



Audio de Cine:
Cómo ayudan las nuevas
tecnologías a cumplir con los
estándares de audio de DCI

Introducción

Desde que se establecieron los estándares de la Digital Cinema Initiative¹ (DCI) en 2002, el público ha disfrutado de la experiencia visual de mayor calidad jamás ofrecida por exhibidores de cine. Con innovaciones como el high-frame-rate, la grabación digital 4K, y la proyección 3D, unidas a las pantallas de mayor formato y auditorios con mayor capacidad, los cineastas han podido aplicar los progresos en tecnologías de

visionado para expandir las fronteras de la creatividad y la expresión en el cine. No obstante, a pesar de los avances en la proyección, la parte correspondiente al sonido de la experiencia cinematográfica no ha alcanzado el potencial del estándar DCI. En la actualidad, los sistemas heredados de audio basados en tecnologías de la era del celuloide continúan siendo habituales en las salas de cine.

Además, conforme se desarrollan y lanzan nuevos formatos de audio digitales e inmersivos, estos sistemas heredados ponen de relieve sus limitaciones para reproducirlos con precisión. La conclusión es que los exhibidores cuentan hoy con posibilidades para equipar sus salas con sistemas de sonido de última generación con los que lograr una experiencia audio infinitamente superior y más consistente.

Parte 1 – Los sistemas heredados de audio

Tradicionalmente, los sistemas de sonido de las salas de cine se dividen en dos secciones: la cadena A y la cadena B. La cadena A es la parte del sistema que contiene la "banda sonora", grabada en la película o almacenada en dispositivos externos, y el equipamiento asociado que se usa para reproducir las pistas de audio. Esto incluye todos los procesos necesarios de decodificación, re-ecualización/ de-ecualización (pre-énfasis/ de-énfasis) y sincronización.

Hoy en día, una sala de cine típica utiliza sistemas heredados para la cadena B² de audio que se basan en tecnología desarrollada en la era del cine de 35 mm. La Figura 1 muestra el diagrama de bloque de un sistema completo de audio para proyección basada en celuloide. En instalaciones heredadas, la cadena B hace referencia al filtro de cruce o crossover, la post-ecualización, los amplificadores de potencia y los altavoces. Estos sistemas suelen tener diseños de altavoces de dos, tres, y en algunos casos cuatro

vías para los canales de pantalla. Estos altavoces emplean drivers de compresión con bocina para las frecuencias altas y drivers de cono, de radiación directa o en algún caso de carga con bocina, para las frecuencias bajas. Los altavoces surround suelen tener un diseño de dos vías con transductores similares a los empleados para los canales de pantalla. Los altavoces se alimentan por medio de amplificadores de transistores de clase AB, muchos de los cuales emplean fuentes de alimentación lineal.

Figura 1 – Cadena completa de reproducción de audio en salas de cine—proyección basada en celuloide

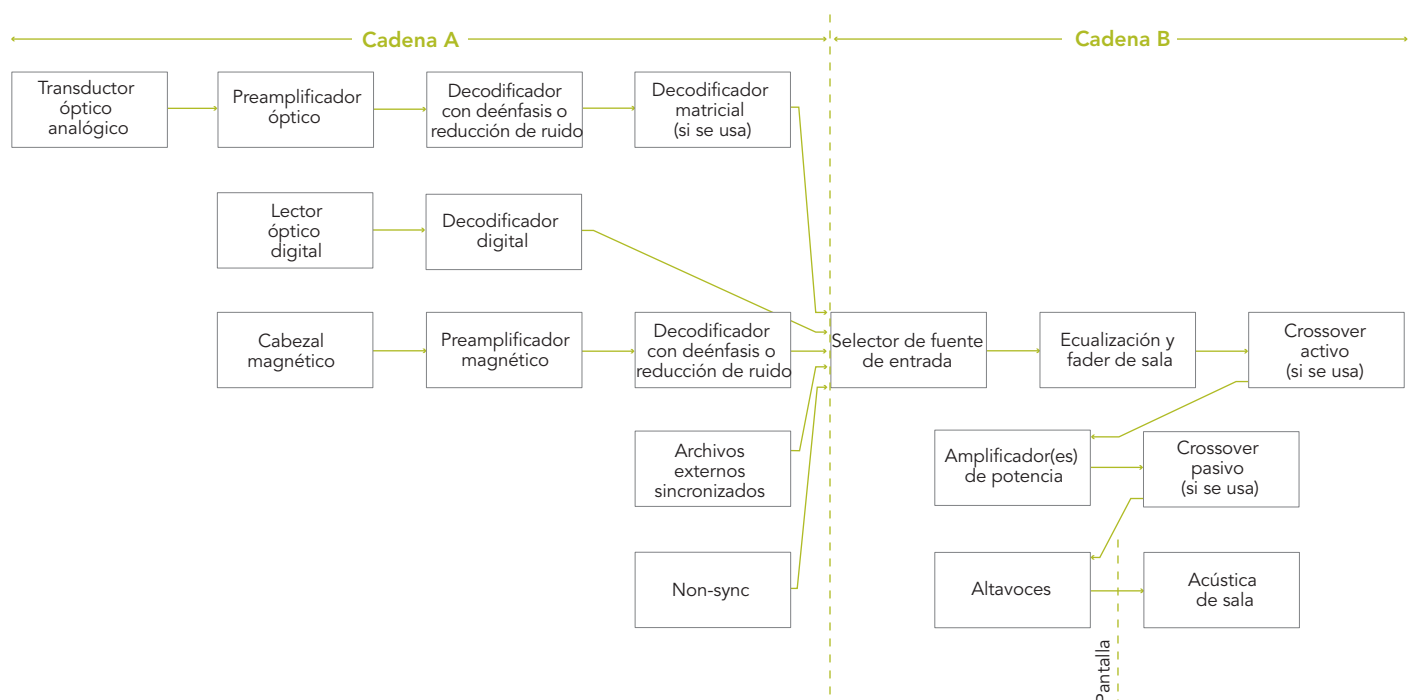
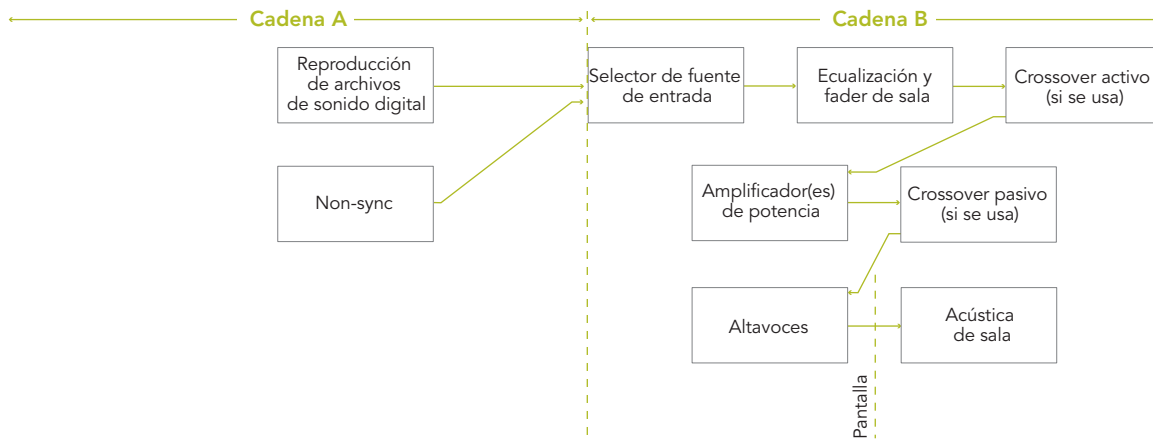


Figura 2 – Cadena completa de reproducción de audio en salas de cine—cine digital



Formatos de audio heredados

La calidad global de los formatos de audio tempranos, como el Dolby Digital³, el DTS (hoy denominado Datasat Digital Sound⁴) y el Sony Dynamic Digital Sound (SDDS)⁵, estaba limitada por el ancho de banda del medio de almacenamiento, el celuloide, que requería el uso de la compresión de audio digital con una resolución efectiva máxima de entre 16 y 18 bits por muestra con una tasa de muestreo entre los 44.1 y los 48 kHz.

El rango dinámico teórico máximo para una señal de audio con una profundidad de 16 bits es 96 dB, siendo de 108 dB para una señal de audio de 18 bits. El mayor rango dinámico ofrecido por los formatos de audio digital en comparación con el mejor obtenible con las pistas ópticas en película de 35 mm exigía más de los sistemas de sonido de las salas, incluso en aquellas equipadas con Dolby Noise Reduction. Para algunos sistemas de audio de cine, las prestaciones requeridas por el contenido DCI rozan o superan los límites de sus posibilidades.

El estándar DCI de audio

Fundado en 2002, DCI es un consorcio formado por Disney, Fox, Paramount, Sony Pictures Entertainment, Universal y Warner Bros. Studios. El estándar DCI, creado en 2005, permite el uso de formatos de audio digital lineales sin compresión PCM⁶ de muy alta calidad, que pueden llegar a una resolución de 24 bits por muestra y una frecuencia de muestreo de hasta 96 kHz. Poseen un rango dinámico teórico de 144 dB para la resolución de 24 bits especificada y ello exige todavía más de los sistemas heredados de cine que los formatos de audio digitales anteriores. El sonido de una película se empaqueta con la parte visual, los subtítulos, y los metadatos en un paquete de cine digital (DCP) acorde con la norma DCI.

Las especificaciones del estándar DCI

- 20 o 24 bits por muestra, frecuencia de muestreo de 48 kHz o 96 kHz
- Hasta 16 canales de banda completa
- Formato contenedor WAV, audio PCM sin compresión

El estándar DCI se desarrolló para ofrecer a los exhibidores un paquete completo que incluyera un formato de audio capaz de proporcionar una reproducción más fiel al material fuente original.

Como vemos en la Figura 2, en muchos cines con sistemas de proyección digital únicamente se ha actualizado la parte correspondiente a la cadena A del sistema de sonido. El equipamiento de la cadena B continúa siendo el mismo que se utilizaba antes de cambiar a la proyección digital.

¹ <http://www.dci-movies.com/>

² La Cadena B incluye todo aquello que media entre la salida del procesador de sonido y los altavoces, incluyendo los amplificadores, los procesadores de señal, y el cableado.

³ <http://www.dolby.com/us/en/consumer/technology/home-theater/dolby-digital.html>

⁴ <http://www.datasatdigital.com/cinema/>

⁵ https://en.wikipedia.org/wiki/Sony_Dynamic_Digital_Sound

⁶ https://en.wikipedia.org/wiki/Pulse-code_modulation

Oportunidades de mejora: Seis problemas comunes en el funcionamiento de los sistemas heredados de audio

Muchas de las salas de cine actuales no pueden alcanzar todo el potencial del sonido DCI sin compresión porque continúan utilizando componentes de audio heredados. Los seis problemas de funcionamiento más comunes en sistemas heredados de audio son:

1 Compresión de potencia en los drivers del altavoz

Aunque se ha mejorado el diseño de los motores magnéticos, los drivers de compresión y los woofers tienen sus bobinas de voz encerradas en una estructura magnética muy estrecha. Incluso con elementos de diseño mejorados, la temperatura de funcionamiento de las bobinas de voz puede alcanzar los 392 °F (200 °C). Al aumentar la temperatura de la bobina de voz, la impedancia también aumenta, con lo que el driver alcanza una potencia menor y el nivel de presión sonora de salida se reduce.

2 Control de directividad (altavoces)

Muchos altavoces de cine heredados emplean bocinas conectadas a drivers de compresión para controlar la directividad. Estas bocinas pueden usar distintos métodos para controlar la directividad; pero independientemente del método que usen, el control sólo es efectivo hasta una frecuencia baja que depende de las dimensiones de la boca de la bocina. Además, la directividad de las frecuencias altas puede diferir de la que se da en el rango de frecuencias medias en el pasabanda del dispositivo. En un sistema a tres vías, la directividad de los drivers puede variar en la frecuencia de cruce entre los drivers de frecuencias bajas y los de medias, y entre los drivers de frecuencias medias y los de altas, resultando en una cobertura desigual e irregular. Un sistema de dos vías presenta un desajuste de directividad similar entre los drivers, aunque en este caso se limitaría a uno.

3 Distorsión

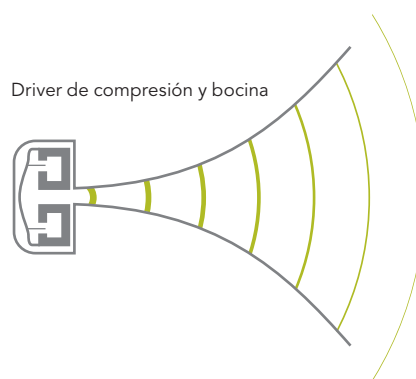
Los drivers de compresión conectados a bocinas generan niveles de presión sonora muy elevados en el diafragma. Los niveles de presión sonora en el diafragma suelen comenzar alrededor de los 120 dB y pueden alcanzar 154 dB o más. A niveles tan elevados, aunque el motor magnético, el transformador acústico y el diafragma sean perfectos, la propagación del sonido en el aire (en el diafragma, dentro del transformador acústico, y en el cuello) presentará una no linealidad muy acusada debido a la alta presión sonora. Como consecuencia de ello, la propia propagación del sonido genera distorsiones incluso antes de que éste entre en la bocina, y la distorsión generada aumenta conforme el sonido va propagándose. El uso de diafragmas mayores, de relaciones de compresión bajas y otros "trade-offs" o compromisos empleados en el diseño para disminuir estos productos de distorsión conllevan sus propios problemas. Entre ellos se encuentra la posibilidad de que los diafragmas grandes tengan más modos de ruptura, y la menor potencia de salida asociada a relaciones de compresión menores.

Patrones de dispersión de drivers



- ▲ Un driver de compresión típico tiene un patrón de propagación esférica que hace que el sonido se refleje en el techo y las paredes, reduciendo la claridad global del audio.

Cómo funcionan los drivers



- ▲ Pese a las mejoras efectuadas en su diseño y sus componentes, los drivers de compresión y las bocinas pueden presentar problemas de funcionamiento tales como la compresión de potencia, la distorsión inherente y la no linealidad. Además, los altavoces de carga con bocina interactúan de manera perjudicial con las pantallas perforadas, lo que genera más distorsión e incrementa la no linealidad.

4 No linealidades

Los drivers de cono que se usan para reproducir frecuencias medias y los drivers de compresión habitualmente empleados para la reproducción de frecuencias altas presentan no linealidades, sonidos o imperfecciones que no guardan relación con el sonido original y que se deben a la ruptura del cono o del diafragma del driver de compresión. El efecto de estas no linealidades se percibe a partir de presiones sonoras medias, y empeora progresivamente a niveles de potencia superiores. A esto se suma el ruido de otras partes móviles del driver, como el surround, y en el caso de los drivers cónicos la araña, además de las no linealidades inherentes al sistema de motor magnético, todas las cuales restringen el rango dinámico del driver y cobran importancia cuando sube la salida de este. Las no linealidades afectan a la experiencia de escucha, concretamente en lo que concierne al rango dinámico, la relación señal-ruido, el headroom y la respuesta en transitorios.

El rango dinámico es la diferencia entre los niveles de presión sonora máximo y mínimo del sistema de audio. Los límites del rango dinámico vienen dados por la distorsión que aparece en niveles altos de presión sonora y por el ruido propio del driver causado por, entre otros, el material del diafragma o cono, los cables de salida y la vibración de la bobina de voz. Un rango dinámico limitado conlleva una relación señal-ruido pequeña entre el nivel promedio de presión sonora y el ruido. Esto también afecta al headroom, que es la diferencia entre el nivel máximo de salida (el límite superior del rango dinámico) y el nivel promedio de la señal.

La respuesta en transitorios es una medida de la capacidad de respuesta de un aparato a cambios rápidos en la señal, como puede ser el sonido de un efecto especial, y depende de la fuerza del motor del driver, la masa de las partes móviles del driver y el diseño de la bobina de voz. Los conos y los diafragmas tienen masa y esta masa requiere energía para ponerse en movimiento. Una vez en movimiento, la masa móvil coge impulso, lo que limita la respuesta en frecuencias altas del driver ya que el tiempo necesario para cambiar el movimiento de las partes móviles del driver aumenta con la masa

Transient response is a measure of the ability of a device to respond to rapid changes in the signal, such as that from the sound of a special effect, and is a function of the driver's motor strength, the mass of the driver's moving parts, and the voice coil design. Cones and diaphragms have mass and this mass requires energy to set them in motion. Once in motion the mass of the moving parts has momentum and this limits the high-frequency response of the driver as the time to change the motion of the driver's moving parts increases with mass.

5 Efectos de pantalla

En casi todas las salas de cine, los sistemas de altavoces para el canal de pantalla van montados detrás de una pantalla perforada. Ni siquiera con tratamientos como las microperforaciones la pantalla es totalmente transparente al sonido. La pantalla comienza a atenuar el sonido en las frecuencias bajas más altas y esa atenuación aumenta con la frecuencia. Además, la distancia a la pantalla de los altavoces para frecuencias medias y altas puede también causar efectos indeseados. La separación que media entre la pantalla y el altavoz genera reflexiones entre ambos, con lo que

una versión retrasada de la señal se suma a ésta, generando interferencias constructivas y destructivas.

6 Eficiencia de la amplificación,

Todos los drivers de un sistema de altavoces de cine bi, tri, o cuadiamplificado precisan de un amplificador de potencia conectado exclusivamente a ese driver. Muchos cines utilizan amplificadores de potencia heredados que emplean una topología de clase AB, lo que se traduce en una respuesta pobre en transitorios y en una baja eficiencia energética. Una respuesta pobre en transitorios implica que los amplificadores reaccionan más lentamente a cambios rápidos en las señales de entrada; una baja eficiencia energética, o eficiencia de conversión, significa que casi toda la energía de entrada se disipa en forma de calor y no contribuye, por tanto, a la potencia. Y aunque pudiéramos pensar que esto no resulta especialmente gravoso desde el punto de vista del consumo de electricidad, el calor generado puede acarrear costes más serios por la necesidad de controlarse mediante el sistema de climatización o HVA, lo que obliga a una mayor capacidad de las unidades de climatización, a conductos mayores y a costes de operación más altos.

Parte 2 – Convirtiendo el potencial en realidad

Requisitos clave para el audio de cine y ventajas del los sistemas de audio basados en transductores de cinta o ribbon drivers

Un enfoque de sistemas integrados que utilice nuevos diseños y tecnologías puede ayudar a los cines a alcanzar el potencial de una banda sonora en audio DCI. Pero para alcanzar este potencial se ha de tener en cuenta cada eslabón de la cadena de señal, empezando por las fuentes de contenido, siguiendo por el procesamiento y la amplificación del sonido, hasta llegar a los altavoces de amplio espectro y los subwoofers. Las prestaciones específicas del sistema integrado de audio para cine deberían incluir lo siguiente:

1 Fuentes de Contenido

Almacenamiento – Bloque Multimedia Integrado (IMB) o servidor de cine (que decodifica el contenido DCP), que en la Cadena B ofrezca un formato que se ajuste al estándar DCI, codificado en PCM lineal con profundidad de hasta 24 bits y frecuencia de muestreo de hasta 96 kHz para los hasta 16 canales del paquete (DCP). El IMB se encuentra al final de la Cadena A y al principio de la Cadena B.

Fuentes de contenido alternativo – Incluyen —pero no se limitan a— los formatos más recientes de audio de alta calidad sin pérdida, como el Dolby TrueHD,⁷ el DTS HD-Master Audio,⁸ y otros formatos PCM lineales. El audio de estas fuentes puede tener una profundidad de hasta 24 bits y una frecuencia de muestreo de hasta 192 kHz. El número de canales puede variar, y lo hace, en función de la fuente y del material.



2 Procesamiento de audio

La señal de audio DCP es un flujo de datos de audio multicanal codificado en uno o varios de los distintos formatos de codificación de audio disponibles hoy en día. El DCP utiliza el Material Exchange Format (MXF)⁹ para el empaquetamiento del audio PCM, que puede ser una versión comprimida del audio original. Los requisitos para el procesamiento de señales de audio PCM son:

- Soporte para hasta 16 canales de entrada de audio DCI
- Capacidad de decodificar formatos alternativos de audio sin pérdida
- Conversión de formatos digitales de alta calidad de 24 bits a analógico
- Relación señal-ruido alta
- Alto rango dinámico
- Linealidad de fase

3 Amplificadores

Los amplificadores de Clase D¹⁰ ofrecen ventajas de funcionamiento que se traducen en una respuesta en transitorios más rápida, una potencia de salida alta y un alto rendimiento en comparación con los amplificadores de Clase AB y otros diseños actualmente en uso en muchas salas.

Respuesta en transitorios más rápida –

Con una respuesta en transitorios más rápida disminuye la distorsión, haciendo que el material del programa se reproduzca con mayor fidelidad, sin el sonido quebradizo que caracteriza a los amplificadores con respuesta en transitorios más lenta.

Potencia de salida alta – El menor factor de forma de un amplificador de Clase D implica que se pueden conseguir potencias de salida mayores con un espacio menor al requerido para una potencia similar en un diseño analógico.

Mayor eficiencia – Comparados con los amplificadores de clase AB y otros

diseños de amplificadores analógicos de transistores cuya eficiencia suele rondar el 50%, los amplificadores de potencia de clase D pueden alcanzar eficiencias prácticas cercanas al 90%. Una mayor eficiencia comporta que una parte mayor de la potencia de entrada llega a los altavoces y que los amplificadores generan menos energía disipada en forma de calor, con la consiguiente reducción directa del consumo de energía y un menor coste de operación. Además, que los amplificadores generen menos calor también puede reducir el consumo de energía de manera indirecta y llevar a un ahorro adicional toda vez que se requerirá menos aire acondicionado para eliminar el calor disipado.

4 Altavoces

A pesar de que tradicionalmente los altavoces de cine han venido utilizando tecnologías de motor de compresión, se sabe que las tecnologías de matriz lineal y de ribbon drivers ofrecen un sonido superior para sistemas aplicados al cine. El diafragma en un ribbon driver tiene una masa pequeña y una membrana flexible con una bobina de voz impresa o montada en ella. La bobina de voz es plana (se encuentra en un plano) e interactúa con el campo magnético de imanes colocados a ambos lados del diafragma plano. Los altavoces de cinta ofrecen varias prestaciones que ofrecen ventajas comparativas frente a los altavoces de bocina con motores de compresión y los de cono.

Compresión de potencia mínima – Los ribbon drivers presentan una compresión de potencia baja si se comparan con los altavoces de cono y los de compresión, en los que la bobina de voz se encuentra en un espacio reducido con un flujo de aire limitado. En un ribbon driver la estructura del diafragma está abierta, y aunque el aire no conduce bien el calor, la mayor área de superficie expuesta disponible para los conductores —en comparación con los drivers de compresión y los de cono— permite una transferencia de calor mejor desde el diafragma al ambiente circundante, por lo que se pueden tener temperaturas

⁷ <http://www.dolby.com/us/en/consumer/technology/home-theater/dolby-truehd.html>

⁸ <http://www.dts.com/professionals/sound-technologies/codecs/dts-hd-master-audio.aspx>

⁹ <http://www.digitalpreservation.gov/formats/fdd/fdd000013.shtml>

¹⁰ <http://www.irf.com/technical-info/appnotes/an-1071.pdf>

de funcionamiento más bajas para un nivel determinado de presión sonora.

Menor distorsión – Al contrario que los de compresión, los ribbon drivers no se saturan en las frecuencias altas, en parte porque la masa de su diafragma es menor (suele ser de en torno a 1/30 de la masa de un driver de compresión). Como la bobina de voz está en contacto con el diafragma plano, la fuerza motriz cubre un porcentaje alto de la superficie del diafragma, lo que reduce aún más la distorsión debida a la ruptura del diafragma y otros problemas que aparecen en las cúpulas de los drivers de compresión, en los que la bobina de voz se encuentra en el perímetro del diafragma.

Respuesta en transitorios más rápida –

Como el diafragma de un ribbon driver tiene una masa menor que la de un driver de compresión, el diafragma puede acelerar y desacelerar con más rapidez como consecuencia de la menor inercia, lo que lleva a una respuesta mejor en transitorios, un aspecto idóneo para contenidos de cine digital con un factor de cresta elevado.

Mayor rango dinámico – La respuesta en transitorios más rápida que ofrece un ribbon driver por su diseño de masa pequeña y transmisión directa aumenta el rango dinámico disponible en aproximadamente 10 o 12 dB con respecto a los drivers de compresión, en los que el impulso del diafragma ha de superarse para acelerar el diafragma y volver luego a superarse de nuevo para cambiar de dirección.

Respuesta extendida de alta frecuencia –

Los ribbon drivers ofrecen una respuesta extendida de alta frecuencia en comparación con los drivers de compresión. Esto se debe a la transmisión directa de la bobina de voz plana montada directamente sobre el diafragma plano, frente a las pérdidas que se producen en los drivers de compresión, donde las vibraciones de la bobina de voz necesitan atravesar, primero, la bobina enrollada y pasar por la juntura de la bobina y el diafragma, y a las interferencias que se generan cuando el sonido pasa al diafragma y luego vuelve a salir a través de éste.

Además, la bobina de voz enrollada que se usa en los drivers de compresión es un inductor, por lo que la propia bobina sufre pérdidas que aumentan conforme la frecuencia aumenta. En un ribbon driver, la inductancia de los conductores planos en plano es mucho menor.

5 Matrices lineales basadas en ribbon drivers

Los ribbon drivers son los componentes ideales para hacer matrices lineales debido a sus características inherentes de propagación cilíndrica. Este factor de forma permite una disposición precisa y continua de los ribbon drivers en columna vertical. Una matriz lineal en columna de ribbon drivers ofrece ventajas con respecto a la bocina que se emplea en drivers de compresión y de cono. Casi todos los sistemas con carga de bocina tienen una dispersión irregular tanto horizontal como vertical y por tanto ofrecen una cobertura irregular en la periferia del espacio de audición y producen niveles de presión sonora diferentes entre la parte delantera y trasera de la sala de cine.

Una matriz lineal en columna compuesta de ribbon drivers y drivers de cono pequeños ofrece una directividad muy controlada y una cobertura muy uniforme. Conforme aumenta la altura de la columna, la cobertura vertical en las frecuencias bajas del espectro se vuelve más estrecha. Al curvar la matriz lineal y variar la señal para cada uno de los drivers en la matriz, la dispersión del sonido de una columna puede adaptarse mejor al espacio de audición y proporcionar una cobertura mejor y más uniforme. En teoría, un sistema de matriz lineal sólo tiene 3 dB de atenuación por unidad de distancia, mientras que un sistema de fuente puntual tiene 6 dB de atenuación por unidad de distancia.

Como consecuencia de esta atenuación reducida con respecto a la distancia, un sistema de matriz lineal basado en ribbon drivers puede tener una variación de la presión sonora de sólo ± 2 dB en todo el espacio de escucha de una sala típica.

6 Subwoofers

Los subwoofers, que reproducen las frecuencias bajas de las bandas sonoras de cine, tienen un impacto significativo. Los subwoofers de alto rendimiento tienen las siguientes características: alto aguante de potencia, compresión de potencia reducida, y cajas cúbicas altas que ofrecen una respuesta extendida de baja frecuencia. El uso de subwoofers para extender el ancho de banda de los canales de pantalla e incluso de los canales surround permite la reproducción de contenidos en frecuencias bajas en bandas sonoras de cine que de otro modo se perderían.

La nueva era:

Ajustando el sonido a la imagen

En los últimos años, las tecnologías de proyección de cine han llevado aparejadas unas mejoras radicales en la experiencia visual. Sin embargo, el sector muestra un retraso generalizado en la implementación de sistemas de audio de cine capaces de aprovechar las elevadas prestaciones que puede ofrecer el estándar de audio DCI. El público se ha acostumbrado a ver imágenes impresionantes, y sus expectativas de tener una experiencia inmersiva de audio también han aumentado.

Y dado que el todo suele ser algo más que la simple suma de sus partes, los exhibidores que deseen alcanzar el potencial del audio DCI deberán optar por sistemas plenamente integrados. Soluciones competitivas basadas en tecnología de ribbon drivers, diseños de altavoces en matriz lineal, subwoofers de alto rendimiento y amplificación de clase D para ofrecer sistemas de sonido capaces de alcanzar el potencial del audio DCI. Ahora, los exhibidores pueden ofrecer a sus clientes una experiencia sonora más rica, mejorando la experiencia de ir al cine y diferenciándose de la competencia.

Corporate offices

Christie Digital Systems USA, Inc
USA – Cypress
PH: 714 236 8610

Christie Digital Systems Canada Inc.
Canada – Kitchener
PH: 519 744 8005

EMEA offices

Spain
Pol. Ind. Prado del Espino
c/ Labradores, 12 Nave 5
28660 Boadilla del Monte
Madrid
Spain
PH: +34 91 633 9990
United Kingdom
EMEA Regional Head Office
PH: +44 (0) 118 977 8000

Africa
PH: +27 (0)11 510 0094

Eastern Europe
Representative Office
PH: +36 (0)1 47 48 138

France
PH: +33 (0) 1 41 21 44 04

Germany
PH: +49 2161 664540

Middle East
PH: +971 (0) 4 320 6688

Italy
Independent Sales Consultant Office
PH: +39 (0) 2 9902 1161

Russia
Independent Sales Consultant Office
PH: +7 (495) 930-8961

 For the most current specification information, please visit www.christieemea.com

Copyright 2014 Christie Digital Systems USA, Inc. All rights reserved. All brand names and product names are trademarks, registered trademarks or tradenames of their respective holders. Christie Digital Systems Canada Inc.'s management system is registered to ISO 9001 and ISO 14001. Performance specifications are typical. Due to constant research, specifications are subject to change without notice.
CHRI3697_ES_MAR14

CHRISTIE®