

Tema VI - Sistemas de sonorización

1. Transmisión de energía del amplificador a los altavoces

La salida del amplificador es aplicada a los difusores acústicos (difusores) como receptores. La impedancia de la carga (difusores) ha de ser igual a la impedancia de salida del amplificador, con objeto que el rendimiento y la estabilidad del sistema sea la máxima posible. Una tolerancia aceptable es del $\pm 10\%$.

Si se aplica la ley de Ohm al amplificador de la figura, podremos comprobar lo anteriormente expuesto.

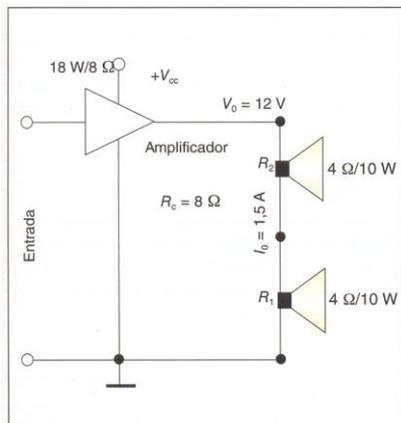


Figura 1. Amplificador cargado con dos altavoces de 4Ω/10W

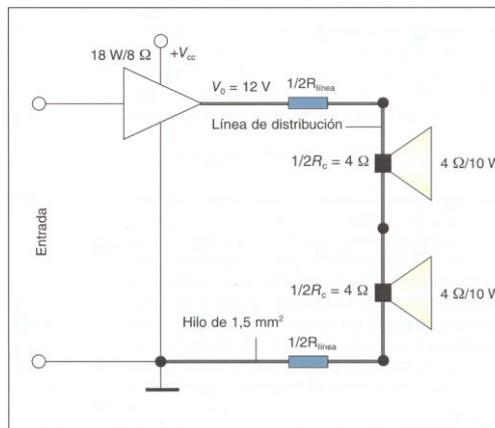


Figura 2. Amplificador cargado con dos altavoces en serie de 4Ω/10W y línea de 50m y 1,5mm².

2. Adaptación de impedancias

Para conseguir una adaptación óptima se ha de tener en cuenta:

- Las pérdidas de energía por la longitud y sección de la línea.
- El número de altavoces a conectar.
- La potencia que consume cada uno de ellos.

Los amplificadores suelen tener las siguientes características:

- Salida de baja impedancia: 4, 8 o 16Ω.
- Salida a tensión constante: 70,7 o 100V.
- Las dos anteriores.

Se puede concluir que **las instalaciones en las que hay grandes longitudes de cable**, producen desadaptación, por lo que **el mejor acoplamiento en este caso es a tensión constante. El sistema de de impedancia constante queda reservado para pequeñas instalaciones de sonorización.**

3. Línea a tensión constante

Este tipo de líneas basan su funcionamiento en utilizar un transformador adaptador de audio para elevar la tensión de salida del amplificador a un nivel alto (70,7 o 100V), reduciendo así la corriente que debe soportar. La tensión se vuelve a reducir en el altavoz, hasta el valor de impedancia y potencia de este.

La condición que se ha de cumplir es:

$$R_{\text{línea}} < R_{\text{carga}}/20$$

Para cumplir la condición anterior podemos aumentar la sección de la línea o bien aumentar la impedancia de los transformadores.

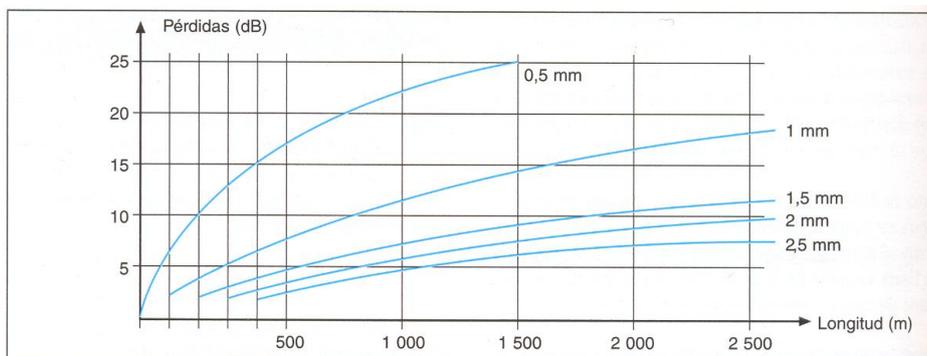


Tabla 1. Pérdidas producidas al conectar un altavoz de 8Ω con un conductor de distintas características

En estas salidas de línea a tensión constante, la impedancia de carga nominal es función de la potencia del amplificador. Concretamente, la tensión fija significa que un amplificador de 18 W entrega 18 W en su salida de 100V y le corresponde según la ley de Ohm una impedancia de: $R_t = V^2 / P = 100^2 / 18 = 555\Omega$, es decir, la carga nominal de este amplificador en su salida de alta impedancia debe ser de 555 Ω.

Tema VI - Sistemas de sonorización

Cuando no coincida la potencia consumida por los altavoces con la potencia entregada por el amplificador, por ejemplo, si se desea sólo conectar cinco altavoces y no se dispone de un amplificador de 10 W, se completa la adaptación de la impedancia conectando en derivación con la línea de 100 V una resistencia de carga que disipe la potencia sobrante.

En el ejemplo que nos ocupa se debería conectar una carga de 1 250 Ω y 8 W, que absorba la potencia restante del sistema.

Caso práctico

Supongamos que queremos sonorizar un gran restaurante con **nueve** puntos de sonido. Considerando los niveles de ruido existentes, y teniendo en cuenta el rendimiento de los altavoces empleados, se aplican 2 W de potencia por cada altavoz de 8 Ω , de manera que se necesite un amplificador que dé 18 W de potencia.

Tomamos la salida de línea de 100 V del amplificador. Aplicando la fórmula anterior tenemos:

$$P = V^2/R_p \quad \text{despejando } R, \text{ tenemos que:} \quad R_p = V^2/P = (100)^2/2 = 5 \text{ k}\Omega.$$

Por ello, la resistencia de carga reflejada en el primario para un transformador que entregue 2 W en su secundario sobre una línea de 100 V es de 5 k Ω . Es decir, se elige un transformador adaptador adecuado a la impedancia y potencia del altavoz a conectar en su secundario (en nuestro caso 8 Ω , 2 W) y se conecta cada transformador en la toma de su primario a la línea general de 100 V y su secundario a cada uno de los altavoces.

Esto es debido a que los transformadores adaptadores de impedancia disponen de varias tomas de potencia seleccionables en su primario (8, 4, 2 y 1 W) para una o varias impedancias de salida determinadas por el fabricante (4, 8 o 16 Ω) en su secundario.

La impedancia resultante después de conectar los 9 altavoces de 2 W al amplificador en su toma de 100 V mediante el transformador adaptador es de:

$$Z_t = R_p/P_t = 5 \text{ k}\Omega/9 = 555 \Omega \text{ (Figura 3)}$$

Sabemos, pues, que la impedancia de carga del amplificador de 18 W en la toma de 100 V para los nueve altavoces de 8 Ω /2 W es de 555 Ω , por tanto, la adaptación de impedancias es correcta. En resumen, **para que la adaptación sea correcta, la suma de potencias absorbidas por el conjunto de todos los altavoces debe coincidir con la potencia total suministrada por el amplificador**. A tal efecto, los fabricantes indican entre las características del transformador adaptador la potencia absorbida en su primario, conectado a la línea de 100 V, de modo que al técnico instalador le bastará con sumar las potencias aplicadas a cada altavoz y comprobar que la suma es igual a la potencia total del amplificador.

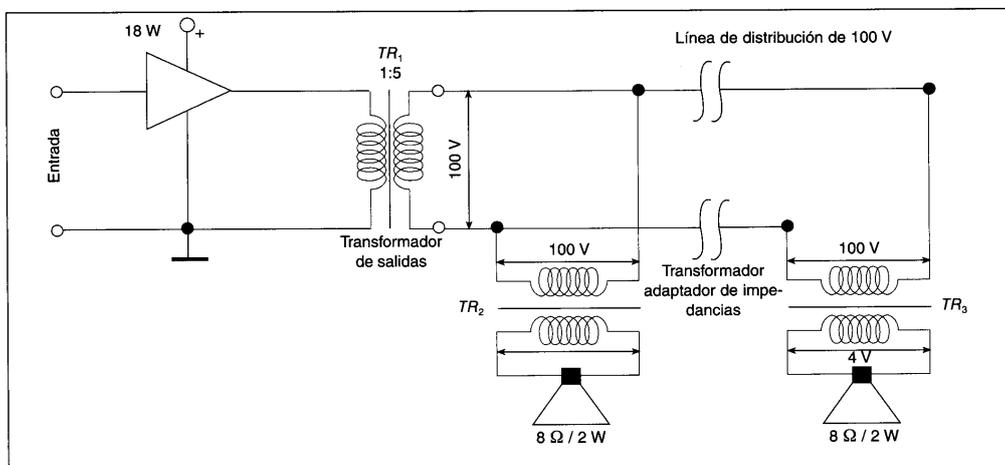


Figura 3. Adaptación a línea de 100V mediante transformador

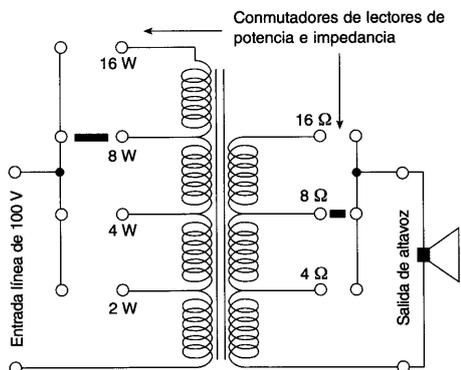
4. El transformador adaptador de impedancias

El **transformador adaptador de impedancias** para líneas de 100 V es utilizado exclusivamente en audiofrecuencia. Entre sus características, debe contar con un buen ancho de banda de paso para las frecuencias del espectro de audio y estar previsto para una potencia adecuada a la impedancia reflejada y, en definitiva, a la potencia consumida (Figura 4).

Consta de un primario en el que aparecen varias tomas para permitir la selección de la potencia que suministrará al altavoz o grupo de altavoces a los que alimenta, que se conecta a línea de 100 V de tensión constante. También tiene un secundario que dispone de diferentes tomas de conexión identificadas con los valores de impedancia más usuales utilizados por los altavoces (4, 8, 16 Ω).

Tema VI - Sistemas de sonorización

La potencia absorbida de la línea y transferida al altavoz receptor es función de la ley de Ohm: $P = V^2/R_p$ donde V es la tensión de línea y R_p , es la impedancia reflejada en el primario. Debemos tener en cuenta que cuando se utilicen conexiones serie-paralelo con el fin de formar grupos de altavoces para conectar en las tomas del secundario del transformador, es muy importante que cuando el cálculo resultante de la resistencia total de la asociación de los diferentes altavoces no coincida con los indicados en las tomas del transformador (4Ω, 8Ω, 16Ω), $\pm 10\%$, lo conectemos entre los bornes del valor inmediatamente inferior.



La potencia total consumida por cada uno de los diferentes receptores (altavoces) que forman la instalación dará la potencia total necesaria y, de este modo, se elige el amplificador adecuado a la potencia a consumir.

La flexibilidad del sistema es evidente y permite posteriormente corregir y equilibrar la potencia en los distintos puntos a sonorizar. Pero también presentan problemas muy importantes en los transformadores de audio para las líneas de 100 V, como son las pérdidas de potencia y la falta de linealidad (distorsión) que tienen éstos en las bajas frecuencias, saturando los transformadores y sobrecargándolos. **Los fabricantes**, en prevención del problema que presentan los transformadores adaptadores en las líneas a tensión constante a la respuesta de las bajas frecuencias, **diseñan los amplificadores** destinados a este tipo de instalaciones **eliminando de la respuesta en frecuencia del amplificador las bajas frecuencias**, con lo que evitan las sobrecargas que se pueden producir sobre éstos.

Figura 4. Transformador adaptador de impedancias para altavoz con primario de entrada de línea de 100 V para potencias seleccionables de 16, 8, 4 y 2 W y salidas en su secundario de 16, 8 y 4 Ω.

5. Atenuadores pasivos

Son necesarios para modificar el nivel sonoro por el usuario. En las líneas de 100V se conectan entre esta y el transformador adaptador, figura 5.

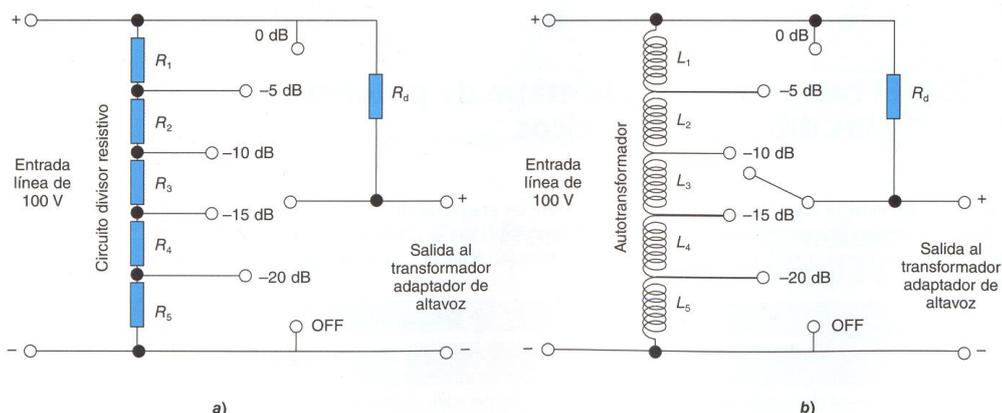


Figura 5. Atenuadores pasivos en líneas de 100V. a) Resistivos, b) Inductivos

Los hay de dos tipos:

- **Resistivos:** Construidos con resistencias, su conmutación permite atenuar el nivel sonoro. Limitados a resistencias de 5 o 6W por el calor, figura 5-a.
- **Inductivos:** Basados en un autotransformador con tomas a varias tensiones y un conmutador, figura 5-b. trabajan con potencias más elevadas.

Los atenuadores de estos tipos han de llevar una carga, para que al elegir niveles bajos o desconectar la zona no se produzca desadaptación de impedancias en la línea.

Cuando, además de la música ambiental, se precisa difundir avisos por megafonía, es necesario dotar a los atenuadores de un sistema de Prioridad que anule la atenuación y permita el paso del aviso a plena potencia.

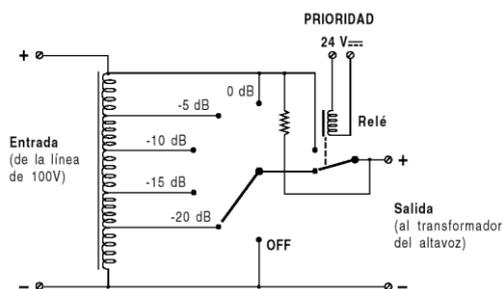


Figura 6. Atenuador inductivo con prioridad

El sistema de Prioridad más usado es un relé incorporado en el atenuador; este relé se activa normalmente con 24Vcc desde el selector de zonas del micrófono de avisos y puentea el atenuador mientras dura éste.

6. Sistemas de amplificación centralizada

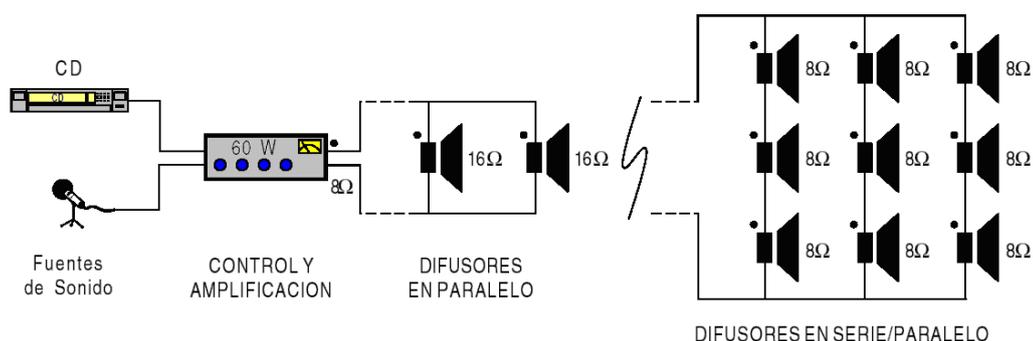
Los sistemas convencionales de sonorización utilizan un método basado en la **amplificación centralizada**, que consiste en unificar en un solo punto tanto las fuentes sonoras como los amplificadores y sus elementos de control correspondientes. Esta tecnología actualmente está quedando obsoleta. Los diferentes elementos que integran un sistema de sonorización, según este método, son:

- **Central de sonido.** Compuesta por un amplificador de potencia centralizado cuyas funciones son las siguientes:
 - Adaptación, preamplificación y corrección de las fuentes sonoras (micrófonos, sintonizadores y generadores de señales de aviso y alarma, etc.).
 - Amplificación de potencia, adecuado para la sonorización de toda la instalación.
 - Adaptación a la línea de conexión con los difusores acústicos.
- **Línea de conexión.** Una línea de conexión que distribuye la señal sonora, ya amplificada, a los difusores sonoros. Esta distribución puede realizarse de dos formas diferentes:
 - Líneas de distribución a impedancia constante.
 - Líneas de distribución a tensión constante.
- **Dispositivos de control.** Los mandos reguladores, son los encargados de modificar el nivel sonoro correspondiente que llega a cada altavoz, independientemente del resto de la instalación. Para ello, necesitamos atenuadores pasivos que modifiquen la potencia aplicada al receptor. Los atenuadores están constituidos generalmente por potenciómetros bobinados. Estos atenuadores deben mantener en cualquier posición la impedancia reflejada y, por tanto, la potencia absorbida por el primario, a fin de no alterar el resto del sistema. En las instalaciones de megafonía que se utilizan para sonorizar grandes espacios abiertos y con gran potencia, el nivel sonoro se regula mediante otros medios.
- **Dispositivos acústicos.** Lo constituyen, los difusores acústicos que se encargarán de transformar la señal eléctrica en vibraciones. Estos difusores acústicos pueden ser altavoces o bocinas exponenciales, tanto por separado como empotrados en el techo o en paredes, o cajas cerradas formando bafles o columnas acústicas.

Adoptan normalmente una de las configuraciones representadas en la figura 7. En la configuración **(A)**, un grupo de Fuentes Musicales son conectadas a un Amplificador de 60 W cuya salida se ha adaptado a un grupo de altavoces que pertenecen a una única área o zona a sonorizar. Los controles del Amplificador actúan sobre toda la instalación y los altavoces han de ser iguales sobre todo si se utiliza la conexión **serie-paralelo** para la **adaptación de las impedancias** del conjunto de altavoces a la salida del Amplificador.

Este tipo de Instalación requiere además un cálculo cuidadoso de la sección de los conductores que llevan la potencia de audio a los altavoces, para evitar pérdidas elevadas y deformaciones de la respuesta en frecuencia.

(A) CON ACOPLAMIENTO DIRECTO A UN GRUPO DE ALTAVOCES (1 ZONA)

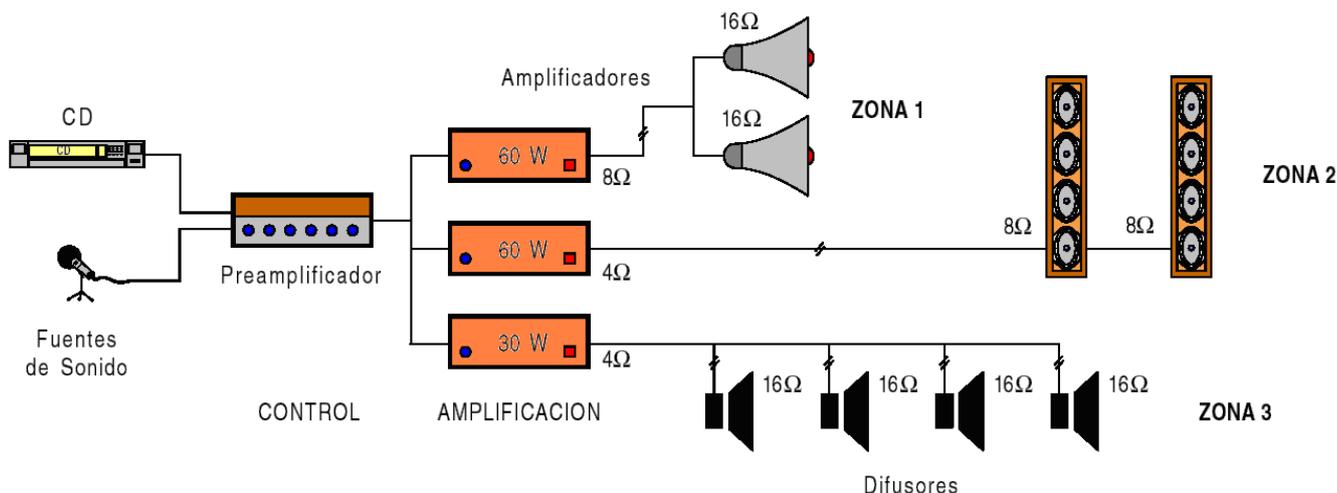


En la configuración **(B)** en la que las Fuentes Musicales se conectan a un Preamplificador que posee los Controles generales de la Instalación, pero que al estar a su vez conectado a varios Amplificadores de Potencia para cubrir diferentes zonas, nos da la opción de controlar la puesta en marcha y ajustar el volumen independientemente en cada una de ellas.

La conexión de los difusores se ha hecho directamente al Amplificador de la zona correspondiente, por lo que se recomienda una adaptación de impedancias y dimensionado de los cables adecuados, aunque ya podemos adelantar que tanto esta configuración **(B)**, como la anterior **(A)**, no son adecuadas en absoluto para instalaciones con tiradas de cable superiores a 50 / 70 m si no queremos que una parte importante de la potencia se disipe en el cable, con la consiguiente variación del nivel acústico de los altavoces dependiendo de su distancia al Amplificador.

Tema VI - Sistemas de sonorización

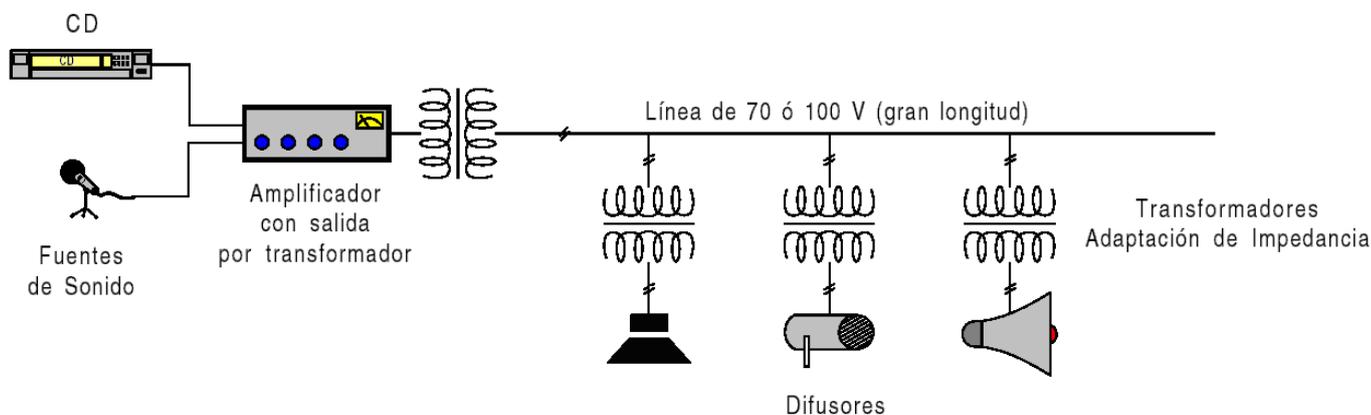
(B) CON VARIAS ZONAS CON CONTROL INDIVIDUAL



Por último, en la versión (C) se muestra la tradicional solución de utilizar transformadores para "línea de tensión constante" (70 ó 100 V) para la adaptación de impedancias entre Amplificadores y Altavoces y atenuar el grave problema de la pérdida de potencia en los cables que veíamos en las versiones (A) y (B) en instalaciones medianas y grandes.

Las Líneas de Tensión Constante, pero hemos de decir que no es la "panacea universal", pues las pérdidas de potencia y respuesta en frecuencia en los transformadores, no son precisamente despreciables, y los cálculos un poco incómodos. En cuanto al control de la misma, también en esta versión sigue siendo centralizado, diferentes niveles de potencia para cada altavoz, son fijados en el momento de efectuar la instalación, según el ajuste efectuado en el transformador de cada altavoz.

(C) VARIANTE DE (A) O (B) CON LINEAS DE TENSION CONSTANTE



7. Trompetas o bocinas

En megafonía es imprescindible obtener elevados rendimientos para alcanzar grandes distancias y cubrir amplias superficies con el menor número posible de altavoces. La forma más usada para conseguirlo es utilizar altavoces de pequeñas dimensiones (2" a 4") para que su parte móvil tenga poco peso, y luego utilizar una bocina para conseguir una gran superficie de radiación (boca de la bocina).

El funcionamiento de una bocina, figura 8, se puede asimilar al de un transformador eléctrico; el altavoz entrega energía acústica a una pequeña masa de aire pero a gran presión (lado estrecho de la bocina) y ésta lo convierte en variaciones de presión más pequeñas que afectan a una gran masa de aire (boca de la bocina), figura 7 a-b-c. La bocina consta de un motor parecido a un altavoz tweeter, con un imán permanente, una bobina y un diafragma de reducidas dimensiones pero capaz de producir cambios muy altos de presión. Solidario a este se encuentra la garganta de la bocina (más estrecha), terminada en la boca (mayor apertura).

Con este procedimiento se consiguen rendimientos hasta de los 40%, mucho más grandes que los de los altavoces de radiación directa.

Tema VI - Sistemas de sonorización

La forma de bocina más utilizada en megafonía es aquella cuya sección transversal crece exponencialmente, dado que presenta un buen compromiso entre eficiencia y distorsión. Como contrapartida, la calidad del sonido que proporcionan suele ser muy inferior a los altavoces convencionales y tienen una respuesta en frecuencia bastante limitada e irregular.

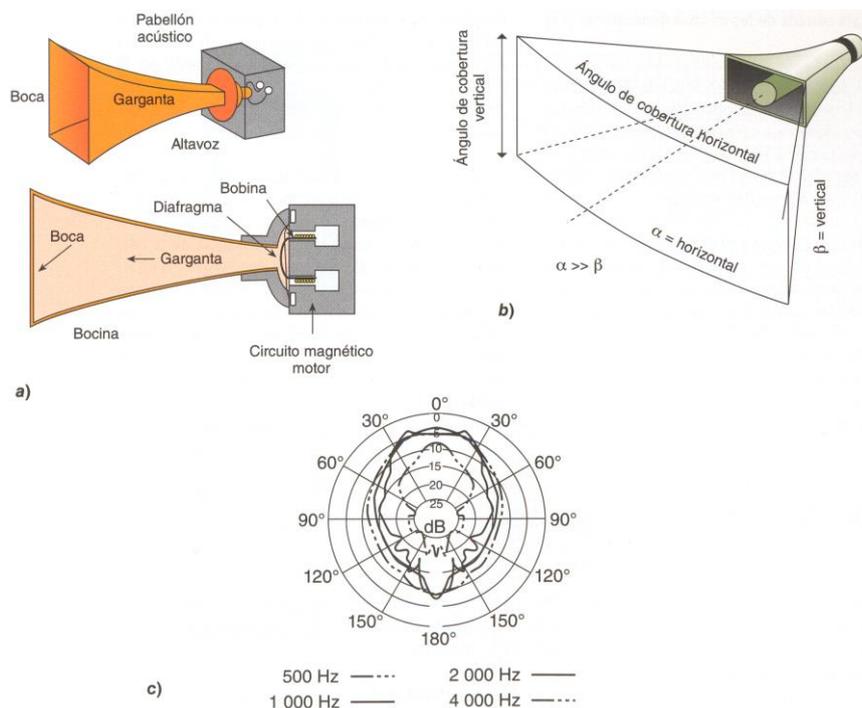


Figura 8. Bocina

Figura 7. Trompeta o bocina. A) Sección de una bocina y descripción. B) Angulo de cobertura horizontal (α) y vertical (β). C) Respuesta polar

Cuestiones:

1. Realiza un resumen de todo el tema y resuelve las siguientes cuestiones:
2. Se desea diseñar una instalación de megafonía en línea de 100V, para sonorizar un supermercado. Se van a situar 10 difusores de techo de 5W/8Ω. Determinar la potencia del amplificador y la adaptación adecuada de impedancias.

$$P_t = 5W \times 10 = 50W, \text{ como } P = V^2/R_p \quad R_p = V^2/P = 100^2/5 = 2K\Omega$$

R_p es la resistencia reflejada en el primario del transformador adaptador de impedancia por el altavoz de 5W/8Ω en una instalación con línea de 100V.

Por otro lado la impedancia de salida del amplificador será:

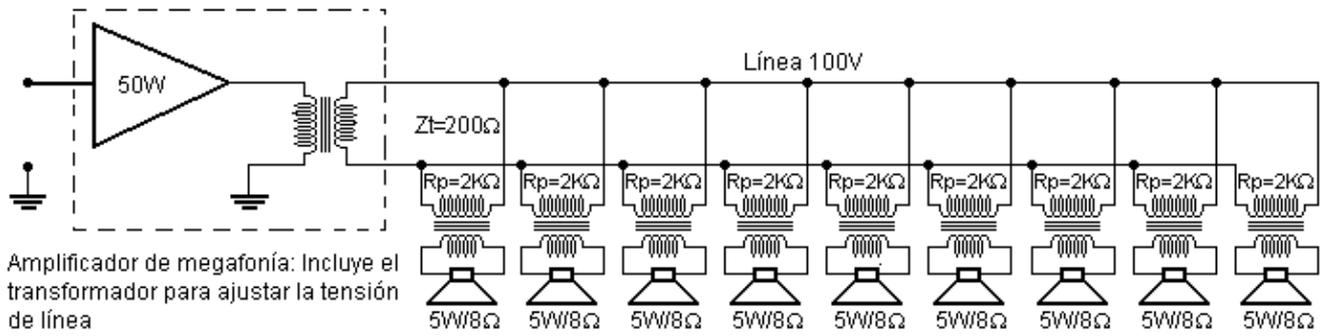
$$Z_{\text{Amplificador}} = V^2/P_{\text{Amplificador}}, \quad Z_{\text{Amplificador}} = 100^2/50 = 200\Omega$$

Al conectar todos los transformadores a la línea de 100V, esta quedará cargada con:

$$Z_t = R_p/N^{\circ} \text{ Altavoces}, \quad Z_t = 2000/10 = 200\Omega$$

Por tanto, se verifica que al quedar todos los transformadores en paralelo y con la misma impedancia (2KΩ), la impedancia resultante del sistema es de 200Ω, que es la impedancia de salida del amplificador de 50W ($Z_{\text{Amplificador}} = 200\Omega$)

Tema VI - Sistemas de sonorización



- Determina el valor de la resistencia de la línea de $2,5\text{mm}^2$ del circuito de la figura 2 de este tema e indica el porcentaje que supone de la carga total (Resistencia de los altavoces).
- Determina las características de un sistema centralizado de megafonía en línea de 100V, si se van a conectar 5 altavoces de $4\text{W}/4\Omega$.
Dibuja el circuito eléctrico.