

DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UNA CADENA DE INSTRUMENTACION ELECTROACUSTICA PARA LA MEDICION DE LA RESPUESTA AL IMPULSO DE RECINTOS SEGÚN NORMA ISO 3382

Sebastián P. Ferreyra^a, Patricio B. Esquinas^a,
Ignacio Orecchia^a, Martín Elías^a

^a Centro de Investigación y Transferencia en Acústica (CINTRA), Unidad Asociada del CONICET, Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Córdoba, Maestro M. López esq. Cruz Roja Argentina, Ciudad Universitaria, X5016ZAA Córdoba, Argentina. sferreyra@scdt.frc.utn.edu.ar, patriciobernardoesquinas@hotmail.com, norecchia@hotmail.com, elias_josemartin@hotmail.com
<http://www.investigacion.frc.utn.edu.ar/cintra>

Palabras clave: Deconvolución, Clase D, Respuesta Impulsiva, Parámetros Acústicos, MLS

Resumen. En la actualidad existen varios métodos de medición de la respuesta impulsiva de recintos (RIR: Room Impulse Response) La norma ISO 3382, plantea dos métodos el directo, a través de impulsos producidos por disparos de pistola, etc. y el indirecto, utilizando diferentes señales continuas de excitación y posterior procesamiento digital de señales de las respuestas (deconvolución). Cada uno de ellos, posee conocidas ventajas y desventajas. Sin embargo, el método indirecto es en la actualidad el más utilizado, debido a la alta inmunidad a ruidos y a la mayor relación señal ruido que posee. Por otra parte, la norma solo hace referencia a algunas especificaciones técnicas vinculadas a la cadena de instrumentación, como es el caso de la directividad de la fuente sonora y de micrófonos utilizados para la medición de algunos parámetros acústicos en particular. Actualmente, no se encuentran estandarizadas las especificaciones técnicas generales de la o las cadenas de instrumentación posibles para dicha medición, quedando a criterio del especialista responsable del estudio decisiones como: el método de medición, la evaluación de distorsiones introducidas por el sistema de medición, la resolución, etc. Más aún, en la última década, se demostró que existen diferencias significativas en algunos parámetros acústicos calculados a partir de RIR medidas por diferentes métodos.

En este trabajo se presenta el diseño de una cadena de instrumentación optimizada para minimizar distorsiones introducidas por los componentes del sistema. Esta compuesta de: una fuente sonora omnidireccional, un amplificador de potencia de medición, una cabeza y torso artificial (HATS), micrófonos, preamplificadores, software y hardware de adquisición de datos digital. En particular se pone especial énfasis en el diseño y desarrollo de un amplificador de medición Clase D de potencia de audio (MAPA: Measurement Audio Power Amplifier), con las siguientes características: alta eficiencia, baja distorsión, gran ancho de banda, transportable, bajo peso y costo.

1 INTRODUCCIÓN

Los pioneros trabajos científicos realizados por R. Heyser, M. Schröder, A. Berkhout, N. Aoshima, J. Borish, J. Vanderkoy, W. Chu, M. Poletti, A. Farina, y S. Müller entre otros durante estos últimos 50 años, permitieron que métodos y técnicas de medición aplicados a acústica de salas evolucionen cuantitativa y cualitativamente. Al mismo tiempo, una gran cantidad de nuevos indicadores objetivos como G, IACC, LF, ST, etc. se sumaron a los ya reconocidos T_{60} , EDT, Ts, C, D y STI, estableciendo vínculos con aspectos subjetivos de la audición humana (Beranek, 1996; Barron 2005). Sin embargo, no existió ningún estándar de medición hasta 1975, año en que se publicó la primera versión de la norma ISO 3382, “*Acoustics - Measurement of reverberation time in auditoria*” (ISO 3382:1975), con mención exclusiva al tiempo de reverberación, concepto introducido por el Prof. Wallace Sabine a principios de 1900. Luego de un extenso intervalo mayor a 20 años, se publicó la segunda versión de la norma, “*Acoustics - Measurement of reverberation time of rooms with reference to other acoustical parameters* (ISO 3382:1997) que especificó diferentes métodos de medición como: la interrupción de ruido estacionario, la integración inversa del cuadrado de la RI obtenida a partir de señales de excitación impulsivas (disparos de pistola, ráfagas de ruido, etc.) y la correlación cruzada de repuestas con señales de excitación determinísticas, como series binarias de máxima longitud (MLS) y barridos lineales de frecuencia. Además, definió en anexos A y B, parámetros acústicos monoaurales y binaurales; especificó condiciones generales para las mediciones, características de fuentes y micrófonos, promedios espaciales e incertidumbre de la medición entre otros.

Durante los últimos 15 años, numerosas investigaciones demostraron que existen significativas discrepancias en algunos indicadores según el método y técnica de medición empleado (Vorländer, 1994, Ferreyra 2006). Además, la segunda versión de la norma recibió numerosas críticas por no adaptarse a diferentes tipos de recintos y por poseer escasas especificaciones técnicas sobre procedimientos de medición para casos particulares. A fines de 2008, se aprobó la tercera versión de la norma ISO 3382 denominada “*Acoustics – Measurements of room acoustics parameters*”, la cual está dividida en tres secciones: *Part 1: Performance spaces*, con tres anexos A, B y C (ISO 3382-1:2009). *Part 2: Reverberation time in ordinary rooms*, con tres anexos A, B y C (ISO 3382-2:2008). *Part 3: Open plan spaces*” (ISO/CD 3382-3), en desarrollo.

Actualmente, las mediciones sobre acústica de salas pueden ser realizadas utilizando una gran variedad de completos sistemas de medición, compuestos por equipos y software’s especializados para esta aplicación, que cumplen con los requerimientos especificados en la norma. Las nuevas tecnologías electrónicas digitales y analógicas han permitido optimizar numerosos equipos y dispositivos que componen la cadena de medición, mejorando características como resolución, relación señal ruido, respuesta en frecuencia e inmunidad a ruidos entre otros.

El objetivo del presente trabajo es el diseño y construcción de una cadena de instrumentación electroacústica para la medición de la RIR según ISO 3382, optimizada para minimizar distorsiones introducidas por los componentes del sistema.

El trabajo está organizado de la siguiente manera. En el punto 2 se presenta el sistema de medición, su diseño y principales características; en el punto 3 el diseño y desarrollo de un amplificador de potencia de audio de medición (MAPA) clase D, de alta eficiencia, bajo peso, gran ancho de banda y baja distorsión; en el punto 4 mediciones acústicas realizadas con el sistema desarrollado y en el punto 5 conclusiones junto al trabajo a futuro.

2 SISTEMA DE MEDIÓN, DISEÑO Y CARACTERÍSTICAS

El criterio de diseño consideró implementar un sistema electroacústico versátil, fácilmente transportable que permita la medición de RIR monoaurales y binaurales, obtenidas por el método indirecto y directo, según ISO 3382. El sistema de medición está formado por los equipos y dispositivos detallados en la Tabla 1, y presentados en la figura 1, algunos de ellos desarrollados por los autores específicamente para esta aplicación y otros fabricados por firmas internacionales líderes en la industria de sonido y vibraciones.

Equipo/Instrumento	Marca/Modelo
Placa de adquisición de sonido (44.1, 48 kHz, 16, 20 bits, full dúplex)	Realtek, HD Audio
Software de acústica de salas	Brüel & Kjær, type 7841 (Dirac v3.0) Aurora 3.1
Micrófono electrostático omnidireccional	Brüel & Kjær, type 4133
Pre-amplificador para micrófono, 200V	Brüel & Kjær, type 2804
Cabeza y Torso Artificial (HATS)	Brüel & Kjær, type 4128
Amplificador de audio de potencia de medición (MAPA), Clase D	Cintra, MAPA, D-ACL (diseño y desarrollo)
Consola de mezcla 12 CH	Behringer, Eurorack UB-1204 FX-PRO
Fuente sonora omnidireccional (OSS)	Cintra, dodecaedro (diseño y desarrollo)
PC Notebook	CPU Intel Core2 Duo, 2 Ghz, 2 GB RAM
Cableado para señales bal/unbal	Proel, AWG, Brüel & Kjær
Conectores	Neutrik, Speakon, XLR, TRS
Auriculares	Beyer dynamics
Distanciómetro Laser	Leica, D5

Tabla 1: Componentes de la cadena de instrumentación electroacústica para la medición de la respuesta al impulso de recintos

Cuando se utiliza el método indirecto para la obtención de la RIR, ambos software's implementados en el sistema permiten la utilización de dos tipos de señales determinísticas: barrido de frecuencias y serie de máxima longitud (mls). Los barridos de frecuencia, a su vez, pueden ser: lineales (lsw) y exponenciales (esw). Básicamente, los barridos de frecuencias son señales senoidales cuya frecuencia varía de manera continua en todo el rango de interés. Si esta variación se realiza a un ritmo constante el barrido se denomina lineal (lsw) (Berkhout, 1980); si el barrido varía según una ley logarítmica, se denomina exponencial (Farina A., 2000). La reconstrucción de la respuesta impulsiva de un sistema LTI excitado con una señal de barrido, se obtiene por la convolución de la señal de salida con el filtro inverso de la señal de excitación (deconvolución), según ecuación (1):

$$h(t) = y(t) * 1/x(t) \quad (1)$$

Las series de máxima longitud (mls) son secuencias discretas de ceros y unos (binarias) que tiene la propiedad de ser periódicas y su espectro continuo; de igual energía en todo el rango de frecuencias de interés. La respuesta impulsiva de un sistema LTI alimentado con una señal mls, es igual a la correlación cruzada periódica entre la señal de salida y la secuencia mls.



Figura 1: Fotografía de la cadena de instrumentación electroacústica para la medición de la respuesta al impulso de recintos (RIR) y cálculo de parámetros acústicos según norma ISO 3382

Tanto la señal mls como la esw y lsw, pueden producir, según la existencia de no linealidades en el sistema, distorsiones al momento de obtener la RIR, estas distorsiones ocurren en diferentes instantes de tiempo en la RIR. La técnica de barrido no solo es más inmune a perturbaciones, si no que al aplicar la deconvolución de las señales se obtiene una RIR con distorsión que puede ser eliminada. La gran ventaja de los barridos radica en que las no linealidades del sistema de medición que produce los productos de distorsión, pueden ser separados de la parte lineal de la RIR (Farina, A., 2000). Los productos de distorsión, de 2^{do}, 3^{er}, 4^{to}, etc. orden aparecen antes de la RIR cuando el tiempo de barrido es suficientemente mayor comparado con la duración de la RIR medida. (Ciric, D., 2007). Cada producto de distorsión no lineal está localizado a la distancia $\Delta\tau$ según ecuación (2):

$$\Delta\tau = T \frac{\ln \left(\frac{N}{\omega_2} \right)}{\ln \left(\frac{\omega_2}{\omega_1} \right)} \quad (2)$$

donde: T es la duración del esw o lsw, ω_1 y ω_2 son los números de onda y N es el numero de la distorsión (Tronchin, L., et. al., 2007).

La relación señal ruido eléctrica (SNR) del sistema está definida por la totalidad de la cadena de medición, considerando el piso de ruido del micrófono o HATS, mas el ruido de fondo de los preamplificadores, consola de mezcla, conversor analógico/digital (ADC) y fuentes de alimentación del sistema. Por tal motivo, se seleccionaron dispositivos y transductores de muy bajo ruido.

Para la realización de mediciones de respuestas impulsivas monoaurales se seleccionó un micrófono omnidireccional de campo libre y muy bajo ruido como el B&K 4133. Mientras que para las biauerales, se seleccionó una cabeza y torso artificial de la firma B&K 4128, que cumple con la norma IEC 60318-4/ITU-T Rec.P.57Type3.3, la cual, establece la correcta reproducción de las características promedio de la cabeza y torso de un ser humano adulto. Tanto el HATS como el 4133, son alimentados por una fuente de polarización de 200 V dual, de la firma B&K 2804, de muy bajo ruido. Las señales de audio que entregan estos

dispositivos son aplicadas a una consola de mezcla con pre-amplificadores de muy bajo ruido, clase A de la firma Behringer, para posteriormente ser igualadas en nivel y ser inyectadas a la placa de adquisición de datos a través del ADC que las convierte en formato .WAV (digital) con una resolución de 16 bits o 20 bits y una frecuencia de muestreo (fs) de 44.1 o 48.0 kHz. Ambos software's definidos en la Tabla 1, operan en configuración full dúplex, por lo cual puede utilizarse una única placa de adquisición de sonido doble canal. Sin embargo, para disminuir la interferencia por cruce de canales (cross talk), se implemento también la utilización de dos placas independientes de iguales características. Una operando como entrada y otra como salida. La señal de salida analógica que entrega el conversor digital analógico (DAC) de la PC, es inyectada posteriormente en el amplificador de audio de potencia de medición (MAPA) de desarrollo propio, el cual será analizado en detalle en la sección siguiente. Finalmente, la señal amplificada es aplicada a la fuente sonora omnidireccional (OSS: Omnidirectional Sound Source) que produce un campo sonoro homogéneo e isotrópico para el rango de frecuencias que establece la norma ISO 3382. La OSS, es una caja acústica tipo closed-box, tipo dodecaedro construida con fenólico de abedul de 19 mm. Posee dos canales, uno vertical (CH-V) y otro horizontal (CH-H), que permiten variar la configuración de directividad de la fuente según la aplicación. Su respuesta en frecuencia es de 76 Hz a 8600 Hz, ref. - 6 dB_{SPL} y produce un nivel de presión sonora máximo de 110 dB_{SPL}, ref 1 m, para ruido rosa de 20 Hz a 20 kHz (Ferreyra, et al, 2009).

3 AMPLIFICADOR DE AUDIO DE POTENCIA DE MEDICION (MAPA)

El amplificador de potencia de audio de medición (MAPA: Measurement Audio Power Amplifier), ver figura 2, es un procesador de audio de banda ancha. Está considerado dentro del grupo de instrumentos de “medición” por cuatro características principales: ancho de banda (BW: Bandwidth), distorsión armónica total más ruido (THD+N: Total Harmonic Distortion plus Noise), relación señal ruido (SNR: Signal to Noise Ratio) y fuente de alimentación (PS: Power Supply). El MAPA posee un muy amplio BW, el cual supera el rango audible, extendiéndose en el rango de infrasonidos hasta 1 Hz, y en el de ultrasonidos hasta 50 kHz, para puntos de corte de ± 3 dB, lo que permite ampliar su campo de aplicación como amplificador para fuentes de infrasonido, ultrasonido y vibraciones. Por otra parte, posee una THD+N de 0,1 %, para 1kHz, 340 W_{RMS}, 4 Ω . La SNR alcanza los 100 dB, para un nivel de referencia de +4 dBu (1.22 V) y un BW: 20 kHz (Ferreyra, et al, 2009).



a)



b)

Figura 2: Fotografías del MAPA, gabinete de aluminio y chapa, formato Rack de 19”
a) vista superior exterior, b) vista superior interior

Ha sido diseñado particularmente para acondicionar las señales de excitación utilizadas para la medición de la RIR según norma ISO 3382, de manera tal que puedan ser aplicadas a la fuente sonora omnidireccional (OSS: Omnidirectional Sound Source) desarrollada para dicho estudio. El acondicionamiento consiste en amplificar la señal de excitación con el mínimo de distorsión posible, según los requerimientos de la OSS.

Para optimizar sus prestaciones el MAPA posee una fuente de alimentación de potencia conmutada (SMPS: Switched Mode Power Supply) estabilizada, la cual mantiene constante la tensión de alimentación $\pm V_{cc}$ en 50 V, para distintos requerimientos de carga. De esta forma, se asegura que la tensión de alimentación se mantiene constante incluso cuando la carga demanda grandes cantidades de energía en periodos muy cortos de tiempo. Por otra parte, también posee filtros para controlar la interferencia electromagnética (EMI: Electromagnetic Interference) entre sus distintas etapas internas, de entrada y salida. Por último para mejorar características como confiabilidad y robustez, se implementaron circuitos de protección por: sobre tensión (OVP: Overvoltage Protection), sobre corriente (OCP: Overcurrent Protection) y corriente continua en la salida (DCP: Direct Current Protection) (Ferreyra, et al, 2009).

Funcionalmente, el MAPA está formado por tres bloques principales: la etapa de amplificación de potencia (APS: Amplifier Power Stage), la fuente de alimentación de potencia (SMPS) y la fuente secundaria de alimentación y circuito de protección (SPS&PC: Secondary Power Source & Protect Circuits), ver figura 3.

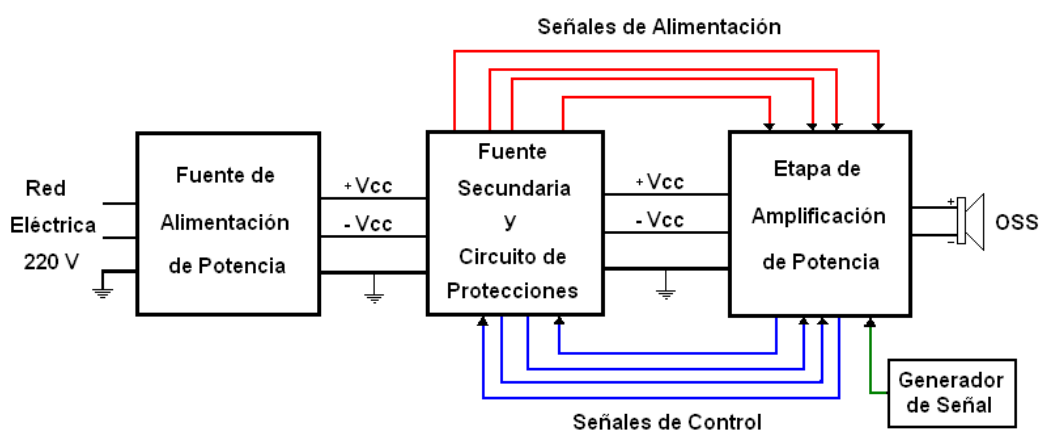


Figura 3: Diagrama de bloques del MAPA, composición general

La etapa amplificadora de potencia del MAPA es Clase D, en topología lazo cerrado analógico (ACL: Analog Closed Loop) con realimentación Pre-LPF (Putzeys B., 2005).

En la figura 4 a, se aprecia el panel frontal del MAPA. A la izquierda, se encuentra el puerto de entrada de la unidad, tipo balanceado y desbalanceado, el cual posee múltiples formatos de entrada, BNC, TRS y XLR, para facilitar su conexión. A la derecha, se encuentra el puerto de salida de la unidad, polarizado (+ y -), el cual posee dos formatos, Speakon de 4 polos conectado en +1/-1 y TS 6,5, para facilitar su interconexión. Finalmente, en el centro del equipo se ubica el control de volumen (atenuador de entrada, logarítmico), el interruptor bipolar general de energía con lámpara interior, el pulsador de encendido suave sincronizado y los indicadores luminosos (LED's) para ACTIVE, SIGNAL, PROTECT y CLIP.



a)



b)

Figura 4: MAPA, a) panel frontal; b) panel posterior

En la figura 4 b se observa el panel posterior de la unidad, este cuenta únicamente con, la toma de alimentación para 250 V, 50 Hz con puesta a tierra y el interruptor del extractor (COOLER) de aire de bajo ruido. Este último, permite al usuario apagar el extractor en forma independiente cuando se necesita utilizar el MAPA para mediciones en ambientes de muy bajo nivel de ruido de fondo acústico.

A continuación se listan las principales especificaciones técnicas del MAPA:

- *Modelo:* D-ACL
- *Clase:* D
- *Topología APS:* Lazo cerrado analógico (ACL), con realimentación Pre-LPF
- *Topología Etapa de Salida:* Medio Puente (Half Bridge), Power MOSFET
- *Modulador:* Auto-oscilante, Modulador Sigma-Delta de 2º Orden
- *Frecuencia de Conmutación:* 350 kHz, sin señal de entrada
- *Filtro de Salida:* Pasivo, Tipo Butterworth, 2º orden LC
- *Respuesta en Frecuencia:* 1 Hz a 50 kHz, ± 3 dB, ref, 1 kHz.
- *Relaciones de potencia de salida:* $324 W_{RMS}$, 4Ω , 0.1 % THD+N
- *Impedancia mínima de carga:* 4Ω
- *Relación Señal Ruido:* >100 dB, Bw: 20 kHz. (a confirmar con filtro AES-17, LPF)
- *Protecciones:* sobretensión (OVP), sobrecorriente (OCP), Corriente Continua (DCP)
- *Tipo de Fuente de Alimentación de Potencia:* Conmutada (SMPS), $\pm 50V$, 5A, 90 kHz
- *Topología Fuente de Alimentación de Potencia:* Medio Puente (Half Bridge)
- *Tipo de Conexión:* Panel Frontal (Front Panel)
- *Tipo de Señal de Entrada:* Balanceada y Desbalanceada (balanced/unbalanced)
- *Impedancia de Entrada:* $3,3 k\Omega$
- *Conectores Señal de Entrada:* 1 XLR hembra, 2 Jack 6,5 H (TS), 1 BNC Macho
- *Conectores Señal de Salida:* 1 Speakon 4 polos p/chasis H., 1 Jack 6,5 H. (TS)
- *Tipo de Gabinete:* Aluminio y chapa, para rack 19", frente y posterior laminado.
- *Indicadores Luminosos LED:* Active (Azul), Signal Presence (Verde), Protect (Amarillo), Clip (rojo) -1.5 dB del clipping real.
- *Cooler:* 220V, rúleman (80 mm de diámetro), switch independiente en back panel.
- *Dimensiones:* 483 mm x 240 mm x 100 mm
- *Peso:* 4,580 Kg

4 MEDICIONES ACÚSTICAS DE RIR

En la figura 5 a, se presenta un grafico Energía-Tiempo-Frecuencia, de una RIR monoaural medida con la cadena de instrumentación desarrollada, en un aula de la Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Córdoba (UTN, FRC). Mientras que en la figura 5 b, se aprecia una fotografía tomada durante los ensayos de calibración del sistema utilizando señales tipo MLS.

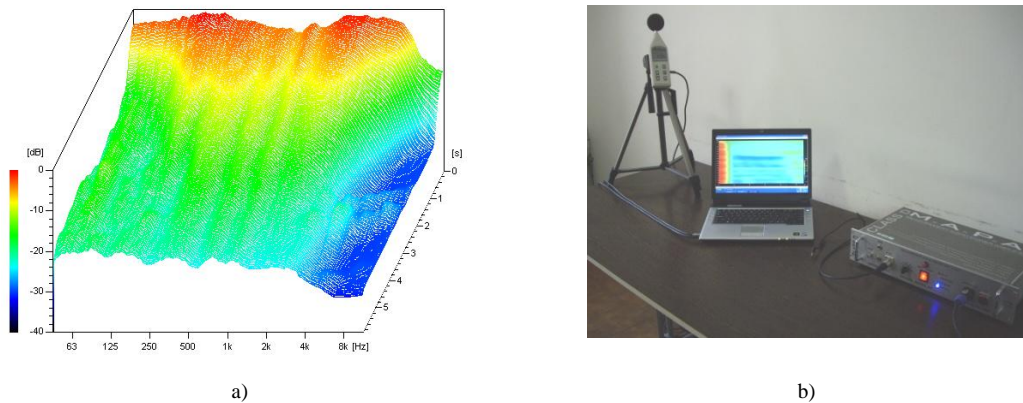


Figura 5: Mediciones, a) MRIR generada con Dirac 3.0 b) Fotografía durante calibración del sistema

5 CONCLUSIONES Y TRABAJO A FUTURO

A continuación se presentan las conclusiones del trabajo abordadas de la siguiente manera. En primer lugar, las referidas a la sistema de medición. En segundo lugar, las referidas al diseño y construcción del MAPA y por último al diseño y construcción de la OSS.

5.1 Cadena de Instrumentación Electroacústica para la Medición de la RIR

- Se diseñó y desarrolló una cadena de instrumentación electroacústica para la medición de la RIR y cálculo de parámetros especificados en la norma ISO 3382. Los ensayos de verificación final de la cadena fueron realizados en la cámara semi-anechoica del CINTRA, UTN, FRC, donde se midió una relación impulso a ruido (*INR: Impulse Noise Ratio*) superior a 55 dB para un ancho de banda definido entre 63Hz y 8000 Hz y un ruido de fondo acústico de 18 dBA. Cabe destacar que, la INR lograda fue 10 dB superior que la obtenida con el amplificador de medición Type 4224 de la firma Brüel and Kjaer utilizado anteriormente para tal fin.
- Se evidenció que el piso de ruido (noise floor) de la cadena de instrumentación quedó definido por las características de la placa digital de adquisición de sonido (16 bits, 48.000 Hz). La que fue utilizada en configuración full dúplex, para la generación y captura de las señales, midiendo un cruce de canales (cross talk) de 70 dB.

5.2 Amplificador de Potencia de Audio de Medición (MAPA)

- Se diseñó y construyó un amplificador de medición que superó las especificaciones de diseño, logrando un gran ancho de banda (1 Hz a 50 kHz, ± 3 dB ref 1kHz.), un gran manejo de potencia (324 W_{RMS} , 4 Ω , 0,1% THD+N), alta eficiencia (> 90%, full power), alta SNR, (>100 dB, para un nivel de referencia de +4 dBu (1.22 V), BW: 20

kHz y muy reducido peso (4.580 Kg). Una tarea de optimización a futuro, plantea la reducción del tamaño a una U de rack (44 mm de altura).

- b) Los tres circuitos de protección (*OCP*, *OVP*, *DCP*) implementados evitaron que se dañe tanto la APS como también la SMPS. Al mismo tiempo, el diseño de SMPS estabilizada asegura, que no existiesen variaciones de tensión durante grandes requerimientos de energía de la carga.
- c) Los blindajes implementados para controlar la EMI producida por la APS y la SMPS, permitieron que no existiesen perturbaciones sobre otros equipos eléctricos y electrónicos próximos. Lo cual, se evidenció durante las mediciones de piso de ruido de la cadena de instrumentación. Una actividad a futuro considera realizar los ensayos de EMC recomendados por la Comisión Electromagnética Internacional (IEC) según Informe Técnico 61000-1-1.
- d) El desafío de implementar el MAPA utilizando SMT (Surface Mounting Technology), según la investigación realizada preliminarmente basada en papers y notas de aplicación, se vio afectado por los tiempos de provisión y reposición de dispositivos electrónicos, sumado al alto costo de los mismos. Motivo por el cual, se tuvo que desarrollar también un prototipo en THT (Trough Hole Technology), acorde a los dispositivos disponibles en plaza, que redujo notablemente los costos.

5.3 Fuente Sonora Omnidireccional (OSS)

- a) Se diseñó y construyó una fuente sonora omnidireccional en una sola caja acústica cumpliendo lo establecido en la Norma ISO 3382, que permite realizar mediciones para un espectro de frecuencias comprendido entre 63 Hz a 8000 Hz.
- b) Se obtuvo un prototipo de bajo costo y peso, fácilmente transportable. Por las características logradas, la OSS puede ser aplicada a otras normas como ISO 140 e ISO 18233
- c) La OSS excitada con el MAPA permite generar altos nivel de presión sonora (108 dB_{SPL}, a 1 m, en campo libre) capaces de excitar grandes recintos para los tres tipos de señales determinísticas utilizadas en el estudio (mls, esw y lsw).

REFERENCIAS

- Aoshima, N., Computer-generated pulse signal applied for sound measurement, *Journal Acoustical Society of America*, pp. 1484, May 1981.
- Barron, M., Using the standard on objective measures for concert auditoria, ISO 3382, to give reliable results, *Acoustics Sci. & Tech*, v 26, 2, 2005
- Beranek, L., Acoustics and musical qualities, *Journal Acoustical Society of America*, 99:2647-2652, 1996a
- Berkhout D, and Boone M., A new method to acquire impulse responses in concert halls. *Journal Acoustical Society of America*, pp. 179, 1980
- Borish, J. and Angell, J., An efficient algorithm for measuring the impulse response using pseudo-random noise, *Journal Audio Engineering Society*, pp. 478, 1983
- Chu, W.T., Impulse response and reverberation decay measurements made by using a periodic pseudorandom sequence, *Applied Acoustics* 29, pp. 193-205, 1990
- Ciric, D., Comparison of influence of distortion in mls and sine swept technique. *Proceedings of 19th International Congress on Acoustics (ICA2007)*, Madrid, 2-7 September 2007
- Farina, A., Simultaneous measurements of impulse response and distortion with a swept-sine technique. *Proc. 108th Convention of Audio Engineering Society*, Paris, Francia, 2000

- Ferreira, S. P., Elías, M., Análisis comparativo de parámetros acústicos de recintos, utilizando diferentes técnicas de medición de la respuesta al impulso. *Procedimientos 5^{to} Congreso Iberoamericano de Acústica*. A032, Santiago de Chile, 25-28 de Octubre, 2006
- Ferreira, S. P., Esquinas, P.B., Orecchia I., Instrumentación electrónica para la medición de la Respuesta Impulsiva de Recintos y cálculo de parámetros acústicos de recintos según norma ISO 3382. *Proyecto Final de Grado (Tesis) Ingeniería Electrónica, Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Córdoba (UTN, FRC), Sponsor Centro de Investigación y Transferencia en Acústica (CINTRA)*, Julio de 2009.
- Heyser R., Acoustical measurements by time delay spectrometry, *Journal Audio Engineering Society*, pp 370, 1967.
- ISO 3382:1975 (E), Acoustics-Measurement of reverberation time in auditoria, 1975
- ISO 3382:1997 (E), Acoustics-Measurement of the reverberation time of rooms with reference to other acoustical parameters, 1997
- ISO 3382-1:2009 (E), Acoustics-Measurements of room acoustics parameters-Part 1: Performance spaces”, 2009
- ISO 3382-2:2008 (E), Acoustics-Measurements of room acoustics parameters - Part 2: Reverberation time in ordinary rooms. 2008
- ISO/CD 3382-3 Acoustics-Measurements of room acoustics parameters - Part 3: Open plan spaces” (under development)
- Müller, S. and Massarani, P., Transfer function measurement with sweeps, *Journal Audio Engineering Society*, Jun 2001
- Poletti, M. Linearly swept frequency measurements, time-delay spectrometry, and the Wigner distribution. *Journal Acoustical Society of America*, 36 (6) pp. 457, 1988
- Putzeys B., Simple Self-Oscillating Class D Amplifier with Full Output Filter Control, *Journal Audio Engineering Society*, Convention Paper Presented at the 118th Convention May 28-31 Barcelona, Spain, 2005
- Schröder M., New method of measuring reverberation time, *Journal Acoustical Society of America*, 37:409-412, 1965
- Tronchin, L., Durvilli, I., Tarabusi, V., Influence of not-linearity in uncertainty on room acoustics measurements, *Proceedings of 19th International Congress on Acoustics (ICA2007)*, Madrid, 2-7 September 2007
- Vanderkooy, J., Aspects of MLS measuring systems, *Journal Audio Engineering Society*, 42:219:231, 1994
- Vorländer, M. and Bietz, H., Comparison of methods for measuring reverberation time, *Acustica*, 80:205-215, 1994