primera configuración (BP-Tubos), fue percibido como cálido con un promedio de 2.00 que se puede asociar con la caída que presenta en su respuesta en frecuencia después de los 11KHz, sumada a la presencia de nivel en los ocho primeros armónicos (fig. 7). Esta configuración del BP, fue percibida como natural por el ingeniero William Romo. Esta naturalidad se asocia con que a pesar de que hay presencia de amplitud en todos los armónicos analizados, esta es de menor nivel con respecto a las otras configuraciones del DUT3 y al DUT1 y 2 como indica la fig. 7. La segunda configuración del BP (BP-TR1), DUT 4, fue calificada como cálido con un promedio de 1.88 que se relaciona con la respuesta en frecuencia que presenta un decremento a partir de los 10KHz. Su contribución en los cinco primeros armónicos es la más elevada con respecto a los demás dispositivos analizados y esto se refleja en los resultados de calidad obtenidos en la muestra de expertos ya que la grabación 4 fue elegida como la menos favorita con un promedio de 2,75, mientras que en la guitarra obtuvo un promedio de 4, que la convierte en la preferida por encima de las otras grabaciones. Es posible deducir entonces que como la muestra de la guitarra presentaba distorsión de amplificador, la fuerte presencia de los armónicos mencionados favoreció al instrumento. En cambio, en la voz ocurrió lo contrario debido a que la fuente debe preservarse limpia en términos de distorsión. El DUT 5, la tercera configuración del BP (BP-TR2), fue calificada como la de mayor calidez con un promedio de 1,63 que se relaciona con el corte en su respuesta en frecuencia a partir de los 8.5KHz, la cual se encuentra por debajo de los cortes en altas frecuencias de las dos primeras configuraciones. Es decir, que entre más abajo se presentó el corte, el DUT fue considerado de mayor calidez. En general se puede afirmar que los parámetros subjetivos de calidez y brillo responden a una combinación entre la respuesta en frecuencia del dispositivo y su contribución en los armónicos, relacionando los aspectos electrónicos del circuito con lo que se percibe auditivamente en la señal procesada. No se descarta la posibilidad de que estén también asociados a otros parámetros electrónicos como la respuesta al transiente. Después de analizar todos los parámetros mencionados, Es posible resaltar que los dispositivos que emplean válvulas al vacío en su circuito de amplificación, sí se perciben como cálidos y presentan una contribución particular en los armónicos que no es propia de la señal de entrada y difiere en gran medida de las contribuciones del pre-amplificador de transistores analizado.

Referencias

- Barbour, E. (1998). The Cool Sound of Tubes. IEE SPECTRUM.
- Dobrucki, A., Maleczek, S., & Maurycy, K. (2005). Subjective and Objective Evaluation of The Audio Vacuum Tube Amplifiers. AES Convention Papes 7806.
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (1998). Metodología de la Investigación.
- McCarthy, B. (2007). Sound Systems Design and Optimization. Focal Press.
- (2005). En J. L. Devore, Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias. THOMSON.
- Menno van der Veen. UNIVERSAL SYSTEM AND OUTPUT TRANSFORMER FOR VALVE AMPLIFIERS. Presented at the 118th AES Convention 2005 May 28–31 Barcelona, Spain.
- Lidia W. Lee and Earl R. Geddes. (2003). Auditory Perception of Nonlinear Distortion. AES 115th Convention 2003 October 10–13 New York, New York.