

PRODUCCIÓN MUSICAL Y SONORA

Diseño de Arreglos de Al- tavoces

Víctor Herrera

2026

Contenido

Capítulo 1: Historia y Evolución de los Sistemas de Refuerzo Sonoro	1
1.1 Definición del Sistema	1
1.2 La Era de la Voz (1900–1930)	1
1.3 La Era del Cine Sonoro (1930–1950)	2
1.4 El Boom de los Conciertos (1960–1970)	2
1.5 La Revolución Tecnológica (1980–2000)	2
1.6 La Actualidad: Predicción e Inmersión	2
Capítulo 2: Física de la Conexión: Impedancia y Suma de Niveles	4
1. Introducción (10 minutos)	4
Capítulo 3: Planificación Eléctrica y Distribución de Energía	9
1) Inventario de cargas (lo primero, siempre)	9
2) Cargas de audio: picos vs promedio	9
3) Fundamentos rápidos de cálculo	10
4) Ejemplo práctico (para explicar a clase)	12
5) ¿Generadores o toma de red pública?	13
6) Distribución eléctrica del show	13
7) Puesta a tierra y ruido	13
8) Caída de tensión (voltaje) en cables largos	14
9) ¿Cuántos generadores?	16
10) Ejercicio con datos reales (datasheets)	16
Capítulo 4: Simulación de Recintos y Fuentes (ArrayCalc)	19
4.1 Modelado del Recinto (Venue)	19
4.2 Configuración de Fuentes (Sources)	20
4.3 Frecuencias Clave para el Análisis	20
4.4 Interpretación de Datos	21
Capítulo 5: Estrategias de Cobertura y Sistemas Distribuidos	22
5.1 El Área de Cobertura	22
5.2 Sistemas Distribuidos: Torres de Delay	22
5.3 La Física del Retardo (Cálculo)	23
5.4 Fase y Coherencia	23
5.5 Caso de Estudio: Diseño de Explanada	23
Capítulo 6: Diseño Avanzado: Cobertura 360° en Espacios Cerrados	25
6.1 El Desafío del Círculo	25
6.2 Estrategias de Configuración	25
6.3 Optimización con ArrayCalc	26
6.4 Caso de Estudio: El Arena 50x50	26
Capítulo 7: Configuraciones Básicas y Acoplamiento Acústico	28

7.1 La Física del Acoplamiento	28
7.2 Configuración L/R (Izquierda/Derecha)	28
7.3 Arreglo Central (Center Cluster)	29
7.4 Arreglo Lineal Frontal (Broadside)	29
Capítulo 8: Arreglos Direccionales I: End-Fire y Gradiente	30
8.1 El Problema de la Omnidireccionalidad	30
8.2 El Arreglo End-Fire (Longitudinal)	30
8.3 El Arreglo Gradiente (Cardioide Invertido)	31
8.4 Comparativa de Selección	32
Capítulo 9: Arreglos Direccionales II: Arco Electrónico y Spread	33
9.1 El Concepto de Geometría Virtual	33
9.2 Arc Delay: Enfocando la Energía	33
9.3 Arreglo Divergente (Spread): Abriendo la Cobertura	34
Capítulo 10: Redes de Audio y Protocolos de Comunicación (Dante/IP)	36
10.1 La Convergencia del Audio y la Informática	36
10.2 Protocolos y Hardware	36
10.3 El Lenguaje de la Red: Direcciones IP	36
10.4 Caso Práctico: Controlando el d&b D80	37
Capítulo 11: Navegación y Flujo de Trabajo en el d&b D80	39
11.1 La Interfaz Física: Menú de Inicio (Home)	39
11.2 Configuración de Entradas (Input Setup)	39
11.3 Speaker Setup: El ADN del Sonido	39
11.4 Modos de Salida (Output Mode)	40
11.5 Herramientas de Optimización (DSP)	40
11.6 LoadMatch: Venciendo al Cable	41
Resumen del Flujo de Trabajo (Workflow)	41
Capítulo 12: Gestión Remota de Sistemas (d&b R1)	42
12.1 El Ecosistema d&b: Del Diseño al Control	42
12.2 Importación y Generación de la Interfaz	42
12.3 Navegación por la Interfaz	43
12.4 Taller Práctico: Puesta en Marcha	43
12.5 Videoteca de Referencia	44
Capítulo 13: Montaje Físico, Ruteo y Amplificación	45
Video de referencia	45
13.1 Flujo de Señal y Cableado Estructurado	45
13.2 Modos de Amplificación: Mix TOP/SUB	46
13.3 Caso de Estudio: Montaje Estéreo Full Range	46
13.4 Diagnóstico Básico de Montaje	47
Cierre: criterio profesional	48
Recursos Adicionales	48
Capítulo 14: Medición y Ajuste de Sistemas (FFT y Función de Transferencia)	49
14.1 ¿Qué estamos midiendo?	49
14.2 Herramientas: Open Sound Meter (OSM)	49
14.3 Configuración del Hardware	50
14.4 El Procedimiento de Ajuste (Paso a Paso)	50

13.5 Alineación de Fase (El Santo Grial)	51
13.6 Interpretación de Problemas Comunes	51
Capítulo 15: Software de Análisis en Tiempo Real (Open Sound Meter)	52
15.1 ¿Qué es Open Sound Meter?	52
Descarga	52
15.2 Material necesario para la práctica	52
15.3 Interfaz general	53
15.4 Tipos de gráficos	55
Prioridad en clase	56
15.5 Número de gráficos a mostrar	56
15.6 Salida del generador	57
Seguridad de nivel	57
15.7 Procesamiento y visibilidad de mediciones	57
15.8 Fuente seleccionada y orden visual	58
15.9 Lectura de la coherencia	58
15.10 Práctica guiada	59
15.11 Material complementario	59
Cierre	59
Capítulo 16: Nuevas Fronteras: Audio Inmersivo y Mezcla Espacial	60
16.1 Del Canal al Objeto: Un Cambio de Paradigma	60
16.2 Tecnologías Inmersivas para Sonido en Vivo	60
16.3 Componentes Técnicos Comunes	63
16.4 Consideraciones de Diseño e Implementación	64
16.5 Futuro y Tendencias Emergentes	65
16.6 Conclusión	66

Capítulo 1: Historia y Evolución de los Sistemas de Refuerzo Sonoro

Antes de conectar el primer cable o abrir el software de predicción, es fundamental comprender de dónde venimos. La ingeniería de sistemas actual es el resultado de un siglo de prueba y error, impulsado por una necesidad humana básica: comunicar un mensaje a una audiencia cada vez mayor.

En este capítulo exploraremos cómo pasamos de los micrófonos de carbón rudimentarios a los complejos arreglos lineales digitales de hoy en día.

1.1 Definición del Sistema

Un **sistema de refuerzo sonoro** no es simplemente un conjunto de altavoces ruidosos. Se define técnicamente como el conjunto de equipos interconectados que permiten **capturar, amplificar y distribuir** una señal sonora para que llegue de manera clara, inteligible y con el nivel de presión adecuado a toda la audiencia presente en un recinto.

La cadena básica, independientemente de la época, siempre se compone de:

- **Transductores de entrada:** Micrófonos.
- **Procesamiento y Amplificación:** La etapa de ganancia y modelado.
- **Transductores de salida:** Altavoces.
- **Interconexión:** Cableado y distribución.

1.2 La Era de la Voz (1900–1930)

Los inicios del refuerzo sonoro estuvieron marcados por una limitación tecnológica clara: la fidelidad. Los primeros sistemas no buscaban «calidad musical», sino simplemente **inteligibilidad de la voz** para discursos políticos y anuncios públicos.

- **Tecnología:** Predominaban los micrófonos de carbón, que ofrecían un ancho de banda muy limitado y mucho ruido de fondo.
- **Hito Histórico:** El primer uso documentado de un sistema de altavoces eléctricos para amplificar voz en público ocurrió el **24 de diciembre de 1915** en San Francisco, durante la *Exposición Internacional Panamá-Pacífico*.

Dato Clave

Antes de 1915, la única forma de hablar a grandes multitudes era mediante la **proyección natural de la voz** y la acústica arquitectónica de teatros romanos o auditorios.

1.3 La Era del Cine Sonoro (1930–1950)

Si la política impulsó el volumen, el cine impulsó la calidad. La llegada del cine sonoro creó una demanda masiva de sistemas que pudieran reproducir no solo diálogos, sino también música y efectos de sonido con cierto grado de realismo.

El punto de inflexión fue el estreno de «**El cantor de jazz**» (**The Jazz Singer**) en 1927. Este evento marcó un antes y un después, obligando a las salas de cine a instalar sistemas de amplificación permanentes y de mayor fidelidad.

Durante este periodo, compañías como *Western Electric* desarrollaron tecnologías de bocinas y drivers de compresión que sentaron las bases físicas de los altavoces modernos.

Recurso Multimedia:

[Ver corto de Western Electric: «La llegada del cine sonoro» \(1920\) ↗](#)

1.4 El Boom de los Conciertos (1960–1970)

La música Rock & Roll trajo consigo un problema nuevo: el ruido del público superaba la potencia de los equipos de la época.

Los sistemas de cine adaptados ya no eran suficientes para estadios de béisbol o festivales al aire libre. Fue la era de los primeros grandes **PA Systems** (Public Address) diseñados específicamente para giras y eventos masivos.

- **El desafío de los Beatles:** En su famoso concierto en el *Shea Stadium*, el sistema de megafonía del estadio (diseñado para anuncios de béisbol) fue totalmente inaudible ante los gritos de los fans. Esto evidenció la necesidad de sistemas dedicados de alta potencia.
- **Woodstock (1969):** Marcó el estándar de los festivales masivos, demostrando que era posible sonorizar a cientos de miles de personas al aire libre, aunque con tecnologías que hoy consideraríamos primitivas y peligrosas.

Video Histórico:

[Woodstock y el nacimiento del sonido masivo ↗](#)

1.5 La Revolución Tecnológica (1980–2000)

A finales del siglo XX, la física y la informática comenzaron a converger.

1. **Procesamiento Digital (DSP):** Se abandonaron los racks analógicos gigantescos en favor de procesadores digitales que permitían controlar ecualización, delay y limitadores con precisión matemática.
2. **El Line Array:** Este concepto revolucionó el sonido en vivo. En lugar de apilar cajas convencionales (Point Source) que interferían entre sí, se desarrollaron sistemas lineales que aprovechaban el acoplamiento constructivo para lanzar el sonido a mayores distancias con mayor coherencia.

1.6 La Actualidad: Predicción e Inmersión

Hoy en día, el trabajo del ingeniero de sistemas comienza mucho antes de llegar al recinto.

- **Predicción Acústica:** Herramientas como *d&b ArrayCalc*, *EASE* o *Soundvision* nos permiten modelar el comportamiento del sonido en un espacio virtual 3D, minimizando la incertidumbre.
- **Audio Inmersivo:** Estamos en la transición del estéreo (L/R) a sistemas de audio espacial y 3D, donde el sonido puede posicionarse libremente en el espacio, ofreciendo una experiencia envolvente.

Reflexión para el Ingeniero

Para cerrar este capítulo, analiza la siguiente cuestión que ha definido nuestra industria:

Punto de Análisis:

Históricamente, ¿qué factor crees que impulsó más el desarrollo tecnológico del audio moderno?

1. **El Cine Sonoro:** Por la necesidad de fidelidad y estandarización.
2. **Los Mega-Conciertos (60s):** Por la necesidad bruta de potencia y cobertura.
3. **El Line Array (90s):** Por la optimización física y logística.

No hay una respuesta única correcta, pero entender que el «**cine nos dio la calidad**» y el «**rock nos dio la potencia**» es clave para entender el equipo que usas hoy.

Capítulo 2: Física de la Conexión: Impedancia y Suma de Niveles

Antes de preocuparnos por la cobertura acústica, debemos asegurar que la energía eléctrica fluya correctamente. Comprender la Ley de Ohm y la interacción de fase es la diferencia entre un sistema eficiente y un amplificador quemado.

1. Introducción (10 minutos)

- **Objetivos de la clase:**
 - Comprender cómo se suman los niveles de presión sonora (NPS) en un sistema de altavoces.
 - Aprender a calcular la caída de nivel de presión sonora en función de la distancia del oyente.
 - Entender cómo la interacción de fase entre múltiples fuentes sonoras afecta el NPS resultante.
- **Breve repaso teórico:**
 - Explicación básica de la presión sonora y cómo se mide en decibelios (dB).
 - Conceptos clave: Inversión cuadrática, ley del inverso cuadrado, y cómo la energía sonora se dispersa en el espacio.
 - Introducción al concepto de fase y cómo diferentes fuentes de sonido pueden interactuar constructivamente o destructivamente dependiendo de su relación de fase.

Aquí tienes un desarrollo más detallado de las ideas mencionadas:

2. Conexión de Altavoces en Serie y en Paralelo (40 minutos)

Objetivo:

Aprender a conectar altavoces en serie y en paralelo, comprendiendo cómo estas configuraciones afectan la impedancia total del sistema y el rendimiento del amplificador.

Contenido:

1. Conexión en Serie:

- **Explicación Conceptual:**
 - En una conexión en serie, los altavoces se conectan uno tras otro, formando un solo camino para la corriente eléctrica. La corriente fluye a través de cada altavoz en secuencia.

caption: [Imagen Serie])

- **Impedancia Total:** En esta configuración, la impedancia total del sistema es la suma de las impedancias individuales de cada altavoz. Es decir, si tienes dos altavoces con una impedancia de 8 ohmios cada uno, la impedancia total sería 16 ohmios.

$$R_{\text{total}} = R_1 + R_2$$

Nota

La resistencia (impedancia) se suma en serie porque la corriente eléctrica debe pasar por cada altavoz uno tras otro, enfrentando la resistencia de cada uno en secuencia, lo que incrementa la impedancia total del circuito.

Ejemplo

Si conectamos dos altavoces de 8Ω en serie, la impedancia total será:

$$R_{\text{total}} = 8\Omega + 8\Omega = 16\Omega$$

Esto significa que el amplificador verá una carga de 16 ohmios.

- **Ventajas y Desventajas:**

- ▶ **Ventaja:** La configuración en serie aumenta la impedancia, lo que generalmente es seguro para los amplificadores.
- ▶ **Desventaja:** Si un altavoz falla, se interrumpe todo el circuito, dejando de funcionar todos los altavoces conectados en serie.

2. **Conexión en Paralelo:**

- **Explicación Conceptual:**

- ▶ En una conexión en paralelo, los altavoces se conectan de tal manera que cada uno tiene su propio camino para la corriente eléctrica, todos compartiendo el mismo punto de entrada y salida de señal.

caption: [Imagen Paralelo])

- **Impedancia Total:** La impedancia total en paralelo se reduce y se calcula usando la fórmula:

$$\frac{1}{R_{\text{total}}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots$$

[!note] Nota La resistencia baja en paralelo porque hay más caminos disponibles para que la corriente fluya, lo que reduce la impedancia total que el amplificador debe manejar.

Si conectamos dos altavoces de 8Ω en paralelo, la impedancia total será:

$$\frac{1}{R_{\text{total}}} = \frac{1}{8\Omega} + \frac{1}{8\Omega} = \frac{2}{8\Omega} = \frac{1}{4\Omega}$$

Por lo tanto,

$$R_{\text{total}} = 4\Omega$$

Esto significa que el amplificador verá una carga de 4 ohmios.

Por ejemplo, si tienes dos altavoces de 8 ohmios conectados en paralelo, la impedancia total será 4 ohmios.

- **Ventajas y Desventajas:**

- ▶ **Ventaja:** Si un altavoz falla, los otros siguen funcionando, lo que hace que la configuración en paralelo sea más confiable.
- ▶ **Desventaja:** La baja impedancia resultante puede sobrecargar el amplificador si no se tiene cuidado.

Ejercicios de Conexión de Altavoces en Serie y Paralelo

Problema 1:

Tienes tres altavoces con las siguientes impedancias: 4 ohmios, 6 ohmios y 10 ohmios. Si los conectas en serie, ¿cuál es la impedancia total del sistema?

Problema 2:

Dos altavoces, cada uno con una impedancia de 8 ohmios, están conectados en paralelo. ¿Cuál es la impedancia total del sistema?

Problema 3:

Cuatro altavoces están conectados en serie. Las impedancias de los altavoces son: 8 ohmios, 8 ohmios, 16 ohmios y 4 ohmios. Calcula la impedancia total del sistema.

Problema 4:

Tres altavoces con impedancias de 4 ohmios, 6 ohmios y 12 ohmios están conectados en paralelo. Calcula la impedancia total.

Problema 5:

Dos altavoces de 8 ohmios cada uno están conectados en paralelo. Este conjunto se conecta en serie con un altavoz de 4 ohmios. ¿Cuál es la impedancia total del sistema?

Problema 6:

Cuatro altavoces están conectados de la siguiente manera: dos altavoces de 8 ohmios están en paralelo, y su conjunto se conecta en serie con otros dos altavoces de 4 ohmios, que también están en paralelo. Calcula la impedancia total.

Problema 7:

Se desea conectar cinco altavoces en un sistema. Dos altavoces de 16 ohmios están en paralelo, y este conjunto se conecta en serie con otros tres altavoces de 8 ohmios, que están también en paralelo. ¿Cuál es la impedancia total del sistema?

3. Impacto de la Impedancia en el Amplificador

Objetivo:

Entender cómo la elección de la impedancia al conectar altavoces puede afectar el funcionamiento del amplificador y cuándo existe el riesgo de dañarlo.

Contenido:**Nota**

La impedancia actúa como la «resistencia» que el amplificador ve. Conocerla es esencial para proteger el equipo y garantizar un rendimiento óptimo.

1. Impedancia Alta:

- **Explicación Conceptual:** Conectar una impedancia más alta de lo recomendado reduce la cantidad de corriente que el amplificador necesita entregar, lo cual generalmente es seguro. Sin embargo, esto también significa que el amplificador no aprovecha toda su capacidad, resultando en menor potencia y, potencialmente, menor volumen.
- **Cálculo de Potencia:**

[!example] Ejemplo

Supongamos que un amplificador entrega **100W a 8Ω**.

Si conectas un altavoz de **16Ω**, la potencia resultante es:

$$P_{\text{nueva}} = \frac{P_{\text{original}} \times R_{\text{original}}}{R_{\text{nueva}}}$$

$$P_{\text{nueva}} = \frac{100W \times 8\Omega}{16\Omega} = 50W$$

El resultado: **50W**, es decir, la mitad de la potencia original.

2. Impedancia Baja:

- **Explicación Conceptual:** Conectar una impedancia más baja de lo recomendado **aumenta la corriente** que el amplificador debe entregar, lo que puede **sobrecargarlo**. Esto genera sobrecalentamiento y posibles daños.
- **Cálculo de Potencia:**

[!example] Ejemplo

Un amplificador entrega **100W a 8Ω**.

Si conectas un altavoz de **4Ω**:

$$P_{\text{nueva}} = \frac{100W \times 8\Omega}{4\Omega} = 200W$$

Aquí, el amplificador intentaría entregar **200W**, lo que podría sobrecargarlo.

- **Casos prácticos:**

- ▶ Algunos amplificadores modernos incluyen **fusibles y sistemas de protección**, pero estos no deben ser la única defensa.
- ▶ Diseñar con margen de seguridad es siempre la mejor práctica.

Advertencia

Conectar cargas por debajo de la impedancia mínima recomendada puede **dañar irreversiblemente el amplificador**.

Tip

Siempre revisa en el manual del amplificador cuál es la **impedancia mínima soportada**. Trabajar por encima de ese valor es seguro; trabajar por debajo puede ser fatal.

Ejercicios

1. Impacto de la Impedancia Alta:

• Problema 1:

Tienes un amplificador diseñado para altavoces de 4Ω y 8Ω . Conectas un altavoz de 16Ω .

- ▶ **Pregunta 1:** Explica cómo afectará la corriente que debe entregar el amplificador y la potencia de salida.
- ▶ **Pregunta 2:** Calcula la potencia de salida si el amplificador entrega $100W$ a 8Ω .

2. Impacto de la Impedancia Baja:

• Problema 2:

Un amplificador diseñado para una impedancia mínima de 8Ω se conecta a un altavoz de 4Ω .

- ▶ **Pregunta 1:** Explica los riesgos asociados.
- ▶ **Pregunta 2:** Si el amplificador entrega $100W$ a 8Ω , calcula la potencia a 4Ω .

3. Comparación de Impedancias Alta y Baja:

• Problema 3:

Amplificador con especificaciones: $100W$ a 8Ω , $50W$ a 16Ω .

- ▶ **Pregunta 1:** ¿Qué sucede con un altavoz de 16Ω ?
- ▶ **Pregunta 2:** ¿Qué sucede con un altavoz de 4Ω ?
- ▶ **Pregunta 3:** ¿Cuál conexión sería más segura y por qué?

Capítulo 3: Planificación Eléctrica y Distribución de Energía

El éxito técnico de un concierto no depende solo de la calidad de los altavoces. Sin una energía estable, limpia y segura, el mejor sistema del mundo es inútil. En este capítulo aprenderemos a dimensionar generadores, calcular cargas reales y garantizar la seguridad de técnicos y artistas.

En eventos grandes, el éxito técnico no depende solo de la PA: **la energía eléctrica** es tan crítica como el audio. Aquí verás **cómo estimar potencia, tensión (voltaje), corriente, número de generadores, distribución y seguridad**, y cómo enseñarlo paso a paso a tus alumnos.

1) Inventario de cargas (lo primero, siempre)

Haz una tabla con **todas las cargas** y su **potencia nominal** (kW) o **corriente nominal** (A), separando por subsistema:

- Audio (amplificadores de subgraves y tops, racks de procesamiento)
- Iluminación (convencional y móviles)
- Video (pantallas LED, procesadores)
- Backline (si aplica)
- Infraestructura (FOH, monitores, intercom, redes, cargadores)

TIP

Pide a los alumnos que recojan **datos reales de equipos** (placa del equipo) + PDFs de especificaciones. Evita estimar «a ojo».

2) Cargas de audio: picos vs promedio

Los amplificadores de PA tienen **potencias pico muy altas** pero **consumo promedio menor** (por el factor de cresta del audio y la eficiencia de los amplificadores clase D).

- **Nombre de placa** (p. ej., «32 A por fase») ≠ consumo continuo real.
- Para planeación, usa un **factor de diversidad** para audio (típicamente **0.3–0.5** según el programa musical y el tamaño del sistema).

NOTA

La **diversidad** modela que **no todos los amplificadores** entregan potencia máxima a la vez ni de forma continua.

3) Fundamentos rápidos de cálculo

3.1 Monofásico

- Potencia activa:

$$P = V \cdot I \cdot \text{FP}$$

NOTA

Donde:

- V es la tensión o voltaje en voltios (V).
- I es la corriente en amperios (A).
- FP es el factor de potencia (sin unidad), que representa la eficiencia del uso de la energía eléctrica.

EJEMPLO

Por ejemplo, si un equipo monofásico consume 10 A a 120 V con un factor de potencia de 0.9:

$$P = 120 \times 10 \times 0.9 = 1080 \text{ W} = 1.08 \text{ kW}$$

TIP

Recuerda siempre verificar si el equipo es monofásico para aplicar estas fórmulas correctamente.

- Si el equipo está especificado en kW (potencia activa), la corriente:

$$I = \frac{P}{V \cdot \text{FP}}$$

NOTA

Aquí I es la corriente necesaria para una potencia activa P dada la tensión V y factor de potencia FP.

EJEMPLO

Si un equipo monofásico requiere 1.08 kW a 120 V con $\text{FP} = 0.9$:

$$I = \frac{1080}{120 \times 0.9} = 10 \text{ A}$$

TIP

Identifica si el equipo es monofásico para usar esta fórmula; no es válida para cargas trifásicas.

3.2 Trifásico (balanceado)

- Potencia activa total:

$$P = \sqrt{3} V_L \cdot I_L \cdot \text{FP}$$

donde V_L es tensión línea-línea (p. ej., 400 V o 208 V).

NOTA

Donde:

- V_L es la tensión entre líneas (voltaje línea-línea) en voltios (V).
- I_L es la corriente por línea en amperios (A).
- FP es el factor de potencia.

EJEMPLO

Por ejemplo, con una corriente de 30 A a 400 V y $\text{FP} = 0.9$:

$$P = \sqrt{3} \times 400 \times 30 \times 0.9 \approx 18,748 \text{ W} = 18.75 \text{ kW}$$

TIP

Asegúrate de que el equipo sea trifásico para aplicar esta fórmula correctamente.

- Corriente por línea:

$$I_L = \frac{P}{\sqrt{3} V_L \cdot \text{FP}}$$

NOTA

Aquí I_L es la corriente por línea necesaria para una potencia P dada la tensión línea-línea V_L y factor de potencia FP.

EJEMPLO

Si un equipo trifásico requiere 18.75 kW a 400 V con $\text{FP} = 0.9$:

$$I_L = \frac{18750}{\sqrt{3} \times 400 \times 0.9} \approx 30 \text{ A}$$

TIP

Verifica que la carga sea trifásica antes de usar esta fórmula.

IMPORTANTE

FP (factor de potencia): para audio moderno suele estar entre **0.8–0.95** (varía con la marca y el modelo). Si no sabes, usa **0.9** como aproximación prudente.

4) Ejemplo práctico (para explicar a clase)

Supuesto: Gran concierto con estos totales nominales de placa:

- Audio (racks de sub + tops): **120 kW** (nombre de placa)
- Iluminación y efectos: **90 kW**
- Video LED: **60 kW**
- Otros (FOH, monitores, red, backline): **10 kW**

4.1 Ajuste por diversidad

- Audio efectivo:

$$120 \text{ kW} \times 0.4 \approx 48 \text{ kW}$$

- Iluminación (si es LED bien programado, atenuadores, no full-white continuo): **0.7–0.8**

$$\Rightarrow 90 \times 0.75 \approx 67.5 \text{ kW}$$

- Video (contenido típico, brillo 70–80%): **0.8**

$$\Rightarrow 60 \times 0.8 = 48 \text{ kW}$$

- Otros: **10 kW** (sin diversidad)

Total estimado:

$$48 + 67.5 + 48 + 10 = 173.5 \text{ kW}$$

4.2 Reserva y dimensionamiento (headroom)

Aplica **margen del 20–30%** para transitorios y evitar que el generador trabaje forzado:

$$P_{\text{objetivo}} \approx 173.5 \times 1.25 \approx 217 \text{ kW}$$

Para generadores se especifica comúnmente en **kVA**. Con $FP \approx 0.9$:

$$\text{kVA} = \frac{\text{kW}}{FP} \approx \frac{217}{0.9} \approx 241 \text{ kVA}$$

Conclusión:

- **Opción A (un solo grupo): 250 kVA** (mínimo), mejor **300 kVA** para margen.
- **Opción B (separado por áreas):**
- **Audio dedicado: ~100–125 kVA**
- **Luz + video: ~150–200 kVA**
- **Ventaja:** menos ruido eléctrico en audio y mejor estabilidad.

ADVERTENCIA

No trabajes generadores **al límite**. Los picos de audio + tirones de luz/video pueden provocar **caídas de tensión y apagados**.

5) ¿Generadores o toma de red pública?

5.1 Generadores

- Pro: control total, continuidad, fácil N+1 (redundancia: un generador extra).
- Requiere: **grupo electrógeno de baja THD**, regulador AVR estable, combustible, mantenimiento.

5.2 Red temporal del proveedor (utility)

- Pro: estabilidad si el proveedor instala **tablero temporal trifásico** con medidor.
- Requiere: **gestión y permisos** con la empresa eléctrica local, inspección y **puesta a tierra** certificada.

PRECAUCIÓN

No tomes de alumbrado público. No está diseñado para cargas de concierto, puede estar **subdimensionado** y acarrea **riesgos legales y de seguridad**.

6) Distribución eléctrica del show

- **Tensiones típicas**
 - 120/208 V trifásico (Américas).
 - 230/400 V trifásico (Europa/Latam industrial).
- **Conectores y acometidas**: Cam-Lok, CEE, PowerLock, etc.
- **Tableros de distribución**: breakers por rama, térmicas y curvas adecuadas.
- **Balance de fases**: reparte iluminación/LED en distintas fases; audio intenta balancearlo y **no mezclar** con dimmers o LED de alta carga.

TIP (regla didáctica de balance)

Sumen corrientes por fase en la pizarra y busquen que **ninguna fase supere $\pm 10-15\%$** respecto a las demás.

7) Puesta a tierra y ruido

- **Un solo sistema de tierra** común **bonded** (unido) para **audio, luz y video**.
- Evita «tierras flotantes» y **adaptadores sin tierra**.

- Mantén separados **alimentación de audio** y **iluminación** hasta el tablero principal, pero **unidos en el punto de tierra**.

IMPORTANTE

Las «trampas» de levantar tierra/neutral son **peligrosas**. Enseña a tus alumnos a **medir continuidad de tierra** y a reconocer diferenciales/GFCI.

TIP

Para comprobar que la puesta a tierra está bien hecha, utiliza un multímetro en modo voltaje AC. Coloca una punta en tierra y la otra en neutro, y luego tierra con fase.

- La lectura entre **tierra y neutro** debe ser aproximadamente **0 V** (máximo 2–3 V).
- La lectura entre **tierra y fase** debe ser el voltaje nominal de la red (por ejemplo, 120 V, 230 V o 400 V, según el país).

Una lectura muy alta entre tierra y neutro indica un problema en la puesta a tierra o una conexión indebida.

EJEMPLO

En una red de 120 V:

- Tierra - Neutro ≈ 0.5 V (aceptable)
- Tierra - Fase ≈ 120 V

En una red de 230 V:

- Tierra - Neutro ≈ 1 V (aceptable)
- Tierra - Fase ≈ 230 V

ADVERTENCIA

Una puesta a tierra incorrecta puede causar ruido en los altavoces, interferencias y representa un riesgo eléctrico grave para el equipo y las personas. Siempre verifica antes de conectar el sistema.

TIP

Mide siempre la puesta a tierra antes de conectar el sistema de sonido para asegurar una instalación segura y sin ruidos.

8) Caída de tensión (voltaje) en cables largos

8.1 Monofásico

Para circuitos **monofásicos** la caída de tensión se aproxima por:

$$\Delta V \approx 2 \cdot I \cdot (R_{\text{cable}} \cdot L)$$

donde el factor 2 considera el **ida y vuelta** de la corriente por el conductor activo y el retorno (neutro).

Si prefieres expresar con resistividad y sección:

$$\Delta V \approx 2 \cdot I \cdot \left(\frac{\rho \cdot L}{S} \right)$$

- I : corriente en amperios.
- R_{cable} : resistencia por unidad de longitud (Ω/m o Ω/km).
- L : longitud de **un solo sentido** del tramo (en m).
- ρ : resistividad del material (por ejemplo, cobre $0.017241 \Omega \text{ mm}^2/\text{m}$).
- S : sección del conductor (mm^2).

El **porcentaje de caída** se obtiene como:

$$\% \text{ caída} = \frac{\Delta V}{V_{\text{nom}}} \times 100 \%$$

NOTA

En monofásico, usa **2·I** porque el retorno por el neutro también suma resistencia. Asegúrate de que L sea la **longitud en un sentido** (no dupliques L si ya usas el factor 2).

EJEMPLO (monofásico 120 V, Cu)

Datos: $I = 30 \text{ A}$, $L = 40 \text{ m}$, $S = 6 \text{ mm}^2$, $\rho = 0.017241 \Omega \text{ mm}^2/\text{m}$.

1) Resistencia del tramo:

$$R_{\text{total}} = \frac{\rho \cdot L}{S} = \frac{0.017241 \times 40}{6} \approx 0.115 \Omega$$

2) Caída de tensión:

$$\Delta V \approx 2 \cdot 30 \cdot 0.115 \approx 6.9 \text{ V}$$

3) Porcentaje de caída:

$$\frac{6.9}{120} \approx 5.75 \% (\text{alto, conviene aumentar sección o acortar } L)$$

8.2 Trifásico

$$\Delta V \approx \sqrt{3} \cdot I \cdot (R_{\text{cable}} \cdot L)$$

Donde R_{cable} depende del **calibre** y el **material** (Cu/Al). Usa tablas del fabricante.

EJEMPLO rápido

Si por una línea pasan **180 A** a **400 V**, y el tramo total ida-vuelta equivalente da $R \cdot L = 0.03 \Omega$,

$$\Delta V \approx 1.732 \times 180 \times 0.03 \approx 9.35 \text{ V}$$

% caída $\approx \frac{9.35}{400} \approx 2.3\% \rightarrow$ Aceptable.

TIP

Para reducir la caída: **aumenta sección, acorta longitud, distribuye cargas** en ramales más cercanos, o **eleva tensión** del tramo y baja en destino (usando transformadores y normas aplicables).

ADVERTENCIA

Mantén la caída **por debajo de 3–5%** en líneas críticas de audio/iluminación. Caídas mayores incrementan **calentamiento**, reducen **eficiencia** y pueden producir **inestabilidad** en amplificadores y procesadores.

9) ¿Cuántos generadores?

- **Audio dedicado** y **Luces/Video dedicado** (dos generadores) es práctica común.
- Para misión crítica, usa **N+1** (un generador extra en paralelo listo para entrar).
- Sincronizados con **paralelismo** (ATS/AMF) para conmutación sin corte en shows grandes.

ÉXITO

Separar **audio** de **luz/video** reduce **armónicos** y **ruido** inyectado en la PA.

10 Ejercicio con datos reales (datasheets)

Plantea a tus alumnos el siguiente caso con **especificaciones reales** (tomadas de hojas de datos):

Rider técnico (resumen): - **Amplificación de PA:** 8 × d&b audiotechnik **D80** (planificar con aparente $\approx$ efectivo; usar **3.5 kVA por amplificador** como escenario alto de carga).

- **Iluminación móvil:** 48 × Robe LEDBeam 150 (consumo **máx. 220 W** por unidad).

- **Muro LED (outdoor):** 30 × Absen A0421 (consumo **promedio 234 W/panel, máximo 701 W/panel**).

- **Otros (FOH, red, intercom, backline pequeño):** 5 kW.

NOTA

Referencias:

- D80: el manual indica que la **potencia aparente (VA) $\approx$ potencia efectiva (W)** para el dimensionamiento y detalla condiciones de inrush/protecciones.
- Robe LEDBeam 150: **220 W máx**; alimentación 100–240 V.
- Absen A0421: **234 W promedio** y **701 W máximo** por panel (exterior), útil para evaluar escenarios promedio vs. peor caso.

Datos base para el cálculo (resumen)

- D80: **3.5 kVA** por unidad (planificación en carga alta).
- LEDBeam 150: **0.22 kW** por unidad (máximo).
- Absen A0421: **0.234 kW** promedio por panel (**0.701 kW** máx/panel para peor caso).
- Otros: **5 kW**.

NOTA

Recuerda documentar **suposiciones** (FP, diversidad, voltajes) y **versiones** de los datasheets usados.

Capítulo 4: Simulación de Recintos y Fuentes (ArrayCalc)

Hoy en día, colgar un sistema de sonido sin una simulación previa es como construir un edificio sin planos. El software de predicción nos permite cometer errores en la computadora (donde son gratis) para no cometerlos en el montaje (donde cuestan tiempo y dinero).

En este capítulo exploraremos el flujo de trabajo en **d&b ArrayCalc**, desde dibujar el espacio hasta posicionar nuestro primer arreglo lineal.

4.1 Modelado del Recinto (Venue)

Antes de pensar en altavoces, debemos definir el espacio. ArrayCalc utiliza un sistema de coordenadas 3D (X, Y, Z) donde generalmente el centro del proscenio es el punto cero (X=0, Y=0).

Tipos de Superficies

No todas las líneas en el dibujo tienen la misma función acústica. Es vital elegir el tipo correcto:

Tipo de Superficie	Función Principal	¿Genera Mapa de Calor?
Listening Plane	Donde está el público (Gradas, platea).	Sí
Obstacle	Paredes, techos o columnas que bloquean el sonido.	No
Structure	Elementos visuales (Escenografía, tarimas).	No
Measurement Plane	Áreas específicas de análisis (ej. posición de FOH).	Sí

**** Nota de Diseño:**** Al dibujar una superficie de audiencia (Listening Plane), recuerda definir la «**Listener Height**» (Altura del oyente). - **De pie:** 1.70 m - **Sentado:** 1.20 m Si dejas esto en 0.00 m, estarás simulando el sonido a nivel de tobillo.

Herramientas de Dibujo

Para agilizar el modelado, el software ofrece herramientas de simetría y duplicación:

- **Mirror X / Mirror Y:** Refleja un plano. Útil para dibujar gradas simétricas (dibujas la izquierda y reflejas la derecha).
- **Quadrangular vs. Triangular:** Usa planos rectangulares para la mayoría de las áreas y triangulares para esquinas o cortes irregulares.

- **Move Origin:** Permite redefinir dónde está el punto cero del proyecto si las medidas del plano arquitectónico cambiaron.

4.2 Configuración de Fuentes (Sources)

Una vez definido el recinto, pasamos a la pestaña **Sources**. Aquí es donde «colgamos» virtualmente el sistema.

Parámetros Críticos del Arreglo

En el panel de propiedades de cada array, controlamos la física del montaje:

1. **Frame Height (Z):** La altura del motor o bumper. *Más altura suele significar mejor cobertura trasera, pero menos impacto frontal.*
2. **Vertical Aiming (Frame Angle):** La inclinación de todo el arreglo. Un ángulo negativo (ej. -6°) apunta hacia abajo.
3. **Splay Angles:** El ángulo entre caja y caja.
 - *Ángulos cerrados ($0^\circ - 2^\circ$):* Para tirar lejos (Long throw).
 - *Ángulos abiertos ($5^\circ - 10^\circ$):* Para cubrir zonas cercanas (Short throw).

Gestión de Arrays

El software permite operaciones rápidas para probar configuraciones:

- **Split Array:** Divide un arreglo en secciones.
- **Link:** Vincula parámetros entre cajas para que, al mover una, se muevan las demás (útil para mantener curvaturas suaves).
- **AP (ArrayProcessing):** Herramienta propietaria de d&b que optimiza electrónicamente la respuesta del arreglo para que sea uniforme en toda la audiencia.

El Icono de «Ajuste de Ángulo»: En la vista lateral (Side View), verás un icono que permite arrastrar virtualmente el arreglo. - Úsalo para visualizar rápidamente dónde «pega» el eje de cada caja. - El objetivo es que ninguna caja apunte al techo ni a la pared trasera, sino que todas «barran» la zona de audiencia.

4.3 Frecuencias Clave para el Análisis

No basta con mirar el mapa de colores «general». Debemos analizar frecuencias específicas para entender el comportamiento del sistema.

Rango	Qué buscar en la simulación
63 Hz – 80 Hz	Comportamiento de subgraves. Busca «pasillos de potencia» o cancelaciones laterales.
1 kHz	La referencia estándar. Úsala para definir la cobertura general y la inteligibilidad vocal.
4 kHz – 8 kHz	Frecuencias agudas (direccionales). Aquí verás si los «Splay Angles» están demasiado abiertos (gaps de cobertura) o si necesitas Frontfills para las primeras filas.

4.4 Interpretación de Datos

ArrayCalc no solo nos da mapas de colores. Nos entrega datos de seguridad mecánica y eléctrica que son vitales para el montaje.

- **Carga Mecánica:** Peso total del arreglo. *¿Soporta el motor este peso?*
- **Safety Factor:** Factor de seguridad del rigging. Si está en rojo, el diseño es físicamente peligroso.
- **Headroom:** Cuánto nivel nos sobra antes de que el amplificador clipee.

Ejercicio de Diseño

Para dominar este capítulo, abre ArrayCalc y realiza la siguiente tarea:

1. Dibuja un recinto simple de **40m de fondo x 20m de ancho**.
2. Coloca un sistema estéreo (L/R) con **8 cajas por lado** (ej. Serie V o Y).
3. Ajusta la altura a **6 metros**.
4. **El Reto:** Modifica los ángulos entre cajas (Splay) hasta lograr que la diferencia de nivel (SPL) entre la primera y la última fila sea menor a **6 dB** en la banda de **4 kHz**.

Capítulo 5: Estrategias de Cobertura y Sistemas Distribuidos

En recintos extensos, intentar cubrir todo el espacio desde un único punto (el escenario) es una batalla perdida contra la física. La Ley del Inverso Cuadrado dicta que el sonido pierde energía rápidamente con la distancia. La solución no es «subir el volumen», sino distribuir las fuentes: nacen las Torres de Delay.

5.1 El Área de Cobertura

La **cobertura** se define como el área donde el sistema de sonido distribuye energía acústica de manera uniforme, permitiendo que el público escuche con claridad y consistencia, independientemente de su ubicación.

En espacios abiertos (explanadas, festivales), la cobertura enfrenta tres enemigos principales:

1. **Distancia:** Pérdida natural de presión sonora (6 dB por cada duplicación de distancia en fuentes puntuales, 3 dB teóricos en fuentes lineales).
2. **Viento y Temperatura:** Factores ambientales que refractan el sonido en largas distancias.
3. **Absorción:** La propia audiencia absorbe frecuencias agudas.

Objetivo del Diseño: Un buen diseño busca minimizar las «zonas de sombra» (donde el sonido es débil o inteligible) y evitar «puntos calientes» (donde el nivel es doloroso). La meta estándar es una variación de nivel no mayor a ± 3 dB a ± 6 dB en toda el área de audiencia.

5.2 Sistemas Distribuidos: Torres de Delay

Cuando el sistema principal (Main PA) no es suficiente para alcanzar la última fila con calidad, implementamos un **sistema distribuido**. Esto implica colocar arreglos adicionales de altavoces (Torres de Delay) estratégicamente ubicados entre el escenario y el final del público.

¿Por qué usamos Delay?

No se trata solo de «repetir» el sonido. El objetivo es restaurar la inteligibilidad y el nivel de presión sonora (SPL) que se ha perdido por la distancia.

- **Ubicación Típica:** Se recomienda instalar torres de relevo cada **50 a 80 metros** desde el escenario (o desde la torre anterior), dependiendo de la potencia del sistema.
- **Configuración:** Generalmente constan de 4 a 8 cajas por torre, dependiendo de la profundidad restante a cubrir.

**** Error Común: El Eco**** Si colocas una torre a 50 metros y no ajustas el tiempo de retardo, el público en esa zona escuchará primero el sonido de la torre (que está cerca) y milisegundos después el sonido del escenario (que viajó 50 metros). El cerebro percibe esto como un eco confuso, destruyendo la inteligibilidad.

5.3 La Física del Retardo (Cálculo)

Para sincronizar la torre con el sistema principal, debemos retrasar electrónicamente la señal que sale de la torre. El tiempo de espera debe ser igual al tiempo que tarda el sonido en viajar desde el escenario hasta la torre.

Fórmula Básica:

Tiempo (s) = Distancia (m)/Velocidad del Sonido (c)

Asumiendo una velocidad del sonido (c) de **343 m/s** (a 20°C):

1 metro $\approx$ 2.92 ms

Ejemplo de Cálculo

Si tu torre de delay está ubicada a **60 metros** del PA principal:

Tiempo = 60 m/343 m/s = 0.1749 s

Convertimos a milisegundos: **174.9 ms**.

**** El Efecto Haas (Precedencia):**** En la práctica, solemos añadir unos **10 a 15 ms extra** al cálculo matemático. Esto asegura que el sonido del escenario llegue un instante antes (o al mismo tiempo) que la torre, «engañando» al cerebro para que localice la fuente sonora en el escenario, no en la torre.

5.4 Fase y Coherencia

La zona más crítica es el área de transición: el punto donde el volumen del PA principal y el de la torre de delay son casi iguales.

- Si los sistemas no están alineados en fase, se producirá un **filtro de peine (comb filter)** severo, cancelando frecuencias y «ahuecando» el sonido.
- **Herramienta de Ajuste:** Utiliza software de análisis FFT (como *Open Sound Meter* o *Smaart*) para verificar que la fase de ambos sistemas coincida en el punto de cruce.

5.5 Caso de Estudio: Diseño de Explanada

Vamos a aplicar lo aprendido en una simulación real utilizando **ArrayCalc**.

El Desafío: Diseñar un sistema para una explanada de **100 metros de fondo x 40 metros de ancho**.

- **Objetivo de Calidad:** Respuesta SPL uniforme de **± 10 dB** en la banda de **4000 Hz** (inteligibilidad) en toda el área.

Procedimiento de Diseño:

1. **Modelado:** Dibuja el rectángulo de 100x40m como **Listening Plane**.

2. **Sistema Principal (Main):** Coloca tu PA principal. Al simular, notarás que a partir de los 50-60 metros, las frecuencias agudas (4 kHz) caen drásticamente.

3. **Implementación de Delay:**

- Coloca dos torres de delay a los **55 metros**.
- Altura sugerida: 6 a 8 metros.
- Ajusta el delay electrónico en la pestaña de fuentes para alinear con el Main.

4. **Verificación:**

- Observa el mapa de SPL a 4000 Hz.
- Busca zonas rojas (exceso) frente a las torres o zonas azules (falta de nivel) antes de ellas.
- Ajusta la inclinación (splay) y ganancia de las torres para suavizar la transición.

Ejercicio Práctico

Abre tu software de predicción y replica este escenario. Envía una captura de pantalla mostrando:

- La vista lateral (Side view) con las torres ubicadas.
- El mapa de calor (SPL Mapping) a 4 kHz demostrando la cobertura uniforme.

Capítulo 6: Diseño Avanzado: Cobertura 360° en Espacios Cerrados

Romper la barrera del estéreo frontal es el siguiente nivel en el diseño de sistemas. Cuando la audiencia rodea el escenario, las reglas cambian: ya no hay un «atrás» donde esconder el cableado o el sonido residual. En un sistema 360°, todo está expuesto y la coherencia de fase se convierte en el desafío principal.

6.1 El Desafío del Círculo

Diseñar para una cobertura de 360 grados (común en arenas deportivas, palenques o conciertos «in-the-round») implica garantizar una distribución uniforme del sonido en todas las direcciones. A diferencia de un sistema L/R tradicional, aquí nos enfrentamos a tres enemigos simultáneos:

1. **Superposición (Overlap):** Al tener múltiples arreglos apuntando en diferentes direcciones desde un punto central, las zonas donde se cruzan sus coberturas son críticas. Si no se alinean bien, se generan filtros de peine destructivos.
2. **Reverberación Central:** En recintos cerrados (arenas con techo de domo), la energía tiende a concentrarse en el centro, aumentando el tiempo de reverberación y reduciendo la inteligibilidad.
3. **Punto de Referencia Temporal:** ¿Dónde es el tiempo cero? En un sistema 360°, el «tiempo cero» suele ser el centro geométrico del escenario, expandiéndose radialmente hacia afuera.

Objetivo de Diseño:

Lograr una variación de SPL mínima (idealmente $\pm 3\text{dB}$) a lo largo de todo el perímetro de audiencia, manteniendo la coherencia tonal tanto para la persona sentada frente al arreglo como para la que está en la zona de transición entre dos arreglos.

6.2 Estrategias de Configuración

Existen dos enfoques principales para abordar estos espacios:

A. Clúster Central (Central Hang)

Todos los altavoces cuelgan de un punto central sobre el escenario, disparando hacia afuera (como los radios de una bicicleta).

- **Ventaja:** Localización natural (el sonido viene de donde está el artista). Facilita el cableado unificado.
- **Reto:** Requiere una estructura de rigging central muy robusta capaz de soportar toneladas de peso en un solo punto.

B. Sistema Perimetral Distribuido

Altavoces distribuidos en un anillo alrededor del escenario o en el perímetro del recinto apuntando hacia adentro (menos común para conciertos, más para deportes).

Análisis Visual:

[Ver ejemplo de diseño 360° en espacio cerrado ↗](#)

Observa cómo se distribuyen los arreglos para cubrir las gradas superiores sin excitar el techo.

6.3 Optimización con ArrayCalc

En un diseño 360°, la simulación no es opcional; es obligatoria. Un error de cálculo de 1 metro en la altura del clúster central puede dejar ciega (sorda) a toda la primera fila circular.

Pasos Clave en la Simulación:

1. **Definir el Centro:** En ArrayCalc, establece el centro del escenario como $X=0$, $Y=0$.
2. **Simetría Radial:** Utiliza herramientas de duplicación rotativa si el software lo permite, o calcula las coordenadas trigonométricas para posicionar los arreglos (ej. Arreglos a 0°, 90°, 180°, 270° para un sistema de 4 caras).
3. **Zonas de Interferencia:** Utiliza el mapa de predicción en frecuencias bajas-medias (250 Hz - 500 Hz) para visualizar cómo interactúan los arreglos vecinos.

**** Tip de Optimización: **** Si usas subgraves colgados en el centro, considera un arreglo cardioide o end-fire vertical para evitar que el exceso de graves caiga directamente sobre los músicos en el escenario.

6.4 Caso de Estudio: El Arena 50x50

Vamos a aplicar la teoría diseñando un sistema para un recinto cuadrado hipotético, simulando una arena deportiva o un gran salón de eventos.

Parámetros del Proyecto

- **Espacio:** 50 metros x 50 metros (Cerrado).
- **Escenario:** Central.
- **Frecuencia Objetivo de Análisis:** 500 Hz (Crítica para la energía de la voz y el cuerpo de los instrumentos).
- **Meta:** Cobertura uniforme en los 360 grados.

Procedimiento Paso a Paso

1. Configuración del Recinto:

- Dibuja cuatro planos de audiencia (Listening Planes) rodeando el centro, cubriendo el área de 50x50m.

2. Selección de Fuentes:

- Elige un sistema Line Array compacto (ej. Serie V o Y).
- Configura 4 arreglos principales orientados a las caras norte, sur, este y oeste.

3. Ajuste de Altura y Ángulo:

- Eleva el sistema lo suficiente (ej. 8-10 metros) para garantizar línea de visión a la última fila.
- Aplica inclinación mecánica (splay) agresiva en las cajas inferiores para cubrir las primeras filas cercanas al escenario (Downfill).

4. Análisis de Uniformidad:

- Activa la vista de mapa de calor (SPL Mapping) a **500 Hz**.
- Verifica las esquinas del recinto (donde se unen las coberturas de dos arreglos). ¿Hay suma o cancelación? Ajusta la rotación horizontal (pan) de los arreglos para cerrar esos huecos.

Tarea de Certificación:

Replica este diseño en ArrayCalc. Tu entregable debe ser un archivo PDF que demuestre:

1. La disposición de los altavoces en planta (vista superior).
2. El mapa de cobertura a 500 Hz sin «zonas muertas».
3. Configuración de ganancias y retardos para uniformidad.

Capítulo 7: Configuraciones Básicas y Acoplamiento Acústico

Los subgraves son la base emocional de la música moderna, pero también son la fuente más omnidireccional y difícil de controlar. En este capítulo, dejaremos de ver los subs como simples cajas de «ruido» y empezaremos a tratarlos como fuentes que interactúan físicamente entre sí.

7.1 La Física del Acoplamiento

Antes de elegir dónde poner los subs, debemos entender qué pasa cuando ponemos dos juntos. El principio fundamental es la **longitud de onda (λ)**.

Para que múltiples subwoofers funcionen como una sola fuente coherente y sumen presión sonora de manera eficiente (+6 dB teóricos por duplicación de fuentes), deben estar físicamente cerca.

La Regla de la Media Longitud de Onda ($\lambda/2$)

Para que dos fuentes se sumen constructivamente en todas las direcciones (omni), la distancia entre sus centros acústicos no debe exceder la mitad de la longitud de onda de la frecuencia más alta que reproducen.

$$\lambda = \frac{\text{Velocidad del Sonido } (c)}{\text{Frecuencia } (f)}$$

Ejemplo de Cálculo:

Si tu corte de frecuencia (crossover) es **100 Hz**: 1. Calculamos λ : $343 / 100 = 3.43$ metros. 2. Calculamos el límite ($\lambda/2$): $3.43 / 2 = 1.71$ metros. **Conclusión:** Si separas tus subs más de 1.7 metros, empezarán a comportarse como fuentes separadas a 100 Hz, creando cancelaciones (lóbulos) en diferentes direcciones.

7.2 Configuración L/R (Izquierda/Derecha)

Es la disposición clásica por defecto: colocar los subs a los lados del escenario, generalmente debajo del sistema principal (PA).

- **Descripción:** Dos fuentes puntuales separadas por una gran distancia (el ancho del escenario).
- **Física:** Al estar muy separados (ej. 15 metros), la distancia supera por mucho la regla de $\lambda/2$. Esto crea una interferencia destructiva masiva.

El Fenómeno «Power Alley»

En el centro exacto del recinto, el sonido de ambos lados llega al mismo tiempo (en fase), sumándose perfectamente. Pero a medida que te mueves hacia los lados, las distancias cambian y las ondas se cancelan.

- **Resultado:** Un pasillo central con graves potentes, rodeado de zonas de silencio («valles») y zonas de suma («picos») alternas.
- **Veredicto:** Es estéticamente agradable pero acústicamente la peor opción para la uniformidad.

7.3 Arreglo Central (Center Cluster)

Todos los subgraves se agrupan juntos en el centro, frente al escenario.

- **Descripción:** Al estar pegados, sus centros acústicos están a centímetros de distancia (cumpliendo sobradamente $\lambda/2$). Actúan como una única fuente gigante.

Ventajas: - **Máxima Eficiencia:** Todos los subs suman en fase (+6dB gratis). - **Cobertura Uniforme:** Elimina los pasillos de cancelación del L/R. **Desventaja:** - Acumulación excesiva de energía en el centro del escenario (molesto para el cantante).

7.4 Arreglo Lineal Frontal (Broadside)

Los subs se distribuyen en una línea a lo largo del frente del escenario, equiespaciados.

- **Efecto Físico:** Una línea de fuentes altera la directividad.
- **Verticalmente:** Se estrecha (menos energía al techo).
- **Horizontalmente:** Cuanto más larga es la línea, más estrecho se vuelve el haz de cobertura.

Cálculo de Directividad

Podemos estimar a partir de qué frecuencia el arreglo empieza a ser direccional usando la longitud total del arreglo (L) como si fuera una longitud de onda.

$$f_{\text{inicio}} \approx \frac{343}{\text{Longitud Total (m)}}$$

Ejemplo: Una línea de subs de **10 metros** de ancho empezará a estrechar su cobertura a partir de **34 Hz** ($343/10$). A 68 Hz, la cobertura será la mitad de ancha.

Resumen de Selección

No existe el «mejor arreglo», solo la herramienta adecuada para el trabajo:

- ¿Necesitas estética y simetría? Usa **L/R** (aceptando el Power Alley).
- ¿Necesitas máxima potencia bruta? Usa **Cluster Central**.
- ¿Necesitas evitar que el grave suba al techo? Usa **Arreglo Lineal**.

Capítulo 8: Arreglos Direccionales I: End-Fire y Gradiente

Por defecto, un subwoofer es omnidireccional: emite la misma energía hacia el público que hacia el baterista en el escenario. Esto ensucia la mezcla de monitores y desperdicia potencia. En este capítulo, aprenderemos a usar la física y el DSP para «direccionar» los graves, creando silencio atrás y presión adelante.

8.1 El Problema de la Omnidireccionalidad

A bajas frecuencias, las longitudes de onda son enormes (ej. 3.4 metros a 100 Hz). Dado que la caja del altavoz es mucho más pequeña que la onda que produce, el sonido se «dobla» alrededor del gabinete y viaja en todas direcciones (difracción).

Consecuencias:

1. **Feedback en el escenario:** Los micrófonos de bombo y bajo captan el grave del PA, creando un bucle de retroalimentación.
2. **Pérdida de eficiencia:** La mitad de la energía acústica se desperdicia golpeando la pared trasera del recinto.

Para solucionar esto, utilizamos arreglos direccionales. Los dos más comunes son el **End-Fire** y el **Gradiente (Cardioide)**.

8.2 El Arreglo End-Fire (Longitudinal)

Este arreglo busca la máxima suma hacia adelante y una cancelación considerable hacia atrás. Es famoso por su sonido «musical» y con mucho impacto (punch), ya que no altera la respuesta transitoria tanto como otros métodos.

Configuración Física

Consiste en colocar los subwoofers en «fila india» (uno detrás de otro) alineados hacia el público.

- **Separación (d):** Generalmente un cuarto de longitud de onda ($\lambda/4$) de la frecuencia central que queremos controlar (ej. 60-80 Hz).

La Lógica del Delay

El sonido del subwoofer trasero tarda un tiempo físico en llegar al subwoofer delantero.

1. **Hacia adelante:** Retrasamos electrónicamente el sub delantero ese mismo tiempo. Así, cuando el sonido del trasero llega al frente, el delantero «dispara» su sonido en sincronía perfecta.
Resultado: Suma coherente.

2. **Hacia atrás:** El sonido del delantero viaja hacia atrás, pero ahora está desfasado respecto al trasero debido a la suma del retardo electrónico más el tiempo de vuelo físico. **Resultado: Cancelación parcial.**

Cálculo Rápido

Para dos subwoofers separados una distancia d :

$$\text{Delay (ms)} = \frac{\text{Distancia (m)}}{343} \times 1000$$

- **Ejemplo a 80 Hz:**
- $\lambda = 4.28 \text{ m.}$
- Separación $(\lambda/4) = 1.07 \text{ m.}$
- Delay aplicado al sub delantero (Frontal) = **3.13 ms.**
- *Nota:* El sub trasero queda con 0 ms.

Actividad interactiva: Calculadora End-Fire Ingresa la separación entre subs en metros y calcula el delay aproximado. Calcular delay

Pros y Contras del End-Fire:

Pros: Máximo impacto frontal, sonido muy natural, no requiere inversión de polaridad.

Contras: Requiere mucho espacio físico frente al escenario (1 metro o más de profundidad), visualmente intrusivo.

8.3 El Arreglo Gradiente (Cardioide Invertido)

Si el objetivo principal es «silencio total» en el escenario (ej. orquestas sinfónicas, grabaciones en vivo, escenarios pequeños), el arreglo Gradiente es el rey.

Configuración Física

Puede hacerse con subs apilados (2 mirando al frente, 1 mirando atrás) o uno detrás de otro. La clave aquí no es solo el delay, sino la **inversión de polaridad**.

La Lógica de la Cancelación

1. **Sub Trasero:** Se coloca detrás del frontal (o mirando atrás).
2. **Procesamiento:** Al sub trasero se le aplica **Inversión de Polaridad (Ø)** y un **Delay** específico.
3. **Resultado:**
 - **Hacia atrás:** El sonido invertido y retrasado llega al escenario en perfecta contra-fase con el sonido del sub frontal. **Cancelación total.**
 - **Hacia adelante:** La suma no es perfecta (+6dB), sino parcial, pero se gana un rechazo trasero impresionante (hasta -15dB o -20dB).

Cálculo Rápido (CSA - Cardioid Subwoofer Array)

Para una configuración de uno frente a otro separados una distancia d :

- **Delay:** Se aplica al sub **trasero** (el que cancela).

$$\tau = \frac{d}{c}$$

- **Polaridad:** El sub trasero se invierte (Polaridad Ø).

Ejemplo Práctico a 80 Hz: - Distancia entre subs: **1.07 m.** - **Sub Frontal:** 0 ms, Polaridad Normal. - **Sub Trasero:** 3.13 ms, **Polaridad Invertida.**

8.4 Comparativa de Selección

¿Cuál elegir para tu evento? Usa esta tabla de decisión rápida.

Característica	End-Fire (Longitudinal)	Gradiente (Cardioide)
Principio Físico	Suma de tiempos	Inversión de Polaridad
Dirección del Delay	Al sub delantero	Al sub trasero
Suma Frontal	Excelente (Casi +6dB)	Buena (Menor eficiencia)
Rechazo Trasero	Bueno (-10dB a -15dB)	Extremo (Hasta -20dB)
Espacio Requerido	Mucha profundidad	Poca profundidad (Compacto)
Uso Ideal	Festivales al aire libre, Rock, EDM	Teatros, TV, Jazz, Corporativos

Ejercicio de Campo

La próxima vez que tengas 2 subwoofers y un procesador:

1. Colócalos uno frente al otro a 1 metro de distancia.
2. Aplica la configuración **End-Fire** y camina alrededor. Siente el «golpe» al frente.
3. Cambia a configuración **Gradiente** (invierte polaridad y mueve el delay al trasero). Camina hacia atrás.

El silencio que experimentarás detrás de los subs te convencerá para siempre de usar arreglos direccionales.

Capítulo 9: Arreglos Direccionales II: Arco Electrónico y Spread

A veces, la física nos limita: no podemos colocar los subwoofers en un arco perfecto porque el escenario es recto, o no tenemos espacio. Aquí es donde entra la magia del DSP. Manipulando el tiempo (delay), podemos engañar a la física para que una línea recta de altavoces se comporte como una curva, ya sea para concentrar la energía como un láser o para abrirla como un abanico.

9.1 El Concepto de Geometría Virtual

Si colocamos subwoofers en una línea recta física, la suma natural crea un lóbulo central estrecho (mientras más larga la línea, más estrecho el haz). Para modificar esto sin mover las cajas, aplicamos retardos progresivos que simulan una curvatura física.

Existen dos aplicaciones opuestas:

1. **Arc Delay (Enfocar):** Simula un arco cóncavo para concentrar energía al frente.
2. **Spread / Divergente (Abrir):** Simula un arco convexo para dispersar la energía uniformemente.

9.2 Arc Delay: Enfocando la Energía

El objetivo aquí es simular que los subwoofers están dispuestos en un arco que «abraz» al público, logrando que las ondas de todos los subs lleguen al mismo tiempo a un punto focal específico (FOH o el centro de la audiencia).

¿Cómo funciona?

- **Física Virtual:** Queremos simular una curvatura cóncava (hacia adentro).
- **Distribución de Delay:** Los subwoofers del **centro reciben más delay**; los de los extremos tienen 0 ms (o menos delay).
- **Razón:** Al retrasar el centro, hacemos que el sonido «espere», permitiendo que el sonido de los extremos (que físicamente están más lejos del foco en una línea recta) llegue a sincronizarse.

Cálculo Paso a Paso

Para alinear N subwoofers hacia un punto focal a una distancia D :

1. **Calcular distancias (d_n):** La distancia desde cada sub hasta el punto focal (hipotenusa).

$$d_n = \sqrt{D^2 + y_n^2}$$

2. **Identificar la distancia máxima ($d_{\max}$):** Generalmente es la distancia desde los subs de los extremos (los más lejanos al foco).

3. Calcular el Delay (τ_n):

$$\text{Delay (ms)} = \frac{d_{\max} - d_n}{343} \times 1000$$

Regla Mnemotécnica:

En un Arc Delay para enfocar: «**La sonrisa triste**».

Si dibujas los faders de delay en una consola, formarían una curva hacia abajo (o una montaña): mucho delay en el centro, nada en los extremos.

9.3 Arreglo Divergente (Spread): Abriendo la Cobertura

Este es el estándar moderno para festivales. Queremos evitar el «Power Alley» (exceso de suma en el centro) y lograr que la cobertura se abra en un ángulo amplio (ej. 120°) para cubrir a todo el público por igual.

¿Cómo funciona?

- **Física Virtual:** Simulamos que los subwoofers están en un arco convexo (hacia afuera), como si explotaran desde un punto detrás del escenario.
- **Distribución de Delay:** Los subwoofers de los **extremos reciben el máximo delay**; el centro tiene 0 ms.
- **Razón:** Al retrasar los extremos, hacemos que el sonido del centro salga primero. Esto crea un frente de onda curvo que se expande hacia los lados.

Cálculo del «Origen Virtual»

No elegimos los delays al azar. Calculamos un punto imaginario (Origen Virtual) detrás del escenario.

Datos Necesarios:

- W : Ancho total del arreglo.
- α : Ángulo de cobertura deseado (ej. 100°, 120°).

Fórmulas Maestras:

1. Radio Virtual (R):

$$R = \frac{W/2}{\sin(\alpha/2)}$$

2. Profundidad Virtual (x): Para cada sub en posición y_n :

$$x = \sqrt{R^2 + y_n^2} - R$$

3. Tiempo de Delay:

$$\tau = \frac{x}{343} \times 1000$$

Herramienta Esencial: SAD

Calcular esto a mano para 16 subs es tedioso y propenso a errores. En la industria, utilizamos calculadoras estándar.

Recomendación: Descarga la herramienta «*Subwoofer Array Designer*» (SAD) de Merlijn van Veen. Es una hoja de cálculo gratuita que visualiza estos arcos en tiempo real.

[Descargar Herramienta SAD ↗](#)

Capítulo 10: Redes de Audio y Protocolos de Comunicación (Dante/IP)

Antiguamente, el audio viajaba por gruesas mangueras de cobre. Hoy, viaja por cables Ethernet ligeros junto con datos de control. Entender cómo configurar una red local (LAN) y diferenciar una IP estática de una dinámica es ya una habilidad obligatoria para cualquier ingeniero de sistemas.

10.1 La Convergencia del Audio y la Informática

Una **Red de Área Local (LAN)** en nuestro contexto es el sistema que interconecta procesadores, amplificadores y consolas para permitir tres funciones críticas:

1. **Control Remoto:** Ajustar ecualizadores de un amplificador (ej. d&b D80) desde una laptop en FOH sin tener que correr al escenario.
2. **Transporte de Audio (AoIP):** Mover cientos de canales de audio de alta calidad por un solo cable (ej. protocolo Dante).
3. **Sincronización:** Asegurar que todos los dispositivos digitales marchen al mismo «reloj».

10.2 Protocolos y Hardware

Para que los equipos se entiendan, necesitan un lenguaje común y una carretera por donde viajar.

- **Ethernet:** Es el estándar físico (la carretera). Usamos cables **Cat5e, Cat6 o superiores** y conectores RJ45 o EtherCON (rugerizados).
- **Switches:** Son los distribuidores de tráfico. En audio profesional, preferimos switches gestionables para optimizar el tráfico de Dante y evitar interrupciones.

El Protocolo Dante

Dante se ha convertido en el estándar de la industria para audio sobre IP. Permite transmitir audio digital multicanal sin compresión y con latencia cercana a cero.

- **Ventaja Clave:** Detección automática de dispositivos y ruteo visual mediante software (*Dante Controller*).

10.3 El Lenguaje de la Red: Direcciones IP

Cada dispositivo en la red necesita una identificación única: la **Dirección IP** (ej. 192.168.1.10). Aquí es donde ocurren el 90% de los problemas en los montajes.

Existen dos formas de asignar estas direcciones:

Tabla Comparativa: Estática vs. Dinámica

Característica	IP Dinámica (DHCP)	IP Estática (Manual)
Configuración	Automática (Un router asigna los números).	Manual (El humano escribe los números).
Uso Común	Wi-Fi de casa, oficinas, celulares.	Amplificadores, Consolas, Procesadores.
Ventaja	«Conectar y listo» (Plug & Play).	Control total y estabilidad absoluta.
Riesgo	La IP puede cambiar al reiniciar el equipo, rompiendo el control.	Conflicto de IP si asignas el mismo número a dos equipos.

**** Regla de Oro en Vivo ****

Para sistemas de misión crítica (como el control de tus amplificadores D80 o el audio de tu consola), **NUNCA uses DHCP**. Siempre asigna **IPs Estáticas**. Quieres saber exactamente dónde está cada equipo, hoy y mañana.

10.4 Caso Práctico: Controlando el d&b D80

Vamos a configurar una red de control real para gestionar un sistema de amplificación d&b desde el software R1.

Material Necesario

- Amplificador d&b D80.
- Switch Ethernet.
- Laptop con software *R1 Remote*.
- Cables Cat5e/Cat6.

Paso 1: Configuración Física

1. Conecta el puerto Ethernet del D80 al Switch.
2. Conecta tu Laptop al mismo Switch.
3. *Verificación:* Revisa que las luces (LEDs) de los puertos del switch parpadeen, indicando actividad.

Paso 2: Configuración de IPs (El secreto del éxito)

Vamos a crear una red privada en el rango `192.168.1.xxx`.

A. En el Amplificador D80:

1. Navega en la pantalla frontal a: `Menu > Network`.
2. Modo: `Static` (Manual).
3. IP Address: `192.168.1.10`.
4. Subnet Mask: `255.255.255.0`.

B. En tu Laptop:

1. Ve a la configuración de tu adaptador de red.
2. Asigna una IP fija en el **mismo rango** pero con **diferente número final**.
3. IP Address: 192.168.1.100 .
4. Subnet Mask: 255.255.255.0 (Debe ser idéntica).

Paso 3: Conexión en R1

1. Abre el software *d&b R1*.
 2. Ve a la pestaña de interfaces (CAN/Ethernet).
 3. Selecciona el protocolo **OCA (AES70)**.
 4. Escanea la red. Deberías ver aparecer tu D80 con luz verde.
- ** Troubleshooting Rápido:**** Si R1 no ve el amplificador: 1. Haz un «Ping» desde la consola de comandos de tu laptop (`ping 192.168.1.10`).
2. Si el ping responde, el cableado está bien y es un problema de configuración de R1 o Firewall.
 3. Si el ping falla, revisa las máscaras de subred (subnet mask). Deben ser iguales.

Capítulo 11: Navegación y Flujo de Trabajo en el d&b D80

Arquitectura y Configuración Interactiva del d&b D80

[Ver en YouTube](#)

El amplificador **D80** no es simplemente una etapa de potencia; es una computadora de alta precisión dedicada al procesamiento de señal. En este capítulo, navegaremos por su interfaz como si estuviéramos frente a su pantalla táctil a color, configurando un sistema desde cero.

11.1 La Interfaz Física: Menú de Inicio (Home)

Al encender el D80, nos recibe la **Pantalla de Inicio**. Aquí es donde supervisamos la salud del sistema en tiempo real.

Interacción en pantalla:

- **Canales A, B, C, D:** Cada cuadro muestra el nivel de salida (vúmetro), el estado de Mute y el preset cargado.
- **Iconos de estado:** Presta atención al icono del «ventilador» o el de «temperatura». Si cambian de color, el sistema está llegando a su límite térmico.

11.2 Configuración de Entradas (Input Setup)

¿De dónde viene nuestra señal?

Presionando el botón físico de **Menú** y seleccionando **Input**, entramos en la gestión de ruteo.

Tipo de Entrada	Descripción	Uso Recomendado
Analog	Señal analógica tradicional (+24 dBu max).	Backup o sistemas pequeños.
AES/EBU	Señal digital (2 canales por cable).	Conexión directa desde consolas digitales.
Dante (vía DS10)	Audio sobre IP.	Grandes festivales y touring (requiere Bridge de red).

Paso Interactivo: Configura el **Fallback**. Puedes definir que si la señal digital (AES3) falla, el D80 cambie automáticamente a la entrada analógica sin que el público note el corte.

11.3 Speaker Setup: El ADN del Sonido

Diciéndole al D80 qué tiene conectado.

Este es el paso más importante. d&b utiliza **Presets específicos** que contienen los datos de protección (limitadores) y la respuesta de fase de cada caja.

1. Selecciona la **Serie** (ej. Serie V).
2. Selecciona el **Modelo** (ej. V8).
3. Selecciona el **Modo de Operación**:
 - **Arc**: Para cajas en arreglos lineales.
 - **Line**: Para una sola caja.

11.4 Modos de Salida (Output Mode)

Optimizando el cableado físico.

El D80 permite tres configuraciones de salida principales que debemos elegir según nuestro diseño en ArrayCalc:

- **Dual Channel**: Cada canal de salida es independiente.
- **Mix TOP/SUB**: Por un solo cable NL4 llevas la señal de un Top (pines 1+/1-) y un Sub (pines 2+/2-). ¡Ahorro masivo de cableado!
- **2-Way Active**: Para cajas grandes como la **Serie J** o el **V-SUB** que requieren que el amplificador controle por separado el motor de agudos y el de graves (Bi-amplificación).

11.5 Herramientas de Optimización (DSP)

El ajuste fino para el mundo real.

Una vez cargado el preset, podemos aplicar filtros que compensan factores acústicos externos:

A. CPL (Coupling)

Cuando juntas muchas cajas en un arreglo, la energía de graves se suma excesivamente. El **CPL** permite reducir esa acumulación de forma controlada según el tamaño del arreglo.

Regla de oro: A mayor número de cajas, mayor valor de CPL (negativo) necesitarás aplicar.

B. HFC (High Frequency Compensation)

El aire absorbe las frecuencias agudas a larga distancia. Si tu público está a más de 40 metros, activa el HFC.

- **HFC1**: Compensación para distancias medias (40-60m).
- **HFC2**: Compensación para distancias largas (>60m).

C. CUT Mode

Si vas a usar un altavoz de rango completo junto a un subwoofer, activa el **CUT**. Esto aplica un filtro pasa-altos a 100Hz para que la caja principal no sufra intentando reproducir frecuencias que el Sub ya está cubriendo.

11.6 LoadMatch: Venciendo al Cable

La ciencia detrás de los metros de cobre.

El D80 es capaz de compensar la resistencia eléctrica de los cables largos para que el factor de amortiguamiento (*damping*) sea óptimo.

Ejercicio para el lector: En el menú **Output**, introduce la longitud del cable (ej. 50 metros) y la sección (ej. 4mm²). Verás cómo el amplificador ajusta su respuesta interna para asegurar que el transductor se mueva exactamente como el DSP ordena, sin importar la pérdida por el cable.

Resumen del Flujo de Trabajo (Workflow)

1. **Reset:** Empieza siempre con una configuración limpia.
2. **Input:** Define si es Analógico o Digital.
3. **Speaker:** Carga el preset correcto según tu diseño.
4. **Output:** Configura el modo de cableado (Dual, Mix o 2-Way).
5. **DSP:** Ajusta CPL y HFC según la acústica del recinto.
6. **Check:** Verifica la impedancia de carga para asegurar que todas las cajas estén funcionando.

Capítulo 12: Gestión Remota de Sistemas (d&b R1)

Si ArrayCalc es el arquitecto que dibuja los planos, R1 es el piloto que conduce el coche. Una vez que el sistema está colgado, R1 se convierte en tu centro de mando: desde aquí vigilas la salud de los amplificadores, mutes zonas, ajustas ecualizadores y, en última instancia, tienes el control total del espectáculo.

11.1 El Ecosistema d&b: Del Diseño al Control

En el flujo de trabajo moderno, rara vez configuramos los amplificadores uno por uno manualmente. La filosofía es: «**Diseña una vez, úsalo en todas partes**».

El archivo de proyecto que creaste en el Capítulo 4 (`.dbpr`) contiene toda la información vital:

- Qué amplificadores usar (D80, D20, etc.).
- Qué altavoces están conectados a cada canal.
- Los ajustes de *ArrayProcessing*.
- La agrupación lógica (Main L, Main R, Subs).

R1 toma este archivo y genera automáticamente una interfaz de control gráfica personalizada para tu diseño específico.

11.2 Importación y Generación de la Interfaz

El proceso para pasar del papel a la pantalla de control es directo:

1. **En ArrayCalc:** Guarda tu proyecto final.
2. **En R1:** Abre el software y selecciona `File > Open Project`.
3. **La Magia:** R1 leerá la configuración y te presentará una vista llamada «**Home**».

¿Qué acaba de pasar?

R1 ha creado automáticamente:

- **Vistas Remotas (Remote Views):** Pantallas con faders y botones grandes, organizados tal como agrupaste tus altavoces en ArrayCalc.
- **Asignación de Canales:** Ya sabe que el amplificador con IP `.15` es el «Main Left - Top».

11.3 Navegación por la Interfaz

R1 puede parecer intimidante al principio por la cantidad de datos. Vamos a desglosar las vistas esenciales:

A. Vista de Dispositivos (Device View)

Es la vista de «micro-gestión». Aquí ves cada amplificador individualmente.

- **Uso:** Verificar temperatura, impedancia de carga en tiempo real, o errores de hardware.
- **Cuándo usarla:** Durante el montaje o si salta una alerta de fallo.

B. Vista de Grupos (Group View)

Es la vista de mezcla. Aquí controlas múltiples canales a la vez.

- **Ejemplo:** Un fader maestro llamado «SUBWOOFERS» que baja el volumen de los 12 amplificadores de subs simultáneamente.
- **Function Master:** Es el botón de «Mute Global» o «Power On/Off» para todo el sistema.

C. Vistas Remotas (Remote Views)

Es tu «Dashboard» personalizado. Puedes dibujar faders, botones de EQ y medidores donde tú quieras para tener a mano solo lo que necesitas durante el show.

**** Tip de Flujo de Trabajo:**** Crea una pestaña de «Soundcheck» que solo tenga: - Botón de Mute General. - Fader de Nivel de Subs. - Botones para activar/desactivar el modo «CUT» (filtro pasa altos) de los Tops. Esto evita que toques parámetros críticos por accidente durante el show.

11.4 Taller Práctico: Puesta en Marcha

Vamos a simular el procedimiento estándar de arranque de un sistema.

Fase 1: Conexión (Online)

1. Conecta tu laptop a la red (como vimos en el Capítulo 10).
2. En R1, ve a la pestaña **CAN/Ethernet**.
3. Activa el protocolo **OCA**. Escanea.
4. **Match:** Arrastra los amplificadores virtuales (del archivo ArrayCalc) sobre los amplificadores reales (detectados en la red) para enlazarlos.

Fase 2: Comprobación (System Check)

1. **Impedance Check:** R1 puede medir la impedancia de los altavoces conectados.
 - *Lectura esperada:* Si dice «Open» (Abierto), te falta un cable. Si dice «Short» (Corto), hay un cable cruzado.
2. **Prueba de Ruido Rosa:** Envía ruido rosa a bajo nivel zona por zona (L, R, Subs, Frontfill) para verificar que el ruteo físico coincide con tu pantalla.

Fase 3: Ajuste (Tuning)

Ahora usas R1 para aplicar los datos de tu medición con Smaart/OSM:

1. **Delay:** Introduce los milisegundos calculados para alinear el PA con los Subs.
2. **EQ:** Utiliza el ecualizador paramétrico de 8 bandas de cada canal para corregir la respuesta de la sala.
3. **Gain:** Ajusta el balance tonal bajando o subiendo grupos completos.

11.5 Videoteca de Referencia

Para dominar cada clic del software, consulta esta serie de tutoriales específicos que acompañan al curso:

1. **Navegación Básica** Aprende a moverte por la interfaz sin perderte.

[Ver Video ↗](#)

2. **Vista de Dispositivos** Cómo entrar en las entrañas de cada amplificador.

[Ver Video ↗](#)

3. **Gestión de Grupos** Controlar 50 amplificadores con un solo fader.

[Ver Video ↗](#)

4. **Vistas Personalizadas** Diseña tu propia pantalla de control remoto.

[Ver Video ↗](#)

Ejercicio de Campo

Escenario: El sistema suena «raro» en el lado derecho.

Acción en R1:

1. Abre la **Vista de Dispositivos** del amplificador que alimenta el Lado R.
2. Observa el medidor de **Input** y **Output**. ¿Hay señal entrando? ¿Hay señal saliendo?
3. Revisa la función **System Check**. ¿Ha cambiado la impedancia drásticamente? (Podría indicar un driver quemado).

R1 te permite diagnosticar sin bajar el sistema ni usar escaleras.

Capítulo 13: Montaje Físico, Ruteo y Amplificación

Hemos calculado la energía, simulado la cobertura y configurado la red. Ahora toca ensuciarse las manos. En este capítulo, transformaremos el diseño virtual en presión sonora real, enfocándonos en la eficiencia del cableado, la lógica de amplificación y la integración de múltiples subsistemas: Main, Subs y Frontfill.

Video de referencia

Video: <https://www.youtube.com/embed/CVctK-Woy7M>

Reto de la sesión

Son las 3:00 p.m. El evento abre puertas a las 7:00 p.m. Tienes un sistema para 500 personas, un D80, tops, subs, frontfill y una consola digital. Tu misión es montar, rutear, amplificar y verificar el sistema sin errores antes de que llegue el público.

Actividad 1: ¿Qué puede salir mal? Antes de montar, identifica el riesgo principal de cada decisión. Haz clic en cada caso. Cables sin plan Todo por Master L/R No revisar polaridad Tops sin CUT

13.1 Flujo de Señal y Cableado Estructurado

El error más común en el montaje no es acústico, es logístico: tirar cables sin pensar. Un sistema profesional utiliza estándares de conexión que simplifican la vida y reducen errores.

El estándar NL4 Speakon

En sistemas bi-amplificados o configuraciones eficientes, utilizamos cables de 4 conductores en lugar de 2. Esto nos permite llevar dos señales de potencia diferentes por una misma manguera.

- **Pines 1+ / 1-:** generalmente para la vía de **agudos/medios**, es decir, los **tops**.
- **Pines 2+ / 2-:** generalmente para la vía de **graves**, es decir, los **subs**.

Actividad 2: Arma el NL4 Completa qué debe viajar por cada par de pines en un sistema Mix TOP/ SUB. Pines Respuesta 1+ / 1- 2+ / 2- Verificar

Pregunta de diagnóstico

Si usas un cable de 2 hilos cuando el sistema requiere 4 hilos, puede que solo llegue una de las dos vías. El sistema puede sonar incompleto aunque el amplificador esté correctamente configurado.

13.2 Modos de Amplificación: Mix TOP/SUB

Los amplificadores modernos DSP, como el d&b D80 o D20, permiten configuraciones de salida flexibles para optimizar el cableado. El modo más utilizado en eventos corporativos y medianos es el **Mix TOP/SUB**.

¿Por qué usarlo?

Imagina que tienes un altavoz Top T10 sobre un Subwoofer B6 en cada lado del escenario.

- **Método tradicional:** tiras un cable largo para el top y otro cable largo para el sub. Para L/R necesitas 4 cables largos.
- **Método Mix TOP/SUB:** el amplificador combina las señales internamente. Por un solo cable NL4 viajan top y sub en pines diferentes.
- **Resultado:** tiras **un cable de 4 hilos** desde el amplificador hasta el subwoofer, y desde el subwoofer haces link al top. Ahorras la mitad del cableado largo.

Configuración de pines en modo Mix TOP/SUB

En el conector de salida NL4 del amplificador:

- **1+ / 1-:** señal del canal de TOP.
- **2+ / 2-:** señal del canal de SUB.

Esto permite que un solo cable alimente todo el stack de un lado: Left o Right.

Actividad 3: Método tradicional vs Mix TOP/SUB Elige el método más eficiente para un evento donde necesitas montar rápido y reducir errores. Método AAmp a Top L, Amp a Sub L, Amp a Top R, Amp a Sub R. Elegir B Método BAmp a Sub L y link a Top L; Amp a Sub R y link a Top R con NL4 de 4 hilos. Elegir B

13.3 Caso de Estudio: Montaje Estéreo Full Range

Vamos a implementar un sistema completo típico para un evento de 500 personas, integrando lo aprendido en capítulos anteriores.

Inventario:

- **PA principal:** 4 x d&b T10, dos por lado.
- **Subs:** 2 x d&b B6.
- **Frontfill:** 1 x altavoz activo, por ejemplo Yamaha DSR112.
- **Amplificación:** 1 x d&b D80.
- **Control:** consola digital, por ejemplo Yamaha QL1.

Paso 1: Configuración física: rigging y stacking

1. **Seguridad:** verifica que el suelo esté nivelado.
2. **Stacking:** coloca los subwoofers B6 como base. Utiliza el adaptador de stack para montar dos T10 encima de cada sub.
3. **Orientación:** inclina mecánicamente los T10 inferiores hacia el público, aproximadamente entre -3 grados y -5 grados, para asegurar cobertura en las primeras filas según tu predicción de ArrayCalc.

Mapa físico del sistema T10 LTop izquierdoEscenarioT10 RTop derechoB6 LBase stackPúblico500 personasB6 RBase stackFrontfillPrimeras filas Pregunta: ¿qué elemento necesita control independiente porque cubre una zona distinta del PA principal? Frontfill Tops Subs

Paso 2: Ruteo de señal: consola a amplificador

No envíes todo por el Master L/R. Un control profesional requiere buses separados, ya sea matrices o auxiliares.

- **Matrix 1 Main L:** al input A del amplificador.
- **Matrix 2 Main R:** al input C del amplificador.
- **Matrix 3 Subs:** al input B o D, si los gestionas por separado en modo Aux-Fed Subs.
- **Matrix 4 Frontfill:** directo al altavoz activo central.

Tip de ganancia

Asegúrate de que tus matrices estén en posición **post-fader** respecto al Master L/R, pero con control de nivel independiente. Esto te permite bajar el volumen de los subs sin afectar al PA, o viceversa, manteniendo la relación de mezcla.

Actividad 4: Diseña el patch Completa el destino correcto de cada matriz. Puedes escribir, por ejemplo: Input A, Input C, Input B o Frontfill. Salida de consola Destino Matrix 1 Main L Matrix 2 Main R Matrix 3 Subs Matrix 4 Frontfill Verificar patch

Paso 3: Configuración del amplificador D80

1. **Carga de presets:**
 - Canales A y C: selecciona **T10**, en configuración Line o Arc según corresponda.
 - Canales B y D: selecciona **B6-SUB**.
2. **Modo de salida:** activa **Mix TOP/SUB**.
 - Esto vincula el canal A con B, y el canal C con D.
3. **Crossover:** activa el botón **CUT** en los canales de Top T10. El amplificador se encarga de cruzar las frecuencias automáticamente, generalmente alrededor de 100 Hz.

Actividad 5: Encuentra el error Lee el síntoma y elige qué revisarías primero. Síntoma: El lado derecho tiene sub, pero no tiene top. Cable/link NL4 del lado derecho Nivel de Matrix 3 Subs Polaridad del sub

13.4 Diagnóstico Básico de Montaje

En este punto todavía no necesitamos entrar en arreglos direccionales de subgraves. El objetivo de esta clase es que el sistema quede correctamente montado, ruteado y verificado con una lógica clara de trabajo.

Antes de pensar en soluciones avanzadas, el técnico debe poder responder tres preguntas básicas:

1. **¿Cada zona recibe la señal correcta?** Main L, Main R, Subs y Frontfill deben poder probarse por separado.
2. **¿Cada caja reproduce lo que debe reproducir?** Los tops no deben comportarse como subs, y los subs no deben recibir una ruta equivocada.
3. **¿El sistema está listo para operar de forma segura?** Cables ordenados, presets correctos, limitadores bajo control y polaridad verificada.

Tema reservado para más adelante

Los arreglos direccionales de subgraves se estudian en el capítulo dedicado a bajas frecuencias. Aquí solo dejaremos claro que el montaje debe permitir diagnosticar problemas antes de aplicar soluciones avanzadas.

Actividad 6: Diagnóstico rápido de montaje Elige qué revisarías primero en cada situación. Caso AEl frontfill suena demasiado fuerte en las primeras filas.Resolver caso ACaso BLos subs suenan, pero no puedes bajarlos sin bajar todo el PA.Resolver caso BCaso CUn lado del PA no reproduce el top, pero sí el sub.Resolver caso C

Checklist de Verificación: Sound Check

Antes de abrir el fader maestro, verifica:

1. **Conexiones físicas:** cada cable llega a la caja correcta.
2. **Ruteo de matrices:** L, R, Subs y Frontfill tienen control independiente.
3. **Presets del amplificador:** T10 en canales de top y B6-SUB en canales de sub.
4. **Pink noise:** envía ruido a cada zona por separado: L, R, Sub y Frontfill.
5. **Polaridad:** usa un checker de polaridad. Un cable soldado al revés puede cancelar parte del sistema.
6. **Limitadores:** reproduce música fuerte brevemente y verifica en R1 que los medidores de Gain Reduction apenas se muevan. Si limitan demasiado pronto, revisa la estructura de ganancia.

Actividad 7: Ordena mentalmente el sound check Selecciona cuál debería ser el primer paso antes de subir el master. Confirmar conexiones físicas Escuchar música de referencia Subir el master

Cierre: criterio profesional

Un montaje profesional no se define solo por que el sistema suene, sino por que sea **seguro, ordenado, verificable y corregible**. Si cada zona tiene una ruta clara, cada caja recibe la señal correcta, el amplificador tiene los presets adecuados y el equipo puede diagnosticar fallas rápidamente, el diseño virtual se convierte en presión sonora real con control.

Recursos Adicionales**Manuales Técnicos**

- [Manual del T10](#)
- [Manual del B6](#)
- [Manual del D80](#)

Software

- [d&b R1 Remote](#)
- [d&b ArrayCalc](#)

Videos Tutoriales

- [Tutorial de amplificadores D80, D20 3 Configuración del dispositivo: modos de salida](#)

Capítulo 14: Medición y Ajuste de Sistemas (FFT y Función de Transferencia)

El oído humano es una herramienta artística maravillosa, pero un instrumento de medición terrible. Se fatiga, se adapta y es subjetivo. Para ajustar un sistema profesionalmente, necesitamos una referencia objetiva. Aquí entra el análisis FFT: la herramienta que nos permite «ver» el sonido.

13.1 ¿Qué estamos midiendo?

A diferencia de un RTA (Real Time Analyzer) tradicional que solo muestra «cuánto» sonido hay (barritas de colores saltando), el análisis moderno utiliza la **Función de Transferencia** de doble canal.

La Lógica del Doble Canal

El software compara dos señales en tiempo real:

1. **Señal de Referencia (X):** El audio puro que sale de la consola (antes de salir a los altavoces).
2. **Señal de Medición (Y):** Lo que capta el micrófono en la sala (después de pasar por el altavoz y el aire).

Al comparar qué salió vs. qué llegó, el software nos dice exactamente cómo el sistema (altavoz + sala) modificó el sonido.

La Fórmula de la Verdad:

$$H(\omega) = \frac{Y(\omega)}{X(\omega)}$$

Donde $H(\omega)$ es la Función de Transferencia. Esto nos da dos datos vitales:

- **Magnitud:** ¿Subió o bajó el volumen en esta frecuencia? (Respuesta en Frecuencia).
- **Fase:** ¿Se retrasó la señal? (Tiempo y Alineación).

13.2 Herramientas: Open Sound Meter (OSM)

Aunque existen estándares industriales costosos como *Smaart*, en este curso utilizamos **Open Sound Meter**, una herramienta de código abierto, gratuita y extremadamente potente que democratiza el ajuste de sistemas.

Gráficas Principales

Cuando abres OSM, verás tres ventanas críticas que debes aprender a interpretar:

1. **Magnitud (Magnitude):** La línea que sube y baja.

- **Lectura:** Si la línea está en +3dB a 100Hz, tienes un exceso de graves. Si cae en agudos, te falta brillo.
 - 2. **Fase (Phase):** La línea que «sierra» o envuelve (wraps).
 - **Lectura:** Nos indica el tiempo de llegada de cada frecuencia. Es vital para alinear Subs con Tops.
 - 3. **Coherencia (Coherence):** El «detector de mentiras».
 - **Lectura:** Una línea que va de 0 a 1. Nos dice qué tan fiable es el dato que estamos viendo.
- ** Regla de la Coherencia ****

Si la coherencia cae por debajo de **0.6 (60%)** en una frecuencia, **IGNORA** los datos de Magnitud y Fase en esa zona. Significa que lo que mide el micrófono es más ruido/reflexión que sonido directo.

13.3 Configuración del Hardware

Para medir, necesitas una interfaz de audio de 2 entradas:

- **Input 1 (Mic):** Conecta aquí tu micrófono de medición (ej. RTA-M, ECM8000).
- **Input 2 (Ref):** Haz un «bucle físico» (Loopback). Conecta un cable corto desde una salida de la interfaz directamente a la entrada 2.
- *¿Por qué?* Esto le dice al software: «Esta es la señal original perfecta con retardo cero».

13.4 El Procedimiento de Ajuste (Paso a Paso)

Sigue este ritual en cada soundcheck:

Paso 1: Generar Señal

Enciende el Generador de Ruido Rosa (*Pink Noise*).

- **Nivel:** Suficiente para superar el ruido ambiente (aire acondicionado, gente hablando), generalmente unos 10-15 dB por encima del ruido de fondo.

Paso 2: Encontrar el Retardo (Delay Finder)

El sonido tarda tiempo en viajar desde el altavoz al micrófono (aprox 2.9 ms por metro). Si no compensas este tiempo, la gráfica de Fase será ilegible.

1. Presiona el botón «**Delay Finder**» o «**Find**» en OSM.
 2. El software calculará el pico del impulso.
 3. Presiona «**Insert**» o «**Apply**».
- **Resultado:** La gráfica de Fase se «aplanará». Ahora estás viendo el sistema sincronizado.

Paso 3: Captura de Huella (Trace)

Una vez estabilizada la medición:

1. Presiona «**Capture**» o «**Store**».
2. Ponle nombre (ej. «Main PA Solo»).
3. Mutea el sistema.

Paso 4: Medición del Subwoofer

1. Enciende solo los Subwoofers.
2. Repite el *Delay Finder* (el sub suele ser más lento electrónicamente).
3. Captura la huella (ej. «Sub Solo»).

13.5 Alineación de Fase (El Santo Grial)

Aquí es donde ocurre la magia. Queremos que el PA y el Sub se sumen perfectamente en el punto de cruce (Crossover).

1. Abre tus dos capturas («Main PA» y «Sub») en la vista de **Fase**.
2. Busca la frecuencia donde se cruzan (ej. 90 Hz).
3. Observa las líneas de fase:
 - **Si están superpuestas (paralelas):** ¡Felicidades! Tienes suma perfecta.
 - **Si están separadas:** Tienes una cancelación potencial.
4. **Solución:** Aplica *Delay electrónico* al componente que llegue «antes» (generalmente el Top) hasta que las líneas de fase se solapen en la pantalla.

**** Tip de Campo:**** Si ves que las fases están separadas 180 grados (una arriba y otra abajo), intenta primero el botón de **Inversión de Polaridad (Ø)** en el procesador. A veces es la solución más rápida antes de empezar a añadir milisegundos de delay.

13.6 Interpretación de Problemas Comunes

Síntoma Visual	Causa Probable	Solución
Coherencia baja en agudos	Viento (aire libre) o reflexiones fuertes.	Usa la media (Averaging) o acerca el micro.
Caída (Notch) profunda en Magnitud	Filtro de peine (Comb Filter) por reflexiones de suelo.	Mueve el micrófono o usa la técnica «Ground Plane».
Fase con muchas líneas verticales	Tiempo de retardo mal ajustado.	Vuelve a usar el <i>Delay Finder</i> .

Ejercicio de Laboratorio

Descarga e instala **Open Sound Meter** en tu laptop hoy mismo.

Tarea:

1. Si no tienes interfaz, usa el micrófono interno de la laptop y configura la referencia interna (loopback digital).
2. Genera ruido rosa con tu teléfono o un altavoz externo.
3. Practica usando el **Delay Finder** moviéndote por la habitación. Observa cómo cambia el tiempo de llegada (ms) a medida que te alejas de la fuente.

Capítulo 15: Software de Análisis en Tiempo Real (Open Sound Meter)

Open Sound Meter (OSM) es una herramienta gratuita y de código abierto para realizar mediciones acústicas en tiempo real. En el contexto del diseño de arreglos de altavoces, permite pasar de la intuición a la verificación: observar espectro, magnitud, fase, coherencia, niveles y comportamiento temporal del sistema.

Este capítulo funciona como puente entre la teoría de medición del capítulo anterior y la práctica de clase. El objetivo no es memorizar cada botón de la interfaz, sino entender qué información entrega OSM y cómo usarla para tomar decisiones de ajuste.

15.1 ¿Qué es Open Sound Meter?

Open Sound Meter es un software de análisis diseñado para:

- Medir en tiempo real el espectro de frecuencias.
- Analizar niveles de presión sonora y niveles eléctricos.
- Comparar señales mediante función de transferencia.
- Visualizar magnitud, fase, impulso, coherencia y otros gráficos útiles para ajuste de sistemas.
- Documentar mediciones durante montaje, calibración y verificación.

En un flujo profesional, OSM puede cumplir una función similar a herramientas comerciales como Smaart: mostrar objetivamente cómo responde un sistema en un espacio específico.

Descarga

El software está disponible en opensoundmeter.com. Instálalo antes de la práctica y verifica que tu sistema operativo permita acceso a la interfaz de audio y al micrófono.

15.2 Material necesario para la práctica

Para una medición básica necesitas:

- Computadora personal con Open Sound Meter instalado.
- Interfaz de audio con al menos dos entradas y dos salidas.
- Micrófono de medición, idealmente calibrado.
- Cable para referencia o loopback.
- Sistema de altavoces o monitor de prueba.
- Generador de ruido rosa desde OSM o desde una fuente externa.

Si no cuentas con micrófono de medición, puedes explorar la interfaz y practicar lectura básica con un micrófono disponible, entendiendo que los resultados no serán una medición calibrada.

15.3 Interfaz general

La interfaz de OSM se organiza alrededor de gráficos, fuentes de señal, generadores y canales de medición. La lógica principal es simple: se define una señal de referencia, se captura una señal medida y se comparan ambas.

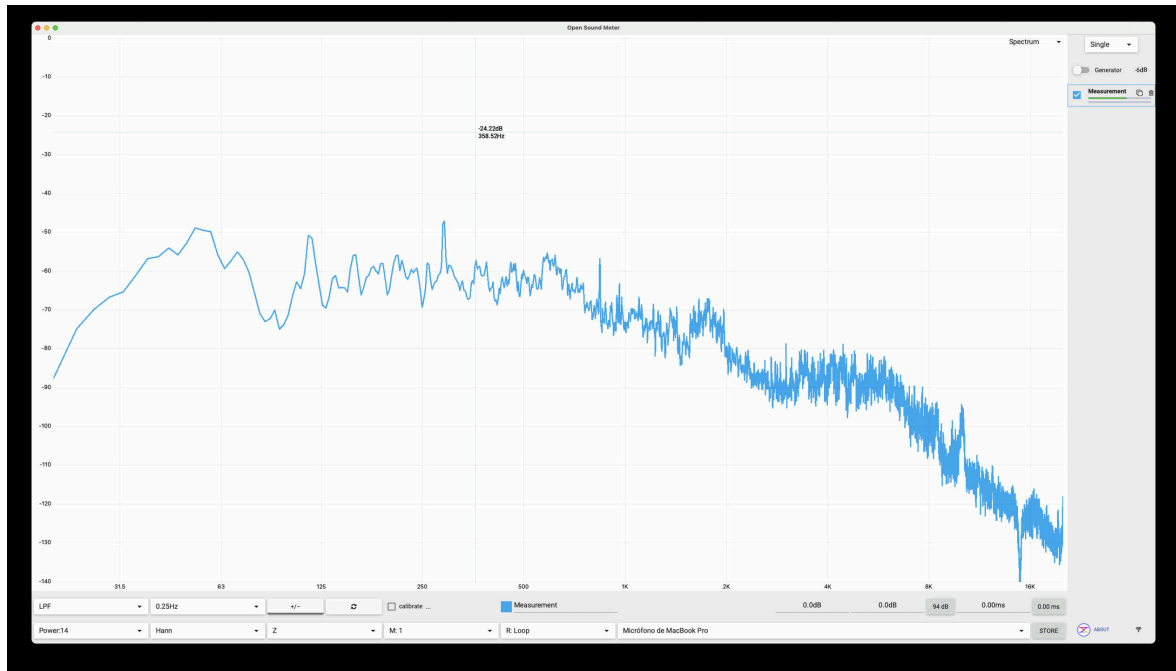


Figura 1: Interfaz general de Open Sound Meter.

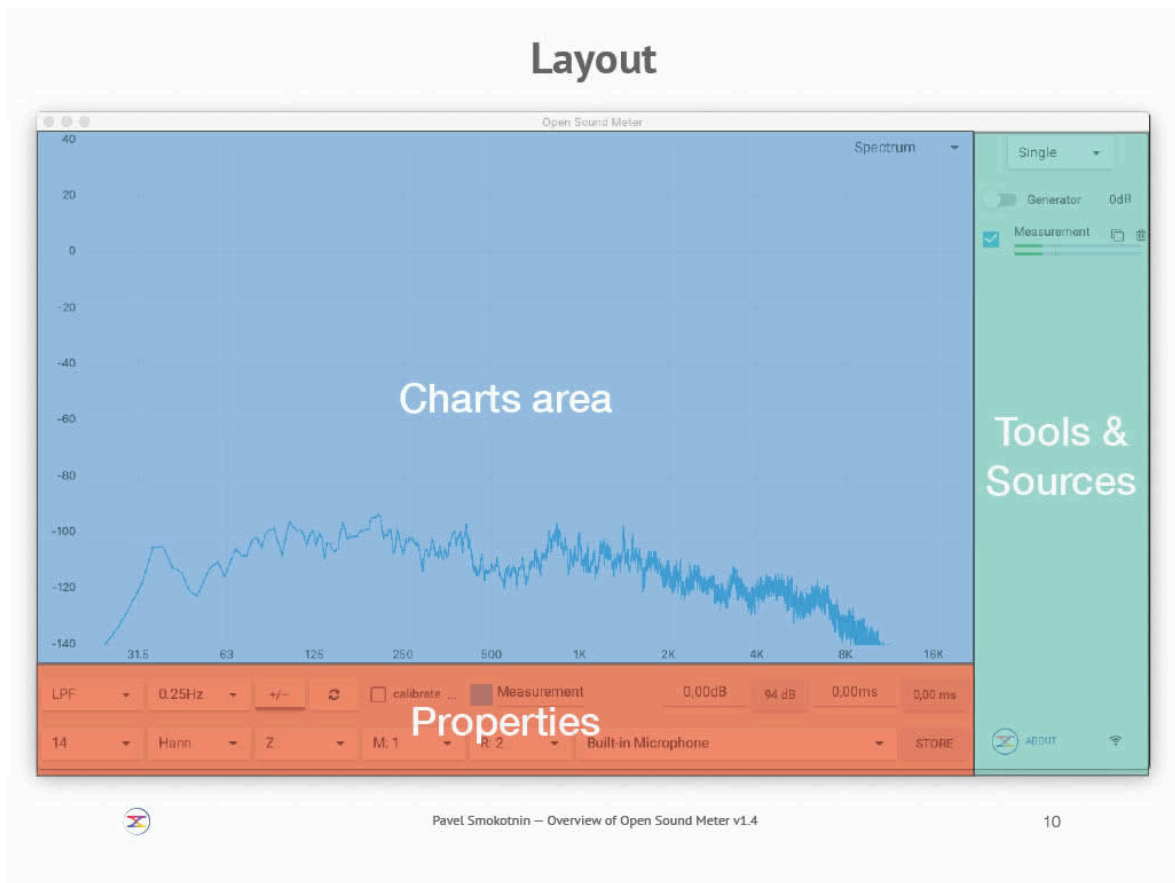
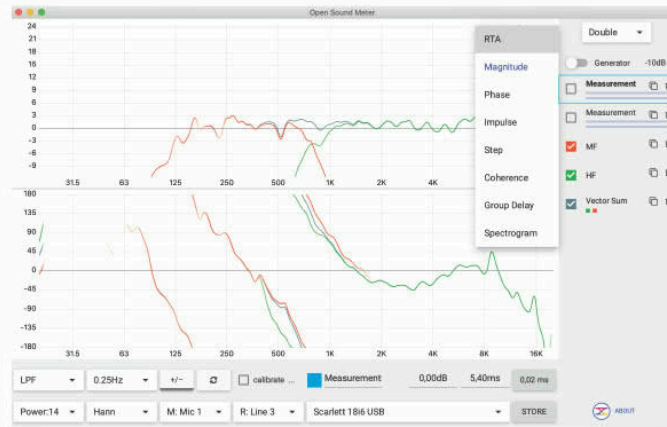


Figura 2: Vista de medición en Open Sound Meter.

Charts area

Up to three charts of different types, or numerics values

- Spectrum
- Magnitude
- Phase
- Impulse
- Step
- Coherence
- Group delay
- Spectrogram
- Phase delay
- Level
- Crest factor
- Nyquist plot



Pavel Smokotnin — Overview of Open Sound Meter v1.4

11

Figura 3: Configuración de mediciones y gráficas.

15.4 Tipos de gráficos

OSM permite mostrar distintos gráficos según lo que necesites observar. Los más importantes para ajuste de sistemas son magnitud, fase, coherencia e impulso.

Gráfico	Qué muestra	Uso principal
Spectrum	Distribución de energía por frecuencia	Ver contenido espectral de una señal
Magnitude	Nivel relativo por frecuencia	Ecualización y balance tonal
Phase	Desfase relativo por frecuencia	Alineación temporal y suma entre fuentes
Impulse	Llegada temporal de la señal	Búsqueda de delay y reflexiones
Step	Respuesta a una señal escalón	Lectura transitoria del sistema
Coherence	Fiabilidad de la medición	Decidir qué datos se pueden confiar
Group delay	Retardo por frecuencia	Detectar problemas temporales
Spectrogram	Evolución espectral en el tiempo	Observar cambios dinámicos
Phase delay	Retardo de fase por frecuencia	Analizar alineación temporal
Level	Nivel de señal o SPL	Control de ganancia y seguridad
Crest factor	Relación pico/RMS	Evaluar dinámica e impulsividad
Nyquist plot	Respuesta compleja del sistema	Análisis avanzado de estabilidad

Prioridad en clase

Para ajuste de sistemas de refuerzo sonoro, empieza por dominar cuatro vistas: **Magnitude**, **Phase**, **Coherence** e **Impulse**. Las demás gráficas amplían el análisis, pero esas cuatro sostienen la mayor parte del trabajo práctico.

15.5 Número de gráficos a mostrar

OSM permite decidir cuántos gráficos estarán visibles en pantalla. Esta elección afecta directamente la lectura durante una práctica: demasiada información puede distraer; muy poca puede ocultar relaciones importantes.

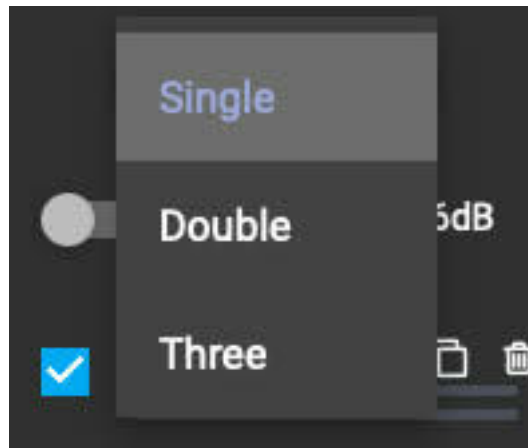


Figura 4: Selector de número de gráficos visibles.

Una configuración inicial útil puede ser:

- Magnitude arriba.
- Phase al centro.
- Coherence abajo.

Cuando se trabaja en delay finder o identificación de reflexiones, puede añadirse Impulse.

15.6 Salida del generador

El generador interno permite enviar señales de prueba, como ruido rosa o señales sinusoidales, hacia una salida específica de la interfaz.

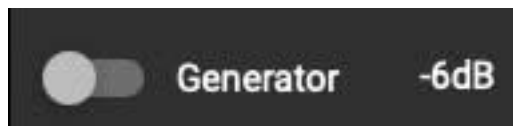


Figura 5: Salida del generador en Open Sound Meter.

Haz clic en la etiqueta de la salida para abrir sus propiedades. Desde ahí puedes revisar qué canal físico recibe la señal de prueba y ajustar el nivel de salida.

Seguridad de nivel

Antes de activar ruido rosa, baja el nivel de salida. Sube progresivamente hasta superar el ruido de fondo sin exponer al sistema, al público ni a la clase a niveles innecesarios.

15.7 Procesamiento y visibilidad de mediciones

Cada medición puede mostrarse, ocultarse, clonarse o eliminarse. El color de la casilla representa el color de la serie en el gráfico.

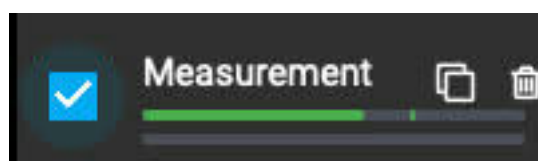


Figura 6: Controles de procesamiento y visibilidad de mediciones.

Estos controles son útiles para comparar:

- Sistema principal solo.
- Subgraves solos.
- Sistema completo.
- Mediciones antes y después de aplicar delay o ecualización.

15.8 Fuente seleccionada y orden visual

La fuente seleccionada aparece con una línea más gruesa y se muestra por encima de los otros gráficos.

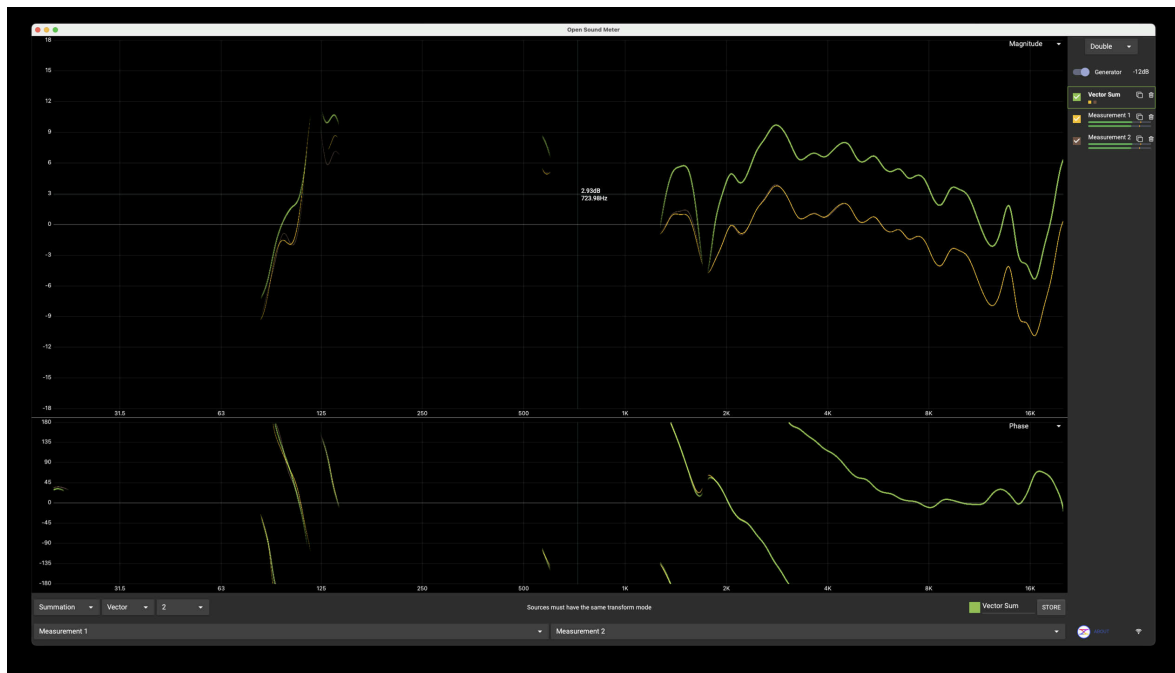


Figura 7: Fuente seleccionada en Open Sound Meter.

El orden visual de las curvas corresponde al orden de las fuentes. Esto ayuda a organizar comparaciones cuando se trabaja con varias capturas.

15.9 Lectura de la coherencia

La coherencia indica qué tan confiable es la relación entre la señal de referencia y la señal medida. Una coherencia alta significa que el micrófono está capturando principalmente el sistema que queremos medir. Una coherencia baja puede indicar ruido ambiente, reflexiones fuertes, mala relación señal/ruido o una referencia incorrecta.

Como regla práctica:

- Coherencia cercana a 1: dato confiable.
- Coherencia media: leer con cautela.
- Coherencia baja: no tomar decisiones de EQ o delay basadas en esa zona.

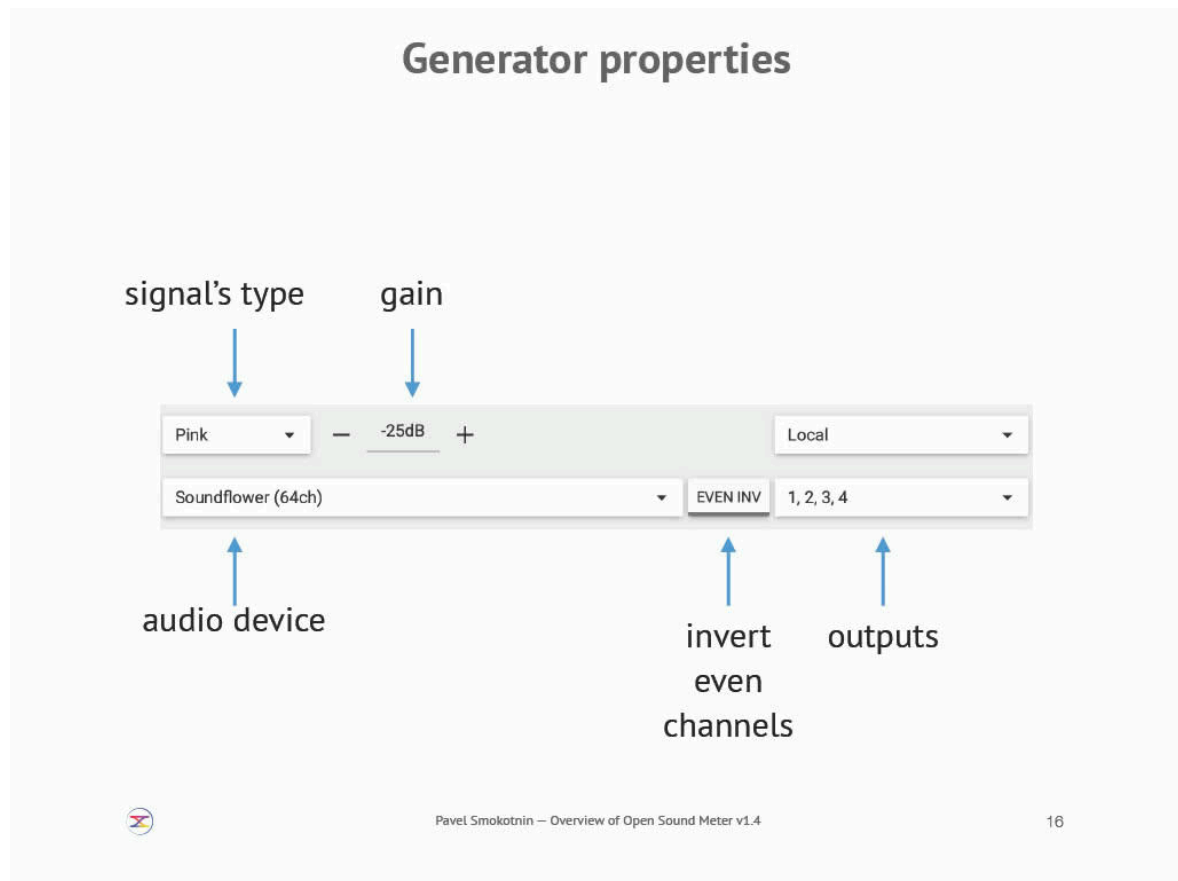


Figura 8: Vista adicional de medición en OSM.

15.10 Práctica guiada

1. Instala Open Sound Meter.
2. Configura la interfaz de audio.
3. Asigna una salida para el generador.
4. Conecta el micrófono de medición a una entrada.
5. Crea una medición con Magnitude, Phase y Coherence visibles.
6. Activa ruido rosa a bajo nivel.
7. Usa Delay Finder para compensar el tiempo de llegada.
8. Captura una medición del sistema principal.
9. Si hay subgraves, mide sub solo y compáralo con el sistema principal.

15.11 Material complementario

- [Guía oficial y soporte de Open Sound Meter](#)
- [Sitio oficial de Open Sound Meter](#)

Cierre

Open Sound Meter permite observar con claridad lo que el oído por sí solo no puede aislar: diferencias de tiempo, fase, coherencia y respuesta en frecuencia. La meta de la medición no es reemplazar la escucha, sino darle contexto técnico para que las decisiones de ajuste sean verificables.

Capítulo 16: Nuevas Fronteras: Audio Inmersivo y Mezcla Espacial

Video Demostrativo: Audio Inmersivo en Acción

[Ver video](#)

Figura 15: Demostración práctica de un sistema de audio inmersivo en funcionamiento.

15.1 Del Canal al Objeto: Un Cambio de Paradigma

Durante décadas, el audio profesional se ha basado en el concepto de **canales**: cada señal de audio se asigna a una salida física específica (izquierda, derecha, centro, etc.). Este modelo funcionó perfectamente para estéreo, luego para surround 5.1, y posteriormente para configuraciones más complejas como 7.1 o incluso sistemas con canales de altura.

Sin embargo, este enfoque presenta una limitación fundamental: **la reproducción está atada a una configuración específica de altavoces**. Una mezcla para 5.1 no se traduce automáticamente a un sistema de 22 altavoces distribuidos en un teatro, ni puede adaptarse dinámicamente a la geometría cambiante de un venue.

El **audio basado en objetos** (Object-Based Audio, OBA) revoluciona este concepto. En lugar de asignar señales a canales fijos, cada elemento sonoro se trata como un **objeto independiente** con metadatos espaciales:

- **Posición** en un espacio tridimensional (X, Y, Z)
- **Movimiento** dinámico en tiempo real
- **Características acústicas** (tamaño aparente, difusión)

Un procesador de renderización en tiempo real interpreta estos metadatos y **calcula automáticamente** qué altavoces deben reproducir cada objeto y con qué nivel, fase y tiempo, adaptándose a la configuración específica instalada en el espacio.

15.2 Tecnologías Inmersivas para Sonido en Vivo

15.2.1 d&b Soundscape

Como ya trabajamos con equipamiento d&b audiotechnik en las sesiones prácticas anteriores, **Soundscape** representa la evolución natural de nuestros conocimientos hacia sistemas inmersivos.

Arquitectura del sistema:

Soundscape se basa en el procesador **DS100**, que combina dos motores fundamentales:

Figura 15.1: Procesador d&b DS100, cerebro del sistema Soundscape. Nótese las múltiples conexiones Dante/AES para entrada y salida de objetos.

1. **En-Scene:** Motor de posicionamiento de objetos

- Hasta 64 objetos sonoros independientes
- Espacio de trabajo 3D con coordenadas cartesianas
- Control de ancho aparente y divergencia

2. **En-Space:** Motor de reverberación espacial

- Emulación de acústica de sala configurable
- Reflexiones tempranas y cola reverberante separadas
- Posicionamiento independiente de la fuente directa y la reverberación

Figura 15.2: Interfaz del software d&b R1 mostrando la vista de posicionamiento de objetos. Los círculos representan fuentes sonoras que pueden moverse en tiempo real dentro del espacio 3D.

Configuración típica de altavoces:

Para implementar Soundscape se requiere una arquitectura específica:

- **Main Array:** Sistema principal frontal (como los arreglos que hemos montado en clase)
- **Outfill/Sidefill:** Cobertura lateral para ensanchamiento
- **Height speakers:** Altavoces elevados (críticos para la sensación de inmersión)
- **Rear speakers:** Opcional, para envolvimiento total

El sistema calcula en tiempo real la **panoramización de amplitud y tiempo** (VBAP - Vector Base Amplitude Panning) para crear la ilusión de posición espacial precisa.

Flujo de trabajo:

1. La consola de mezcla envía objetos sonoros vía Dante/AES a grupos específicos
2. El DS100 recibe metadatos de posición (vía OSC, MIDI, o su interfaz)
3. El procesador renderiza en tiempo real la señal a la configuración de altavoces
4. Cada altavoz recibe su mezcla única calculada matemáticamente

15.2.2 L-Acoustics L-ISA

L-Acoustics desarrolló **L-ISA** (Immersive Hyperreal Sound) con una filosofía diferente: en lugar de crear una ilusión completamente artificial, busca «**hiperrealismo**» - una representación espacial que respeta la física acústica natural.

Figura 15.3: L-ISA Studio, software de control que permite posicionar objetos sonoros en el espacio. La interfaz muestra tanto la vista superior como frontal del venue.

Conceptos clave:

- **Scene System:** Array frontal amplio (típicamente 5 hangs separados)
- **Extension System:** Speakers adicionales para cobertura lateral/trasera
- **Procesador P1:** Hasta 96 objetos controlables

Figura 15.4: Sistema L-Acoustics desplegado en configuración L-ISA. Nótese la separación física entre los arrays frontales, fundamental para la creación del campo sonoro inmersivo.

La diferencia filosófica es importante: mientras Soundscape puede hacer que una guitarra «flote» en cualquier punto del espacio, L-ISA prioriza mantener la **coherencia espacial natural** de una banda en un escenario.

Aplicaciones típicas: - Festivales y conciertos de gran formato - Teatro musical - Eventos corporativos de alto nivel

Figura 15.5: Implementación de L-ISA en tour. La configuración muestra múltiples hangs distribuidos para crear una imagen sonora amplia y envolvente para grandes audiencias.

Ejemplos documentados incluyen Lollapalooa, festivales de Avenged Sevenfold, y producciones de Cirque du Soleil.

15.2.3 Meyer Constellation

Constellation de Meyer Sound aborda el problema desde otro ángulo: **acústica variable en tiempo real**.

Figura 15.6: Meyer Spacemap Go, sistema de posicionamiento espacial que permite controlar objetos sonoros mediante una interfaz táctil intuitiva.

En lugar de enfocarse en posicionar objetos individuales, Constellation modifica las características acústicas del espacio completo:

- Red de micrófonos distribuidos capturan el campo sonoro
- Procesamiento VRAS (Variable Room Acoustic System) calcula la respuesta deseada
- Altavoces estratégicamente ubicados recrean reflexiones y reverberación

Figura 15.7: Diagrama conceptual del sistema Meyer Ultra-Reflex mostrando cómo las reflexiones virtuales son generadas por altavoces distribuidos para modificar la acústica percibida del espacio.

Casos de uso: - Salas de concierto multiuso (de música sinfónica a amplificada) - Teatros con requisitos acústicos cambiantes - Espacios que requieren adaptación acústica por tipo de evento

15.2.4 Arquitectura Abierta: TiMax y Astro Spatial Audio

A diferencia de las soluciones propietarias anteriores, existe una categoría de procesadores que adoptan un enfoque de **arquitectura abierta**, siendo agnósticos respecto a la marca de altavoces. Esto representa una ventaja significativa para instalaciones que ya cuentan con infraestructura diversa o para proyectos con presupuestos limitados.

TiMax SoundHub

TiMax SoundHub es un procesador espacial que se ha convertido en estándar de la industria teatral, especialmente en el West End londinense y Broadway.

Figura 15.8: TiMax SoundHub en rack con controladores. El sistema permite mezcla espacial independiente de la marca de altavoces, ideal para teatros e instalaciones permanentes.

Características distintivas:

- **Independencia de fabricante:** Funciona con cualquier marca de altavoces (d&b, Meyer, L-Acoustics, JBL, etc.)
- **PanSpace:** Motor de panoramización 3D con hasta 32 objetos simultáneos
- **Image Definition:** Tecnología de localización mejorada mediante retardos adaptativos
- **Showcontrol:** Integración profunda con sistemas de automatización teatral (QLab, disguise, etc.)

Aplicaciones típicas: - Teatro musical con infraestructura de altavoces preexistente - Instalaciones permanentes con necesidad de flexibilidad - Producciones donde se requiere sincronización precisa con iluminación y video

El algoritmo **Image Definition** de TiMax es particularmente interesante: en lugar de solo ajustar niveles entre altavoces (como VBAP tradicional), aplica micro-retardos calculados que mejoran la percepción de localización, especialmente en espacios acústicamente desafiantes.

Astro Spatial Audio SARA II

SARA II (Spatial Audio Real-time Applications) representa otra alternativa de arquitectura abierta, enfocada en flexibilidad máxima.

Figura 15.9: Sistema Astro Spatial Audio SARA II, procesador de arquitectura abierta que soporta múltiples algoritmos de espacialización y configuraciones de altavoces personalizadas.

Ventajas del sistema:

- **Configuración libre:** No requiere geometrías predefinidas de altavoces
- **Algoritmos múltiples:** VBAP, Ambisonics, WFS (Wave Field Synthesis) disponibles simultáneamente
- **Escalabilidad:** Desde pequeños sistemas teatrales hasta instalaciones masivas
- **Interoperabilidad:** Compatibilidad nativa con formatos estándar (ADM, Ambisonics)

Casos de uso: - Instalaciones artísticas experimentales - Espacios educativos con necesidad de múltiples configuraciones - Proyectos de investigación en audio espacial - Venues que alternan entre diferentes tipos de eventos (concierto, conferencia, teatro)

Ventajas de la Arquitectura Abierta

La principal diferencia con sistemas propietarios es la **versatilidad económica y operativa**:

1. **Reutilización de infraestructura existente:** Un teatro que ya tiene 24 altavoces de diferentes marcas puede implementar mezcla espacial sin reemplazar todo el sistema
2. **Actualizaciones incrementales:** Se pueden mejorar componentes específicos sin cambiar todo el ecosistema
3. **Menor dependencia de un fabricante:** Evita «vendor lock-in» en contratos de mantenimiento o expansiones futuras
4. **Flexibilidad creativa:** El ingeniero puede elegir la mejor herramienta para cada aplicación

Sin embargo, también presentan **desafíos**:

- Requieren mayor conocimiento técnico del ingeniero (no hay soporte integrado del fabricante de altavoces)
- La calibración puede ser más compleja al trabajar con equipos heterogéneos
- No existe optimización específica entre procesador y transductores (como sí ocurre con sistemas propietarios)

15.3 Componentes Técnicos Comunes

A pesar de las diferencias de implementación, todos los sistemas inmersivos comparten ciertos requisitos técnicos:

Infraestructura de Red Robusta

- **Ancho de banda:** Con 64+ objetos en tiempo real, necesitamos redes de 1Gb o superiores
- **Latencia controlada:** Los switches deben ser compatibles con Dante/AES67, con QoS habilitado
- **Redundancia:** Redes primarias y secundarias para eventos críticos

Procesamiento Distribuido

El cálculo de renderización es computacionalmente intensivo. Los procesadores modernos usan:

- **DSP dedicados** con arquitectura paralela
- **FPGA** para operaciones de baja latencia
- **Algoritmos optimizados** de panoramización vectorial

Control en Tiempo Real

Los ingenieros necesitan interfaces intuitivas:

- **Controladores táctiles** (tablets con representación visual 2D/3D)
- **Automatización** vía consola digital (envíos auxiliares mapeados a posiciones)
- **Recall** de escenas para diferentes segmentos del show

15.4 Consideraciones de Diseño e Implementación

¿Cuándo tiene sentido implementar sistemas inmersivos?

Sí, cuando: - El contenido artístico se beneficia genuinamente de espacialización (teatro, electrónica experimental) - El presupuesto permite la inversión (sistemas 3-5x más costosos que PA tradicional) - El venue tiene geometría adecuada (techos altos, sin obstrucciones para height speakers) - Hay personal capacitado para operar y mezclar espacialmente

No, cuando: - Es un concierto de rock tradicional donde estéreo L/R funciona perfectamente - Limitaciones arquitectónicas impiden colocación de altavoces envolventes - El tiempo de setup es insuficiente para calibración apropiada - El rider técnico de la banda no contempla mezcla espacial

Limitaciones Prácticas

Acústicas: - La efectividad disminuye con el ruido de fondo alto - Espacios reverberantes dificultan la localización precisa - El «sweet spot» varía según la posición de la audiencia

Operacionales: - Curva de aprendizaje significativa para ingenieros de mezcla - Mayor tiempo de montaje y calibración - Dependencia de software propietario (excepto en sistemas de arquitectura abierta)

Económicas: - Costo de hardware adicional (height speakers, procesadores) - Licencias de software (anuales en algunos casos) - Necesidad de personal especializado

Comparación: Sistemas Propietarios vs. Arquitectura Abierta

Aspecto	Sistemas Propietarios (d&b, L-Acoustics, Meyer)	Arquitectura Abierta (TiMax, SARA)
Integración	Optimizada para altavoces específicos	Requiere calibración manual detallada
Soporte técnico	Completo del fabricante	Depende del integrador
Flexibilidad	Limitada a un ecosistema	Total libertad de altavoces
Costo inicial	Alto (sistema completo)	Moderado (procesador + speakers existentes)
Aplicación ideal	Tours, festivales, instalaciones nuevas	Teatros, instalaciones existentes, educación
Curva de aprendizaje	Media (interfaces propietarias)	Alta (conocimiento profundo requerido)

15.5 Futuro y Tendencias Emergentes

Estandarización

La industria avanza hacia protocolos comunes:

- **ADM (Audio Definition Model)**: Estándar de metadatos de objetos (ITU)
- **OSC (Open Sound Control)**: Control en tiempo real
- **AES67**: Interoperabilidad entre redes de audio

Integración con Realidad Extendida

Los sistemas inmersivos convergen con tecnologías XR:

- **Auriculares espaciales** (Apple Spatial Audio, Dolby Atmos para headphones)
- **Tracking de cabeza** para experiencias individualizadas
- **Producción híbrida** virtual/presencial

IA y Optimización Automática

Desarrollos futuros incluirán:

- **Auto-calibración** basada en mediciones distribuidas
- **Adaptación dinámica** a condiciones acústicas cambiantes (audiencia)
- **Asistentes de mezcla** que sugieren posicionamiento óptimo de objetos

15.6 Conclusión

La diferencia es que ahora estos elementos trabajan **de forma coordinada y adaptativa**, creando experiencias sonoras que trascienden la reproducción estéreo tradicional.

Como futuros profesionales del audio, es fundamental comprender tanto las **posibilidades** como las **limitaciones** de estas tecnologías. No son la solución para todos los eventos, pero cuando se aplican apropiadamente, permiten crear experiencias sonoras genuinamente transformadoras.

La elección entre sistemas propietarios y arquitectura abierta dependerá del contexto específico: los primeros ofrecen integración sin fisuras y soporte completo, mientras que los segundos proveen flexibilidad y aprovechamiento de infraestructura existente. Ambos enfoques son válidos y responden a necesidades diferentes en la industria.

El sonido en vivo continúa evolucionando. Los sistemas que parecían ciencia ficción hace una década ahora son realidad en producciones de primer nivel. La pregunta no es si estas tecnologías se volverán estándar, sino **cuándo** y **cómo** las integraremos efectivamente en nuestras prácticas profesionales.

Lecturas complementarias:

- d&b audiotechnik. (2023). *Soundscape User Guide*. Backnang: d&b.
- L-Acoustics. (2022). *L-ISA Technology White Paper*. Marcoussis: L-Acoustics.
- Meyer Sound. (2021). *Constellation System Design Guide*. Berkeley: Meyer Sound.
- Out Board Electronics. (2023). *TiMax SoundHub Technical Documentation*. Brighton: Out Board.
- Astro Spatial Audio. (2022). *SARA II System Manual*. Londres: Astro Spatial Audio.