

Si el sonido de una fuente sonora como un parlante **se propaga como un frente de ondas esféricas**, como repercute esto cuando tenga que distribuir los parlantes en un auditorio para conseguir una cobertura uniforme

Este es un concepto fundamental en la acústica de salas y la ingeniería de sonido. La propagación esférica del sonido (Ley del Inverso del Cuadrado) tiene implicaciones **críticas y directas** para la distribución de altavoces en un auditorio.

Aquí te explico cómo repercute y qué estrategias se derivan de ello:

1. La Ley Fundamental: El Inverso del Cuadrado

Cuando una fuente sonora (como un altavoz) produce ondas esféricas en un espacio libre, la **intensidad sonora (I)** disminuye con el cuadrado de la distancia (r) desde la fuente.

$$I \propto \frac{1}{r^2}$$

En términos de nivel de presión sonora (SPL), esto significa una **caída de aproximadamente 6 dB por cada duplicación de la distancia**.

Problema inmediato: Si tienes un solo altavoz al frente, las personas en la primera fila recibirán un sonido mucho más intenso que las de la última fila. La cobertura es **totalmente no uniforme**.

2. Estrategias de Distribución para Vencer Este Efecto

a) Agrupación (Array) de Altavoces

En lugar de un solo punto fuente, se usan **múltiples altavoces** para cubrir diferentes zonas.

- **Sistemas por Zonas:** Se divide el auditorio en zonas (delantera, media, trasera). Cada zona es cubierta por un altavoz o grupo de altavoces **calibrados específicamente**. El SPL de los altavoces que apuntan a las zonas traseras se ajusta para compensar la mayor distancia y así igualar el nivel en toda la audiencia.
- **Consecuencia:** Se logra uniformidad, pero se introduce un nuevo desafío: **la integración temporal**. Las ondas de diferentes altavoces llegan en momentos

ligeramente distintos a un mismo oyente, lo que puede causar interferencias (refuerzos y cancelaciones). Esto se soluciona con alineación temporal ("time alignment") mediante procesadores DSP.

b) Uso de Arrays Lineales (Line Arrays)

Muy comunes en auditorios modernos. Un conjunto vertical de altavoces especializados trabaja como **una única fuente cilíndrica**.

- **Principio:** El diseño permite **control direccional** de la propagación. En la zona cercana, la onda es casi cilíndrica (caída de 3 dB por duplicación de distancia), y a cierta distancia, se convierte en esférica (6 dB por duplicación). Esto "aplana" la caída de nivel a lo largo del auditorio.
- **Ventaja:** Logra una cobertura más uniforme en distancia y reduce el sonido que va a paredes y techo (menos reflexiones problemáticas).

c) Altura y Ángulo de Instalación

- **Altura:** Los altavoces se colocan en alto (por encima de las cabezas del público) para lograr **línea de vista directa** con todos los oyentes. Esto minimiza la atenuación por obstáculos y aprovecha que la atenuación por distancia es más predecible.
- **Angulación:** Se ajusta el ángulo de cada altavoz (o elementos del *line array*) para cubrir zonas específicas, asegurando que la energía se dirija **solo donde se necesita** y no hacia superficies reflectantes.

d) Cobertura Horizontal: Evitar Solapamientos

- Dado que la cobertura horizontal de un altavoz también es un sector de esfera, se colocan múltiples altavoces laterales para cubrir la anchura del auditorio.
- **Regla clave:** Las zonas de cobertura de altavoces adyacentes deben **solaparse suavemente** en sus bordes. El objetivo es que, en las zonas de solapamiento, la suma de las señales mantenga un nivel uniforme, no que se duplique (lo que causaría un "punto caliente") o que haya un hueco ("punto frío").

3. Consideraciones Adicionales y Retos

- **Reflexiones y Acústica de la Sala:** Las ondas esféricas chocan contra paredes, techo y suelo, creando reflexiones. Una distribución mala puede enviar demasiada energía hacia superficies reflectantes, creando ecos, reverberación excesiva o cancelaciones. La ubicación de los altavoces debe minimizar esto.
- **Inteligibilidad:** En teatros o para conferencias, la uniformidad no es solo de nivel, sino también de **claridad**. A veces se usan **altavoces de retardo (delay)** adicionales cercanos al público trasero. Estos se alimentan con la misma señal, pero con un retraso milisegundos para que el sonido del altavoz principal (lejano) y el del retardo (cercano) lleguen en fase al oyente, mejorando la claridad sin perder la sensación de dirección del sonido principal.
- **Prioridad de las Fuentes:** En un teatro, la fuente sonora "primaria" debe ser la que está en el escenario (actor, músico). Los altavoces distribuidos deben reforzar el sonido, no dominarlo o cambiar su dirección aparente.

Resumen: Principios de Diseño Derivados de la Propagación Esférica

1. **Multiplicar las Fuentes:** Usar múltiples puntos de emisión controlados para cubrir diferentes zonas de distancia.
2. **Compensar con Ganancia:** Aplicar más ganancia (volumen) a los altavoces que cubren zonas más lejanas.
3. **Controlar la Direccionalidad:** Usar arrays y angulación para "moldear" el frente de onda y dirigir la energía principalmente al público, no al recinto.
4. **Gestionar el Tiempo:** Alinear temporalmente las señales de altavoces múltiples para evitar interferencias destructivas.
5. **Minimizar la Distancia:** Colocar altavoces auxiliares (como los de retardo) más cerca del público lejano para reducir la dependencia de la ley del inverso cuadrado.

En esencia, la distribución de altavoces en un auditorio es una batalla en contra de las consecuencias naturales de la propagación esférica, empleando tecnología (altavoces direccionales, procesadores DSP) y principios de diseño (zonificación, alineación temporal) para crear la ilusión acústica de que todos los oyentes están a la misma distancia de la fuente.