

SISTEMA DE TRANSMISION DIGITAL DE AUDIO MULTICANAL POR REDES ETHERNET

Francisco Vilaró Caldera

Universidad Tecnológica Metropolitana,
Departamento de Electricidad.
Av. José Pedro Alessandri 1242, Ed. Fac. de
Ingeniería of. N°19, Santiago, Chile.
Fono: 56-2-7877071 ; Fax: 56-2-7877119; e-
mail: fravilaro@yahoo.es

Antonio Monasterio Metzler

Audiopro Ltda. Departamento de Desarrollo
Ladislao Errazuriz 2032, Providencia,
Santiago, Chile.
Fono: 56-2-2692481, 56-2-2692481;
e-mail: antonio@audiopro.cl

Hernán Angel T

Universidad de Chile, Departamento de
Música y Sonología.
Compañía 1264 7° piso, Facultad de Artes
Santiago, Chile.
Fono: 56-2-9781338 ; e-mail:
hangel@vtr.net

Resumen

La transmisión de audio multicanal se realiza mediante el uso de líneas balanceadas, presentando numerosos conflictos: costo elevado, baja inmunidad al ruido, desgaste mecánico de conectores y líneas, entre otros. El aumento de las velocidades de los sistemas electrónicos, hace posible digitalizar canales de audio y enviarlos por redes digitales. Éste artículo presenta la implementación de un sistema digital de audio multicanal, utilizando como medio de transmisión la plataforma Ethernet bajo el protocolo CobraNet, capaz de transmitir simultáneamente hasta 128 canales de audio, solucionando los problemas presentados por los sistemas clásicos.

Abstract

Multichannel audio transmission is commonly based on the use of a number of balanced lines in a pipeline which implies some disadvantages such as the relative low noise immunity and mechanical wear undergone by connectors and wires. Nowadays, the ever increasing processing capacities of electronic devices make possible the digital transmission of audio channels through digital networks without losses. In this paper we present an overview on the complete implementation of a digital multichannel audio system, where up to 128 audio channels are transmitted over Ethernet using the CobraNet protocol and overcoming the typical audio channels limitations.

1.- Introducción

el sistema de audio multicanal está presente ampliamente en estudios de televisión y radio, eventos audiovisuales masivos, estudio de grabación y grandes espacios públicos en donde se requiere establecer zonas específicas de sonorización.

La forma tradicional de distribuir audio multicanal, se realiza mediante el uso de cables multifilares de cobre blindados e internamente agrupado en tres líneas, junto con robustos conectores que soporten la alta densidad de líneas. Esto permite el envío de audio balanceado unidireccional, caracterizado por su buena inmunidad al ruido en distancias inferiores a 150m. Éste método de transmitir audio multicanal ha evolucionado solo en términos mecánicos, sin modificar la idea esencial, que es la transmisión de señales eléctricas

por conductores eléctricos. Se han mejorados los cables multifilares, para hacerlos más resistentes al trabajo mecánico modificando sus blindajes y la elasticidad, además de buscar nuevas soluciones mecánicas para los conectores de alta densidad. Toda esta evolución se fundamenta en los constantes conflictos que presentan éste tipo de canalización de audio.

Las desventajas de éste sistema van desde: el costo elevado del cable multifilar proporcional a la distancia, al número de canales y al blindaje. La inmunidad al ruido del cable que depende de factores propios, como la agrupación estratégica de los conductores y factores externos como la humedad y la temperatura. El deterioro mecánico que depende de la aplicación es que esté inserto el sistema, donde el más crítico se observa en los servicios de refuerzo sonoro, debido a que las sonorizaciones no se realizan siempre en el mismo lugar, si no que están cambiando constantemente de locaciones, lo que conlleva el transporte de éstos y su irreversible deterioro debido a su alto estrés mecánico.

Junto con lo anterior, es necesario destacar la engorrosa forma que tiene estos sistemas para cambiar su topología o realizar copias de canales específicos.

Gracias al desarrollo tecnológico actual, y en particular, al aumento de las velocidades de funcionamiento de los sistemas electrónicos, es posible digitalizar canales de audio análogos y enviarlos a gran velocidad por redes digitales ya implementadas, sin deteriorar la calidad de sonido.

Esto permite la nueva visión de los sistemas de audio multicanal, donde el proceso del tratamiento de señal es más complejo, pero las prestaciones son mejores. El método contemporáneo del transporte de audio pasa por la codificación y decodificación digital de la señal análoga, para poder transportar esta información de un lugar remoto a otro.

La primera etapa del sistema desarrollado, es acondicionar la señal análoga para que llegue en buenas condiciones a los convertidor análogo-digital (ADC), esta señal optimizada será inyectada a los ADC, haciéndolos trabajar a *full scale* (FS) para no perder información, luego esto debe ser transportado al controladores de red que crean las futuras tramas que viajarán por las redes que llevarán las señales a destino, para luego ser decodificadas por convertidores digital-análogos (DAC) y restauradas como señales análogas de audio. Cumpliendo el propósito del transporte de la señal.

Ante esta nueva forma de canalización, es posible observar los beneficios: como lo es la flexibilidad del redireccionamiento de canales, la simplicidad de copiar canales de audio, debido a la filosofía de redes digitales que toma este sistema, la reducción del material del sistema proporcionalmente a las distancias de uso, la escalabilidad del sistema en la medida que el ancho de banda de la red lo permita, el control y monitoreo de las señales de audio y el costo de implementación en relación directa de los canales y la distancia del sistema de canalización de audio.

Cabe destacar que estos sistemas presentan desventajas relacionadas con la incompatibilidad con otros protocolos que actualmente disputan el dominio de las redes digitales de audio, que lo componen Peak Audio con su la creación de su sistema CobraNet[1] y Digigram con su protocolo EtherSound [2], donde ambos ofrecen similares prestaciones y diferencias en sus topologías[3].

2.- Transporte de audio en redes digitales

Numerosos métodos han sido utilizados para transportar audio digital, todos ellos utilizan estándares propietarios e incompatibles. Los últimos intentos usan la plataforma IEEE 802.3 Ethernet Protocol, son incompatibles a nivel de transporte y aplicación, no así en las capas más bajas del sistema OSI, pudiendo utilizar: routers, conversores de medios, Cables CATV, fibra óptica, entre otros productos orientados la redes Ethernet.

La diferencia fundamental entre el transporte de datos digitales y audio digital, se plantea en la definición de una red determinística, más que aleatoria. Es necesario recomponer los datos de audio en un tiempo mínimo para mantener inalterada la señal de audio. La transmisión de audio digital se puede clasificar en tres tipos, según la forma de enviar los paquetes de información: transmisión asíncrona, síncrona e isocrónica.

La transmisión asíncrona se caracteriza por la definición de un servidor y varios clientes, los cuales solicitan o reciben información aleatoria al servidor. Para la implementación adecuada de este sistema, se deben considerar robustos sistemas electrónicos de almacenamiento de datos en los equipos definidos como clientes, para reordenar las numerosas tramas de información, que no necesariamente llegan en un orden correlativo. Este método permite usar la red con datos complementarios de control y monitoreo, pero presenta un alto grado de latencia y una dependencia a las interrupciones del servicio dependiendo del grado de ocupación de la red.

Un segundo método utilizado para la transmisión de audio por redes digitales es el síncrono; donde uno de los equipos toma el control de un reloj de sincronización y todos los demás se adaptan a esta señal, intercambiando información específica de audio. Este método es altamente dependiente del conocimiento adelantado del tipo de dato que se desea transmitir, utilizándose en sistemas dedicados. Debido a su alta especificidad, los costos de implementación de este tipo de sistemas suelen ser elevados.

El tercer método utilizado es el transporte isocrónico, que se basa en acuerdos mutuos de funcionamiento, entre un nodo actuando como servidor y otro como cliente. Este acuerdo especifica: disponibilidad de ancho de banda, latencia en las comunicaciones y posibles variaciones a esta latencia. La clave del correcto funcionamiento de este método, radica en emular un medio de transporte síncrono

mediante la distribución de un reloj de sincronismo común, en forma de paquete denominado *beat packet*. Los datos originales de audio transmitidos, son particionados en paquetes digitales, insertándoles una marca de tiempo antes de ser enviados, cada 1.33ms. En la recepción, los paquetes de información son revisados en sus marcas de tiempo, para determinar su orden, recomponiendo de manera correcta la cadena de datos originales. La señal de reloj o *beat packet*, se envía en forma de paquetes de alta prioridad y los tiempos de llegada de cada paquete, son asegurados por el acuerdo de funcionamiento isocrónico, posibilitando un flujo continuo de audio, con niveles de latencia específicos, (ver figura 1). En este método de transporte, además se puede enviar información complementaria y asíncrona, estableciéndose con paquetes de baja prioridad en la red[4].

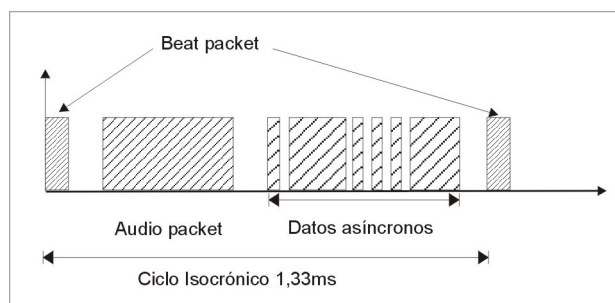


Figura 1. Estructura de la trama isocrónica.

3.- Desarrollo de sistema de audio multicanal

La implementación del sistema digital de audio multicanal, está basado en el controlador de paquetes Cobranet, debido a que presenta mayor flexibilidad a la hora de estructurar diversas topologías de red, no así su par EtherSound. Este punto se puede considerar como trascendental, ya que uno de los conflictos que los sistemas analógicos presentan, es la poca flexibilidad en la estructuración de sus topologías.

El sistema se fundamenta en cuatro metas de calidad básicas, aplicadas al diseño: respuesta en frecuencia plana, mínima generación de armónicos, baja relación señal/ruido y cambios de fase insignificantes. Con estos criterios es posible posicionar el producto como líder en calidad.

El sistema implementado, se puede ver segmentado en tres partes¹ específicas: unidad de codec y multiplexor digital (UCM), unidad de entrada analógica (UE) y unidad de salida analógica (US).

Las tres primeras unidades están encapsuladas en un receptáculo de acero con aluminio, (ver figura 2a).

La figura 2 muestra el módulo principal que cuenta con: dos UE, dos US y una UCM. Por la sencilla razón que la interfase cobraNet, inserta en la UCM, soporta 16 canales de entrada y 16 canales de salida análogos.

La UCM, está constituido internamente por ADC, DAC, una interfase de audio digital CobraNet y un microcontrolador central, que coordina todas las posibilidades del sistema además de la

¹ La fuente de alimentación es un módulo aparte, que permite su fácil reemplazo en caso de deterioros súbitos de la unidad.

supervisión de la interfase CobraNet. Externamente tiene dos conectores de red, que son usados para darle redundancia al sistema y mayor tolerancia a las fallas por desconexión. Así cuando una de las líneas de red se deteriora de forma transparente comienza a funcionar la otra puerta, siempre y cuando se establezcan dos redes independientes. Además posee indicadores luminosos que determinan la presencia de red, el rol de servidor y cliente del módulo, recordando que estos equipos, previo mutuo acuerdo, establecen un servidor valido llamado “conductor”. Además esta unidad es la encargada de establecer dos puntos de red que se especifican con una dirección MAC única, estableciéndose en la red como una dirección IP más.



Figura 2: Módulo digital de audio multicanal implementado.

La UE es la encargada de recibir las señales de audio y luego adaptarlas en amplitud, para enviarlas al ADC, a *full scale*. Evitando al máximo la distorsión armónica y el piso de ruido electrónico.

La US tiene un diseño limitado a entregar señales de línea. Esto significa que cualquier entrada de audio se puede acoplar sin problemas al sistema propuesto. Además posee un filtro pasabanda de 15KHz de ancho de banda, que atenúa ruidos de alta frecuencia, debidos a los sistemas digitales y zumbidos de baja frecuencia, producto de la red eléctrica.

Tanto las unidades de entrada como de salida disponen de 8 canales de audio balanceado, con terminaciones estándar XLR para audio profesional.

3.1.1.- Diseño electrónico de las unidades.

Para el diseño de la UE, se establece los siguientes criterios: amplificación de señales débiles, atenuación de señales fuertes, piso de ruido no superior a -120dBv, distorsión armónica de 0,001% y respuesta plana de frecuencia ($\Delta 0,5dB$). Todos estos criterios se eligieron en virtud de liderazgo en calidad.

La UE, tiene como elemento principal un amplificador de audio² acorde con los criterios de diseño. La especificaciones de amplificador son: ganancia máxima 65dB y distorsión armónica (THD+N) de 0,0004%.

Además de poseer redes de atenuación de -32db, compuestas por un puente resistivo de 1k Ω , 1k Ω , 500 Ω y 22k Ω . Esta red eléctrica se activa por medio de un relé, activado por el PGA2500 [5], en una de

sus salidas digitales de control. El resultado de la atenuación es debido a los valores comerciales de resistencias.

La UE cuenta con un alimentador de voltaje a la entrada de 48V, para energizar micrófonos de condensador. Normalmente denominado “phantom”, éste también es activado por una de las salidas del PGA2500, por medio de transistores que disminuye el costo de la implementación.

La activación de las salidas de digitales de control, procede de la programación del PGA2500, por medio de una ráfaga de 16bit en formato SPI³. Donde además se envía los bits que controlan la ganancia, entre otros. El encargado de enviar éste paquete de información es procesador contenido en la UCM, donde se controlan 16 integrados PGA2500 conectados en Daisy Chaining, topología donde la línea clock es común para todos, pero la línea de salida de uno, pasa a ser la línea de entrada para el que sigue.

En cuanto a la ganancia de sistema, la UE es capaz de amplificar suficientemente un micrófono, con una sensibilidad de -56dBV/Pa, llegando a tener en su salida 4,2V que corresponde al valor máximo del convertor o *full scale*, cuando el PGA2500 amplifique 65dB. Y la red de atenuación permite decrementar 30 decibeles la señal, de tal forma que si la línea de audio lleva valores elevados de voltaje ($\approx 7V$) estos no saturen el ADC.

El diseño de la US es más simple, ya que las señales de salida de ésta unidad se limita a entregar estándares de *señal de línea*, que bordean los 0dBv. Lo relevante de esta etapa es: un amplificador operacional balanceado DRV134 [6], que actúa como filtro pasabanda con un BW de 20kHz, con cortes en los 50Hz y los 20KHz, con ganancia única de 3dB. Para evitar la entrega de ruidos de baja frecuencia producto de la red eléctrica y de alta frecuencia producidos por los diversos relojes y datos digitales que operan en la etapa DAC (PCM4204⁴) anterior.

Además de actuar como driver de alta impedancia de salida y protector del DAC. En caso de una mala conexión de esta salida el deterioro lo recibirá el DRV134 que es diametralmente menos costoso que le DAC.

En casi su totalidad, la UCM cuenta con tecnología digital y solo intervienen las señales análogas, a la entrada de ADC PCM4204 [7] y a la salida del DAC PCM4104 [8]. La UCM contiene la interfase [9] Cobranet, que sale a la red Ethernet con un formato de transmisión isocrónico. Además del microcontrolador que cumple funciones de control hacia los distintos dispositivos programables.

Las salidas del DAC están conectadas directamente a la US, mediante un conector IDC para cable plano y las entradas análogas, pasan por un circuito pasivo anti-aliasing y atenuador, antes de llegar al convertor.

El PCM4204 son cuatro ADC, delta-sigma de 1 bit y 24 bit de resolución. A una frecuencia de sobre muestreo de 216kHz. Estos entregan su información en formato PCM, intercalando la información de los cuatro convertidores en el tiempo.

La salida serial del ADC se conecta directamente a la interfase de CobraNet, que tiene la capacidad de recibir 4 convertidores de esta misma categoría. Teniendo como resultado, 16 canales de audio digital en formato PCM.

² IC PGA2500 “Texas Instrument”.

³ SPI, serial port interface.

⁴ DAC convertor digital análogo, texas Instrument.

Algo similar ocurre con los DAC, la interfase Cobranet posee cuatro salidas de audio digital, en formato PCM. Las cuales se acoplan directamente al PCM4104, que es un conversor digital a analógico delta sigma de 1 bit y 24bit de resolución.

El microcontrolador administra principalmente, el estado de la interfase CobraNet e interactúa con esta para definir parámetros de funcionamiento específicos. Además es el encargado de programar las ganancias y otros parámetros de los PGA2500. A nivel de diseño, de deben considerar los tiempos de acceso a la interfase Cobranet, que supera las velocidades de los procesadores del mercado ($\approx 33\text{MHz}$).

3.1.2.- Diseño del Software asociado.

No siendo relevante para el funcionamiento del sistema, se diseñó un software que es capaz de: determinar la topología de la red de audio, donde aparecen disponibles los distintos módulos conectados a la red, uniéndolos solamente en el software. Junto con determinar los niveles de señal en los distintos canales asociados a cada módulo (figura 3), denominado “*metering*”. Además de enviar la información de configuración a los distintos canales, ya se: la activación del voltaje phantom, la activación del *pad* (-32dB) o los distintos niveles de ganancia que soporta el PGA2500. Este software fue implementado en lenguaje de programación C++.

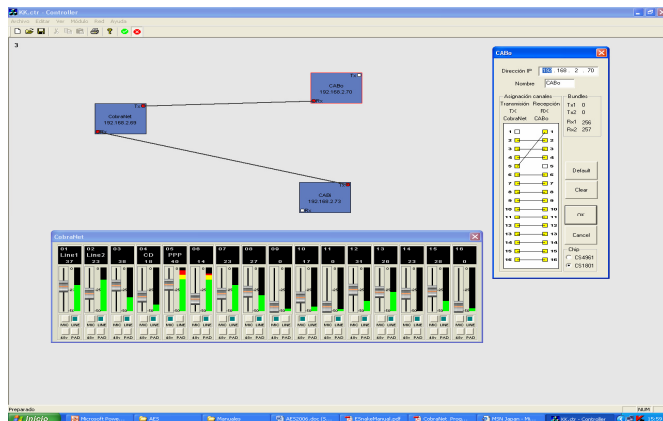


Figura 3: Pantalla principal del Software de metering y control.

3.2.- Implementación

La construcción del módulo establece tiempos determinados de diseño de placas electrónicas, fabricación de placas, montaje de elementos y pruebas de funcionamiento de calidad.

En la etapa del diseño de la placa electrónica, se trabajó con el software Eagle versión 4.15 de la compañía CadSoft. El proceso requiere que primero se realice el circuito esquemático y luego la tarjeta física (*board*). Al incluir los componentes en el esquemático se debe tomar la precaución de revisar el encapsulado y la existencia del dispositivo en el comercio, de lo contrario se debe buscar el encapsulado. Este software cuenta con una librería de componentes extensa, pero puede que algunos no se encuentren por su reciente

desarrollo. En estos casos se puede diseñar el encapsulado adecuado, que se especifica normalmente al final de las fichas de fabricación de los componentes.

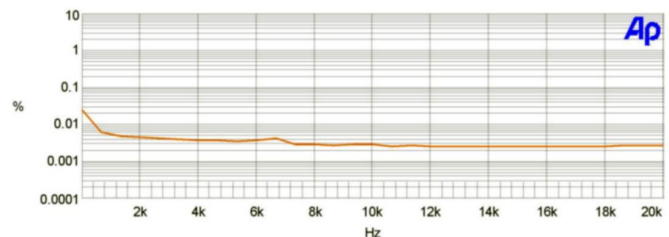
La UE posee más de 600 componentes, en su mayoría de montaje de superficie y otros del tipo true hole. El diseño de la placa se realizó en doble capa, con hoyos metalizados, máscara de soldadura y serigrafía de componentes. La mínima separación entre terminales (*pitch*) la tiene el PGA2500 que es de 0,65mm.

La US tiene una menor densidad, llegando a 200 dispositivos aproximadamente. Y la menor separación la tiene el drv134, con sus encapsulado SOL-16.

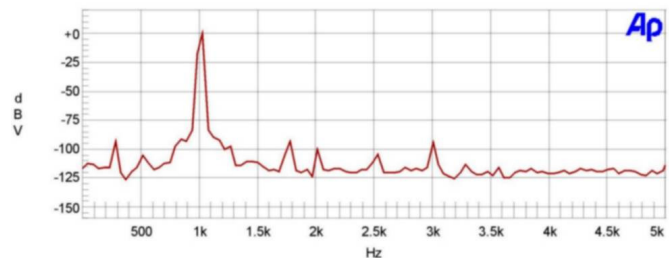
La UCM esta implementada sobre una placa de 4 lados, dos internos y 2 externos. Debido a: las especificaciones del fabricante de ADC y su encapsulado HTQFP-64 PowerPAD y la alta densidad de líneas. La distancia mínima del PCM4204 es 0,5mm, planteando la menor separación relevante a la fabricación. El encapsulado PowerPAD, es desarrollado por Texas Instrument y está orientado a disipar temperatura por medio de la tarjeta electrónica. Debajo del integrado posee una gran superficie unida al sustrato que debe ser soldada a la tarjeta. La idea es disipar temperatura por medio del plano de tierra, que se define en la segunda capa de la tarjeta electrónica.

3.3.- Pruebas y resultados

Hasta el momento, en que esta comunicación es presentada, el módulo se ha sometido a dos pruebas: de audio, que contemplan mediciones de amplitud, distorsión armónica y THD. Y por otra parte se realizaron pruebas de encendido-apagado, debido a la inestabilidad que presentaron las memorias ROM, tipo *flash*, incorporadas en la UCM.



(a)



(b)

Figura 4: Prueba de audio a sistema de audio implementado.

Las pruebas de audio, se realizaron con el instrumento AudioPrecision ATS-2 [9], el cual arrojó en su mejor prueba de la cadena completa, una diferencia de $\pm 0.5\text{dBV}$ en la respuesta de amplitud, para frecuencia entre 0 a 22,5kHz. Junto con una distorsión armónica más ruido (THD+N) de 0,004% a 0dBV, (ver figura 4a).

La transformada rápida de Fourier (figura 4b), nos muestra el piso de ruido electrónico de -120dBV , teniendo valores considerablemente bajos para el segundo y tercer armónico, siendo los demás despreciables.

Para lograr una referencia concreta que nos permita establecer calidades, es necesario tener valores de un dispositivo par. Digico fabrica consolas digitales de uso profesionales, presentando las siguientes características (figura 5).

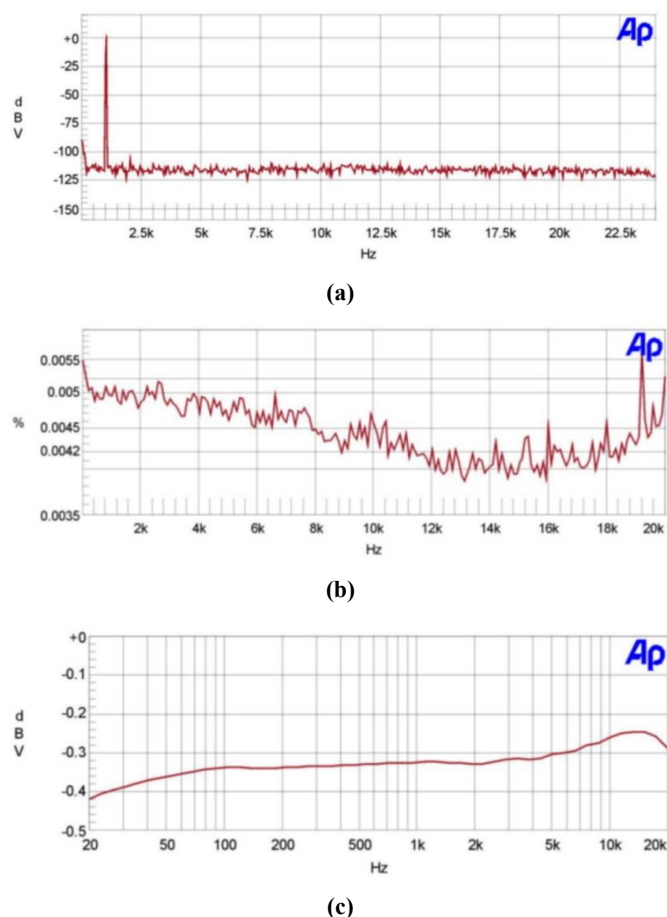


Figura 5: Prueba de audio a sistema profesional de sonido.

En los gráficos de la figura 5 se puede apreciar una diferencia de $\pm 0,15\text{dBV}$ en su relación de frecuencia v/s amplitud (figura 5c). Junto con un THD+N de un 0,0045% (figura 5b) y la mínima presencia del segundo armónico con un piso de ruido de -120dBV (figura 5b).

Los puntos críticos, y que establecen la diferencia son: la respuesta en frecuencia con respecto de la amplitud y la fluctuación del piso de ruido, producto de interferencias provenientes de la fuente de

voltaje, una eficiente puesta a tierra del sistema y la disminución de los armónicos, producto de la no-linealidad de los amplificadores.

En cuanto a la prueba de encendido y apagado del sistema, se logro un ciclo de 1500 ciclos sin desconfigurar el sistema. En contraste de 20 ciclos promedio cuando comenzaron las pruebas. La mejora se justifica en la mejora de la fuente de tensión, a esta se complemento con un banco de condensadores en la entrada de cada unidad, más la puesta de condensadores cercanos a la interfase de CobraNet. La prueba se realizo por medio de un microcontrolador que determinaba, por medio de un sensor de luz, el buen funcionamiento. Y su activación y desactivación, por medio de un relé.

4.- Conclusiones

El avance de las respuestas de tiempo en los sistemas electrónicos, hoy en día, permiten la digitalización de audio, sin interferir en su calidad. Entregando las virtudes de los sistemas digitales, como complemento perfecto a las señales análogas.

El sistema digital de audio multicanal, ofrece soluciones concretas ante las deficiencias de los sistemas clásicos, para el transporte de audio, mejorando los costos de implementación, aumentando la eficiencia en su interconexión, solucionando posibles ruidos por diferencias de conexión a tierra, entre otras ventajas. Sin comprometer la calidad de audio.

El aumento de los tiempos de muestreo de los conversores y las velocidades de las redes digitales, permite codificar el audio para ser transmitido a puntos remotos.

En cuanto al diseño electrónico de las distintas etapas del sistema, es necesario destacar la diferencia considerable que ofrecen los elementos pasivos, en relación directa de costo-calidad, en la distorsión armónica de los sistemas de audio.

Las tolerancias de los componentes pasivos usados en la implementación, juegan un papel gravitante. Debido a que las señales de audio son balanceadas, esto implica que deben mantener la simetría en todo momento y la no consideración de éste factor puede alterar los resultados obtenidos.

Cabe destacable que ésta implementación, sienta un precedente en el desarrollo del audio profesional en Chile. Innovando en el desarrollo de un producto competitivo con sus pares extranjeros, en términos de calidad.

El uso adecuado de condensadores y bobinas, como elementos reductores de ruido en las etapas de energización, garantiza el correcto funcionamiento y estabilidad del sistema implementado, junto con disminuir drásticamente el piso de ruido audible. Las pruebas de encendido y apagado del sistema así lo demostraron.

Las pruebas de audio arrojaron valores que pueden mejorar, en la medida que se aumente la calidad de los componentes pasivo y el diseño de los distintos circuitos impreso. No obstante, estas posibles mejoras, el sistema presenta una óptima caracterización de calidad de reproducción y transporte.

El adecuado trabajo con planos de tierras digitales y análogas, en el diseño de tarjetas electrónicas, es relevante en función de las interferencias sobre al audio, debido a distintas fuentes de ruido digital.

5.- Trabajos futuros

La obtención del producto informado representa un avance de 80% respecto del prototipo final, que se espera tener en funcionamiento para fines del segundo semestre del 2006. Las tareas que se plantean para esta siguiente etapa son:

Rediseñar el sistema en pro de mejorar el costo, sin perder los resultados de calidad que ofrece éste prototipo. Esto permitirá competir con los diversos productos extranjeros que ofrecen sistemas de audio multicanal.

Obtener una mejora en el costo de implementación. Esto será posible en la medida que el módulo sea específico a cada aplicación. Como generar UE específicamente orientadas a señales de línea o UE para señales de micrófonos.

Diseñar un sistema de control automático, que permita atenuar los niveles de salida de audio, cuando suban los niveles de señal de entrada, para así generar una transparencia en lo que a distribución de audio digital, se refiere.

Mejorando las características de los elementos pasivo que intervienen en la cadena analoga. De manera de bajar los niveles del segundo, tercer y cuarto armónico, causantes del THD+N de un 0,004% a un 0,001% que especifica una optima calida en el mercado del audio profesional.

Reducir los tamaños de la UCM, en pro de desarrollar diferentes interfases CobraNet que compatibilicen equipos analógicos con el sistema de redes digitales.

Extender las virtudes del sistema digital de audio, orientándolo al desarrollo de sistemas de sonorización de recintos de gran envergadura.

Referencias

- [1] www.peakaudio.com, “*Audio Networks, an Overview*”, Cirrus Logic Training, 2004.
- [2] www.ethersound.com, “EtherSound technology brochure”, 2004.
- [3] David A. McNell, “Networked Audio Transport”, Ing. Purdue University, 2006.
- [4] Gross Kevin, Britton Deborah, “*Deploying Real-Time Ethernet Networks*”, AES UK Conference, J. Audio Eng. Soc., MA-13, (2000).
- [5] www.ti.com, sbos289a.pdf, “PGA2500 Digitally Controlled Microphone Preamplifier”, Texas Instrument, 2003.
- [6] www.burr-brown.com, sbos094.pdf, “drv134 audio balanced line driver”, Burr Brown Corporation, 1998.
- [7] www.burr-brown.com, sbas327a.pdf, “PCM4204 High Performance 24 bit, 216kHz Sampling Four Chanel Audio Analog to Digital Converter”, Burr Brown Corporation, 2004.
- [8] www.burr-brown.com, sbas291c.pdf, “PCM4104 High Performance 24 bit, 216kHz Sampling Four Chanel Audio Digital to Analog Converter”, Burr Brown Corporation, 2003.
- [9] ap.com, IVO414132534.pdf, “Audio Test and Measurement System”.