

2.^a EDICIÓN

Configuración y ajustes de Sistemas de sonido

Curso práctico

Albert G. Digón - Pepe Ferrer
Prólogo de Bob McCarthy

GRATIS
herramienta de
procesamiento
RITA



Altaria

CONFIGURACIÓN Y AJUSTES DE SISTEMAS DE SONIDO.

2.ª edición

© Albert G. Digón y Pepe Ferrer

© De la edición: **PUBLICACIONES ALTARIA, S.L.**

Se ha puesto el máximo interés en ofrecer al lector una información completa y precisa. No obstante, PUBLICACIONES ALTARIA, S.L. no asume ninguna responsabilidad derivada del uso, ni tampoco por cualquier violación de patentes y otros derechos de terceros que pudieran ocurrir mientras este libro esté destinado a la utilización de aficionados o a la enseñanza. Las marcas o nombres mencionados son únicamente a título informativo y son propiedad de sus registros legales.

Reservados todos los derechos.

Ninguna parte de este libro puede ser reproducida, registrada en sistema de almacenamiento o transmitida de ninguna forma ni por cualquier procedimiento, ya sea electrónico, mecánico, reprográfico, magnético o cualquier otro. Queda también prohibida la distribución, alquiler, traducción o exportación sin la autorización previa y por escrito de PUBLICACIONES ALTARIA, S.L.

ISBN: 978-84-943007-8-3

Depósito legal: T 565-2015

Revisado por: Alejandra Casaleiz Fuentes

Impreso en España - Printed in Spain

Editado por:

PUBLICACIONES ALTARIA, S.L.

C/ Enric d'Ossó, 2

43005 -Tarragona

email: info@altariaeditorial.com

CONSULTE NUESTRO CATÁLOGO POR INTERNET:

<http://www.altariaeditorial.com>

Podrá estar al corriente de todas las novedades.

*Este libro está dedicado en primer lugar
a todas las personas a las que les apasionan
los fundamentos físicos del sonido.*

Pepe Ferrer

*Para mi mujer Peggy, por animarme a emprender nuevos proyectos
Y para mi futura hija Rita, por llenar de ilusión estas páginas.*

Albert G. Digón

*Y por otro lado a mi mujer Vanessa y a mis hijos Hugo y Martina,
por dar sentido a todo lo que hago.*

Va por todos vosotros

Agradecimientos

En la elaboración de este libro hemos añadido múltiples imágenes de diferentes programas que utilizamos habitualmente, tanto a nivel docente como a nivel profesional. Así que, en primer lugar, queríamos agradecer a las siguientes empresas por facilitarnos estas herramientas:

- Mapp Online, de Meyer Sound
- ArrayCalc, de D&B
- Smaart Live, de Rational Acoustic
- Matlab, de Mathworks

También queremos agradecer la colaboración de Magu Ramírez y Bob McCarthy por realizar el prólogo de este libro, y a Jamie Anderson por desarrollar y permitirnos utilizar esta magnífica herramienta que es Smaart V7 para los ejemplos prácticos; personas que son referencias a nivel mundial dentro de la ingeniería de sonido, y para nosotros es un auténtico lujo haber podido disponer de un poco de su tiempo.

Del mismo modo, queremos agradecer también a algunos compañeros del instituto INS La Mercé de Barcelona, por el apoyo recibido a lo largo de la elaboración de este libro.

Nuestro agradecimiento también a todas las personas que nos han apoyado para la elaboración de este libro, en especial a la editorial Altaria, que nos ha dado la oportunidad de realizar nuestra primera publicación.

Contenidos adicionales a la segunda edición

- Capítulo 1: Introducción a los filtros digitales en aplicaciones de audio (FIR, IIR).
- Capítulo 3: Configuraciones de subgraves volados.
- Capítulo 6: Aplicación de filtros APF en ajustes de sistemas de *delay*, e introducción a la aplicación RiTA (punto 6.8).

RiTA: Es un *software* de simulación de analizador FFT bicanal con procesador de audio. Este software permite simular el comportamiento de los principales filtros de audio y ver su respuesta en frecuencia y fase, ya que incorpora un generador interno de audio. También permite importar respuestas de impulso (IR) obtenidas mediante programas de medición bicanal y procesarlas para obtener el resultado sin tener que realizar la medida *in situ*. Esto permite poder realizar los ajustes de un sistema a partir de su IR en casa y luego aplicarlos con el sistema ya montado, ahorrando la fatiga acústica que supone estar realizando ajustes con ruido rosa.

GRATIS HERRAMIENTA DE PROCESAMIENTO RiTA

que se podrá descargar gratuitamente de nuestro sitio web:

www.publicacionesaltaria.com

www.altariaeditorial.com



Prólogo¹

Son muy pocos los ingenieros de sonido que se han atrevido a profundizar en la física acústica. Muchos de nosotros encontramos en la música su parte artística, su rendimiento teatral y su fuerza mucho más atractivos que la potencia que existe tras una bobina de un altavoz sonando. Lo que empieza como una búsqueda artística suele convertirse en una obra altamente técnica, lo que nos obliga a pensar que “la ciencia es como una segunda lengua”. Es precisamente aquí donde este libro entra en juego.



Bob McCarthy

El campo del audio profesional será siempre una combinación de los esfuerzos científicos y artísticos. Sin la tecnología de sistemas de altavoces, no se podrían hacer conciertos. Sin creación artística, no nos preocuparíamos ni de asistir a ellos. Nuestras ideas artísticas nos retan a mejorar la ciencia mientras los avances científicos abren nuevos caminos artísticos.

El campo del audio profesional sigue siendo un campo joven que se desarrolla sin parar y el sonido de los conciertos en vivo es más joven y se desarrolla más rápidamente. Antaño disponíamos de música en directo y de grabaciones en estudio. Hoy en día, disponemos de muchísimas más ramas especializadas en subcategorías. Pero hay una cosa

¹Bob McCarthy, ingeniero de prestigio internacional. Consultor educativo jefe de Meyer Sound. Diseñó la acústica de la mayoría de parques temáticos de Disney. Ha participado en todos los aspectos de la Medición Independiente de la Fuente (SIM) desde la concepción de esta revolucionaria tecnología en 1984. Ha viajado por todo el mundo para diseñar y alinear sistemas para todo tipo de foro. McCarthy creó el Curso de Certificación para Operador SIM original de 40 horas, y ha capacitado a cientos de operadores SIM y a todos los instructores certificados SIM. Su estilo de enseñanza es rápido, riguroso y marcado por su capacidad para explicar material complejo en una forma clara y práctica. McCarthy recientemente realizó un completo rediseño del curso SIM original para incluir sus nuevas técnicas de alineamiento y diseño, incluyendo la más actual información para optimizar arreglos modernos y la utilización de la tecnología de procesamiento digital. McCarthy es autor de varios libros, entre los que se encuentra *Sistemas de sonido*. Ed. Alvalena (traducido al español y presentado en España), una completa guía para diseñar y optimizar sistemas de sonido. Para mayor información sobre Bob McCarthy, visita su sitio web: <http://www.bobmccarthy.com>.

que todas estas especialidades comparten: la ciencia, es decir, las leyes comunes de la física y la acústica. Los ingenieros que profundizan en estas leyes tienen una gran ventaja, pues se basan en cómo son las cosas realmente.

Picasso fue un artista, pero conocía muy bien la naturaleza física de los medios que utilizaba: lo mismo sucede con el audio.

Es una práctica común en nuestra industria utilizar el análisis acústico y las herramientas de predicción de uso científico para diseñar y poner a punto sistemas de sonido moderno. Estas herramientas están a disposición y son totalmente asequibles, revelando la naturaleza física del sonido y permitiendo así visualizar aquello que es invisible. Parámetros como los tiempos de nivel, de fase y de llegadas se pueden apreciar en nuestros días con una precisión extrema. El pasado lo podemos comparar al presente, un balcón a un suelo y una sala de Madrid a una sala de Sevilla. La parte científica de los sistemas de sonido se puede cuantificar en tiempo real durante un concierto usando la propia música como fuente de prueba. Estas herramientas hacen más fácil que nunca fusionar la objetividad con la creatividad artística.

Estas poderosas herramientas requieren un fuerte compromiso de cómo utilizarlas. Su uso sin entender cómo emplearlas es el último acto de arrogancia. Entender su utilización conlleva tiempo y mucho esfuerzo para aprender, pero los beneficios son ilimitados, tanto para metas artísticas como científicas.

Es por eso que precisamos de libros así; libros que se centran en complementar temas clave que los ingenieros necesitan saber para poder sacar el máximo partido de lo que suponen hoy día los sistemas de sonido modernos, las herramientas de predicción y los analizadores que los gradúan.

Bob McCarthy 27 de junio de 2014

¿A quién va dirigido el libro?

Este libro está destinado tanto para la gente que se inicia en el mundo del sonido como para aquellos técnicos que llevan años trabajando en el sector y quieren profundizar en el mundo de los sistemas de sonorización.

Es un libro que se basa fundamentalmente en conocer los principios básicos que cumplen los sistemas de sonorización actuales para poder optimizar su funcionamiento. A pesar de que se tratan fundamentos físicos, matemáticos o acústicos, el libro básicamente se centra en la explicación, de un modo eminentemente práctico, de los principales sistemas de sonorización, tanto de su funcionamiento como de los ajustes que hay que realizar.

Es un buen libro para aquellas personas que quieren dar un paso más en la calidad acústica de sus sistemas de reproducción de sonido.

Convenciones generales

Este libro tiene su origen en un acuerdo de colaboración entre Pepe Ferrer y Albert G. Digón. Pepe Ferrer es técnico de sonido con una larga trayectoria en el ámbito profesional, ha trabajado durante muchos años para la empresa Focus de Barcelona, y actualmente está especializado en el diseño de sistemas de sonorización. Lleva varios años formando a técnicos de sonido impartiendo cursos de diseño de sistemas en Educasound, dando cursos a nivel nacional e internacional. Además, desde hace un tiempo comparte su conocimiento realizando publicaciones en su blog personal, peperrersonido.blogspot.com, donde empezó a desarrollar algunos de los temas que se tratan en el presente libro. En la actualidad está cursando la carrera de Ingeniería en Sistemas Audiovisuales.

Por otro lado, Albert G. Digón es ingeniero electrónico e ingeniero técnico de telecomunicaciones, trabaja actualmente como profesor de ciclos formativos de grado superior de sonido en la escuela INS La Mercé, de Barcelona, posee diez años de experiencia como

docente. En el pasado formó parte de un grupo de trabajo para el proyecto de la elaboración de materiales *online* para el Ministerio de Educación, grupo para el cual realizó los contenidos del módulo de Ajustes de Sistemas de Sonorización del ciclo de grado superior de sonido. Después de realizar los contenidos y ver cómo el proyecto del material *online* no llegó a consolidarse, decidió contactar con Pepe Ferrer para poder realizar un material didáctico útil para sus alumnos del ciclo de sonido, que tiene su fruto en este libro, después de comprobar que existe poca bibliografía especializada al respecto.

El libro está estructurado en 6 capítulos los cuales se resumen a continuación:

- El primero de ellos es una presentación sobre los conceptos básicos que son necesarios para poder profundizar en el resto de capítulos, donde se habla de los fundamentos físicos del sonido, como amplitud, frecuencia o periodo, entre otros; de las unidades de medida y tipos de decibelios y, por último, incluye una introducción a la fase de la señal y a los filtros electrónicos.
- El segundo capítulo se centra en la lectura de la curva de fase. A partir del análisis de una representación de la fase en función de la frecuencia, se hablará de la interacción entre diferentes fuentes sonoras y entre diferentes márgenes frecuenciales de una misma fuente, o bien entre la interacción entre una fuente sonora y un recinto determinado.
- El tercer capítulo está dedicado a la descripción de los principales arreglos de altavoces que se utilizan hoy en día para sonorizar un evento, teniendo en cuenta que un arreglo es una agrupación de fuentes sonoras que funcionan conjuntamente con el objetivo de mejorar alguno de sus parámetros de radiación, ya sea la respuesta en frecuencia, el nivel de presión sonora o la cobertura.
- El cuarto capítulo está dedicado al diseño de un sistema de

sonorización a partir de las especificaciones de un evento. Veremos qué criterios seguir y qué debemos tener en cuenta a la hora de pensar de qué forma se puede montar un sistema para cubrir una determinada zona de audiencia. En este capítulo se presentan los diferentes subsistemas de sonorización que completan un sistema principal.

- En el quinto capítulo se desarrolla el diseño y se muestra cuáles son los principales ajustes y medidas que hay que realizar para poder ajustarlo adecuadamente. En este capítulo se muestra de qué forma se pueden alinear los diferentes subsistemas que forman parte del equipo de sonorización.
- El sexto capítulo está dedicado a todos aquellos que quieren profundizar en los diferentes sistemas de medida, así como en los fundamentos matemáticos en los cuales se basan dichos sistemas. Este capítulo desarrolla algunas de las principales herramientas matemáticas y detalla las principales configuraciones a tener en cuenta en los principales sistemas de medida vistos a lo largo del libro.



Índice general

| | |
|---|----|
| Agradecimientos | 4 |
| Contenidos adicionales a la segunda edición | 5 |
| Prólogo por Bob McCarthy | 7 |
| ¿A quién va dirigido el libro? | 9 |
| Convenciones generales | 9 |
| Introducción..... | 17 |

Capítulo 1

| | |
|--|-----------|
| 1. CONCEPTOS BÁSICOS DE AUDIO | 21 |
| 1.1 Relación entre el tiempo y la frecuencia | 22 |
| 1.2 Onda sinusoidal y ecuación de onda | 24 |
| 1.2.1 La forma de onda..... | 29 |
| 1.2.2 Factor de cresta | 30 |
| 1.3 Velocidad de propagación (C) | 32 |
| 1.4 Reflexión y refracción | 33 |
| 1.4.1 Reflexión | 33 |
| 1.4.2 Refracción | 34 |
| 1.5 Difracción | 35 |
| 1.6 Presión acústica | 35 |
| 1.6.1 El decibelio..... | 36 |
| 1.6.2 Ley cuadrática inversa | 40 |
| 1.6.3 Nivel de presión sonora..... | 42 |
| 1.7 Fase..... | 43 |
| 1.7.1 Señales coherentes e incoherentes..... | 46 |
| 1.8 Representación espectral..... | 47 |
| 1.9 Generadores de señal..... | 49 |
| 1.9.1 Ruido blanco..... | 50 |
| 1.9.2 Ruido rosa..... | 52 |
| 1.9.3 Ruido marrón..... | 54 |
| 1.9.4 Barrido de frecuencia | 55 |

| | |
|---|----|
| 1.10 Función de transferencia | 56 |
| 1.10.1 Magnitud | 57 |
| 1.10.2 Fase | 60 |
| 1.11 Leyendo la curva de fase | 61 |
| 1.11.1 Inversión de polaridad | 66 |
| 1.11.2 Retraso | 67 |
| 1.12 Divisores frecuenciales | 68 |
| 1.12.1 Características de los filtros electrónicos..... | 69 |
| 1.12.2 Filtros digitales..... | 77 |
| 1.13 Respuesta al impulso | 84 |
| 1.13.1 Tiempo de llegada de la señal..... | 85 |
| 1.13.2 Nivel relativo entre la señal directa y las reflexiones..... | 86 |
| 1.13.3 Polaridad..... | 86 |
| 1.13.4 Retraso de fase | 87 |

Capítulo 2

| | |
|---------------------------------------|-----------|
| 2. SUMA ACÚSTICA | 91 |
| 2.1 <i>Comb filter</i> | 92 |
| 2.1.1 Lineal..... | 98 |
| 2.1.2 Logarítmico..... | 99 |
| 2.2 <i>Crossover</i> acústico..... | 100 |
| 2.2.1 Espacial | 100 |
| 2.2.2 Espectral..... | 103 |
| 2.3 Amplitud de la suma | 111 |
| 2.4 Fase de la suma..... | 113 |
| 2.5 Interacción altavoz-sala | 121 |
| 2.6 Interacción altavoz-altavoz | 123 |
| 2.7 Variaciones de nivel | 126 |

Capítulo 3

| | |
|---|------------|
| 3. CONFIGURACIÓN DE ARREGLOS | 131 |
| 3.1 Harry Olson..... | 131 |
| 3.1.1 Fuente puntual simple | 133 |
| 3.1.2 Fuente puntual doble | 133 |
| 3.2 Cobertura | 137 |
| 3.2.1 Directividad constante | 140 |
| 3.2.2 Directividad proporcional..... | 142 |
| 3.3 Agrupación de fuentes sonoras..... | 144 |
| 3.3.1 Fuentes acopladas..... | 144 |
| 3.3.2 Fuentes desacopladas..... | 163 |
| 3.3.3 Fuentes en línea recta | 169 |
| 3.3.4 Fuentes en línea curva (arco) | 174 |
| 3.4 <i>Line array</i> | 176 |
| 3.4.1 Desmintiendo un mito | 176 |

| | |
|---|------------|
| 3.4.2 Arreglo lineal HF | 177 |
| 3.4.3 Arreglo en arco HF | 184 |
| 3.4.4 Arreglo asimétrico | 186 |
| 3.5 Arreglos de subgraves | 189 |
| 3.5.1 <i>End fired</i> | 190 |
| 3.5.1.1 Dos subgraves | 191 |
| 3.5.1.2 Cuatro subgraves | 197 |
| 3.5.2 Gradiente | 202 |
| 3.5.3 <i>Stack</i> invertido | 206 |
| 3.5.4 Subgraves en línea gradiente | 209 |
| 3.5.5 Subgraves en arco | 212 |
| 3.5.6 Directividad con <i>delay</i> | 213 |
| 3.5.7 Subgraves volados | 216 |

Capítulo 4

4. ESPECIFICACIÓN DE SISTEMAS.....231

| | |
|---|------------|
| 4.1 Tipos de eventos | 231 |
| 4.1.1 Según el espacio | 232 |
| 4.1.2 Según el número de espectadores | 239 |
| 4.1.3 Según el tipo de instalación..... | 240 |
| 4.1.4 Según la naturaleza del espectáculo | 240 |
| 4.2 Zona de cobertura | 244 |
| 4.2.1 Nivel de presión acústica | 245 |
| 4.2.2 Uniformidad de cobertura..... | 248 |
| 4.2.3 Inteligibilidad | 250 |
| 4.3 Amplificación y limitación de altavoces | 252 |
| 4.3.1 Amplificadores | 253 |
| 4.3.1.1 Potencia máxima útil..... | 254 |
| 4.3.1.2 Potencia de pico | 254 |
| 4.3.2 Altavoces | 256 |
| 4.3.3 Ajuste de limitación | 257 |
| 4.4 Subdivisiones del sistema y planificación de sus ajustes | 262 |
| 4.4.1 Sistema principal | 263 |
| 4.4.2 Sistema de subgraves | 265 |
| 4.4.3. Sistema de <i>front fill</i> | 266 |
| 4.4.4 Sistema de <i>delay</i> | 274 |

Capítulo 5

5. DISEÑO291

| | |
|--|------------|
| 5.1 Los sistemas de sonido y su comportamiento | 291 |
| 5.1.1 Elección del tipo de arreglo..... | 292 |
| 5.1.2 Alineamiento entre sistema principal y subgraves..... | 298 |
| 5.1.3 Técnicas de trabajo con sistemas de PA (<i>Public Address</i>) en <i>line array</i> | 309 |
| 5.1.3.1 Simulación | 309 |
| 5.1.3.2 Montaje..... | 311 |
| 5.1.3.3 Separación de tiros | 313 |
| 5.1.3.4 Medición | 314 |

| | |
|---|-----|
| 5.1.3.5 Ajustes | 317 |
| 5.2 Distribución de la señal | 319 |
| 5.2.1 Procesador digital | 319 |
| 5.3 Modelización acústica..... | 322 |
| 5.3.1 <i>Software</i> de predicción acústica..... | 322 |

Capítulo 6

6. HERRAMIENTAS DE MEDIDA331

| | |
|--|-----|
| 6.1 Analizador FFT | 331 |
| 6.1.1 Dominio temporal | 331 |
| 6.1.2 Dominio frecuencial | 340 |
| 6.2 Series de Fourier | 344 |
| 6.2.1 Análisis | 345 |
| 6.2.2 Síntesis..... | 347 |
| 6.3 Frecuencia de muestreo, periodo de muestreo | 348 |
| 6.3.1 <i>Aliasing</i> y <i>folded aliasing</i> | 348 |
| 6.3.2 Teorema de Sampling..... | 353 |
| 6.4 Respuesta en frecuencia | 356 |
| 6.5 La transformada de Fourier y la FFT..... | 360 |
| 6.6 Medidas de canal sencillo o monocal..... | 367 |
| 6.6.1 RTA | 367 |
| 6.6.2 Sonómetro..... | 372 |
| 6.6.3 Tiempo de reverberación (RT60)..... | 376 |
| 6.6.3.1 Método discontinuo | 379 |
| 6.6.3.2 Respuesta impulsiva | 379 |
| 6.6.4 Espectrograma | 380 |
| 6.7 Medidas de canal doble o bicanal..... | 382 |
| 6.7.1 Función de transferencia | 382 |
| 6.7.2 Función de impulso..... | 389 |
| 6.7.2.1 Lineal vs. logarítmico..... | 389 |
| 6.7.2.2 ETC (<i>Energy Time Curve</i>)..... | 407 |
| 6.8 Utilización de la respuesta al impulso mediante el programa de predicción RiTA..... | 411 |
| 6.9 Tipos de ventanas. Influencia del promediado temporal (<i>gating</i>) en el análisis..... | 414 |
| 6.10 Coherencia entre la señal de referencia y la salida del sistema. Fiabilidad de la medida..... | 419 |
| 6.10.1 Error en la sincronización..... | 420 |
| 6.10.2 Ruido | 421 |
| 6.10.3 Reflexiones, campo reverberante..... | 421 |
| 6.10.4 Posición del micrófono | 422 |

Bibliografía consultada y enlaces de interés 424

Ejercicios425

| | |
|----------------------------|-----|
| Ejercicios propuestos..... | 427 |
| Solucionario..... | 455 |

INTRODUCCIÓN

Este libro pretende familiarizar al lector con los conceptos básicos de las magnitudes físicas que afectan a cualquier configuración de un sistema de sonido, el uso y conocimiento de las herramientas de análisis y aprovechar dichos conocimientos para la creación y desarrollo de un diseño de sonido y su posterior optimización.

El uso de una herramienta de medición no significa nada por sí solo. Un *software* de análisis deberá ser interpretado, por lo tanto, no solamente debere-
mos aprender su lenguaje sino también entender cuáles son las magnitudes que estamos analizando y por qué.

Nos familiarizaremos con el uso correcto de la terminología y con las herra-
mientas necesarias para poder optimizar cualquier sistema de sonido.