

30
2ej



UNIVERSIDAD LA SALLE

ESCUELA DE INGENIERIA

Incorporada a la U. N. A. M.

DISEÑO DE UN CONTROL AUTOMATICO DE NIVEL SONORO PARA UN SISTEMA DE AUDIODIFUSION

TESIS PROFESIONAL
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
Ingeniero Mecánico Electricista
AREA: ELECTRONICA Y COMUNICACIONES
P R E S E N T A
VICTOR MANUEL QUEZADA QUEZADA
Director de Tesis: ING. JOSE ANTONIO TORRES HERNANDEZ
MEXICO, D. F., 1989

FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

CONTENIDO

Introducción	IX
1 Sistemas Sonoros	1
1.1 Importancia de los Sistemas Sonoros	1
1.2 Sistemas de Audiodifusión y de Refuerzo Acústico	6
2 Requerimientos para los Sistemas Sonoros	9
2.1 Introducción	9
2.2 Parámetros de Calidad	12
2.3 Instalación del Equipo	14
2.4 Sistemas de Tierras	23
2.5 Polaridad de los Altavoces	26
2.6 Polaridad del Micrófono	26
2.7 Filtros para Voz	26
2.8 Acoplamiento de Altavoces	28

3	Componentes Utilizados en los Sistemas de Audiodifusión	33
3.1	Micrófonos	33
3.2	Amplificadores	54
3.3	Altavoces	68
4	Criterios de Diseño para Sistemas Compensadores de Volumen	88
4.1	Propiedades del Oído	88
4.2	Potencia de Amplificación Requerida	94
4.3	Nivel Sonoro Total	100
5	El Control Automático de Nivel Sonoro	110
5.1	Introducción	110
5.2	Diseño del Sistema	111
5.3	Desarrollo del Sistema	116
5.4	Evaluación y Metodología de Prueba	125
5.5	Diagrama Eléctrico General	127
5.6	Lista de Componentes	129
	Conclusiones	131
	Apéndice I Requerimientos para Sistemas Sonoros Monaurales, Estereofónicos y de 3 Canales	134
	Apéndice II Tabla de Decibelios	136
	Apéndice III Efecto de la Distancia y de la Potencia Sobre el Nivel de Presión Sonora	138
	Apéndice IV Niveles de Intensidad de Fuentes Sonoras	140
	Apéndice V Hojas de Datos	142
	Bibliografía	155

I N T R O D U C C I O N

El desarrollo tecnológico constante, tanto en el área de audio como en el campo de la acústica, ha incrementado considerablemente el uso y la aplicación de sistemas de sonido en diversos campos. La difusión de música, los avisos en lugares públicos, el refuerzo acústico en salones de conferencias y la sonorización de cines y teatros, son tan solo algunos ejemplos de las múltiples aplicaciones que pueden implementarse con un sistema sonoro.

Asimismo, la creciente demanda del uso y la aplicación de sistemas de sonido en diversos campos, para ayudar al hombre en su proceso de comunicación, ha generado dentro del campo de la electroacústica una evolución en los componentes utilizados en estos sistemas.

temas; misma que ha sido motivo de atención, así como de la realización de esta tesis.

En el presente estudio se realiza un análisis de los componentes electroacústicos existentes dentro de los sistemas sonoros, y se trata de definir un dispositivo automático que los controle, para aprovechar al máximo la potencia inherente del sistema.

Con base a ello, se enfoca el estudio hacia el campo de la electroacústica; desarrollandose un dispositivo que compense el nivel de sonoridad en forma automática, ya que el ruido ambiental siempre está presente en el proceso de la comunicación hablada.

El objetivo que se persigue con el desarrollo de esta tesis es diseñar un módulo controlador de volumen que ajuste automáticamente el nivel sonoro de un sistema de audiodifusión o de refuerzo -- acústico, en relación a la cantidad incidental de ruido ambiental; así como brindar una pequeña aportación a las personas que se desenvuelven en el campo de los sistemas electroacústicos.

1

SISTEMAS SONOROS

1.1 IMPORTANCIA DE LOS SISTEMAS SONOROS

El hombre es capaz de comunicarse oralmente a través de ser el afortunado poseedor de una voz, que es la habilidad de producir - (por medio de cuerdas vocales) sonidos, los cuales son propagados por vía de la boca para percutir sobre el oído del oyente y transmitir su mensaje.

Por supuesto que el sonido de una voz normal solo puede completar este recorrido siempre que éste no es requerido para desplazarse demasiado lejos de la boca al oído (figura 1.1-1a). De otro modo, si la persona que está hablando trata de compensar la dis-

tancia elevando su voz (incrementando su potencia de salida) y el oyente usa su mano como una trompeta auditiva, la audición se hace más receptiva (figura 1.1-1b). Donde hay un número considerable de oyentes un megáfono es algunas veces una buena solución - (figura 1.1-1c). Pero si la potencia total de la voz humana (aún

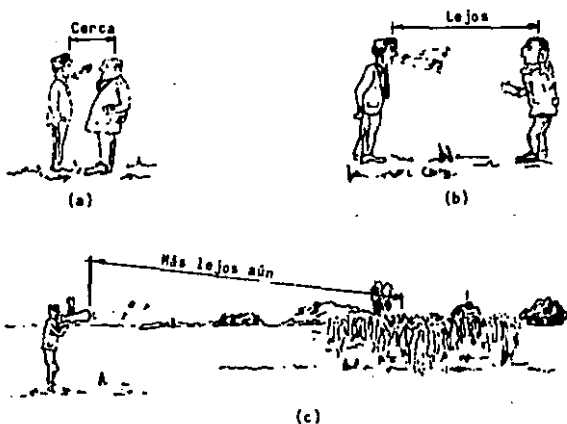


FIGURA 1.1-1

auxiliada por un megáfono) no es suficiente, entonces un sistema - sonoro, ya sea de audiodifusión o de refuerzo acústico, proporcionará la solución satisfactoria.

Los sistemas sonoros comprenden una materia muy amplia. Pero de hecho, podemos definirlos como el resultado del arte de combinar micrófono, amplificador, altavoz y acústica en un instrumen-

to completo para transmitir información y/o música inteligiblemente y con excelente calidad tanto eléctrica como acústica. Como es evidente de esta definición, el resultado total se asemeja a una cadena de eslabones individuales, cada uno expuesto a presentar problemas inherentes en la implementación del proyecto.

La cadena de dispositivos que constituyen tal sistema, es decir micrófono-amplificador-altavoz, se ilustra gráficamente en la figura 1.1-2.



FIGURA 1.1-2

Más formalmente, un sistema sonoro se refiere a un sistema de amplificación de la palabra y la música y su difusión por medio de altavoces en grandes locales o al aire libre, para dirigirse a grandes auditorios (asambleas, espectáculos, conciertos, eventos deportivos, reuniones políticas, etc.).

En exteriores, esto es, bajo condiciones de campo libre (ver figura 1.1-3), el sonido es transmitido directamente en la mayoría de los casos, aunque si el campo está rodeado por ejemplo de gradas, como en el caso de un estadio, entonces se tendrá también sonido (reflejado) "indirecto" a través de la reflexión proveniente de estos obstáculos.

En *interiores*, en un espacio cubierto, la Inteligibilidad depende en gran parte de que el sonido sea directo o indirecto (ver figura 1.1-4). La "acústica" del salón particular, por consiguiente, determina la planificación de la instalación para satisfacer la finalidad en mira (buena transmisión de sonido). Entonces la audiencia en un salón recibe directamente solo una pequeña parte del sonido total proveniente de la fuente (*sonido directo*), e indirectamente la mayor parte del mismo a través de la reflexión de las paredes (*sonido indirecto*).



FIGURA 1.1-3

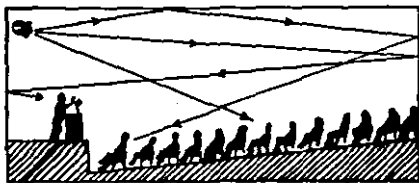


FIGURA 1.1-4

Por eso que la voz y la música suenan más fuerte en un local o salón que al aire libre, donde casi todo el sonido es directo debido a la ausencia virtual de barreras de reflexión.

La voz y las diferentes clases de música imponen requerimientos conflictivos sobre la acústica del lugar. Esto no presentaría ningún problema si estuvieran disponibles suficientes lugares con acústica adecuada para cualquier tipo de audiencia pública, pero desafortunadamente esto es muy difícil de lograr y aquí es cuando usualmente se hace indispensable el uso de equipo de sonido, esencial para que toda la información transmitida llegue a todos los oyentes con la máxima claridad posible.

De aquí que los *sistemas sonoros* sean de gran ayuda para diversos fines como: difusión de música, busca de personas, anuncios o avisos en lugares públicos (aeropuertos, estaciones ferroviarias, etc.), refuerzo acústico (cines y teatros), difusión por altavoces (en espacios abiertos o en locales cerrados).

Y así los sistemas sonoros se encuentran en: iglesias, estadios de fútbol, deportivos, pistas de patinaje, albercas cubiertas, estaciones de ferrocarril, talleres de montaje e inspección, fábricas, mercados, tiendas de departamentos, centros sociales, salones para conferencias, oficinas, etc., que dependiendo de su construcción arquitectónica y de las necesidades requeridas, es decir, si se intenta reproducir solo voz, solo música, o ambas, será el tipo de sistema a emplear.

1.2 SISTEMAS DE AUDIODIFUSION Y DE REFUERZO ACUSTICO

Existe una diferencia entre los sistemas de audiodifusión y los de refuerzo acústico. Para algunos estos términos se explican por sí mismos: el refuerzo acústico está necesariamente en un salón, auditorio o local donde las voces naturales de los oradores o locutores necesitan refuerzo electrónico para cubrir las áreas envueltas a escuchar, y los sistemas de audiodifusión se refieren a cualquier lugar, donde una gran audiencia, quizás al aire libre, no puede -- ser alcanzada con la pura voz humana. Los sistemas de audiodifusión comprenden evidentemente reuniones al aire libre, encuentros deportivos, anuncios en la estación del ferrocarril, sistemas de sonido en las fábricas, etc. Técnicamente ambos sistemas coinciden en parte y las principales diferencias están en las potencias de salida del amplificador y en el número y diseño de los altavoces asociados.

Las expresiones con refuerzo acústico o sonoro están propiamente usadas cuando la voz del que habla puede escucharse directamente, además de escucharse por los altavoces.

Un buen discurso inteligible es a menudo difícil de obtener en recintos con tiempos largos de reverberación, tales como las iglesias y algunas salas de conciertos, donde la acústica arquitectónica es diseñada usualmente para optimizar los sonidos musicales más bien que los requerimientos del habla. De este modo, el refuerzo del habla deberá ser considerado donde se necesita escuchar continuamente sin esfuerzo alguno.

Un objetivo de diseño será hacer el refuerzo del habla tan

natural y discreto que los oyentes no estén especialmente enterados de su colaboración. Idealmente, los oyentes deberán enterarse solo de cuando el sistema es apagado. El criterio será entonces, -- aunque rara vez se logra, que cada oyente en el salón sea capaz de oír a la persona hablando con la misma claridad que podría ocurrir si las dos estuvieran hablando cara a cara. Este grado de claridad deberá ser mantenido sin consideración de la separación real entre la persona hablando y el oyente.

Cuando se habla en un local de dimensiones pequeñas o medianas y el cual tiene buena acústica, la voz pura debería adecuarse para la comunicación normal, pero éste no es siempre el caso, a menos que una atención especial haya sido dada al diseño acústico. Las razones son usualmente:

1. Aun con los mejores planos, la perfección acústica es una cualidad difícil de encontrar, porque la mayoría de los espacios reflejan un número de compromisos entre los requerimientos funcionales, estéticos, asignación de espacio y presupuesto.
2. Algunos oradores tienen dificultad en la proyección de la voz o se cansan fácilmente.
3. El deterioro del oído varía con la edad.
4. El ruido ambiental, la falta de uniformidad de la absorción acústica y la pobre reflexión de las superficies dentro del recinto puede mermar la inteligibilidad de la voz.

Como los ingenieros acústicos estarán de acuerdo, los siste--

mas de refuerzo acústico no son el remedio universal para todos los defectos y descuidos en un auditorio. Sin embargo, tales sistemas pueden ser de gran ayuda cuando los cambios estructurales o de -
movillarlo en un recibidor o cuarto no son estética o económicamen
te factibles.

2

REQUERIMIENTOS PARA LOS SISTEMAS SONOROS

2.1 INTRODUCCION

Un salón en general requiere de ciertas normas para el uso de los sistemas sonoros. El oyente en la audiencia espera alta calidad - en la voz y en la música como la que él conoce de las condiciones en su casa. Para esto son necesarios micrófonos y altavoces, cuyo número variará de acuerdo a la variedad de usos que se le de al salón.

Los salones de propósito general deben cumplir con cierto número de requerimientos, los cuales generalmente parecen ser fáciles

de realizar en sus primeras etapas. Así como varios eventos diferentes son previstos, tales como ejecuciones teatrales, conciertos, - fiestas sociales y Congresos; son necesarios restaurantes, como también cuartos de ensayo y pequeñas salas para conferencias. Los ruidos molestos de los cuartos adyacentes, tales como la cocina, - pasillos, cuartos de maquinaria y plantas eléctricas, deben ser -- anulados. Para Congresos y Asambleas se requiere de un sistema para uso de Interpretes, comunmente llamado *Sistema de Traducción Simultánea*. Los salones de uso general normalmente tendrán un - sistema de paredes móviles para dividir el Salón Principal en superficies más pequeñas o para abrir el vestíbulo y cuartos contiguos al auditorio. Entonces será posible proyectar dos películas - simultáneamente con accesos separados y muchas otras necesidades adicionales. Cuanto más numerosas son estas actividades, más requerimientos para alumbrado, sonido y aire acondicionado tienen - que ser realizados. Como puntos principales pueden ser mencionados el sistema de reproducción de sonido en el escenario, las mezcladoras de luz y sonido en el cuarto de control, la mezcladora para sonido en el salón, el sistema de audiodifusión y el de emergencia, el sistema sonoro en el Salón Principal y salas contiguas.

La Inter-relación entre acústica, el diseño arquitectónico y - las técnicas de construcción son evidentes en general, por ejemplo, para las construcciones del techo, del escenario, del foso de la orquesta y de las paredes. También deben ser preparados muros dobles, falsos plafones y varios aspectos para la protección y vigilancia del piso. Por ejemplo, las paredes móviles que separan --

los dos cinemas pueden tener un aislamiento sónico de 54 dB. De aquí que sea obvio que el sistema sonoro debe ser diseñado conforme a estos factores acústicos. Por esto, es deseable contar con un excelente trabajo de equipo, dentro de los límites de las ideas prácticas y costos razonables. Por otra parte, el objetivo debería ser un óptimo uso de todas las partes de la construcción; y para este fin el sistema sonoro es uno de los puntos más importantes -- que se debe tomar en cuenta. En la figura 2.1-1 se muestra un cuadro con los diferentes aspectos y relaciones del sistema sonoro.

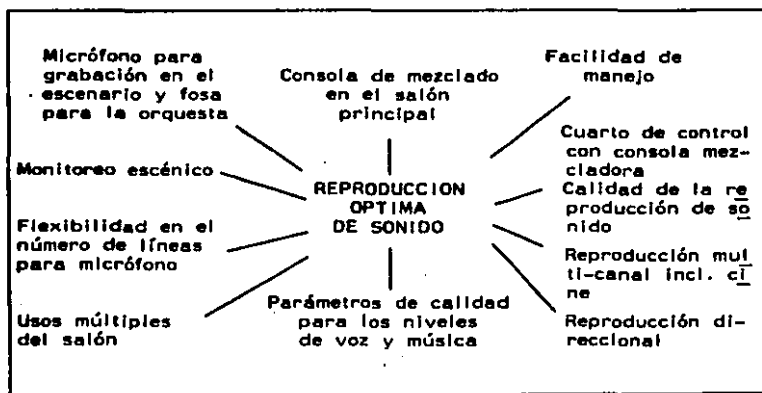


FIGURA 2.1-1

2.2 PARAMETROS DE CALIDAD

Ciertos criterios para sistemas sonoros en salones de propósito general se muestran en la Tabla 2.2-1, con una visión general de -- los diferentes eventos y ejecuciones en los mismos; con sus consideraciones en cuanto a micrófonos, niveles y ruido ambiental esperado.

Tabla 2.2-1 CRITERIOS PARA SISTEMAS SONOROS EN SALONES DE PROPOSITO GENERAL

	Sistema de Audiodifusión	No. de mic./ localidades	Nivel Sonoro dB(A)	Nivel de Ruido dB(A)
Teatro	si/no	4/escenario	75	65
Coro	si/no	4/escenario	85	65
Concierto	no	-	95	40
	si	4-8/escenario	95	40
Espectáculo	si	20 - 30 escenario y foso	100	aplau <u>s</u> o
Convención	si	1 - 10 escenario	110	100
			85	60
Orquesta con solis <u>t</u> as	si	1 - 20 escenario y foso	110	105
Cine	si	-	95	40
Festival	si	15	100	85

El nivel de ruido en el salón, que difiere claramente para los respectivos eventos, establece los límites y algunas veces conduce a niveles sonoros considerablemente elevados de la señal que llega a la posición del oyente.

Por otra parte, es importante considerar que la capacidad de potencia del sistema sonoro sea suficiente de tal manera que el circuito de entrada no esté sobrecargado para las condiciones de alta sensibilidad. Un margen de por lo menos 10-15 dB en la potencia de salida deberá ser asignado cuando se considere la diferencia entre el refuerzo del habla y el nivel requerido para un vocalista o instrumentalista. Por ejemplo, una orquesta en un espectáculo puede producir fácilmente 100 dB(A) y sin embargo el solista se deberá sobreentender lo mejor posible. Por lo tanto, será necesario un nivel sonoro de 105-110 dB(A); lo que frecuentemente significa una amplificación adicional de más de 1000 W de potencia eléctrica usando sistemas de bocinas con un alto *factor de direccionalidad* (Q). Estos sistemas de bocinas están orientados en tal forma que casi únicamente el oyente es alcanzado y no así las paredes y techos reflectantes. Esto con la finalidad de producir sonido directo con una *distancia crítica* (D_c) lo más grande posible. De aquí que el sistema sonoro debe tomar en consideración la acústica arquitectónica del salón, las distancias entre altavoces, áreas de butacas y, bajo otros factores, el tipo de evento a efectuarse. En el Apéndice I se describen los diferentes sistemas sonoros, los cuales pueden ser resumidos como sigue:

A. Reproducción *monaural*, grupo central con altavoces senci-

llos para sonido retardado.

- B. Reproducción *estereofónica* con dos grupos sencillos, derecho e izquierdo, sobre el escenario; cada grupo abastece la audiencia completa. Con reproducción monaural ocurre un incremento de nivel de voz de 3-5 dB. Esto favorece los anuncios de emergencia. Para áreas contiguas se utilizan por lo general altavoces sencillos con sonido retardado en reproducción monaural.
- C. Reproducción de *3-canales* con tres grupos centrales, los cuales suministran sonido a la audiencia completa. Para eventos cinematográficos se utiliza un 4º canal adicional (empotrado en el techo), conforme al sistema de cinemascope.

2.3 INSTALACION DEL EQUIPO

Una de las aplicaciones importantes del amplificador de audio, se encuentra en la amplificación de la voz o la música en chicas o - grandes instalaciones de sonido en áreas interiores y exteriores, a fin que la voz y la música, puedan ser escuchadas por gran número de personas.

Estas instalaciones de refuerzo sonoro incluyen gran variedad de fuentes de señal como son: micrófonos, tocadiscos, grabadoras - reproductoras, etc. y que son acopladas al equipo de amplificación compuesto por: pre-amplificadores, mezcladores, equalizadores, amplificadores y después a los reproductores de sonido tales como: -

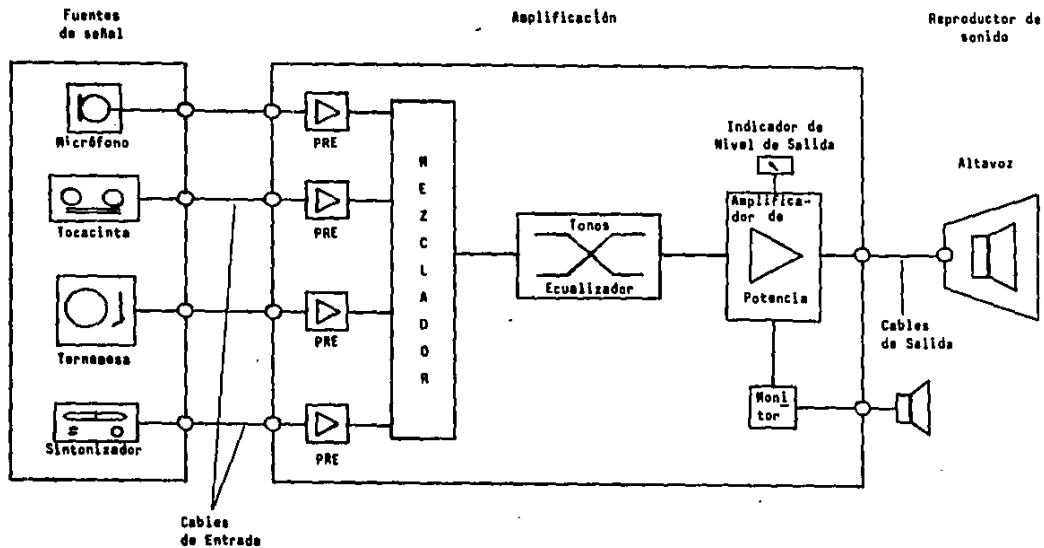


FIGURA 2.3-1

trompetas de sonido, columnas sonoras, cajas acústicas, rejillas difusoras, etc. y que son acopiadas por medio de transformadores de línea. En la figura 2.3-1 se representa un diagrama a bloques de una instalación típica.

A continuación se darán algunas indicaciones importantes para interconectar las fuentes de señal, con el sistema de amplificación y de éste a los reproductores de sonido.

Para dicha interconexión se tienen dos clases de cable:

1. Cables de entrada
2. Cables de salida

Cables de entrada De las dos interconexiones, la de entrada es la que requiere mayor atención, para evitar *sumbidos*, *oscilaciones* u otros sonidos molestos y perjudiciales a los amplificadores. Por lo tanto, se deben tomar en cuenta los siguientes puntos:

1. **Tipo de cable.** Se debe utilizar siempre cables aislados y blindados, de construcción igual o similar a la mostrada en la figura 2.3-2.

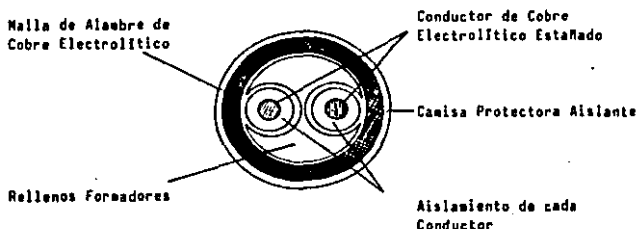


FIGURA 2.3-2

2. *Longitud* del cable. Antes de entrar en detalle sobre la longitud del cable, se tratará un punto muy importante.

Es conveniente que el cable que transmite la señal, la transmite con baja impedancia. Para esto puede efectuarse cualquiera de los siguientes arreglos.

a. Por inserción de resistencias (figura 2.3-3).

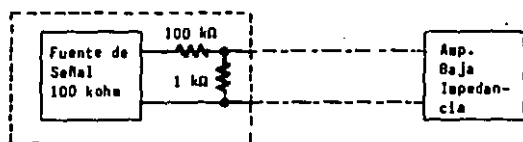


FIGURA 2.3-3

La desventaja de este método es que la señal se atenúa y -- por lo tanto el amplificador no puede ser excitado al 100%; de lo que resulta que la potencia de salida del amplificador no es suficiente y por consiguiente habrá necesidad de abrir al máximo el control de volumen, aparte de que la relación señal/ruido es desfavorable.

b. Por medio de un transformador de impedancia (figura 2.3-4).

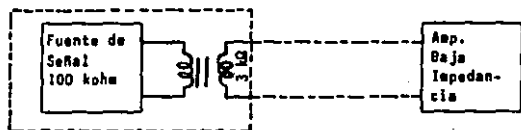


FIGURA 2.3-4

c. Por medio de un seguidor emisor (figura 2.3-5).

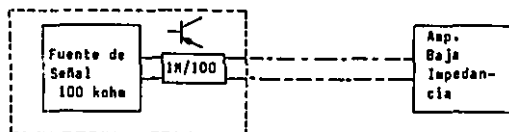


FIGURA 2.3-5

La ventaja de este último método es que el cable puede terminarse con una impedancia muy baja sin que la señal quede perceptiblemente atenuada.

Ahora bien, para una fuente de señal de (o terminada con) - baja impedancia la máxima longitud del cable de entrada está determinada esencialmente por la capacitancia del mismo y por la demanda de la calidad sonora.

Como la capacitancia del cable afecta las frecuencias altas, se han tomado los siguientes límites para un micrófono de baja impedancia (500 ohms):

- a. Para una señal de voz únicamente (200 - 5000 Hz) la capacitancia del cable no debe ser mayor a 60 KpF. Cualquier incremento en la capacitancia (esto es cualquier alargamiento del cable) va a resultar que las notas agudas serán atenuadas.
- b. Para una señal de música (80 - 15000 Hz) la capacitancia no deberá exceder de 20 KpF.

La máxima longitud permisible de algunos cables estándar es:

- A. Cable blindado delgado (capacidad 280 pF/m a 1000 Hz) :
214 metros
- B. Cable blindado grueso (capacidad 220 pF/m a 1000 Hz) :
273 metros

Estas longitudes se aplican a micrófonos de baja impedancia.
Para música se deberán dividir entre tres.

Así que la longitud considerando la longitud del conductor -
será:

$$L_{cc} = C_p / C_{me} \quad (\text{metros}) \quad (2.3-1)$$

Donde:

L_{cc} = Longitud del cable de entrada

C_p = Capacitancia total permisible del conductor (60 KpF pa
ra voz, 20 KpF para música)

C_{me} = Capacitancia por metros del conductor a usarse

Cables de salida El cable de salida es aquel que interconecta -
el amplificador con el reproductor de sonido (altavoz). El diáme-
tro del cable a emplear, para que el sistema opere adecuadamente,
está determinado por:

- a. La potencia nominal de los altavoces y distribución de és
ta sobre todo el cable.
- b. Distancia entre amplificador y altavoz.
- c. Tensión de salida del amplificador.
- d. Caída de tensión máxima admisible en la línea.
- e. Densidad de corriente admisible en los conductores.
- f. Esfuerzo mecánico del cable.

El cálculo (ver figura 2.3-3 también) del *calibre* del conductor está basado en la siguiente ecuación, con la consideración de que la potencia del altavoz (esto es la carga plena) está concentrada en la extremidad del cable.

$$q = \frac{0.035 (100 - n) L W}{n V^2} \quad (2.3-2)$$

Donde:

q = Sección transversal del conductor en mm²

L = Longitud del cable entre el amplificador y el altavoz, en metros

W = Potencia disipada en el altavoz, en watts

V = Tensión de salida del amplificador, en volts

n = Caída de tensión en el cable expresada como un porcentaje de la tensión de salida del amplificador

Para determinar la *caída de tensión* máxima permisible en el cable se debe tener en cuenta que una caída del 10% en la tensión de salida del amplificador es equivalente a una atenuación de 1 - dB.

Con la carga distribuida más o menos uniforme sobre la longitud del cable, la caída de tensión es aproximadamente la mitad de la supuesta con carga concentrada en un extremo, haciendo posible que la sección transversal del conductor sea la mitad de la calculada.

Por ejemplo:

Asúmase el cable de 200 metros de longitud,

la potencia de entrada del altavoz de 100 W,
la tensión de salida del amplificador de 100 V y
la caída de tensión (atenuación de 1 dB) del 10%.

Entonces se tendrá que: $q = \frac{(0.035)(90)(200)(100)}{(10)(100)^2} = 0.63 \text{ mm}^2$

En este caso se deberá usar cable de $2 \times 0.82 \text{ mm}^2$ (previend^o su esfuerzo mecánico).

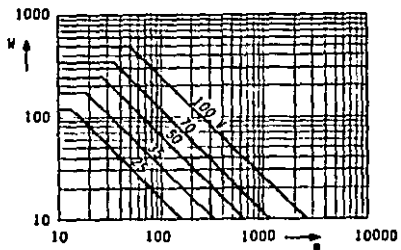
Por otra parte se recomienda verificar la densidad de corriente (i_d) por medio de la siguiente fórmula:

$$i_d = \frac{100 W}{q (100 - n) V} \quad (2.3-3)$$

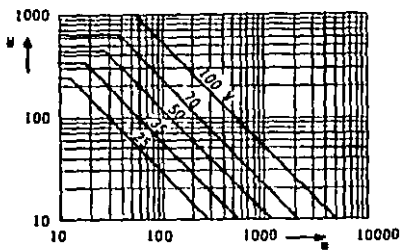
La densidad de corriente máxima permisible es del orden de 5 a 10 amperes por mm^2 dependiendo de las propiedades del cable, material aislante y calibre de los conductores. Esta es inversamente proporcional al espesor del cable (debido a la disipación de calor en el cable).

La longitud del cable máxima permisible para una determinada potencia y tensión de salida del amplificador, puede calcularse directamente de las gráficas mostradas en la figura 2.3-3. Los valores están referidos a una caída de tensión del 10% con toda la carga concentrada en la extremidad del cable. Las longitudes pueden ser duplicadas si la carga está distribuida uniformemente a lo largo del cable.

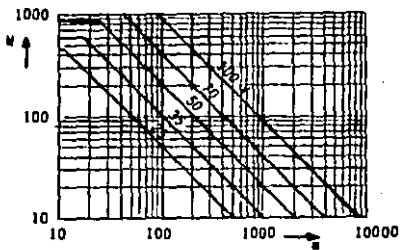
No obstante que la respuesta de agudos es atenuada por la capacitancia del cable, en la práctica esta atenuación es percepti-



2 x 0.82 (Calibre 18 AWG)



2 x 1.30 (Calibre 16 AWG)



2 x 2.10 (Calibre 14 AWG)

FIGURA 2.3-6

ble sólo si se utilizan cables muy largos. En este caso es recomendable que la línea de altavoces se conecte a una tensión de salida menor en el amplificador, cuyo transformador de salida se deberá ajustar para satisfacer esa tensión (bajando la impedancia disminuye el efecto de la capacitancia del cable).

Cuando varios cables alimentadores de altavoces llevando diferentes tipos de señal tienen que ser colocados juntos en la misma tubería o canalización, a lo largo de una distancia considerable, es recomendable usar *cables trenzados*. Asimismo, el cable de alimentación y los cables de los altavoces se deberán mantener lejos del cable del micrófono (al menos 50 cm).

2.4 SISTEMAS DE TIERRAS

En grandes instalaciones de sonido con largos cables de micrófono y de altavoces, puede presentarse interferencia (ruidos ocasionados por corrientes parásitas) debido a una incorrecta puesta a tierra.

Para prevenir esto, es conveniente evitar los lazos de tierra (o puntos múltiples de puesta a tierra). Por consiguiente, una instalación de amplificación completa deberá tener sólo un punto directamente a tierra, que será la terminal de tierra de uno de los amplificadores o del gabinete en que estén alojados.

Todas las otras unidades deberán ser puestas a tierra indirectamente de una de las siguientes formas (ver figura 2.4-1):

- a. Conectando la terminal de tierra de la unidad a tierra del chasis.

- b. Si una unidad no tiene terminal de tierra, se conectará el blindaje de uno de sus cables de conexión al chasis de la unidad en cuestión, o al chasis de la unidad que esté directamente a tierra.
- c. Si una unidad no tiene ni terminal de tierra, ni contacto con el chasis, entonces se conectará el conductor neutro - de uno de sus cables de conexión a la unidad en cuestión o a una unidad que esté directa o indirectamente a tierra.

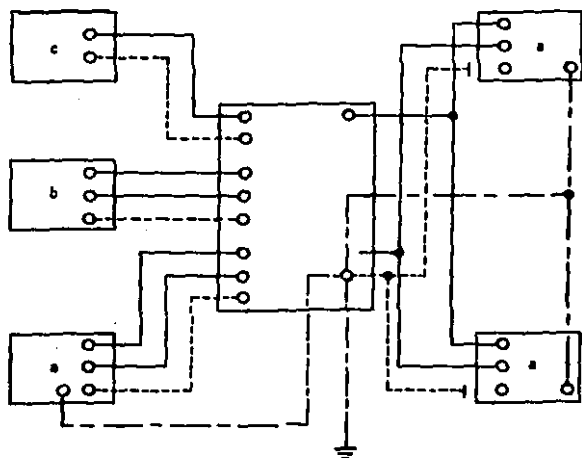


FIGURA 2.4-1

Para evitar una doble puesta a tierra, cuando uno de los conductores de señal en los amplificadores ya está conectado al chasis, se deberá insertar en el cable un transformador de aislamiento o separador (ver figura 2.4-2).

1. Si se usa un transformador de micrófono, se interconectarán los blindajes de los cables en las extremidades del transformador (ver figura 2.4-3).
2. Si se usa cable blindado de un solo conductor, se conectará como se muestra en la figura 2.4-4.

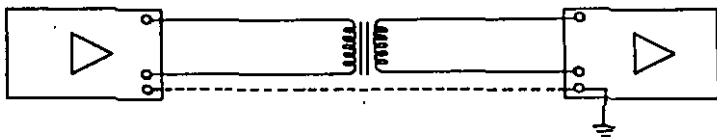


FIGURA 2.4-2

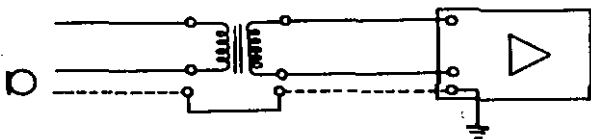


FIGURA 2.4-3

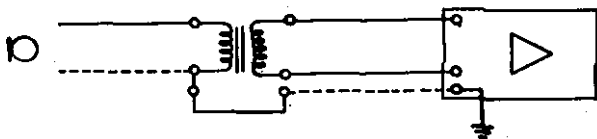


FIGURA 2.4-4

2.5 POLARIDAD DE LOS ALTAVOCES

Los altavoces instalados próximos entre sí, deben estar en fase; - es decir, los movimientos de sus conos hacia adentro y afuera cuando son excitados, deben coincidir exactamente.

Para este fin, es necesario marcar (polarizar) las terminales del altavoz antes de ser instalado. Para marcar las terminales se conecta una pila de 1.5 V a la bobina del altavoz, causando que el cono se mueva hacia adentro o bien hacia afuera, lo que se percibe fácilmente con la yema de los dedos. Una regla útil es marcar siempre la terminal que conecta al polo positivo de la pila, - cuando se conecta de tal forma que el cono que mueve hacia afuera. Algunas veces los altavoces tienen marcada de fábrica esta terminal con un punto rojo.

2.6 POLARIDAD DEL MICROFONO

Se puede comprobar si dos micrófonos conectados al mismo amplificador están en fase, colocándolos a una distancia de aproximadamente 30 cm uno del otro y hablando en el punto medio entre ellos. - Si están en contra-fase se notará una carencia considerable de notas bajas en el sonido reproducido.

2.7 FILTROS PARA VOZ

En algunas instalaciones de sonido donde, debido a la mala acús-

tica del local, la inteligibilidad de la voz se convierte en un problema, se hace necesario incluir un filtro para voz entre la entrada de micrófono del amplificador y el micrófono (o si se emplea un transformador de entrada, entre éste y la entrada de micrófono del amplificador). El objetivo de este filtro es atenuar las bajas frecuencias, reduciendo así la reverberación en el local haciendo la voz más inteligible.

Tales filtros para voz son una característica inherente de algunos amplificadores, sin embargo si no es provisto ningún filtro, puede hacerse uno fácilmente con una resistencia y un capacitor; los cuales es conveniente que queden dentro de una caja metálica con el fin de evitar ruido (ver figura 2.7-1).

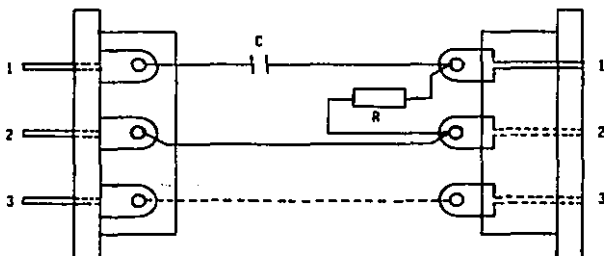


FIGURA 2.7-1

Los filtros adecuados son:

$R = 0.1 \text{ Mohm}$ y $C = 1200 \text{ pF}$: atenuación abajo de 1500 Hz.

$R = 0.1 \text{ Mohm}$ y $C = 1800 \text{ pf}$: atenuación abajo de 1000 Hz.

$R = 0.1 \text{ Mohm}$ y $C = 3300 \text{ pF}$: atenuación abajo de 500 Hz.

2.8 ACOPLAMIENTO DE ALTAVOCES

A continuación se examinarán las necesidades que se originan cuando varios altavoces o líneas de altavoces tienen que ser conectados a un amplificador común.

Los requerimientos esenciales para obtener el rendimiento óptimo de la instalación de sonido se citan a continuación.

1. La carga total debe ser acoplada al amplificador.
2. Los altavoces no deben ser alimentados con más potencia de la que están diseñados para manejar.
3. Deberán existir facilidades para agregar o retirar altavoces, individualmente o en grupos.

El amplificador es diseñado para entregar una determinada potencia de salida (W_0) a una determinada tensión de salida (V_0), pero solo puede hacerlo así cuando la carga está acoplada a éste.

La impedancia de carga Z_L puede ser calculada a partir de la potencia y la tensión de salida por medio de la siguiente fórmula:

$$Z_L = V_0^2 / W_0 \quad (2.8-1)$$

En este contexto, acoplamiento significa el aseguramiento de la máxima transferencia de potencia del amplificador al altavoz. Esto es despreciendo todas las pérdidas.

Como se sabe, la etapa de salida de un amplificador entrega su máxima potencia para una carga de impedancia particular, especificada por su fabricante. Por lo general esta impedancia no-

minal está por encima de la impedancia de cualquier clase de alta voz que tenga que ser conectado a él, lo que hace necesario el uso de un transformador, llamado transformador de salida del amplificador.

Asimismo, la impedancia del transformador y las impedancias de los altavoces están regidas por la frecuencia. Y debido a que la impedancia sólo puede ser acopiada idealmente para una frecuencia, usualmente ésta se calcula para un valor de 1000 Hz, con la suposición, incidentalmente, de que es puramente resistiva.

Suponiendo que el transformador es ideal, esto es despreciando la resistencia de sus devanados primario y secundario, así como su inductancia propia, capacitancia y pérdidas, la impedancia del devanado primario puede ser calculada a partir de la fórmula:

$$Z_{\text{prim}} = (n_1/n_2)^2 Z_{\text{sec}} \quad (2.8-2)$$

Donde:

- n_1 es el número de vueltas en el primario
- n_2 es el número de vueltas en el secundario
- Z_{sec} es la impedancia de carga total presentada al amplificador por los altavoces (ver figura 2.8-1).

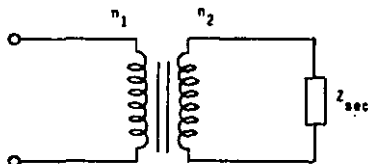


FIGURA 2.8-1

Sistema de distribución de altavoces con línea de 100 V De lo anterior se ha obtenido cómo calcular el transformador de acoplamiento para cada salida de amplificador y una carga conocida. Este método de cálculo es aún válido para una carga fija y conocida, - tal como en un receptor de radio o de televisión, por ejemplo.

En el campo de los sistemas de audiodifusión, en cambio, no hay duda de que no existe una carga fija (conocida). En un momento se conecta sólo un altavoz al amplificador, y en seguida 36 altavoces pueden ser conectados al mismo amplificador. De aquí - que sea obvio que el transformador, para cuyos cálculos ya ha sido hecho, no puede ser utilizado más tiempo.

En primer término, se podría empezar a proceder con el argumento de carga "conocida". En otras palabras, los altavoces que serán utilizados podrían ser conectados (en serie y/o en paralelo) de tal forma que la impedancia total permanezca igual a aquélla - con la cual fueron hechos los cálculos del transformador. Seguramente, algunas veces se podrá encontrar una solución de esta manera.

Sin embargo, si este método se intenta, cuando los altavoces difieren relativamente en potencia e impedancia, esto se torna rápidamente en una tarea difícil. Si los cálculos están basados en una correcta división de potencia, las impedancias no concordarán; y si están basados en las impedancias, la división de potencia ya no ajustará. Entonces lo más adecuado será emplear otro sistema, el cual esté basado en una tensión constante (100 V), más que en una impedancia de salida constante.

Este método de distribución puede ser comparado a una red de alimentación principal con tensión constante, a la cual se le conectan varios dispositivos de diferentes potencias.

Primeramente, el sistema asume que la tensión máxima será de 100 V, y todos los cálculos son hechos sobre esta cifra. De aquí que la salida del amplificador de audiodifusión deberá estar equipado con un transformador especial para suministrar su potencia nominal a una línea de tensión de 100 V.

Asimismo, los altavoces conectados a esta línea estarán equipados con un transformador de línea para 100 V. De esta manera, cada uno de ellos suministrará su potencia nominal.

Por lo tanto, si se conectan 6 altavoces, con potencias nominales de 2, 3, 6, 10, 20 y 40 W respectivamente, a la línea de 100 V de un sistema de audiodifusión, estos suministrarán su potencia nominal siempre que estén equipados con transformadores de línea para 100 V.

Generalmente, el devanado primario y secundario de los transformadores de acoplamiento de los altavoces cuenta con derivaciones, estando especificadas las del secundario por impedancias (4, 8, 16 ohms), y las del primario en watts (ver figura 2.8-2).

Este sistema tiene la restricción de que la suma total de todas las potencias de los altavoces, nunca deberá exceder la potencia del amplificador. De lo contrario, el amplificador será sobrecargado y podría ser dañado.

Por otra parte, se debe poner especial atención con los altavoces instalados en un mismo salón para radiar en la misma direc

ción, ya que estos deberán estar conectados al amplificador "en fase". De no estar en fase, el sonido de los altavoces se desvanecerá gradualmente exactamente en el punto equidistante de ellos, debido a que en este punto las vibraciones sonoras que llegan al oído, aunque de igual intensidad, son de direcciones opuestas (esto es, 180° fuera de fase).

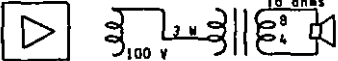
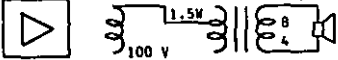
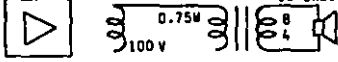
	<p>16 ohms 8 4</p>	<p>Cada altavoz suministra su potencia nominal</p>
	<p>16 ohms 8 4</p>	<p>Cada altavoz suministra la mitad de su potencia nominal</p>
	<p>16 ohms 8 4</p>	<p>Cada altavoz suministra un cuarto de su potencia nominal</p>

FIGURA 2.8-2

Por consiguiente, la potencia consumida por un altavoz en una línea de 100 V, será la misma cualquiera que sea el régimen de potencia de salida del amplificador; obviamente con un amplificador pequeño sólo se podrán alimentar pocos altavoces. La impedancia de salida varía según el régimen de potencia del amplificador, mientras que la tensión de línea permanece constante.

3

COMPONENTES UTILIZADOS EN LOS SISTEMAS DE AUDIODIFUSION

3.1 MICROFONOS

Si bien el primer dispositivo en la cadena de amplificación de sonido es con frecuencia un micrófono, existen también otras fuentes de señal posibles, como por ejemplo receptores de radio y TV, discos fonográficos, reproductoras de cinta magnética y en algunos -- casos señales completamente distintas.

El micrófono, que es la fuente principal, se define como un dispositivo destinado a transformar las oscilaciones acústicas que inciden en su diafragma en oscilaciones eléctricas. Incidentalmen

te, se deberá acentuar que este proceso debe ocurrir de tal forma que toda la información referente a intensidades y frecuencias se produzca con la menor distorsión posible.

Existen micrófonos de muchas clases y variedades, las cuales se clasifican según diversos criterios: según el elemento activo, - en micrófonos de carbón, de condensador (o electrostático), de cristal (o piezoeléctricos), de bobina móvil (dinámicos); según la magnitud excitadora, en micrófonos de presión, de gradiente de presión, mixtos (combinación de presión y gradiente de presión), de - velocidad; según sus características direccionales de captación, en omnidireccionales (o no direccionales), monodireccionales o unidirec- cionales, bidireccionales, polidireccionales, cardioides, etc.; según el método de soporte, en micrófonos de pie, de mesa, de mano, de medallón (éstos son de tamaño pequeño y se llevan colgando al ge- neralmente al cuello); según otras características diversas, en mi- crófonos antirruido (para disminuir la captación de ruidos extra- - rños del ambiente), etc.

Micrófono de carbón El micrófono de carbón es tal vez el más an- tigo e indudablemente el mejor conocido (ver figura 3.1-1). Está basado en las variaciones de resistencia eléctrica que experimenta una masa de gránulos de carbón cuando es sometida a las varia- ciones de presión que le comunica un diafragma colector de sonido. Su operación es como sigue:

Una vasija de metal llena con gránulos de carbón es sellada herméticamente con un diafragma metálico descansando contra un - anillo de fieltro. Esta agrupación de elementos es conectada a --

través de una batería al devanado primario de un transformador - cuyo secundario suministra una señal totalmente definida.

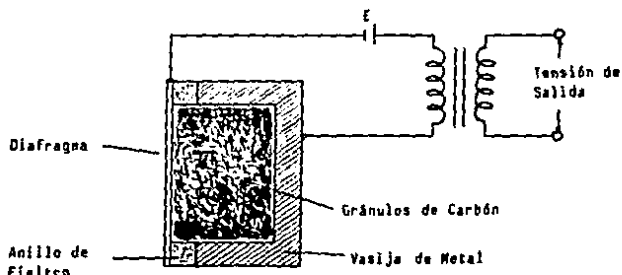


FIGURA 3.1-1

En reposo, el micrófono transporta corriente directa de una magnitud determinada por la tensión de la batería y la resistencia de los granos de carbón. Pero tan pronto como alguien habla -- hacia él, la presión sonora ejercida de este modo sobre el diafragma causa que éste provoque una presión variable sobre los granos de carbón, comprimiendo y relajándolos alternativamente y por lo tanto produciendo los cambios correspondientes en su resistencia eléctrica, de modo que las variaciones de ésta se traducen en oscilaciones eléctricas semejantes a las ondas sonoras captadas por el diafragma.

Micrófono de cristal o piezoeléctrico Este micrófono (ver figura - 3.1-2) opera bajo el principio del efecto piezoeléctrico presentado por algunos cristales y cerámicos. Esto es, si una oblea de tal substancia es sometida a una compresión o flexión, genera una ten

sión a través de sus dos caras laterales. Conectando este elemento piezoeléctrico a un diafragma de micrófono, se permite a éste recibir vibraciones de presión sonora y convertir éstas a sus correspondientes tensiones de corriente alterna.

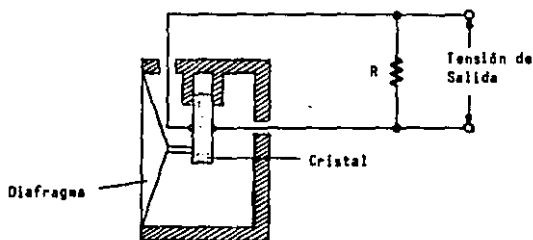


FIGURA 3.1-2

Las desventajas de este tipo de micrófono son:

- a. Que la impedancia es capacitiva, ya que esto causa que el cable de conexión afecte desfavorablemente la sensibilidad. Esta es la razón de porque no es conveniente usar cable largo con un micrófono de cristal.
- b. Que el elemento de cristal es tan susceptible al calor y a la humedad que lo convierten inadecuado para su uso con la luz solar directa o en zonas tórridas.
- c. Que el cristal piezoeléctrico se deteriora con el tiempo en tal grado que, si está expuesto a la humedad en particular, el micrófono pierde calidad aun cuando no está en uso.

- d. Que aunque la mencionada susceptibilidad a la humedad - puede ser superada usando elementos de cerámica, su salida de tensión es muy baja.
- e. Que como una regla general, la respuesta cualitativa de - los cristales piezoeléctricos es solo moderada; es un hecho que raramente son usados en micrófonos para reproducción de sonido de alta-fidelidad, como por ejemplo de música.

Micrófono de conductor móvil (dinámico) Este micrófono está basado en el principio de la creación de una fuerza electromotriz en un conductor que se desplaza en un campo magnético. La presión sonora actúa sobre un conductor eléctrico, ya sea una cinta flexible especialmente plegada (generalmente una tira delgada de aluminio con ondulaciones) o una bobina, causando que éste vibre en el seno del campo magnético de un imán y genere así tensiones eléctricas con una frecuencia correspondiente a las fluctuaciones de las ondas sonoras.

Por consiguiente, algunos son llamados micrófonos de cinta y otros micrófonos de bobina móvil, dependiendo de la forma práctica del conductor empleado. El micrófono de cinta está equipado con una tira metálica delgada que sirve como la bobina móvil y como el diafragma a la vez, como se muestra en la figura 3.1-3. Mientras el micrófono de cinta (algunas veces llamado micrófono de velocidad, debido a que su tensión de salida es proporcional a la velocidad instantánea de las partículas de la onda acústica incidente sobre el diafragma) es capaz de observar un excelente funcionamiento, aparte de que es altamente direccional, el elemento --

conductor debe ser protegido contra altas presiones sonoras o corrientes de polvo, puesto que en varios diseños éste es realmente frágil. Por esta razón muy pocos micrófonos de cinta se encuentran en aplicaciones fuera de los estudios, tales como audiodifusión o refuerzo acústico.

Los micrófonos de cinta son diseñados frecuentemente para responder al sonido proveniente de enfrente y de atrás. De aquí que se diga que tales micrófonos tengan una curva característica bidireccional y son usados algunas veces cuando es requerida tal característica.

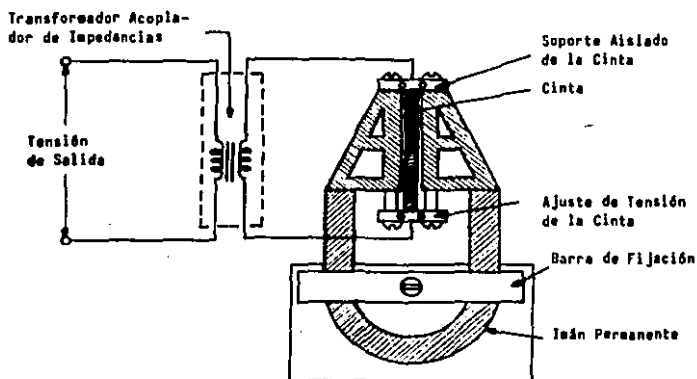


FIGURA 3.1-3

Los micrófonos de bobina móvil son los más comúnmente empleados actualmente. Aquí la bobina, unida al diafragma, se mueve a lo largo (dentro del entrehierro) de un círculo magnético permanente

te en respuesta y ritmo de las variaciones de presión sonora transmitidas a ésta por el diafragma, con lo cual se induce en la misma una tensión en frecuencia con y de una amplitud determinada por la intensidad del sonido original (ver figura 3.1-4).

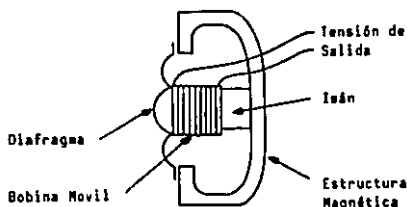


FIGURA 3.1-4

Las ventajas del micrófono de bobina móvil son:

- a. Excelente calidad de reproducción.
- b. Construcción sólida.
- c. La sensibilidad direccional puede ser variada mediante simples dispositivos mecanoacústicos.
- d. No necesita tensión de alimentación.

Una desventaja es que (a menos que esté especialmente blindado) este micrófono es particularmente sensible a cualquier interferencia magnética cercana.

Micrófono de condensador (electrostático) El circuito básico de este micrófono (ver figura 3.1-5) es un capacitor formado por un diafragma metálico flexible como uno de los electrodos y una placa

metálica rígida fija como el otro, con aire como dieléctrico.

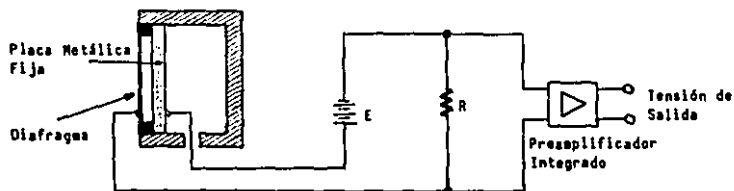


FIGURA 3.1-5

Puesto que la capacitancia, como en cualquier otro capacitor, depende parcialmente de la distancia entre los electrodos, ésta cambia cada vez que el sonido incidente hace vibrar el diafragma, haciendo que las vibraciones se traduzcan en variaciones de capacitancia. Al mismo tiempo, estas últimas causan los cambios correspondientes en la carga suministrada al capacitor por la tensión de CC liberada a través de una resistencia R , con el resultado que - carga y descarga de corrientes con ritmo e intensidades determinados por las vibraciones sonoras actuando sobre el diafragma, son producidas en el circuito del capacitor. Estas corrientes causan - las variaciones correspondientes en tensión a través de la resistencia R , las cuales son amplificadas por un preamplificador incorporado lo suficiente para ser entregadas a un amplificador de audio por medio de un cableado adecuado.

Existen dos clases principales de micrófonos de condensador. Uno emplea una fuente de alimentación para suministrar la tensión de polarización que necesita el circuito capacitivo, el cual es usado frecuentemente en estudios profesionales.

El otro es el micrófono de condensador de electreto (ver figura 3.1-6), que utiliza un dieléctrico polarizado permanente (electreto). En éste, la tensión de polarización es impresa en el diafragma durante el proceso de fabricación, calentando el material (por ejemplo cerámica de titanato de bario) y colocándolo mientras se enfría en un fuerte campo eléctrico. Por consiguiente no es necesaria ninguna fuente de tensión polarizadora, no obstante que se requiere usualmente de un circuito acoplador de impedancias tipo FET, el cual es alimentado por medio de una pequeña pila contenida dentro del mismo micrófono.

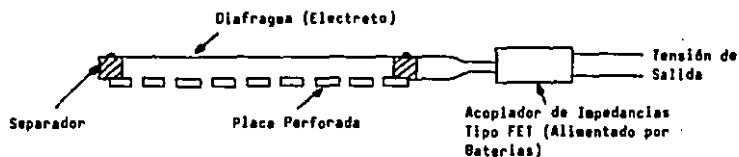


FIGURA 3.1-6

Los micrófonos de electreto son adecuados para aplicaciones en grabaciones de alta fidelidad y semiprofesionales, y algunas veces son encontrados también en estudios profesionales de grabación. Según técnicas conocidas, los micrófonos de condensador de electreto son capaces de una respuesta en frecuencia bastante uniforme y pueden responder con excelente claridad y rapidez a impulsos sonoros transitorios. La pequeña masa del diafragma permite un comportamiento extenso en altas frecuencias y también asegura una respuesta excelente a bajas frecuencias.

Micrófono de presión La parte posterior de este micrófono (ver figura 3.1-7) está totalmente cerrada de modo que solo el frente del diafragma está expuesto a las vibraciones del aire. De esta manera las vibraciones del diafragma están determinadas completamente por las *variaciones de presión sonora* frontales, de aquí el término de *micrófono de presión*.

Es preciso mencionar que una onda sonora (debido a la reflexión) produce presión sonora por todo un espacio cerrado sin considerar su localización exacta en éste. Por lo tanto una nota producida en la parte posterior ejerce también cierta presión en el frente, esto es sobre el diafragma del micrófono. Esto quiere decir -- que el micrófono de presión es sensible al sonido desde cualquier dirección; éste responde a una voz desde el frente justamente en la misma forma como al ambiente sonoro de una audiencia, a la reverberación, el eco, etc.

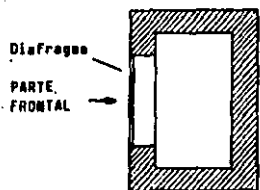


FIGURA 3.1-7

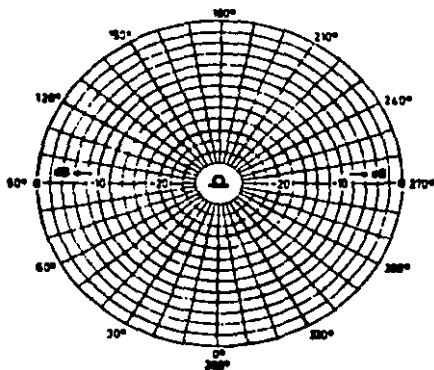


FIGURA 3.1-8

La respuesta direccional es representada en lo que es llamado un *diagrama polar* (ver figura 3.1-8). Este está basado en un sistema de ejes rectangulares intersectando a lo que es también el centro de un número de círculos concéntricos equidistantes. La -- distancia de cada círculo al centro, o sea el radio, es una medida de la tensión de salida del micrófono. Este último es colocado en el centro y expuesto a ondas sonoras de igual intensidad, pero desde direcciones diferentes, entonces la tensión generada bajo las diferentes condiciones es registrada en el diagrama polar. La línea que une estos valores de tensión es encontrada aproximadamente circular, indicando que el micrófono de presión no tiene sensibilidad direccional, o en otras palabras, se trata de un micrófono *omnidireccional*.

Como la anterior es básicamente una trayectoria circular, el diagrama de respuesta direccional de los micrófonos de presión comúnmente no es publicado. Sin embargo hay que tomar en cuenta que a frecuencias altas este diagrama puede variar y no ser completamente circular.

Micrófono de gradiente de presión Aquí el elemento sensitivo de presión del micrófono (ver figura 3.1-9), es decir el diafragma y la bobina asociada, es expuesto a las ondas sonoras desde la *parte posterior* así como desde la *parte frontal*.

El efecto total del micrófono es determinado por la diferencia de presiones ejercida sobre los dos lados, o dicho de otra forma -- por la diferencia en la longitud de trayectoria, o gradiente entre ellas; de aquí el término *micrófono de gradiente de presión*.

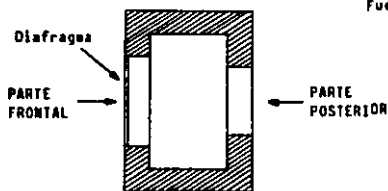


FIGURA 3.1-9

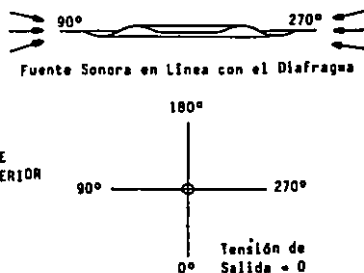


FIGURA 3.1-10

Representando gráficamente la tensión generada por el micrófono contra el ángulo de incidencia del sonido (a presión constante) se tendrá que:

Una fuente sonora en línea lateral con el diafragma (a 90° o 270° como en la figura 3.1-10) coloca a éste bajo presiones iguales de ambos lados. Y siendo estas presiones en direcciones opuestas se compensan entre sí de tal modo que prácticamente no existe diferencia efectiva entre ellas y por lo tanto ninguna tensión de salida tampoco. Por otra parte, una fuente sonora perpendicular al diafragma (esto es a 0° como en la figura 3.1-11), no obstante -- que causa cierta presión en la parte posterior, ejerce así mucha -- más presión frontal para conducir la diferencia efectiva a su máxi mo y de esta manera generar una señal de cierto valor. Una fuen te sonora a 180° hace lo mismo, pero a través de presión en la di rección opuesta.

El sonido que llega en ángulo oblicuo al diafragma presenta un problema algo más complejo ya que este último responde solo --

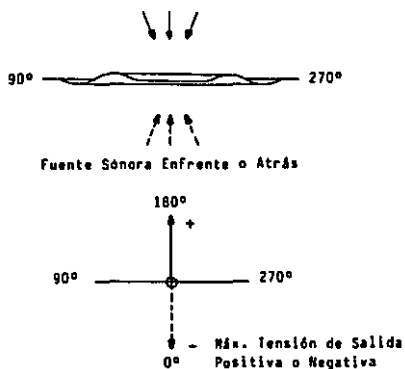


FIGURA 3.1-11

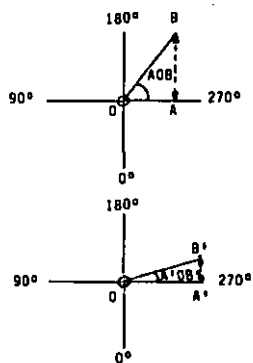


FIGURA 3.1-12

significativamente a la presión en ángulos rectos, o en otras palabras, solo una fracción de cualquier presión diagonal ejercida sobre el diafragma tiene algún efecto perceptible. Esta fracción disminuye a medida que el ángulo de la presión se convierte más agudo. Para ilustrar esto, se muestran dos situaciones diferentes en la figura 3.1-12, donde la línea OB representa la presión sonora desde un ángulo AOB y la línea AB la fuerza efectiva ejercida sobre el diafragma. Así como el ángulo de incidencia de la presión sonora total se angosta, igualmente decae la presión efectiva, por ejemplo a $A'B'$ a un ángulo $A'OB'$.

De esta forma, las tensiones asociadas con fuentes sonoras provenientes de cualquier parte con relación al micrófono pueden ser representadas gráficamente en un diagrama de directividad en forma de ocho (lemniscata), como el ilustrado en la figura 3.1-13 desde la cual se puede observar claramente que el micrófono tiene

respuesta direccional con sensibilidad máxima al frente y atrás y una zona muerta en uno u otro lado.

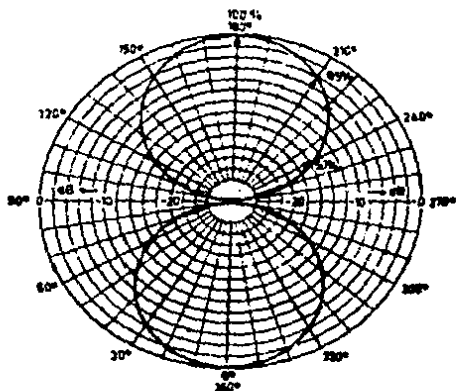


FIGURA 3.1-13

Micrófono de característica cardiode El efecto direccional puede ser ampliado considerablemente y de esta manera reforzado, combinando un micrófono de presión con un micrófono de gradiente de presión (ver diagrama funcional en la figura 3.1-14).

Este circuito permite que la aportación de cada micrófono a la tensión total sea variada por medio de potenciómetros, R1 y R2. Por ejemplo, una combinación igual en la operación del de presión y del de gradiente de presión, con la tensión debidamente en fase, produce el diagrama de directividad mostrado en la figura 3.1-16. Aquí se nota el mejoramiento existente en la sensibilidad direccional, la cual es llamada *unidireccional*.

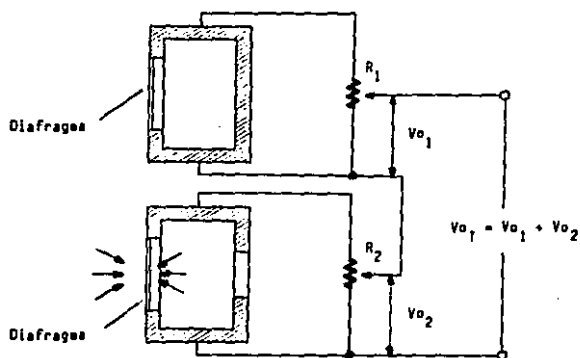


FIGURA 3.1-14

Como dicha combinación de dos micrófonos es demasiado costosa para ser empleada, un efecto similar puede ser obtenido con un micrófono de gradiente de presión cubierto de la parte de atrás -- con un filtro acústico (ver figura 3.1-15), el cual, dada la suficiente resistencia acústica (por ejemplo una pequeña abertura como en la figura 3.1-15a) es casi tan efectivo como un micrófono de presión.

Cuando el filtro tiene una resistencia acústica pequeña (ver figura 3.1-15b) el principio de gradiente de presión aumenta, con lo cual se incrementa la directividad. Como se observa, el diagrama de la figura 3.1-16 proviene del principio de diseño del filtro acústico de hacer operar el micrófono mitad omnidireccional, mitad bidireccionalmente. Y como resultado se obtiene un diagrama con forma de corazón, del cual recibió el nombre de micrófono con característica *cardioide*.

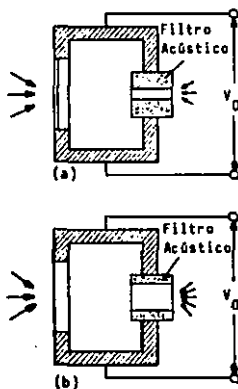


FIGURA 3.1-15

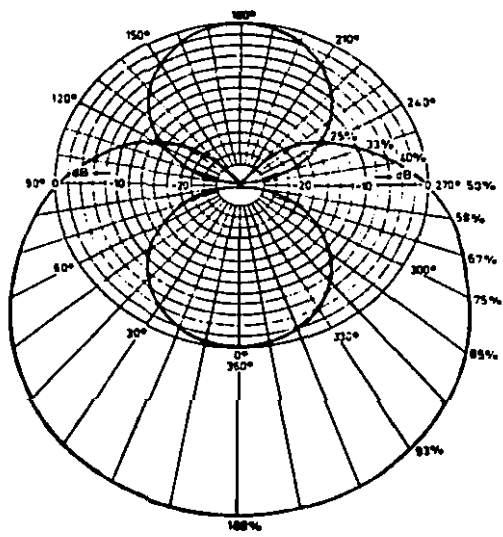


FIGURA 3.1-16

Es preciso mencionar que los diagramas de respuesta direccional anteriores sólo representan características ideales. En la práctica suceden diagramas un poco diferentes principalmente a causa de la influencia de la frecuencia, porque mientras la propagación de notas graves no es perceptiblemente direccional o es obstruida por obstáculos (como sillas y mesas), la relativamente mayor direccionalidad de notas agudas las hace mucho más susceptibles a tal obstrucción.

Con estas bases, los fabricantes publican diagramas de direccionalidad para diferentes frecuencias, como el que se muestra en la figura 3.1-17.

Por otra parte, la sensibilidad direccional de un micrófono - es importante principalmente:

a. Debido a la interacción acústica entre el altavoz y el micrófono (retroalimentación acústica).

Para eliminar esto el lado insensible del micrófono debe - estar dirigido hacia el altavoz.

b. Como un medio de reducción de interferencia a causa de - la reverberación.

Puesto que la reverberación llega por lo general desde -- una dirección distinta a la de la fuente sonora original.

c. Para reducir el ruido ambiental.

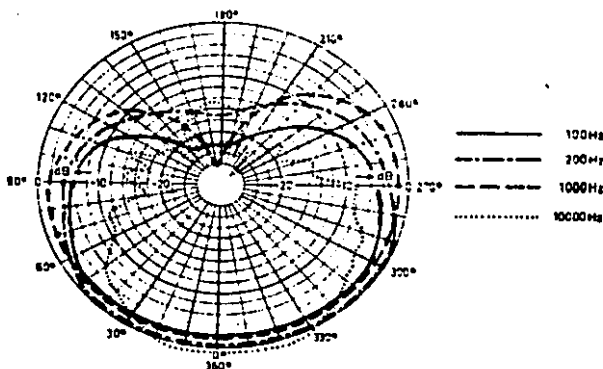


FIGURA 3.1-17

Como se ha visto, la impedancia del filtro acústico determina la sensibilidad direccional del micrófono. El diagrama cardiode -

de la figura 3.1-16 fue obtenido seleccionando la impedancia para fijar una combinación en igual proporción de micrófono de presión y de gradiente de presión.

Reduciendo lo suficiente la impedancia para cambiar la razón de presión a gradiente de presión a 37% : 63% produce el diagrama mostrado en la figura 3.1-18. Este micrófono, que es más direccional y por lo tanto menos afectado por el ruido ambiental indeseado, recibe el nombre de *micrófono hipercardioides*.

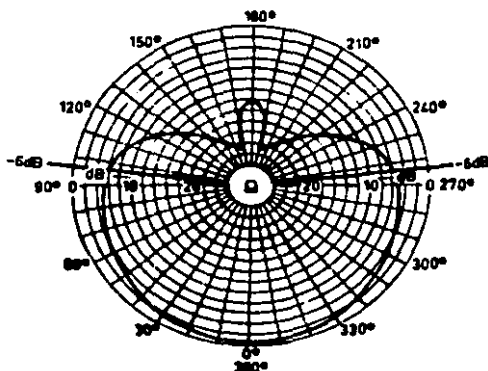


FIGURA 3.1-18

Sensibilidad La sensibilidad de un micrófono es su tensión de salida medida para una presión sonora determinada y expresada en mV/ μ bar o mV/Pa (1 mV/ μ bar = 10 mV/Pa) a una frecuencia de 1000 Hz. Pero como es medido en una cámara anecoica (acústicamente inerte), los valores resultantes solo pueden ser usados para

comparar las sensibilidades relativas de los micrófonos y no dan una idea de la tensión de salida real en respuesta a la voz o a la música reproducida a través de un micrófono particular.

Como 1 N/m^2 equivale a $10 \text{ } \mu\text{bar}$, 1 mV/N/m^2 es equivalente a $0.1 \text{ mV/} \mu\text{bar}$. Esto representa la tensión de un micrófono no conectado a un amplificador o a cualquier otra carga, es decir, representa la tensión de circuito-abierto. La cifra publicada es para una señal de referencia de 1000 Hz .

Una alternativa para estos valores absolutos es el correspondiente valor relativo a $1 \text{ V/} \mu\text{bar}$, esto es, la razón logarítmica del valor en $\text{mV/} \mu\text{bar}$ con respecto a $1 \text{ V/} \mu\text{bar}$, expresado en dB. Por ejemplo una sensibilidad de $0.28 \text{ mV/} \mu\text{bar}$ corresponden de este modo a -71 dB (referidos a $1 \text{ V/} \mu\text{bar}$).

Otro método para especificar la sensibilidad utiliza un valor de referencia de 0 dB igual a 1 milliwat para una presión sonora de $10 \text{ } \mu\text{bar}$. Este régimen de sensibilidad se define como la potencia suministrada por el micrófono con $10 \text{ } \mu\text{bar}$ de presión sonora y es medido suministrando la potencia equivalente de esta presión sonora a la resistencia equivalente de la impedancia del micrófono. Esto con relación a un nivel de potencia de 1 mW . Por lo tanto, la especificación de nivel de salida significa que tanta potencia (en dB) está por debajo de 1 mW suministrado a una carga (R) de impedancia igual a la impedancia interna del micrófono (R_m), con un nivel de presión sonora en su diafragma de 94 dB ($10 \text{ } \mu\text{bar}$). Este sistema está relacionado con la potencia de salida más que con la tensión de circuito-abierto y por consiguiente asume que --

una carga equilibrada esté conectada a la salida del micrófono.

Puesto que la sensibilidad medida de esta forma está influenciada por la impedancia del micrófono, ésta debe estar especificada también.

Para facilidad en la conversión entre ambas unidades, en la figura 3.1-19 se muestra un nomograma en el cual se puede encontrar la tensión de salida de un micrófono, conociendo su sensibilidad e impedancia. Simplemente hay que alinear con una regla la impedancia del micrófono con la sensibilidad nominal del mismo y se leerá arriba el número de dB (referidos a 1 mV) que aparecen en las terminales de salida del micrófono si éste está conectado a su impedancia nominal o termina en circuito abierto (alta impedancia de entrada).

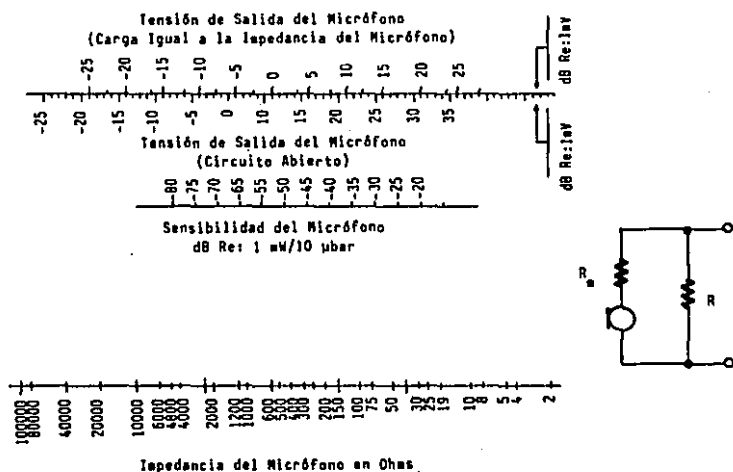


FIGURA 3.1-19

La diferencia básica entre ambos métodos es que el último toma en consideración el acoplamiento de impedancias, como se observa en el circuito equivalente de un sistema microfónico de la figura 3.1-20; donde R_m representa la impedancia del micrófono y R_v la impedancia de entrada del amplificador. El micrófono puede ser considerado como el generador de una tensión E_m . Por lo tanto la tensión V_o a la entrada del amplificador es:

$$V_o = \frac{R_v}{R_m + R_v} E_m = \frac{1}{(R_m/R_v) + 1} E_m \quad (3.1-1)$$

donde se observa que V_o alcanza su valor máximo, igualando a E_m , cuando R_v es considerablemente mayor que R_m .

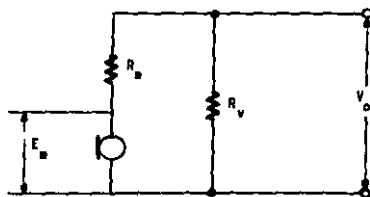


FIGURA 3.1-20

Existe otro régimen de sensibilidad conocido como régimen de sensibilidad EIA (Asociación de Industrias Electrónicas). Este valor también es expresado en dBm, pero emplea un nivel de referencia de potencia para una presión sonora de 0.0002 μ bar. Este es el mínimo valor presión sonora que puede percibir el oído humano (0 dB SPL).

3.2 AMPLIFICADORES

La tensión y potencia de salida del micrófono son por sí mismas - demasiado pequeñas para producir una respuesta suficiente en el - altavoz.

Por lo que la doble tarea de un amplificador es:

1. Aumentar la tensión de señal del micrófono a un valor --- aceptable.
2. Suministrar suficiente potencia para alimentar el altavoz.

En vista del doble propósito de amplificación de tensión y -- ganancia de potencia, el amplificador de audio puede ser dividido en dos partes (ver figura 3.2-1):

1. El preamplificador, que incrementa la tensión de señal de entrada a un nivel aceptable.
2. El amplificador de salida, o amplificador de potencia como es usualmente llamado debido a que suministra potencia al altavoz.

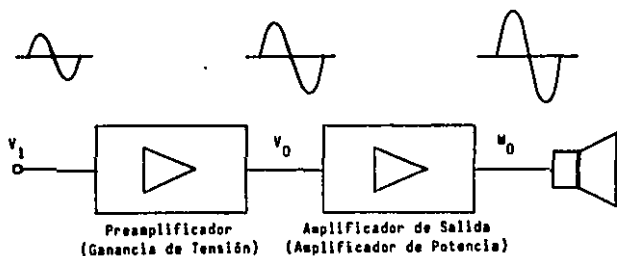


FIGURA 3.2-1

Ahora bien, la tarea del preamplificador es amplificar la señal de entrada para excitar lo suficiente al amplificador de potencia. Y la cantidad de amplificación de ésta depende, por supuesto, de la magnitud de la señal de entrada.

Hasta aquí se ha considerado solo una fuente de señal, es decir, el micrófono. Pero en la práctica existen otras, por ejemplo:

- a. Un fonocaptor convirtiendo las vibraciones mecánicas de los surcos de un disco fonográfico en sus correspondientes variaciones de tensión;
- b. Una grabadora de cinta, en la cual las variaciones en la magnetización de la cinta son convertidas en sus correspondientes variaciones de tensión;
- c. Un receptor de radio del cual se toma una señal de música.

A continuación se citan las tensiones de varias fuentes de señal con el siguiente orden de magnitud:

Micrófono dinámico	0.25 mV
Fonocaptor magnético	2 mV
Fonocaptor cerámico	150 mV
Receptor de radio	250 mV
Grabadora de cinta	500 mV

Se observa de la lista anterior que en cuanto al manejo de tensión se refiere, las fuentes de señal quedan incluidas dentro de dos grupos:

1. Aquellas con intensidades de señal con intervalo de 0.1 a

2 mV.

2. Aquellas con intensidades de señal con intervalo de 100 a 500 mV.

Las tensiones aquí mencionadas sólo son promedios. No obstante permanece una diferencia considerable en intensidad de señal entre los dos grupos. Como se ha visto, la amplificación requerida depende de la magnitud de la señal de entrada y de la intensidad de señal necesitada para excitar al amplificador de potencia. Por esta razón la mayoría de los amplificadores tienen al menos -- tres entradas cuya sensibilidad (tensión de la señal de entrada necesaria para alcanzar la potencia máxima nominal de salida) es -- consecuente de las necesidades de los grupos mencionados.

A saber: una terminal de entrada para micrófono, una terminal para fonocaptor magnético y una tercera, llamada comunmente entrada para música, la cual puede ser usada también para un fonocaptor cerámico o una grabadora de cinta.

La necesidad por un amplificador verdaderamente versátil es difícil de confrontar con el deseo natural de tenerlo a un precio razonable. A esto se debe que un programa de producción para -- amplificadores sea, en principio, dividido en dos grupos diferentes:

1. Amplificadores completos (incluyendo preamplificador y amplificador de potencia) con al menos dos entradas.
2. Una serie de preamplificadores y amplificadores de potencia separados adecuados para un ensamble integral en gabinetes o como un sistema modular.

Numerosas facilidades por lo tanto pueden ser incorporadas --

en una instalación completa.

Puesto que la mayoría de los amplificadores de potencia necesitan una entrada entre los 100 y 200 mV para la potencia de salida total, debe de haber suficiente preamplificación para entregar una tensión de salida en ese intervalo. Si la sensibilidad del micrófono es de 0.3 mV/ μ bar la ganancia debe ser al menos $100:0.3 = 334$ veces (50 dB).

Sin embargo para el canal de música, con aproximadamente - 100 mV de sensibilidad de entrada, la tensión de salida equivalente no requiere teóricamente de ninguna amplificación adicional.

La razón práctica para el uso de un preamplificador en este caso, es tener en cuenta invariablemente una atenuación de la señal causada por varios controles en el sistema, estipulando una cierta cantidad de amplificación de reserva.

En vista de su importancia se tratarán esos controles con más detalle.

Control de ganancia El control de ganancia tiene el doble propósito de conducir el sonido al nivel de intensidad deseado y prevenir que las etapas de amplificación sean sobrecargadas por una señal de entrada demasiado fuerte. Esto puede ser desastroso particularmente para los transistores del amplificador, o bien causar una considerable distorsión del sonido.

Existen dos formas diferentes de controlar la ganancia:

1. Con un control operacional, comunmente llamado control de volumen.
2. Con un control preajustable (potenciómetro de ajuste).

Aunque técnicamente existe todo para proporcionar un control de ganancia variable para cada terminal de entrada, esto por una parte eleva el costo y por otra aumenta la complejidad del equipo.

De aquí que dependiendo del propósito particular se podrá -- determinar cuál de los diferentes controles de ganancia puede ser sometido a un ajuste único en oposición a ser variable. Alternativamente una combinación de ambos tipos de control puede ser usada en el mismo canal de entrada, en cuyo caso la versión del potenciómetro de ajuste es colocado para limitar la ganancia máxima de tal manera que el operador por sí mismo no pueda inducir retroalimentación acústica en la instalación girando el control de volumen al máximo.

Control de tonos El control de tonos modifica la respuesta de -- agudos y/o graves, es decir la característica de frecuencia del amplificador.

Este control se emplea para:

- A. Igualar o corregir la característica de frecuencia de la fuente de sonido.
- B. Igualar la acústica del local o salón particular, usualmente por medio de la atenuación de graves.
- C. Hacer el habla más inteligible corrigiendo las deficiencias de la voz.

Con este margen de aplicaciones se debe poner especial atención a las normas prácticas reguladoras de la reproducción de voz y música. El hecho es que éstas son algo diferentes. El requerimiento principal para la voz es inteligibilidad más que fidelidad,

aunque idealmente por supuesto las dos deberían ser combinadas. Desafortunadamente ciertos factores acústicos impiden esto algunas veces. Por un lado precisamente aquellos tonos que contribuyen más a la inteligibilidad del habla tienden a ser absorbidos por el ambiente más que por los tonos graves. Por otro estos últimos no son direccionales y por lo tanto con frecuencia tienen que ser atenuados deliberadamente para evitar reflexiones parásitas (reverberación y retroalimentación acústica). Por otra parte, en la música una cierta cantidad de reverberación es agradable al oído, mientras que la respuesta puede ser también tan uniforme como sea posible a lo largo de la banda de frecuencias.

La característica de respuesta en frecuencia ya ha sido mencionada varias veces. Es una curva obtenida por la representación gráfica de la frecuencia en la horizontal, contra la ganancia relativa (expresada en dB) en el eje vertical de un sistema de coordenadas.

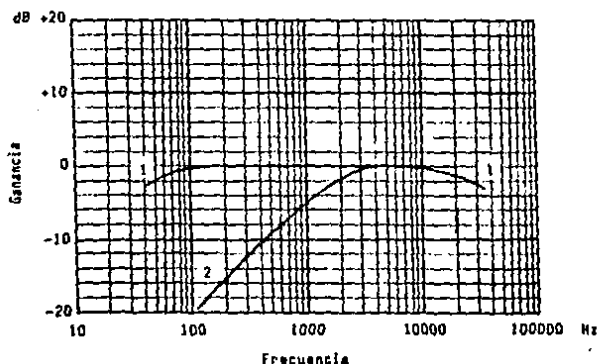


FIGURA 3.2-2

Un ejemplo de dicha característica se muestra en la figura - 3.2-2, donde la curva 1 representa la respuesta no corregida y la curva 2 la obtenida con un filtro de graves.

La experiencia ha mostrado que aunque este filtro es lo suficientemente efectivo para la reproducción de voz, es recomendable utilizar para reproducción de música controles individuales de graves y agudos para proporcionar refuerzo o atenuación ("corte") de unos u otros, favoreciendo así las circunstancias.

El amplificador de potencia Como se mencionó antes, un sistema amplificador consiste en un transductor para recoger la señal, seguido por un preamplificador, un amplificador de potencia y un -- dispositivo de salida. La señal de entrada del transductor es generalmente pequeña y debe amplificarse suficientemente para ser -- utilizada para operar algún dispositivo de salida. Los factores - de principal interés en los preamplificadores son entonces la linealidad y la ganancia. Puesto que la señal de tensión y corriente dentro de su propia entrada es usualmente pequeña, la cantidad - de manejo de potencia y la eficiencia de potencia son de poco Inte rés. En cambio, un amplificador de potencia debe operar eficiente mente y ser capaz de manejar grandes cantidades de potencia. Por lo que la consideración principal en el diseño de este último es, - por una parte, la máxima cantidad de potencia de salida requerida y por otra, la eficiencia de potencia y el acoplamiento de impe dancia con el altavoz. Ahora bien, esta cifra de potencia es poco significativa a menos que venga acompañada por la información -- precisa en cuanto a las condiciones de su medición, ya que estos

datos son necesarios para dosificar la potencia adecuadamente así como para una auténtica evaluación del producto.

La potencia de salida de un amplificador está regida por tres factores:

1. La máxima elevación de temperatura permisible de ciertos componentes.
2. La máxima tensión permisible de ciertos componentes.
3. La máxima distorsión permisible de la señal de salida.

Asimismo el significado relativo de estos factores depende de la naturaleza de la señal de excitación. Para explicar esto se -- considerarán los tres factores individualmente.

Máxima elevación de temperatura permisible Está regida por la relativa alta capacidad térmica de la línea de distribución y de los transformadores de salida por una parte y por otra por los transistores de salida, cuya capacidad térmica llega a ser menor.

Las señales de excitación de intensidad variable (como la voz y la música) afectan los dos grupos de manera diferente.

Debido a que la elevación de temperatura en los transformadores depende de la intensidad de señal promedio durante un periodo relativamente largo, la máxima tensión de pico instantánea no tiene un efecto apreciable sobre ésta.

A la inversa, la elevación de temperatura de los transistores depende de la intensidad de señal instantánea, por lo tanto su máxima temperatura permisible está regida por el pico máximo de la señal particular. Los picos ocasionales de muy corta duración en realidad no dan tiempo para prevenir la consecuente elevación de --

temperatura, puesto que ningún sistema de enfriamiento conocido - puede responder con suficiente rapidez. Al menos, un adecuado - enfriamiento limita la elevación de temperatura consecuente de una sucesión de picos similares más que de un pico único.

La máxima potencia manejada por el transistor de salida y - la temperatura de las uniones del mismo están relacionadas puesto que la potencia disipada por el dispositivo produce un incremento en la temperatura. Es decir, entre más alta sea la potencia mane- jada por el transistor (dependiendo del nivel de potencia impuesto por el circuito) más alta es la temperatura de la envoltura del -- transistor. Y aun con el disipador de calor adecuado, con el que se podrá operar el dispositivo a una potencia cercana a su máxi-- ma especificación de potencia, esta disipación de potencia solamen- te se permite hasta la máxima especificación de temperatura del -- transistor.

Máxima tensión permisible Aunque ésta no presenta ningún problema para los componentes en general, los transistores son al- tamente vulnerables a una sobretensión. Sin embargo, las mejoras que se han logrado en las técnicas de producción han proporciona- do altas especificaciones de potencia con empaquetamientos de tama- ño reducido y han aumentado la tensión de ruptura máxima del -- transistor.

Máxima distorsión permisible Las variaciones en la señal - de salida de menos de 360° del ciclo de señal se considera que tie- nen *distorsión*. Esta puede ser descrita como un cambio en la fre- cuencia y forma de onda de la señal de salida comparada con la -

señal de entrada. Esto significa que la señal de salida ya no es una versión simplemente amplificada de la señal de entrada sino - que ha sido "distorsionada" de alguna manera o cambiada con respecto a la señal de entrada. La calidad pobre del sonido que se origina por un sistema de alta fidelidad con la música o la voz - que ya no suena como fue originalmente grabada es el resultado de la distorsión.

Considerese, por ejemplo, una señal compleja dada en la forma de un doble tono que contenga una señal de 131 Hz y otra de - 196 Hz, ambas de la misma amplitud. Amplificada sin ninguna distorsión de cualquier clase la señal de salida consistirá de las mismas componentes a las frecuencias establecidas, cuyas amplitudes, aunque más grandes, permanecen iguales. Sin embargo, si algo - causa que la señal de salida adquiera otras frecuencias y/o sus - componentes ganen menos amplitud unas que otras, entonces la señal de salida no crecerá conforme a la señal de entrada. Si el - cambio o distorsión de la señal original es demasiado grande, llega a ser audible y por lo tanto inaceptable.

Este ejemplo de distorsión de hecho se refiere a la banda de frecuencias del amplificador, significando que no todas las frecuencias presentes en la señal de entrada son amplificadas al mismo valor. Esta es conocida como *distorsión de frecuencia*, y su causa - es el cambio que experimenta la ganancia del amplificador con la frecuencia.

Por lo tanto, la distorsión de frecuencia, no es nada más que el cambio de la banda de frecuencias de la señal provocado por el

filtrado del amplificador, el cual puede afectar la calidad de la voz o de la música. En otras palabras, la música y la voz son señales complejas que contienen muchas componentes en su banda de frecuencias, y a menos que tales componentes queden comprendidas dentro del ancho de banda del amplificador, las componentes de la banda de frecuencias de la señal de salida no tendrán las amplitudes correctas. Debido a esto, la voz y la música sonarán diferentes a las señales de entrada originales.

La característica de frecuencia de un amplificador de propósito general fluctúa aproximadamente de 40 a 16000 Hz, mientras que un amplificador para uso en estudios y salas de conciertos tiene una banda de frecuencias más ancha de aproximadamente 20 a 20000 Hz. La interpretación correcta de la banda de frecuencias es que las frecuencias dentro de ésta no son atenuadas o amplificadas más de 3 dB del nivel de referencia a 1000 Hz.

Por otra parte, en los sistemas amplificadores puede ocurrir además distorsión de la señal debida a la presencia de armónicas de la señal de entrada. A este tipo de distorsión se le conoce como *distorsión armónica*. Esta se debe a la no linealidad de las características del dispositivo y se traduce en la aparición de componentes parásitas de frecuencias armónicas de la señal de entrada.

Cuando ocurre distorsión armónica, la señal de salida ya no representa exactamente la señal de entrada. Además de una frecuencia fundamental, la señal de salida presentará otras componentes de frecuencia que son múltiplos enteros de la fundamental, de-

nominadas *componentes armónicas*. Por ejemplo, una señal que originalmente era de 1000 Hz, después de distorsión, puede convertirse en una señal que tenga una componente de 1000 Hz, y componentes armónicas de 2 kHz (2 x 1000 Hz), 3 kHz (3 x 1000 Hz), 4 kHz (4 x 1000 Hz), y así sucesivamente. La frecuencia original de 1000 Hz es la frecuencia fundamental y todos los múltiplos enteros o armónicas son: el que está en 2 kHz es la segunda armónica, la componente de 3 kHz es la tercera armónica, y así sucesivamente. La señal fundamental se considera la primera armónica. Cuanto mayores sean los valores pico de las armónicas, tanto más grande será la distorsión. Por eso, una manera simple de comparar amplificadores diferentes es tomando la razón de las armónicas con la fundamental, expresada en términos de la siguiente relación:

$$d_{\text{tot}} = \frac{(S_2^2 + S_3^2 + S_4^2 + \dots S_n^2)^{\frac{1}{2}}}{S_1} \cdot 100\% \quad (3.2-1)$$

Por consiguiente, la distorsión armónica total se define como la relación de la suma cuadrática de las armónicas superiores entre la fundamental. Es decir, la distorsión armónica total (efecto conjunto de las armónicas sobre la fundamental) es el valor rms de las armónicas superiores dividido por el valor rms de la fundamental.

Cuando se trata de amplificar señales de sonido o música, se obtiene mejor amplificación cuanto más pequeña sea la distorsión. En el caso de la voz, la distorsión armónica total debe ser aproximada

madamente menor del 10% para mantener la inteligibilidad. Por otra parte, la música de alta fidelidad exige menos del 1% de distorsión armónica total para mantener su alta calidad.

Debido a que la distorsión se incrementa con la intensidad de la señal, ésta será menor que el porcentaje establecido con un nivel medio de la señal, y por lo tanto virtualmente imperceptible.

En vista de esto, es por lo general una buena idea elegir un amplificador con más potencia de la estrictamente necesaria de acuerdo con los cálculos, ya que el amplificador puede ser manejado entonces a menos de su potencia total y por lo tanto la distorsión será despreciable.

Potencia de salida La máxima potencia de salida (P_o) de un amplificador de audio está determinada por la siguiente ecuación:

$$P_{o(\text{máx})} = I(\text{rms}) \times E(\text{rms}) = (I_m E_m)/2 = E_m^2/2R_L \quad (3.2-2)$$

donde I_m y E_m son los valores máximos de corriente y tensión en la carga, respectivamente, y R_L es la impedancia de la carga presentada al amplificador.

Ahora bien, la máxima potencia de salida alcanzable está directamente relacionada con la intensidad de la señal excitadora. Asimismo, las señales de tensión de la voz y la música no son constantes, y en realidad pueden variar considerablemente. Y aunque el nivel de la intensidad sonora es aproximadamente un promedio, la voz emotiva o ciertos pasajes de música pueden causar picos pronunciados en ésta. Tales características instantáneas

de la voz y la música también tienen que ser reproducidas sin distorsión.

De aquí que deba existir una tolerancia, por ejemplo para la voz, de tres o cuatro veces el promedio, cubriendo así los valores máximos (ver figura 3.2-3). Puesto que la potencia es directamente proporcional al cuadrado de la tensión, el límite de la potencia máxima es aproximadamente diez veces el de la potencia medía (esto es, superior por 10 dB). A esta potencia se le conoce como *potencia nominal*. Por razones prácticas la potencia nominal es medida con tensión sinusoidal pura. El amplificador debe ser capaz entonces de entregar su potencia nominal por un "tiempo de-terminado" sin sufrir daño. "Por un tiempo determinado" implica que el amplificador no está diseñado para operar continuamente a plena potencia.

Por consiguiente, la potencia media antes mencionada puede ser considerada parte de las condiciones normales de operación, en las cuales la señal excitadora alcanza alrededor de un tercio de su valor nominal y la potencia un décimo de su valor máximo, para cierto amplificador.



FIGURA 3.2-3

3.3 ALTAVOCES

La tarea de un altavoz es traducir las corrientes de audiofrecuencia en ondas sonoras correspondientes. Es decir, se trata de un dispositivo que convierte las ondas eléctricas de salida del amplificador en vibraciones de aire que el oído percibe como sonido. Existen varios tipos de altavoces operando bajo diferentes principios (altavoz electrostático o de condensador, altavoz piezoeléctrico o de cristal, altavoz electromagnético, etc.), sin embargo el más utilizado en los sistemas de audiodifusión es el altavoz de bobina móvil (dinámico). Este altavoz es en realidad un equivalente mecánico del micrófono de bobina móvil, aunque con el efecto opuesto, en tanto que su sistema comprende igualmente un imán permanente con un entrehierro circular y una bobina móvil. Esta última está unida al cono o diafragma del altavoz, y se mueve en el entrehierro en forma oscilante (ver figura 3.3-1).

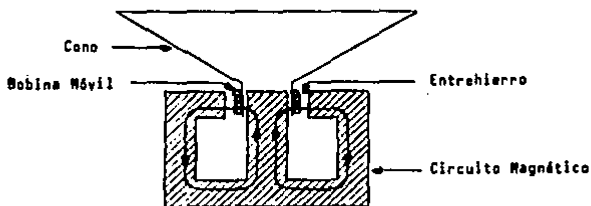


FIGURA 3.3-1

La corriente alterna de la señal circula a través de la bobina móvil creando inmediatamente un flujo magnético alterno alrede

dor de ésta, después de lo cual la bobina, estando en el campo -
 magnético constante del entrehierro, es impulsada por una fuerza,
 dependiendo de la intensidad de campo en una dirección determina
 da por aquélla de la corriente alterna circulando a través de ésta.
 Esto es, el movimiento de oscilación de la bobina se produce por -
 reacción entre el campo magnético fijo de dicho sistema, y el cam
 po magnético variable que genera la bobina móvil en virtud de la
 corriente que la recorre. En consecuencia, la bobina es excitada
 alternativamente en frecuencia con, y con un movimiento de una --
 amplitud proporcional a esta corriente.

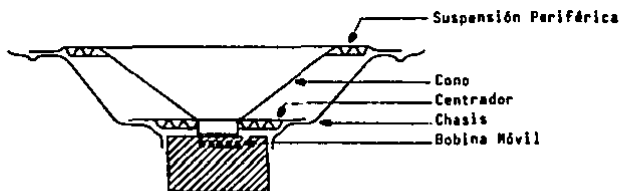


FIGURA 3.3-2

En numerosos altavoces de este tipo la bobina excita a un co
 no que, impartiendo su movimiento recíproco al aire, actúa por sí
 mismo como un radiador de sonido. Para hacer posible que el co
 no y la bobina se muevan en forma oscilante sin desviación late
 ral, el primero está unido al chasis mediante una suspensión peri
 férica flexible, y la segunda está sostenida exactamente al centro
 del entrehierro por medio de un anillo centrador especial que reci
 be el nombre de membrana flotante del cono o simplemente centra--

dor (ver figura 3.3-2). Asimismo, este órgano de fijación impide que la bobina móvil entre en contacto con las paredes del entrehierro.

Pero en un altavoz de membrana, como implica su nombre, el cono está sustituido por una membrana (ver figura 3.3-3), la cual actúa sobre una cámara de presión y una columna de aire convirtiendo las oscilaciones eléctricas en vibraciones de aire correspondientes. Para una mayor eficiencia se emplea una trompeta acústica como el radiador de sonido propiamente dicho, suministrando así acoplamiento uniforme al medio.

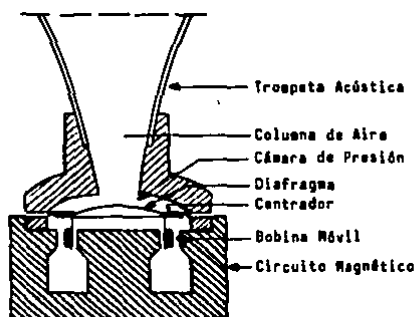


FIGURA 3.3-3

La relación entre la potencia acústica de salida y la potencia eléctrica de entrada se conoce con el nombre de *eficiencia* del altavoz. Esta varía de 1 a 15% de acuerdo al tipo de altavoz, la cual desafortunadamente es menor que la de otros transductores.

Sin embargo, para propósitos prácticos es más conveniente co

nocer qué nivel sonoro se produce a una distancia determinada, para una potencia de entrada suministrada; un criterio que se definirá más detalladamente cuando se trate la sensibilidad. Ahora bien, los requerimientos específicos impuestos sobre un altavoz dependen de su propósito o aplicación. Por ejemplo, las necesidades especiales pueden ser establecidas en cuanto a frecuencia de operación, sensibilidad, impedancia, dimensiones y costo. Cada uno de estos factores es acentuado dependiendo de las condiciones particulares de operación. No obstante, algunas veces existen requerimientos incompatibles, como por ejemplo tamaño muy pequeño junto con capacidad de manejo substancial de potencia.

En consecuencia, los elementos de información de un altavoz deberán ser específicos y lo suficientemente completos para proporcionar toda la información concerniente a las características de cada altavoz, las cuales son necesarias para hacer una elección correcta dependiendo de las circunstancias.

Comportamiento eléctrico y mecánico de un altavoz El único componente eléctrico de un altavoz es su bobina móvil, la cual puede ser considerada como una inductancia propia y una resistencia óhmica en serie. Sin embargo, el comportamiento eléctrico de un altavoz es más complejo que la simplicidad de este sistema propuesto, en cuanto que sus aspectos mecánicos también tienen manifestaciones eléctricas (ver figura 3.3-4).

Considerado como un mecanismo, el altavoz es una agrupación de bobina móvil y cono, teniendo juntos una cierta masa. El amplificador tiene que suministrar la energía necesaria para mover -

esta masa que, desde el punto de vista eléctrico, actúa como un capacitor (C).

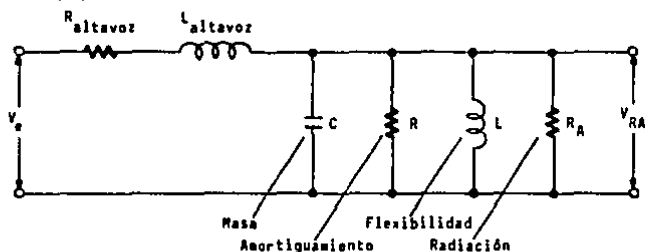


FIGURA 3.3-4

El contorno y la parte central del cono están unidos elásticamente a la armazón (campana). Para el amplificador la flexibilidad de esta unión y del aire desplazado, constituye una inductancia propia (L) aparente, la cual disminuye con cualquier incremento de rigidez. Por otra parte, el sistema está sujeto a cierta cantidad de amortiguamiento debido a cambios de forma que también absorben energía. Tal amortiguamiento puede ser considerado por lo tanto como una resistencia óhmica (R).

Resumiendo, se puede suponer que:

1. Masa de la bobina móvil, cono y aire = capacitancia C.
2. Flexibilidad de la unión del cono = inductancia propia L.
3. Amortiguamiento del cono + aire = resistencia óhmica R.
4. La potencia acústica radiada (esto es la potencia efectiva) es representada por la resistencia óhmica aparente R_A y la tensión eficaz V_{RA} en ésta, por lo tanto

$$\text{Potencia radiada} = P_r = \frac{V_{RA}^2}{R_A} \quad (3.3-1)$$

el circuito equivalente completo de un altavoz puede ser representado como se muestra en la figura 3.3-4.

Característica de respuesta de frecuencia Ahora se considerará lo que sucede cuando un altavoz se conecta a un generador de audio cuya frecuencia varía de 0 a 30000 Hz. Cerca del límite inferior de este intervalo el circuito equivalente tiene una impedancia muy baja, siendo prácticamente cortocircuitada por su bobina, con el resultado de que esta última casi no produce energía acústica (situación ilustrada en la figura 3.3-5). Hacia frecuencias muy altas el efecto capacitivo de C se eleva hasta que éste constituye -- también un cortocircuito virtual, de tal forma que la energía acústica es otra vez despreciable (ver figura 3.3-6).

Por otra parte, la variación de la respuesta entre las frecuencias altas y bajas depende principalmente de los tres factores siguientes:

- A. Resonancia
- B. Cortocircuito acústico
- C. Area efectiva del cono

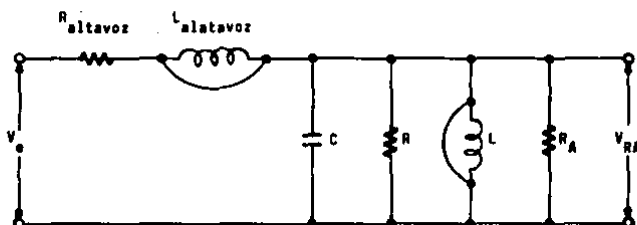


FIGURA 3.3-5

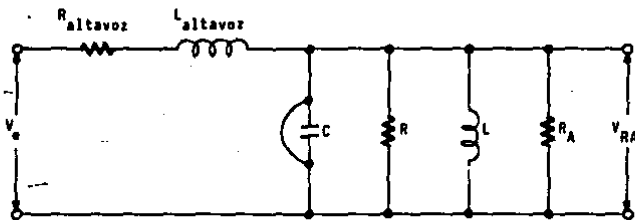


FIGURA 3.3-6

A. RESONANCIA.

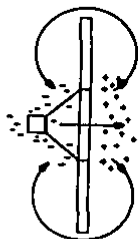
Incrementando la frecuencia desde cero, llega un momento en el cual el cono entra en resonancia. Es decir, a una determinada frecuencia (frecuencia de resonancia) el sistema móvil del altavoz (cono y elementos unidos a él) vibra con mayor facilidad. La situación correspondiente en el circuito equivalente es que las impedancias de C y L son iguales, presentando la impedancia equivalente total su valor máximo.

B. CORTOCIRCUITO ACUSTICO.

Con movimiento frontal, el cono origina compresión al frente y rarefacción atrás, en un momento determinado. Con el altavoz montado en una caja acústica relativamente pequeña, el aire comprimido se esparce alrededor de la orilla de la caja acústica dentro de la zona de rarefacción aún presente en la parte posterior, con la respectiva inhibición del movimiento del cono (ver figura 3.3-7). Este cortocircuito acústico, como puede ser llamado, empeora con las frecuencias bajas debido a que el período de estas vibraciones es relativamente prolongado comparado con los tonos agudos. De no

existir la caja acústica, la onda de compresión producida por un lado del diafragma sería cancelada por la onda de rarefacción generada por el otro lado, excepto en el caso de sonidos altos cuya longitud de onda sea pequeña en relación con el diafragma.

Considerese por ejemplo una nota de 50 Hz para estudiar el efecto sobre ésta. El período de una sola vibración completa es un cincuentavo de segundo y aquél de la mitad de una vibración (tiempo que le toma al aire ser comprimido y rarefocado) $1/100$ de segundo, tiempo en el cual la vibración de aire (u onda) viaja -- $1/100 \times 330 \text{ m} = 3.30 \text{ m}$. (Ver figura. 3.3-8.)



Caja Acústica Pequeña

FIGURA 3.3-7

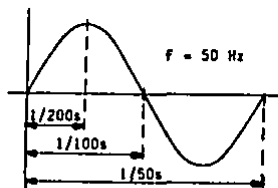


FIGURA 3.3-8

Para prevenir que la compresión de aire en un lado de la caja acústica tenga algún efecto apreciable sobre la rarefacción en el otro lado, la distancia desde el centro de la compresión o rarefacción a la orilla de la caja acústica (a en la figura 3.3-9) debe ser por consiguiente al menos de $1/2 \times 3.30 \text{ m}$ (para una nota de 50 Hz).

En otras palabras, el tono al borde de una atenuación perceptible (debido al tamaño limitado de la caja acústica) tiene una frecuencia correspondiente a una longitud de onda equivalente a --

cuatro veces la distancia del centro del altavoz a la orilla de la caja acústica. En el ejemplo esto significa que para una nota de 50 Hz, la caja acústica deberá tener un área de al menos $3.30 \times 3.30 = 10.89 \text{ m}^2$.

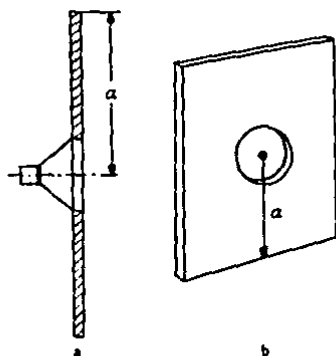


FIGURA 3.3-9

El cortocircuito acústico (con una caja acústica determinada) disminuye con las frecuencias altas, hasta aquella en la cual llega a ser insignificante. Esta última recibe el nombre de *frecuencia de transición* (ver figura 3.3-10).

C. AREA EFECTIVA DEL CONO.

Debido a que las dimensiones del cono son pequeñas con relación a la longitud de onda del sonido reproducido, la totalidad de su área se considera eficaz. Por consiguiente, el cono se comporta como un pistón, es decir, como un conjunto rígido sin reflexiones. Pero a frecuencias altas la situación cambia. En este caso algunos puntos sobre un cono uniforme aún pueden vibrar en contraste con el

resto, reduciendo considerablemente así la presión sonora y con es to la sensación de sonido. De aquí que el borde del cono tenga - una o más ondulaciones para eliminar los puntos muertos. No obs tante, existe el inconveniente de que sólo la región interior del co no responde efectivamente a frecuencias altas.

Esta es la causa de que algunos altavoces utilicen doble co- no, es decir, un pequeño cono rígido interno, llamado generalmen- te cono difusor. Este está unido a la bobina móvil en la emboca- dura de un cono más grande a fin de que este último tenga una - mayor eficiencia para difundir (únicamente) los movimientos de la bobina hacia el aire y por lo tanto reproducir las frecuencias al- tas.

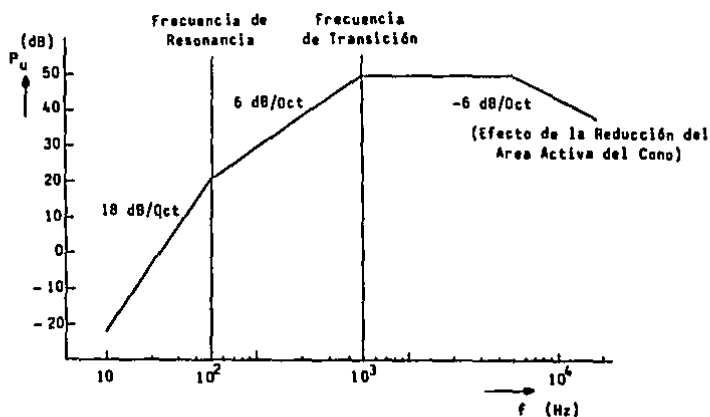


FIGURA 3.3-10

Este efecto ocurre normalmente a frecuencias más altas que - la frecuencia de transición. Por lo que a frecuencias uniformes - superiores la influencia capacitiva establece el límite del ancho de

banda.

En la figura 3.3-10 se ilustra la curva teórica de la característica de respuesta en frecuencia del altavoz, obtenida de esta manera. Sus características fundamentales son igualmente perceptibles en la curva característica real, tal como se muestra en la figura 3.3-11.

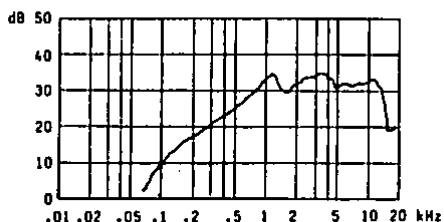


FIGURA 3.3-11

Sin embargo, en la práctica se involucran otros factores, que dependen en su mayoría de las circunstancias bajo las cuales se obtiene la curva característica. Por ejemplo, un altavoz montado dentro de una caja acústica tiene una respuesta en frecuencia mucho mejor que aquél que no lo está. Y debido a que es prácticamente imposible prever las condiciones bajo las cuales se utilizará finalmente el altavoz (o comparar completamente altavoces a menos que sus características hayan sido obtenidas bajo condiciones idénticas), las características publicadas son determinadas frecuentemente bajo dos situaciones diferentes, a saber:

1. Alojado en una caja acústica lo más pequeña posible ("columna modular").

2. Montado en una caja acústica grande.

La columna modular proviene de lo que se conoce como "radiador lineal". Si el conducto empleado en el principio del radiador lineal es lo suficientemente largo para hacer despreciable la reacción entre el frente y la parte posterior del altavoz, y el radio de este último es pequeño comparado con la distancia del punto de medición, entonces el altavoz actúa como un auténtico radiador esférico (radiador isotrópico), es decir, como un radiador que emite energía igualmente en todas las direcciones (ver figura 3.3-12).

Si se sella el conducto inmediatamente atrás del altavoz (ver figura 3.3-13), se obtiene una columna modular que funciona también como un radiador esférico.

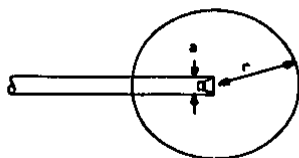


FIGURA 3.3-12

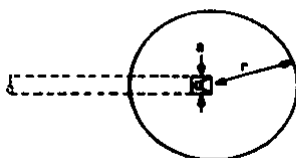


FIGURA 3.3-13

En el segundo caso, la distancia entre la orilla de la caja acústica y el centro del altavoz se considera lo suficientemente grande para evitar así cualquier reacción perceptible entre el frente y la parte posterior del altavoz. Esto produce el diagrama de radiación o de directividad de la figura 3.3-14.

Además se ha estipulado que estas características de respues

ta en frecuencia sean medidas como sigue:

- A. En una cámara anecoica (o sala acústicamente inerte).
- B. Con el micrófono en el eje del altavoz, y en ángulos de 30° y 60° respectivamente.
- C. Con el altavoz a 1 metro del micrófono.
- D. Con una potencia de entrada de 1 W.
- E. El nivel sonoro medido debe estar expresado en dB con respecto al nivel de referencia de 10^{-12} W/m².

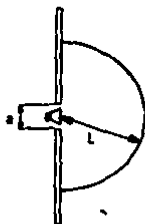


FIGURA 3.3-14

Por otra parte, la característica de frecuencia no da una respuesta absoluta en cuanto a la calidad de reproducción de sonido, donde está relacionada la distorsión. Sin embargo, el ancho y la forma general de la curva característica indican la gama de frecuencias y el nivel de salida, obteniéndose con este último alguna idea de la sensibilidad.

Impedancia del altavoz Como es evidente en el circuito equivalente del altavoz (figura 3.3-4), la impedancia no es constante, es decir, depende de la frecuencia. En la figura 3.3-15 se muestra la

variación aproximada de la Impedancia como una función de la frecuencia.

El término *impedancia nominal del altavoz* se refiere a la impedancia de acoplamiento del altavoz al amplificador. Este valor nominal es el equivalente óhmico del altavoz, usado para medir su potencia eléctrica. Por lo general, se elige la impedancia con la cual se obtiene la potencia máxima dentro de la gama de frecuencias particular (aunque sujeta a la condición de que esta impedancia nominal no debe ser mayor que el 20% de la impedancia más baja, dentro de la gama de frecuencias nominal).

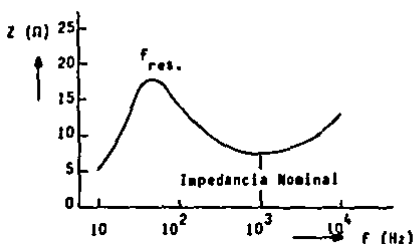


FIGURA 3.3-15

La frecuencia de prueba elegida es generalmente 1000 Hz, -- aunque para medir algunos altavoces se emplea también una frecuencia de referencia de 400 Hz. De cualquier forma, la impedancia -- deberá estar en la parte plana de la curva característica de respuesta de frecuencia.

Las impedancias de los altavoces han sido estandarizadas a valores de 4, 8 y 16 ohms.

Capacidad de potencia La capacidad de potencia de un altavoz es la potencia máxima admisible que éste puede manejar sin ser dañado y sin presentar distorsión perceptible. Ahora bien, la potencia de salida de un amplificador de audio no está distribuida con igualdad por toda la gama de frecuencias, como se observa en la figura 3.3-16.

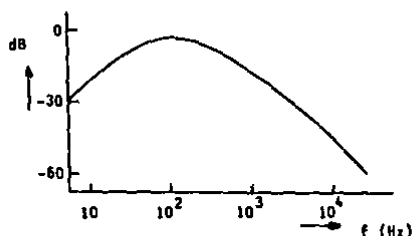


FIGURA 3.3-16

Debido a que la "señal musical" es impropia para propósitos de prueba, se emplea en su lugar "señal de ruido blanco", es decir, una señal de sonido complejo cuyo espectro es continuo y uniforme en función de la frecuencia, en la banda de frecuencias considerada. El espectro de frecuencias de este ruido blanco se ajusta a la curva característica ilustrada en la figura 3.3-16.

Incidentalmente, en esta curva también se observa que la reproducción por separado de tonos graves y agudos, permite el uso de un altavoz para altas frecuencias con una potencia admisible menor que la potencia de salida del amplificador. Asimismo, con esto se logra una mayor calidad en la reproducción de sonido.

Distorsión La calidad de una instalación de sonido depende en gran parte de la cantidad de distorsión del altavoz. Tal distorsión puede ser "lineal" o "no lineal".

Para tener la mínima molestia con la distorsión "no lineal", es conveniente evitar suministrar demasiada potencia al altavoz, -- así como colocar a éste en una caja acústica lo suficientemente -- grande.

Probablemente la distorsión más irritante en un altavoz es la *distorsión por intermodulación*, la cual es una clase de distorsión no lineal, y se debe a que una nota grave fuerte coincide con una nota aguda débil en la misma señal sonora, con el resultado de -- que la primera modula a la otra produciendo vibraciones parásitas, cuyas frecuencias son respectivamente iguales a las sumas y diferencias de los múltiplos enteros de las frecuencias componentes de la onda compleja original. Es decir, cuando el altavoz emite al mismo tiempo un sonido grave y otro agudo, el segundo actúa como frecuencia portadora que el primero modula en amplitud; esto se -- traduce en la emisión de sonidos parásitos (diferenciales y aditivos) que en general no están en relación armónica con los sonidos originales. Y como estas frecuencias secundarias no son armónicas de su respectiva fundamental, hasta un porcentaje pequeño de ellas molesta al oído.

La distorsión por intermodulación en los altavoces, tiene por causa común la alinealidad del sistema móvil, la cual ocasiona -- también distorsión por armónicas.

La mejor manera para mantener la distorsión por intermodula

ción dentro de los límites, es reproduciendo las notas graves y las agudas por separado, ya que esto ahorra al altavoz la tarea de reproducir frecuencias sumamente diferentes al mismo tiempo.

La distorsión lineal ocurre debido a que la característica de respuesta del altavoz no es completamente plana, como se podrá ver en la curva aproximada de la figura 3.3-10; donde existe posibilidad de mejoramiento, particularmente hacia el extremo inferior de la banda de frecuencias. Ya que la longitud de onda del sonido reproducido, a la frecuencia de transición acústica, es cuatro veces la distancia del centro del altavoz a la orilla de la caja acústica, la parte recta de la curva puede ser extendida hacia las frecuencias bajas, utilizando una caja acústica mayor. La figura 3.3-17

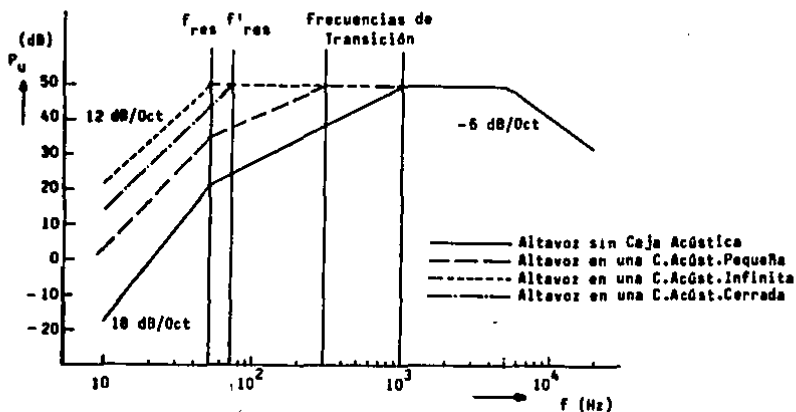


FIGURA 3.3-17

muestra la respuesta aproximada de un altavoz montado en una caja acústica de tamaño pequeño y en otra de tamaño infinito (caja acústica totalmente cerrada). Esta figura ilustra claramente tam-

bién el amplio mejoramiento en la respuesta de notas graves, utilizando una caja acústica.

Sensibilidad La sensibilidad de un altavoz se expresa normalmente en términos de presión sonora medida sobre el eje de su centro acústico, con una señal de entrada de 1 W y con el altavoz a 1 m del micrófono, empleando una señal de prueba de 1000 Hz.

El nivel de presión sonora aumenta duplicando la potencia y disminuye duplicando la distancia, a razón de 3 dB y 6 dB, respectivamente (Tabla 3.3-1).

Por ejemplo, 1 W suministrado a una columna de altavoces de 100 dB (a 1 W 1 m) de sensibilidad, ocasiona una presión sonora de 70 dB a 32 m de la columna (esto es, incrementando la distancia a 32 metros, disminuye el nivel de presión sonora $5 \times (-6) = -30$ dB).

	Distancia a la fuente (m)	Sensibilidad a 1 W (dB)
Duplicando la distancia	1	100 El nivel decae
	2	94 6 dB cada vez
	4	88 que la distancia
	8	82 es duplicada.
	16	76
	32	70

Por otra parte, una señal de entrada de 8 W representa que el valor de referencia estipulado de 1 W, sea duplicado tres veces.

De aquí que esto resulte en un incremento de $3 \times 3 = 9$ dB. Por consiguiente, a una distancia de 32 metros y con una señal de 8 W aplicada a esta columna de altavoces (con una sensibilidad nominal de 100 dB a 1 W 1 m), resulta una presión sonora de $100 - 30 + 9 = 79$ dB.

Selectividad direccional Una información precisa en cuanto a la directividad, es sumamente importante para el uso correcto de los altavoces. Por consiguiente, ésta deberá incluir una relación de los niveles de presión sonora en dB (0 dB SPL) para cada octava,

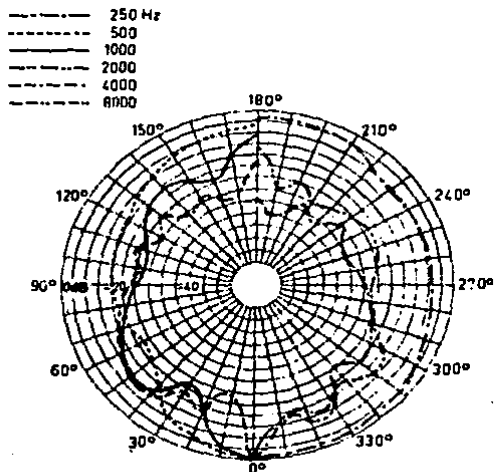


FIGURA 3.3-18

con las eficiencias acústicas respectivas para ángulos de 0°, 30° y 60° del eje. Los valores citados son medidos con una señal de ruido rosa, es decir, una señal de ruido filtrado con una banda de

frecuencias de 20 a 20 000 Hz, usada para simular señales de voz y música con la mayor exactitud posible. Esta señal tiene asimismo, el efecto de compensar la presión sonora por octava.

Además, la atenuación relativa de tonos a 250, 500, 1000, 2000, 4000 y 8000 Hz, es representada gráficamente en función de la dirección de propagación de la onda, en un diagrama polar (ver figura 3.3-18). Sólo se muestra la mitad de cada curva, debido a que éstas son perfectamente simétricas.

Por ejemplo, a 8000 Hz existe una atenuación de 28 dB en la presión sonora, a un ángulo de 270° del eje. No obstante, lo mismo se aplica para el ángulo suplementario de 90° .

4

CRITERIOS DE DISEÑO PARA SISTEMAS COMPENSADORES DE VOLUMEN

4.1 PROPIEDADES DEL OIDO

La clave para el diseño de un sistema compensador de nivel sonoro para ambientes ruidosos, es el entendimiento de las propiedades del sentido de la audición. Aparte de que el oído y el cerebro tienen la capacidad de detectar sonidos de una gama superior a los 100 decibeles, el sistema de audición humano realiza muchas otras funciones. Entre otras cosas, proporciona un filtro único que compensa diferenciando frecuencias y distingue entre varios so

nidos característicos.

Nivel acústico El sonido, definido como cualquier vibración acústica capaz de estimular una sensación auditiva, induce cambios rápidos de presión de aire. Para medir estos cambios de presión se ha establecido el microbar; unidad que se define como la presión ejercida por una dina sobre una superficie de un centímetro cuadrado (y es aproximadamente igual a un millonésimo de la presión atmosférica).

Con el objeto de establecer una norma práctica para la medición del nivel de presión sonora, se ha determinado experimentalmente el promedio de la presión sonora mínima perceptible de personas con audición normal. Este *umbral de audibilidad* es extremadamente bajo, esto es 2×10^{-4} microbaras a 1000 Hz, y se usa como valor de referencia o nivel cero para expresar niveles acústicos en escalas logarítmicas (0 dB SPL).

El otro extremo de la audición se le conoce como *umbral de dolor*, es decir el nivel de presión sonora a la cual el sonido de determinada frecuencia empieza a percibirse como sensación táctil, y por consiguiente dolorosa para el oído. Para una frecuencia de 1000 Hz, el umbral de dolor es de 200 microbaras, y por lo tanto corresponde a una presión sonora un millón de veces más grande que la del umbral de audición (ver figura 4.1-1). La zona entre los umbrales de audición y de dolor se le llama *zona de sensación auditiva*.

Analizando la curva del umbral de audición, se observa que el oído humano actúa como un filtro de banda angosta a niveles -

acústicos muy bajos. No obstante, su respuesta se incrementa a un ancho de banda más amplio a medida que el nivel acústico aumenta.

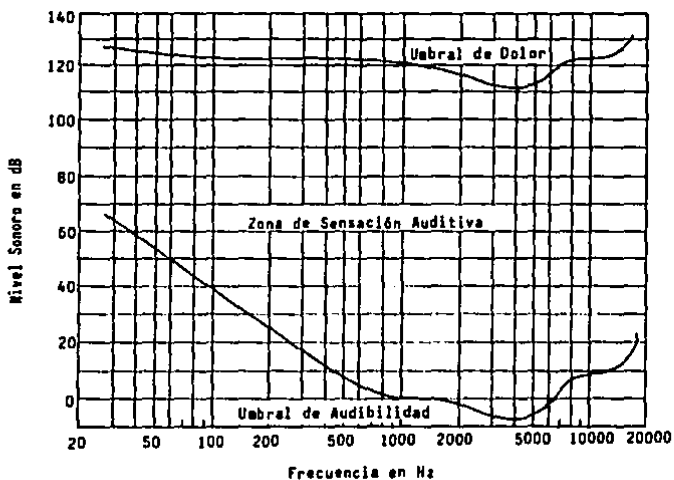


FIGURA 4.1-1

Por otra parte, cada vibración sonora posee una cierta cantidad de potencia, o en otras palabras, una cantidad específica de energía por unidad de tiempo. Asimismo, la presión del sonido en un determinado lugar está relacionada directamente con su intensidad, esto es, la energía acústica interceptada por segundo por metro cuadrado.

Ahora bien, la intensidad del sonido al nivel cero internacional es 10^{-12} W/m^2 , correspondiendo a una presión sonora (valor alternativo eficaz de la amplitud de las variaciones de presión del

aire) de 2×10^{-4} dinas/cm² = 2×10^{-4} μ bar.

Como la intensidad es proporcional al cuadrado de la amplitud, la zona de sensación auditiva tiene una gama de intensidad total de 1000000×1000000 o 10^{12} veces el nivel cero (ver figura 4.1-1).

Tono y sonoridad Como se ha visto, el nivel de energía en el umbral de audibilidad varía apreciablemente con la frecuencia. Para tener en cuenta esto, existe un concepto llamado *sonoridad*, o en otras palabras, la magnitud de la sensación auditiva causada por un sonido de una intensidad determinada, y que depende de la amplitud física de la onda y de su frecuencia. La sonoridad de una nota determinada se define como el nivel de presión acústica de un tono puro con frecuencia de 1000 Hz, juzgado a ser equivalente en intensidad sonora (lo que muestra que el concepto "sonoridad" se refiere a la intensidad subjetiva del sonido). El *fonio* es la unidad de sonoridad equivalente fundada en la sensibilidad del oído humano medio.

Las sensaciones auditivas de tono y sonoridad tienen una relación compleja con las cantidades físicas respectivas, frecuencia e intensidad del sonido. Sin embargo, la sonoridad objetiva de un sonido particular no sólo está determinada por su intensidad, sino también en gran medida por su frecuencia. Esta idiosincrasia de la audición está representada en una *gráfica isofónica*, la cual contiene curvas isofónicas (contornos de igual sensación sonora) que ilustran los valores correlacionados del nivel de intensidad sonora y de la frecuencia necesarios para producir un nivel

dado de sensación auditiva (ver figura 4.1-2). Asimismo, estas - curvas ponen de manifiesto que es necesaria mucha más energía - para producir notas graves de una sonoridad determinada que pa- - ra las notas altas del registro medio.

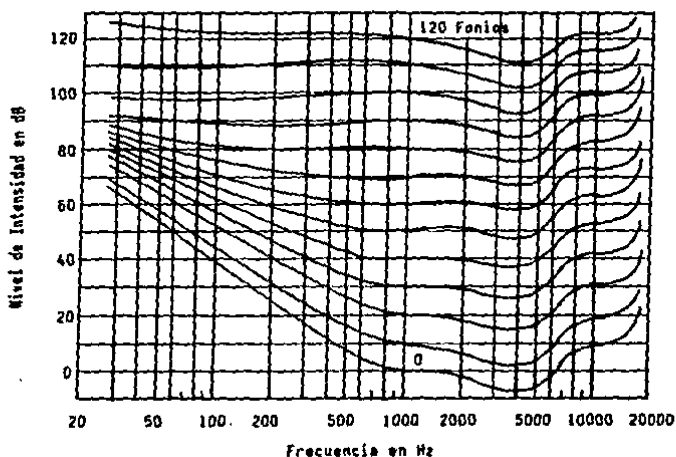


FIGURA 4.1-2

El nivel de sonoridad, en fonios, es numéricamente igual al nivel de presión acústica (en dB SPL) para una nota de 1000 Hz. A esta frecuencia, la curva de 0-fonios (nivel perceptible mínimo de intensidad) coincide con el umbral de audibilidad; por lo tanto los valores de fonio y decibel son idénticos, aunque diferentes a otras frecuencias.

Enmascaramiento Los contornos de sonoridad de la figura 4.1-2

fueron generados por componentes de una sola frecuencia en un ambiente totalmente silencioso. No obstante, los niveles mínimos de intensidad perceptible podrían incrementarse con la presencia de ruido no deseado. Este efecto se caracteriza por la presencia de un desplazamiento aparente de nivel, en forma de señales mínimas perceptibles (SMP) en función de la intensidad de un tono de enmascaramiento de frecuencia única. Por consiguiente, existe una disminución de sensibilidad del oído (o aumento del umbral de audibilidad) para determinado sonido en presencia de otro.

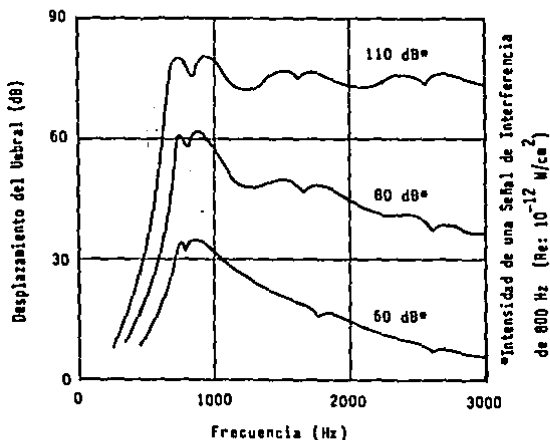


FIGURA 4.1-3

Un ejemplo del incremento en el umbral de las SMP con la presencia de un tono enmascarante de 800 Hz, se muestra en la figura 4.1-3. De estas curvas, es evidente que la presencia de tonos puros incrementan la intensidad de las señales mínimas perceptibles, a frecuencias próximas y superiores a la de la señal per-

turbadora de 800 Hz. Asimismo, se observa que el enmascaramiento es menos significativo a frecuencias inferiores al tono enmascaramante, y que existe una rápida disminución en el umbral de la señal perceptible, a frecuencias superiores a los 800 Hz, cuando se utilizan niveles de señal perturbadora más débiles.

El enmascaramiento no sufre un cambio significativo en ambientes reales, donde se encuentran componentes de múltiples frecuencias. En este caso, el ruido aleatorio tiende a incrementar el nivel de las SMP para las señales de interés de la misma frecuencia o superior a ésta. Por otra parte, el ruido de alta frecuencia tiene relativamente poco efecto sobre la percepción auditiva de las señales de audio de baja frecuencia.

4.2 POTENCIA DE AMPLIFICACION REQUERIDA

Para producir una sensación fiel de un sonido (ya sea voz o música), el nivel de presión sonora en el oído del oyente teóricamente debe de ser el mismo que el de la fuente sonora original.

La determinación de la potencia de salida requerida del amplificador es uno de los problemas principales en el diseño de una instalación sonora, puesto que la elección del equipo depende de ésta. Y debido a que se ve afectada por muchos factores, es extremadamente difícil (si no imposible) calcular exactamente la potencia requerida. Afortunadamente esto no es demasiado crítico, ya que para propósitos prácticos es suficiente con calcular la potencia aproximada.

Suponiendo que se trata de una instalación de un sistema sonoro en un recinto cerrado determinando, uno de los problemas principales será calcular la potencia necesaria para que el sistema opere satisfactoriamente.

Antes que nada, la teoría de la electroacústica proporciona varias fórmulas, métodos de medición y cálculos gráficos con los cuales solucionar este problema. Sin embargo, en la práctica existe otro método de cálculo empleado en conjunción con las tablas asociadas, con el cual se determinará la potencia correcta de una manera más simple.

Existen sólo tres factores fundamentales que se deben establecer previamente, los cuales se definen a continuación.

A. El volumen V del recinto cerrado determinado.

Este es obtenido fácilmente como el producto de la longitud, anchura y altura del recinto.

B. El tiempo de reverberación TR .

El tiempo de reverberación es esencialmente la medida de la *viveza* o la *inactividad* acústica de un salón o recinto cerrado, y es expresado en segundos. Se define el tiempo de reverberación como "el tiempo en segundos necesario para que la energía acústica en un recinto se reduzca a un millonésimo de su valor inicial, a partir del instante en que se interrumpe la emisión del sonido"; esta reducción corresponde a un decremento de 60 dB. Como es de esperarse, el factor más significativo que afecta el tiempo de reverberación es el tamaño o volumen del salón.

Asimismo, el tiempo de reverberación de un salón varía consi

derablemente con la frecuencia, siendo dependiente de las características de absorción acústica de las superficies del salón y del área de cada una de éstas. Sin embargo, en la práctica se cita regularmente un valor único de tiempo de reverberación, el cual es generalmente un valor promedio a 500 Hz.

Para obtener en forma directa el tiempo de reverberación de un recinto, se requiere de equipo de medición especializado sumamente costoso. No obstante, existen dos alternativas: efectuar una estimación del tiempo de reverberación probable, o comparar el recinto con otro similar cuyo tiempo de reverberación sea conocido.

En la tabla 4.2-1 se presenta información sobre los tiempos de reverberación típicos para diferentes clases de recintos.

Por otra parte, también es evidente que el tiempo de reverberación en un salón determinado es constante, es decir, es independiente de donde se encuentren el oyente y las fuentes sonoras.

A continuación se citan cinco reglas desarrolladas por el célebre físico W. C. Sabine:

1. El tiempo de reverberación en un determinado salón, es el mismo cualesquiera que sea la posición de la fuente sonora.
2. El tiempo de reverberación en un determinado salón, es el mismo dondequiera que se encuentre el oyente.
3. La falta de inteligibilidad en un salón, se debe casi invariablemente al tiempo de reverberación excesivo.
4. La forma de un salón no afecta mucho, generalmente, el

Tabla 4.2-1 TIEMPOS DE REVERBERACION

CLASE DE SALON	TR (segundos) TIPICO	COMENTARIOS
Sala de estar de un hogar (bien amueblada)	0.3 - 0.4	
Sala de estar de un hogar (escasamente amueblada)	0.5 - 0.7	
Despachos de lujo	0.4 - 0.6	
Oficinas pequeñas y salas de juntas	0.5 - 0.7	Dependiendo del tamaño y acondicionamiento del salón.
Salones de conferencias	0.6 - 1.1	
Aulas	0.8 - 1.1	Los TRs en salones pobremente acondicionados son a menudo mucho más largos que los óptimos. El tamaño de la audiencia también afecta en gran medida el TR.
Teatros	0.9 - 1.2	
Cines	0.8 - 1.3	
Clubes	0.8 - 1.4	
Salas de propósito general/ auditorios	1.0 - 2.0	
Tribunales de justicia	1.0 - 2.5	
Salas de conciertos	1.8 - 2.5	
Gimnasios	1.5 - 3.0	Si están excepcionalmente bien acondicionados se puede reducir a 2.5 s.
Albercas/pistas de patinaje	4.0 - 6.0	
Iglesias	2.0 - 4.0	
Catedrales	4 - 6	segundos más

tiempo de reverberación.

5. Los factores que determinan el tiempo de reverberación son la cantidad total de material acústico absorbente en el salón, y el volumen del mismo.

C. El nivel de ruido.

Estrictamente hablando, la única manera de encontrar el nivel de ruido es midiéndolo.

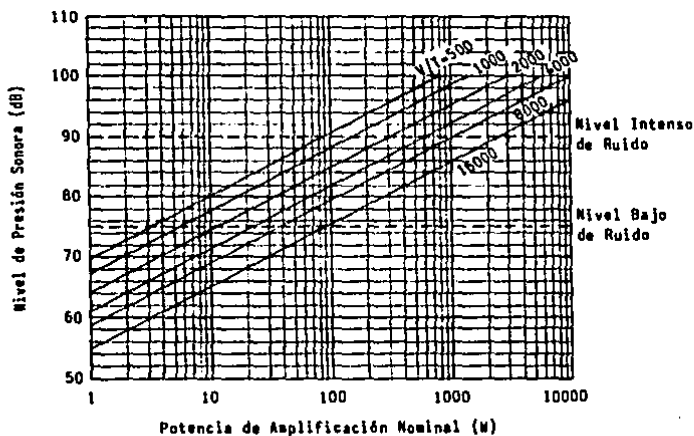
Sin embargo, debido a que una medición real requiere de instrumentos costosos, existe la alternativa de estimar el nivel de ruido *aproximado* en un recinto determinado con la ayuda de la tabla 4.2-2, en la cual se citan los diferentes valores de nivel de ruido para diversas fuentes sonoras. Esto es importante puesto que se necesitará conocer cuánta potencia de amplificación utilizar a fin de incrementar el nivel sonoro al menos 10 dB por encima

Tabla 4.2-2

FUENTE DE DISTURBIO	NIVEL (dB)
Susurro de los árboles.....	20
Murmullo a 1 m de distancia.....	30
Música de radio (suave).....	40
Público esperando el comienzo de la película.....	50
Voz normal a 1 m de distancia.....	60
Restaurante ruidoso.....	70
Ruido en la vía pública.....	80
Orquesta tocando.....	90
Fábrica de tejidos, tránsito de trenes.....	100
Helicóptero a 10 m de distancia.....	110
Avión de reacción a 15 m de distancia.....	120

del nivel de ruido ambiente, aunque con la debida consideración al problema de la retroalimentación acústica.

En la figura 4.2-1 se ilustra una gráfica en la cual se relacionan los tres factores anteriores en función de la potencia de amplificación nominal. Esta gráfica se deriva de la combinación y coordinación de varias fórmulas electroacústicas existentes y toma en consideración el hecho de que el sonido reproducido, para ser debidamente inteligible, debe sobrepasar el nivel de ruido al menos 10 dB.



V = Volumen del Recinto en Metros Cúbicos
 TR = Tiempo de Reverberación en Segundos

FIGURA 4.2-1

Por ejemplo, supóngase que finalmente se llegaron a los resultados siguientes:

- a. El salón tiene un nivel de ruido de 75 dB.
- b. Un volumen de 4000 m^3 .
- c. Un tiempo de reverberación de dos segundos.

El objetivo es determinar cuánta potencia de amplificación se ra necesitada en el recinto mencionado. Puesto que el nivel de ruido es de 75 dB, el sonido tendrá que ser reproducido a 85 dB para mantener los 10 dB de diferencia de nivel estipulados.

De la gráfica de la figura 4.2-1, uniendo las líneas de 85 y 2000 (volumen del recinto dividido entre su tiempo de reverberación) se leerá un valor de potencia nominal de 100 W.

Por lo tanto, una potencia admisible de 100 W suministrada a dicho recinto producirá un nivel sonoro de 85 dB, esto es 10 dB por encima del nivel de ruido ambiental de 75 dB. Ésta es la potencia total a ser suministrada, sin considerar el número de altavoces que se emplearán para este propósito. De aquí que se pueden utilizar, por ejemplo, diez de 10 W, veinte de 5 W, cuatro de 25 W, etc.

4.3 NIVEL SONORO TOTAL

Para producir una sensación fiel de un sonido (ya sea voz o música) el nivel de presión sonora en el oído del oyente debe ser, teóricamente, el mismo que el de la fuente sonora original.

Un factor fundamental para conseguir lo anterior es, aparte

de la potencia de amplificación, la eficiencia o sensibilidad del altavoz, es decir, el comportamiento de éste con una potencia de entrada determinada. Los altavoces de alta sensibilidad necesitan menos potencia para suministrar un determinado nivel de presión sonora que aquéllos de baja sensibilidad.

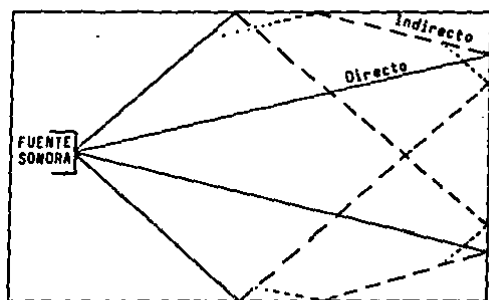


FIGURA 4.3-1

Por otra parte, un sistema sonoro no puede ser utilizado debidamente sin tomar en consideración no sólo las características de los dispositivos electroacústicos, sino también el comportamiento del sonido en el lugar determinado.

Los espectadores en un salón reciben sólo una pequeña fracción del sonido directo total de la fuente ("sonido directo") y con gran diferencia la mayor parte a través de la reflexión de las paredes ("sonido indirecto") (ver figura 4.3-1). Por lo tanto, en un recinto cerrado el campo acústico está compuesto por dos componentes; la directa y la reverberante.

Por eso es que la voz y la música suenan más fuerte en un

local o salón que al aire libre, donde casi todo el sonido es directo debido a la ausencia virtual de barreras reflejantes.

La componente directa está siempre presente, aun a grandes distancias en recintos sumamente reverberantes. Evidentemente ésta puede ser cubierta completamente por la energía reverberante; no obstante todavía está presente. La componente directa es importante puesto que proporciona la mayoría de la información inteligible y direccional. Por el contrario, la componente reverberante enmascara la directa y, por lo tanto, degrada la inteligibilidad.

Ahora bien, el sonido directo es sumamente característico de su fuente. Este conduce la información y el valor artístico de manera inherente en la ejecución. De aquí que el altavoz, para reproducir fielmente cualquier sonido, debe recrear el sonido directo con su espectro natural y gama dinámica completa. Sin embargo, el sonido indirecto, aunque de la misma fuente original, es característico principalmente de la acústica de la sala.

Distancia crítica (Dc) Cuando se diseña un sistema sonoro se debe tratar de colocar los altavoces de tal manera que la mayoría de las personas estén en el campo de radiación directa, ya que éste estipula las posiciones de mayor inteligibilidad. La distancia a la cual las componentes directa y reverberante son iguales se conoce como *distancia crítica*, y puede ser calculada por medio de la siguiente ecuación:

$$D_c = 0.057 [(QVM)/(TR)(N+1)]^{\frac{1}{2}} \quad (4.3-1)$$

donde: Dc = distancia crítica en metros

- Q = directividad de la fuente
 V = volumen del recinto en m³
 M = modificador debido a la absorción de la audiencia
 TR = tiempo de reverberación en segundos
 N = número de fuentes (o grupos de altavoces) semejantes

Por lo tanto, el conocimiento de la distancia crítica establece a qué distancia de la fuente sonora deberá estar el oyente más lejano.

A. INDICE DE DIRECTIVIDAD (Q).

El término directividad se refiere generalmente a las propiedades direccionales del altavoz. En otras palabras, el *índice de directividad* de un altavoz es un número único, el cual describe la respuesta polar de la unidad. Los índices varían de 1 (altavoz omnidireccional) a valores arriba de 50 (altavoz de gran directividad). Las propiedades direccionales de los altavoces generalmente son de pendientes de la frecuencia; de aquí que un valor de Q siempre es té relacionado con una frecuencia determinada o, en el caso de un dispositivo de directividad "constante", con una gama de frecuencias. Este índice de directividad se puede encontrar en los datos del fabricante del altavoz.

B. OTROS FACTORES.

El volumen requiere poca explicación, excepto que no se requiere un cálculo riguroso.

El factor TR se refiere esencialmente al grado de "viveza" acústica de un recinto. El tiempo de reverberación requerido para

un salón que se empleará para la reproducción de voz, no debe exceder de 1.2 segundos. Sin embargo, para la reproducción de música la reverberación es esencial; así que en una sala de conciertos se requiere de 1.8 a 2.5 segundos de reverberación.

El factor $(N+1)$ se refiere a lo siguiente: Si se considera un sistema sonoro con un gran número de altavoces distribuidos, el nivel de sonido directo percibido en una posición particular será el resultado de la potencia acústica del altavoz más cercano. Los demás altavoces del sistema, en cuanto al oyente concierne, sólo proporcionan energía reverberante.

La razón de que este factor sea expresado como $(N+1)$, en lugar del número total de altavoces, es que en algunos sistemas un oyente puede percibir la componente directa de más de una fuente, es decir, puede estar colocado equidistante a dos altavoces iguales. Es por esto que N se refiere al número de fuentes semejantes.

El término M es un coeficiente que toma en cuenta el efecto causado por una superficie de absorción mayor, cuando se emplean altavoces direccionales y se dirige el sonido sobre esta superficie.

De aquí que si se utilizan altavoces direccionales, y se dirige el sonido sobre la audiencia, se podrá esperar un aumento en la inteligibilidad puesto que se presentará menos energía en el campo reverberante.

Generalmente se elige para el factor M la unidad, es decir, $M = 1$.

Distancia y potencia Refiriéndose al efecto de la distancia sobre la presión sonora, se ha dicho que ésta disminuye 6 dB cada vez

que se duplica la distancia; asimismo, si la potencia de salida es duplicada el nivel de presión sonora se incrementará 3 dB.

Ahora bien, con el incremento de la distancia a la fuente sonora (en un recinto cerrado), la componente del campo sonoro cambia de directa a reverberante. En el campo directo, la atenuación con el incremento de la distancia obedece a la pérdida de 6 dB cada vez que el intervalo de distancia se duplica. Por el contrario, como el sonido indirecto es *difuso* (debido a la reflexión irregular de las paredes), en el campo reverberante no hay pérdidas con el incremento de la distancia, esto es, la intensidad del campo sonoro es casi constante por todo el recinto (ver figura 4.3-2). Mientras más reverberante sea el salón, más rápida será la salida del campo directo; por el contrario, cuanto más inactivo (sin ecos) sea el salón, la atenuación se aproximará más a la del campo directo (-6 dB por distancia duplicada).

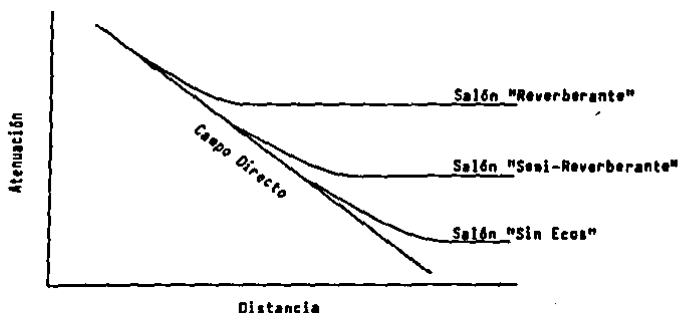


FIGURA 4.3-2

El nivel de presión sonora (de voz o música) en un recinto, a cierta distancia de la fuente sonora y con una potencia de entrada determinada, se puede calcular por medio de la siguiente ecuación:

$$L = A + B - C \quad \text{dB} \quad (4.3-2)$$

donde:

- L** es el nivel de presión sonora, en dB
- A** es la sensibilidad del altavoz, expresada en términos de presión sonora medida a una distancia de 1 m, y con una potencia de entrada de 1 W.
- B** es la contribución de la potencia eléctrica suministrada a la fuente sonora (altavoz). Esta contribución es igual a $10 \log_{10}(W_1/W_2)$, donde el mismo sistema (a la misma distancia) es excitado con W_1 y W_2 watts, respectivamente. Este efecto de la potencia de entrada sobre el altavoz, considerando una potencia de referencia $W_2 = 1 \text{ W}$, produce un incremento en el nivel de presión sonora (equivalente a $10 \log_{10} W_1$) como el representado gráficamente en la figura 4.3-3.
- C** es el efecto de la distancia sobre el nivel sonoro. Este efecto se refiere a la atenuación del nivel de presión sonora entre un punto a 1 m de la fuente y a r metros de la misma fuente, y es igual a $-10 \log_{10}(1/r^2 + 314TR/QV)$. Esta atenuación (referida a 1 m) está representada gráficamente en la figura 4.3-4. Al término $314TR/QV$ se le

conoce como *coeficiente arquitectónico* (CA).

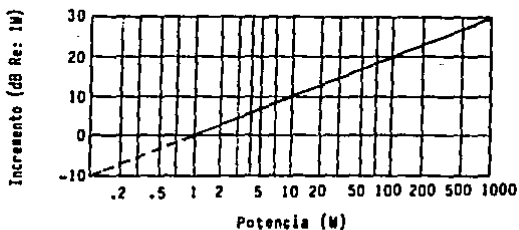


FIGURA 4.3-3

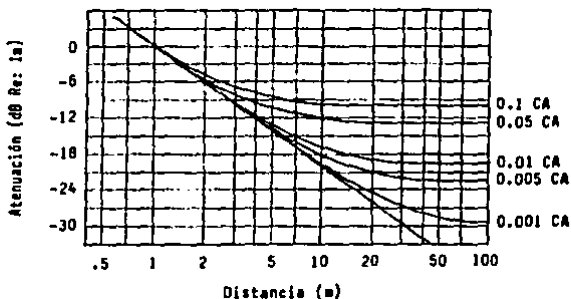


FIGURA 4.3-4

Para poder determinar el nivel de presión sonora se deberá tener en cuenta, primeramente, que la atenuación del sonido (debida al efecto de la distancia) depende de las propiedades direccionales de la fuente y, en segundo término, que se necesitará evaluar el volumen del recinto, el tiempo de reverberación y la directividad del altavoz.

El volumen representa poco problema. El índice de directividad del altavoz se podrá encontrar en las hojas de datos del fabricante, y el TR puede ser obtenido de la tabla 4.2-1.

Por otra parte, cabe señalar que los valores de referencia antes mencionados, se deben a que los fabricantes de altavoces refieren generalmente el nivel de presión sonora a 1 m con una potencia de entrada de 1 W, para establecer los regímenes de sensibilidad.

A continuación se cita un ejemplo ilustrativo:

Supóngase que el nivel de presión sonora requerido a una distancia de 20 m del altavoz es de 90 dB (teniendo en cuenta un nivel promedio de ruido ambiente); en un salón cuyas dimensiones son 40 m x 30 m x 10 m, con un tiempo de reverberación de dos segundos y con un factor Q de 5. El objetivo es determinar la potencia de excitación requerida para este altavoz cuya sensibilidad es de 95 dB a 1 W 1 m.

Cálculos:

$$\text{El volumen del salón} = 40 \times 30 \times 10 = 12000 \text{ m}^3$$

$$\begin{aligned}\text{El coeficiente arquitectónico (CA)} &= (314 \times \text{TR}) / (Q \times V) \\ &= (314 \times 2) / (5 \times 12000) \\ &= 0.01\end{aligned}$$

De la figura 4.3-4, sobre la línea de CA = 0.01, se obtiene que el valor de la atenuación a una distancia de 20 m es C = 19 dB.

Por lo tanto, el altavoz va a producir un nivel de presión sonora A - C = 95 - 19 = 76 dB a 20 m para una entrada de 1 W.

Sin embargo, se requieren 90 dB, por lo que existe una diferencia $B = 90 - 76 = 14$ dB.

De la figura 4.3-3 se puede observar que se necesita excitar el altavoz con 25 W, para suministrar los 14 dB adicionales.

Por consiguiente, para producir un nivel de presión sonora $L = A + B - C = 95 + 14 - 19 = 90$ dB a una distancia de 20 m (utilizando un altavoz que produce 95 dB a 1 W 1 m), se necesita excitar la unidad con 25 W.

Finalmente, para extender el campo directo sobre el reverberante, se podría utilizar un altavoz con un factor de directividad Q más alto. Por ejemplo, si se substituye un factor Q de 10 en el ejercicio anterior, se podrá observar un movimiento hacia el campo directo, es decir, se habrá extendido el campo directo sobre el reverberante.

5

EL CONTROL AUTOMÁTICO DE NIVEL SONORO

5.1 INTRODUCCION

Dentro del contexto de los sistemas de audiodifusión, el objetivo principal es la comunicación; esto es, brindar información inteligible (difusión de voz) y/o reproducción fiel de sonido (difusión de música).

No obstante, el ruido existente en el medio ambiente puede enmascarar la información proveniente del altavoz. Un sistema sonoro instalado, ya sea en un salón de conferencias o en un gimnasio, por ejemplo, frecuentemente tiene que competir con varios nive

les audíbles de ruido ambiente.

Si el nivel de ruido ambiente fuera constante, sería relativamente fácil para el ingeniero de sonido ajustar la señal a un nivel óptimo. Sin embargo, en la mayoría de las situaciones, el nivel de ruido está cambiando constantemente.

Bajo estas circunstancias es cuando se hace de gran utilidad un control automático de nivel sonoro, para ajustar continuamente el nivel óptimo de la señal del sistema de audiodifusión respecto a la cantidad incidental de ruido ambiental.

Este sistema de control compensará automáticamente los cambios de nivel de ruido ambiental, incrementando proporcionalmente el nivel de la señal de salida del altavoz. Asimismo, esta unidad tendrá la capacidad de prevenir, por medio de un arreglo compensador, que el circuito interprete como ruido la señal de audio recibida.

El control automático de nivel sonoro proporcionará al ingeniero de sonido comodidad de manejo en las instalaciones de sistemas sonoros.

5.2 DISEÑO DEL SISTEMA

Un sistema compensador de ruido debe ser capaz de medir el nivel de ruido ambiente con la presencia de señal en el altavoz, pero independientemente de ésta, y entonces ajustar rápidamente el nivel sonoro del altavoz por consiguiente. Para mantener la estabilidad del sistema es necesario efectuar una medición independiente

del nivel de la señal, ya que si el circuito de control interpreta la señal del altavoz como ruido, entonces se tendría como resultado un incremento indefinido en el nivel sonoro de la señal.

Puesto que el sistema de medición de ruido debe estar colocado lo más cercano posible al mismo ambiente ruidoso que el oyente, el detector captará generalmente la señal de salida del altavoz así como el ruido ambiente. Por lo tanto, el sistema de compensación debe ser capaz de separar el ruido de la información.

Para esto, el control automático de nivel sonoro (ver figura 5.2-1) requiere que un micrófono (o detector) esté colocado cerca del oyente, de tal forma que se capte señal y ruido a la vez. La señal de salida del micrófono es amplificada, rectificada y filtrada. Al mismo tiempo, una muestra de la señal de salida del amplificador de control es rectificada y filtrada, y en seguida ésta es restada de la señal de salida del micrófono, la cual está compuesta de señal más ruido. El nivel de tensión resultante, el cual es aproximadamente *proporcional* al nivel de ruido, ajustará entonces la ganancia del amplificador de control para mantener la relación deseada entre la señal y el nivel de ruido. De esta forma, el sistema de retroalimentación compara la señal de salida tomada como muestra con la información del ambiente (señal más ruido), generando así una tensión de control proporcional a los niveles de ruido ambiente. Por consiguiente, el control automático de nivel sonoro estará compuesto por: Un *amplificador de control* que compense automáticamente los cambios de nivel de ruido ambiente, y por un *sistema de retroalimentación*, es decir, un amplificador su-

mador que combinará las señales de salida del amplificador de muestreo y del amplificador de señal y ruido para producir la tensión de control que se suministrará al amplificador de control.

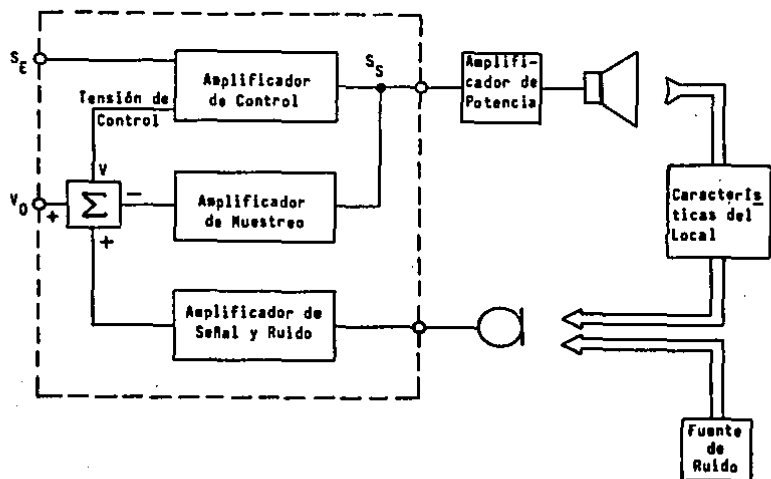


FIGURA 5.2-1

Características de control ideales Asumiendo que el nivel de la señal de entrada al amplificador de control permanece constante, la ganancia en potencia de este amplificador será proporcional a la tensión de control, V , es decir

$$S_S = kVS_E \quad (5.2-1)$$

donde S_S y S_E son las potencias de la señal de salida y de la señal de entrada del amplificador, respectivamente. La tensión de control se compone de la suma de una componente fija, V_0 , más

una componente proporcional a la potencia sonora total captada por el micrófono, $A_R(R + \alpha S_S)$; menos una componente proporcional a la potencia de salida del amplificador de control, $A_M S_S$. Aquí, α representa las pérdidas de señal a la salida del amplificador de control a causa del altavoz, acoplamiento acústico y micrófono; R es la potencia de ruido a la salida del micrófono; y A_M y A_R son las razones de la tensión continua a la salida por la potencia de entrada del amplificador para los dos canales (amplificador de muestreo y amplificador de señal y ruido), como se ilustra en la figura 5.2-1. De esto resulta que

$$\begin{aligned}
 V &= V_O + A_R(R + \alpha S_S) - A_M S_S \\
 &= V_O + A_R R + \alpha S_S A_R - A_M S_S \\
 &= V_O + A_R R + S_S(\alpha A_R - A_M)
 \end{aligned}
 \tag{5.2-2}$$

Substituyendo V en la ecuación (5.2-1),

$$\begin{aligned}
 S_S &= k[V_O + A_R R + S_S(\alpha A_R - A_M)]S_E \\
 &= kS_E(V_O + A_R R) + kS_E S_S(\alpha A_R - A_M) \\
 S_S - kS_E S_S(\alpha A_R - A_M) &= kS_E(V_O + A_R R) \\
 S_S[1 - kS_E(\alpha A_R - A_M)] &= kS_E(V_O + A_R R) \\
 S_S &= [kS_E(V_O + A_R R)]/[1 - kS_E(\alpha A_R - A_M)]
 \end{aligned}
 \tag{5.2-3}$$

Ajustando las ganancias de tal forma que $\alpha A_R = A_M$, la ecuación (5.2-3) queda

$$S_S = kS_E(V_O + A_R R)
 \tag{5.2-4}$$

Bajo esta condición, la potencia de salida del amplificador de con

trol es constante (para una señal de entrada constante) cuando el nivel de ruido es bajo ($A_R R$ es menor que V_0), y la razón de potencia de salida a ruido es constante e igual a $k S_E A_R$ cuando el nivel de ruido es alto ($A_R R$ es mayor que V_0).

Comportamiento real El sistema ideal no puede ser llevado a cabo exactamente por varias razones. Se ha estado asumiendo que las características de respuesta en frecuencia de los dos canales son idénticas. Sin embargo, en la práctica, mientras la respuesta en frecuencia de la señal de salida del amplificador de control a través del amplificador de muestreo puede ser totalmente plana, las características de respuesta en frecuencia del altavoz, del salón y del micrófono serán extremadamente variables, particularmente si el salón (o local) no tiene el tratamiento acústico adecuado, es decir, si no está debidamente insonorizado con material absorbente en las paredes para amortiguar los ecos. Por esto, no es posible obtener una cancelación exacta del segundo término en el denominador de la ecuación (5.2-3).

No obstante, debido a que las señales de voz constan generalmente de un espectro ancho, en la práctica es posible obtener una cancelación satisfactoria. Esta cancelación será menos crítica si se coloca el micrófono de modo que capte una mínima señal del altavoz. Pero, por otra parte, es recomendable que el micrófono esté expuesto al mismo ruido ambiente que el oyente, lo que requiere que el micrófono esté colocado cerca de él y por consiguiente próximo al altavoz.

Otra de las consideraciones en el diseño se refiere a una de

las características peculiares del oído. Esto es, la presencia de ruido conteniendo componentes de baja frecuencia incrementa el nivel mínimo perceptible de las señales de audio de la misma frecuencia, así como de frecuencias más altas; pero el ruido de alta frecuencia tiene poco efecto de enmascaramiento sobre las señales de audio de baja frecuencia. Por esta razón, el canal del micrófono no deberá tener respuesta plana para la gama completa de componentes de la señal, y su respuesta en frecuencia deberá disminuir más allá de esta gama.

5.3 DESARROLLO DEL SISTEMA

El diseño de circuitos (analógicos) lineales implica la selección e interconexión de una combinación óptima de componentes activos y pasivos para realizar una función determinada de proceso de señales con la debida consideración a factores tales como: eficiencia, confiabilidad y costo. Esta regla general es válida cualquiera -- que sea el tipo de componentes (discretos o integrados) utilizados en el diseño del circuito.

Por otra parte, la existencia de circuitos integrados libera -- al diseñador del sistema de una cantidad considerable de trabajo detallado, debido a que la industria de circuitos integrados le -- ofrece una amplia selección de *bloques funcionales* (como amplificadores, reguladores de tensión, comparadores, y una gran variedad de circuitos de propósito especial).

De esta manera, en el desarrollo del control automático de n

vel sonoro se utilizaron en su mayoría circuitos integrados, para mantener así tanto el tamaño del circuito como su consumo de potencia al mínimo. Asimismo, cabe señalar que este sistema de control está diseñado para estar colocado entre el detector (micrófono) y el amplificador de audio del sistema de audiodifusión, por lo que no se requerirá de un amplificador de potencia por separado.

Amplificador de Control El amplificador de control se compone básicamente de dos amplificadores diferenciales integrados CA 3000 (CI 101 y CI 102) en cascada con acoplamiento resistor-capacitor (RC), tal como se muestra en la figura 5.3-1.

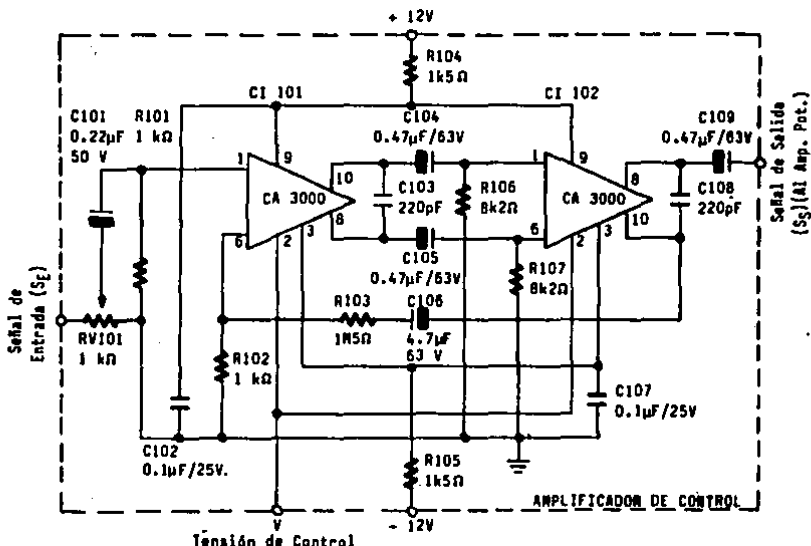


FIGURA 5.3-1

Estos amplificadores poseen la capacidad inherente del control pleno de la ganancia, ya que tienen una configuración con fuente de corriente constante controlada, la cual proporciona una notable adaptabilidad para el diseño de este circuito detector. En otras palabras, cuando la tensión de control en la terminal 2 del CA3000 es cambiada de -5.3 a -3.6 V, la variación de ganancia del amplificador de control supera los 45 dB (ver figura 5.3-2). Asimismo, la ganancia es aproximadamente una función lineal de la tensión de control en un intervalo de 30 dB (-5.2 a -4.8 V).

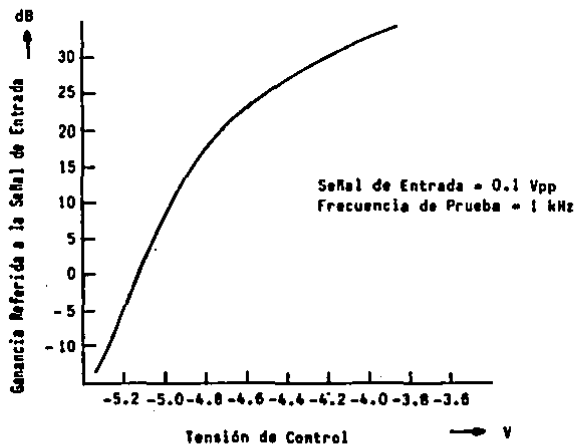


FIGURA 5.3-2

Los capacitores C103 y C108 de 220 pF, conectados en paralelo con las salidas diferenciales de ambas etapas, establecen un escalonamiento en la disminución progresiva de la respuesta a frecuencias altas; aumentando, por lo tanto, la estabilidad del circuito.

La disminución progresiva del límite inferior de la respuesta de frecuencia del circuito está determinada por el acoplamiento entre etapas.

Por otra parte, puesto que la respuesta en frecuencia de este amplificador es de 20 Hz a 60 kHz ± 3 dB, el ancho de banda del sistema de audio no se verá limitado por la circuitería de control adicional.

La retroalimentación negativa mejora el comportamiento del -- circuito a bajas frecuencias, lo suficiente para que el uso de los capacitores de acoplamiento C104 y C105 implique poco sacrificio en la respuesta de las mismas.

Finalmente, la señal de entrada deberá tener un valor máximo de 0.1 Vpp para así evitar distorsión excesiva. Este nivel podrá ser fijado por medio del potenciómetro preajustable RV101 colocado a la entrada del circuito.

Amplificador de Muestreo El amplificador de muestreo (ver figura 5.3-3) consiste de un amplificador de audio transistorizado de dos etapas, seguido por un detector de pico positivo; un potenciómetro preajustable (RV201) conectado en la salida del circuito fija la -- sensibilidad de este canal. El amplificador tiene una respuesta -- en frecuencia plana de 20 a 20000 Hz, una ganancia en tensión $A_v = 30$ dB y opera con un suministro de CC de 12 V.

El amplificador utiliza un transistor 2A98 (Q201) en configuración *emisor común* para la etapa de entrada y otro transistor -- 2A98 (Q202) en configuración *seguidor de emisor* para la etapa de salida. Estas etapas están interconectadas por medio de un aco-

plamiento resistor-capacitor (RC), de tal forma que la señal que - se genera en el resistor del colector (R203) de la primera etapa - se acopla a la segunda por medio del capacitor C203.

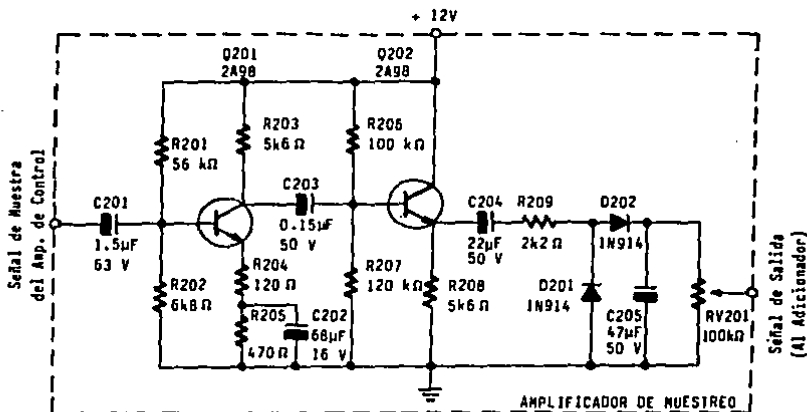


FIGURA 5.3-3

En la etapa de entrada (Q201), la tensión de base es fijada por la red divisora de tensión de los resistores de base (R201 y - R202) y la tensión de suministro. La tensión de emisor es determinada aproximadamente al mismo valor de tensión que la base. Los resistores de emisor (R204 y R205) determinan entonces las corrientes de emisor y colector. Finalmente, el resistor de colector (R203) determina la tensión de colector, y por consiguiente, la tensión de polarización colector-emisor.

El circuito de la etapa de salida (Q202) es similar al circuito de la etapa de entrada, en cuanto a que proporciona una condición de operación de polarización que no depende de la ganancia

de corriente (β) del transistor, sino de las componentes resistivas y de la tensión de suministro; obteniendo así que el amplificador se mantenga en un estado de operación estable no obstante las variaciones de β causadas por la temperatura.

El uso de un seguidor de emisor en la etapa de salida hace posible que el amplificador tenga baja impedancia de salida. La señal de salida de esta etapa se fija sobre un nivel positivo (con D201 y C204), luego es seguida hasta que la tensión de salida alcanza un valor máximo y entonces el detector de pico (D202 y C205) retiene automáticamente el valor de pico; teniendo a la salida del detector una tensión de CC equivalente a dicho valor.

Amplificador de Señal y Ruido El amplificador de señal y ruido (ver figura 5.3-4) consiste de un micrófono dinámico de baja impedancia, seguido de un preamplificador de micrófono para entrada

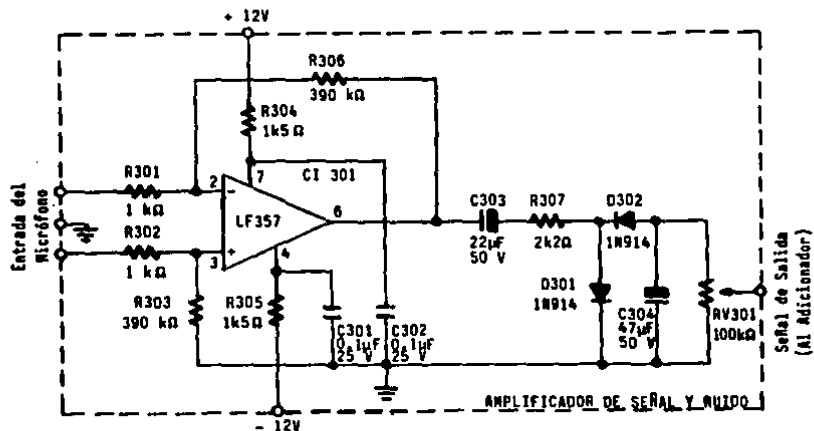


FIGURA 5.3-4

balanceada y un detector de pico negativo; un potenciómetro preajustable (RV301) conectado a la salida del circuito fija la sensibilidad de este canal.

El circuito integrado (CI 301) en el preamplificador de micrófono es un amplificador operacional (LF 357) con etapa de entrada JFET configurado como un amplificador diferencial, el cual tiene alta rapidez de respuesta (SR) y alta razón de rechazo en modo común (CMRR).

Como se observa en la figura 5.3-4, con $R301 = R302$ y $R306 = R303$ la ganancia está fijada por la relación de $R306$ a $R301$ y es igual a 52 dB. El valor de los resistores de entrada ($R301$ y $R302$) es lo suficientemente grande comparado con el de la impedancia de la fuente (micrófono), pero a la vez lo más pequeño posible, para obtener así un balance óptimo entre los efectos de la carga y un nivel bajo de ruido en la entrada. De esta forma, $R301 + R302$ equivale aproximadamente a diez veces (valor de término medio) el valor de la impedancia de la fuente.

Cabe señalar que la propiedad del amplificador operacional (CI 301) de rechazar señales en modo común asume que exactamente la misma señal esté simultáneamente presente en ambas entradas: inversora y no inversora. Cualquier desigualdad entre los resistores $R301 = R302$ y $R303 = R306$ se presentará como una señal diferencial en las terminales de entrada y en consecuencia será amplificada. Por lo tanto, se recomienda utilizar resistores con la tolerancia más baja posible.

La señal de salida del preamplificador de micrófono se fija -

bajo un nivel negativo (con D301 y C303), luego es seguida hasta que la tensión de salida alcanza un valor mínimo y entonces el detector de pico (D302 y C304) retiene automáticamente de valor de pico; teniendo a la salida del detector una tensión de CC equivalente a dicho valor.

La respuesta en frecuencia del amplificador de señal y ruido estará delimitada por el micrófono. Por consiguiente, la característica de frecuencia del micrófono a emplear debe ser lo suficientemente amplia para captar los sonidos comprendidos en la banda de frecuencias de: 30 a 15000 Hz; ancho de banda dentro del cual se encuentra el espectro de sonidos musicales y ruido ambiente. Una respuesta superior a 15000 Hz no se requiere puesto que el ruido de alta frecuencia no enmascara de manera considerable las señales de audio de baja frecuencia.

CONSTANTES DE TIEMPO.

La constante de tiempo de tiempo de ataque para el filtro detector en el amplificador de señal y ruido es $\tau = 0.1$ s ($R307 \times C304$), y la constante de tiempo de recuperación es $\tau = 4.7$ s ($RV301 \times C304$). Esto proporciona un incremento rápido en el volumen (nivel sonoro) del sistema con la presencia repentina de ruido ambiente. La ganancia permanece alta con el ruido fluctuante y luego disminuye lentamente para compensar el tiempo de recuperación del oído humano.

Las constantes de tiempo en el filtro del amplificador de muestreo son respectivamente iguales a las del amplificador de señal y ruido para hacer que la tensión de control sea lo más independiente

te posible de las variaciones de señal.

Adicionador Las señales de salida del amplificador de muestreo y del amplificador de señal y ruido son sumadas en un amplificador (ver figura 5.3-5) para producir la tensión de control para el amplificador de control. Este circuito es básicamente un amplificador operacional LM 741 (CI 401) configurado como un amplificador sumador (caso particular de un amplificador inversor). El circuito suministra una salida invertida que es igual a la suma algebraica compensada de las tres entradas, las cuales consisten de las salidas de corriente continua, acopladas directamente, del amplificador de muestreo, el amplificador de señal y ruido, y la componente de polarización fija. Éstas se combinarán de tal forma que la señal resultante será proporcional a la suma de las señales de entrada, es decir, proporcional al nivel de ruido.

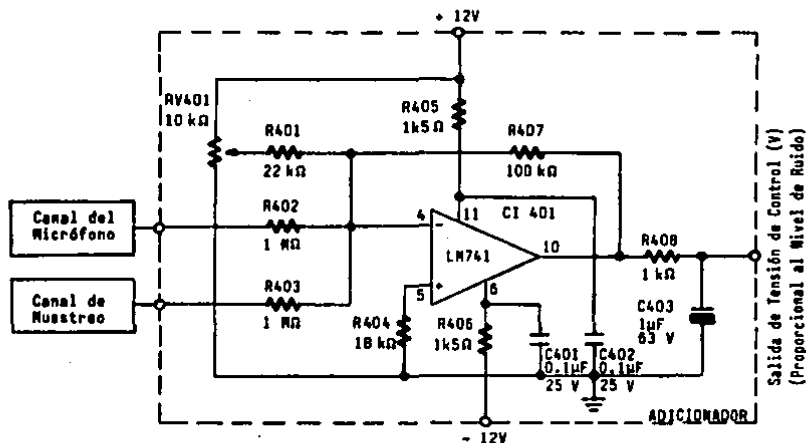


FIGURA 5.3-5

La ganancia de cualquier entrada del amplificador sumador - es igual a la relación del resistor de entrada respectivo al resistor de retroalimentación (R407). De esta forma, el factor de ganancia para las señales de salida del amplificador de muestreo y del amplificador de señal y ruido, V_M y V_R respectivamente, es de -- 1/10; y la tensión de control (V), que se fija inicialmente a un - valor mínimo con la componente de polarización (V_D), se incrementará en una relación de 100 mV/V después de la suma algebraica - de las tensiones de CC de ambas señales. Por lo tanto:

$$V = -[4.5 V_D + 0.1(V_M + V_R)].$$

Cabe señalar que el resistor de compensación R404 es igual - al valor equivalente de la Impedancia vista desde la entrada inver- sora a tierra (R4C1||R402||R403||R407), para minimizar la tensión - (continua) de error debida a la corriente de polarización.

El resistor R408 y el capacitor C403 forman un filtro RC para atenuar el rizado de la tensión de control a la salida del adiciona- dor.

5.4 EVALUACION Y METODOLOGIA DE PRUEBA

La puesta en operación del sistema requiere de varios ajustes ini- ciales, los cuales se harán bajo condiciones estables.

La señal de entrada es ajustada a un nivel de 0.1 Vpp, al cual el sistema está diseñado para manejar.

La polarización fija se ajusta de tal forma que la tensión de control corresponda con una ganancia mínima en el extremo inferior de la parte lineal de la curva de ganancia en función de la ten--

sión de control (ver figura 5.3-2); es decir, la tensión de control debe corresponder a un valor de -5.3 V aproximadamente, fijado por la componente de polarización.

La sensibilidad del amplificador de potencia se ajusta para obtener el nivel sonoro deseado sin la presencia de ruido ambiente. Este control es el único que debe estar accesible para el oyente, y prácticamente deberá ser tocado en raras ocasiones.

La sensibilidad del canal de señal-más-ruido se ajusta para obtener el incremento deseado en la ganancia del amplificador de control, y por lo tanto del nivel sonoro, con la presencia de ruido ambiente; mientras que la sensibilidad del amplificador de muestreo se ajusta de tal forma que los cambios en el nivel de señal no -- causen un cambio apreciable en la tensión de control, puesto que las variaciones de la tensión de control sólo deberán ser proporcionales a los cambios de nivel de ruido ambiente.

Por consiguiente, si sólo señal de audio es percibida por medio del circuito del micrófono sensor, es decir si el nivel de ruido ambiente es bajo, la ganancia estará a su valor mínimo (-10 dB). Con el incremento del ruido ambiente, la tensión de control aumentará en la debida forma a un determinado nivel activando el amplificador de control, resultando en un aumento de la ganancia y un incremento correspondiente en nivel sonoro. El incremento y decremento del nivel sonoro sucederá aproximadamente en forma lineal con los cambios en el nivel de ruido ambiente; y el sistema compensará automáticamente dichas variaciones, de tal forma que la relación señal de audio a ruido permanezca dentro de los límites apro

plados para que no sea necesario un reajuste del control de nivel audio.

Cualquier tipo normal de micrófono de baja impedancia podrá ser utilizado como micrófono sensor, en el amplificador de señal y ruido.

La gama dinámica útil del control automático de nivel sonoro está limitada a alrededor de 30 dB; no obstante, ésta podrá ser incrementada agregando etapas de ganancia-controlada a las dos del amplificador de control.

ESPECIFICACIONES TECNICAS.

Margen de control: 30 dB (-10 dB a 20 dB)

Impedancia de salida: 10 k Ω Max.

Señal de entrada máxima: 0.1 Vpp (35 mV RMS)

Tensión nominal de la entrada del micrófono sensor: 1 mV RMS
(Ganancia de: -10 dB)

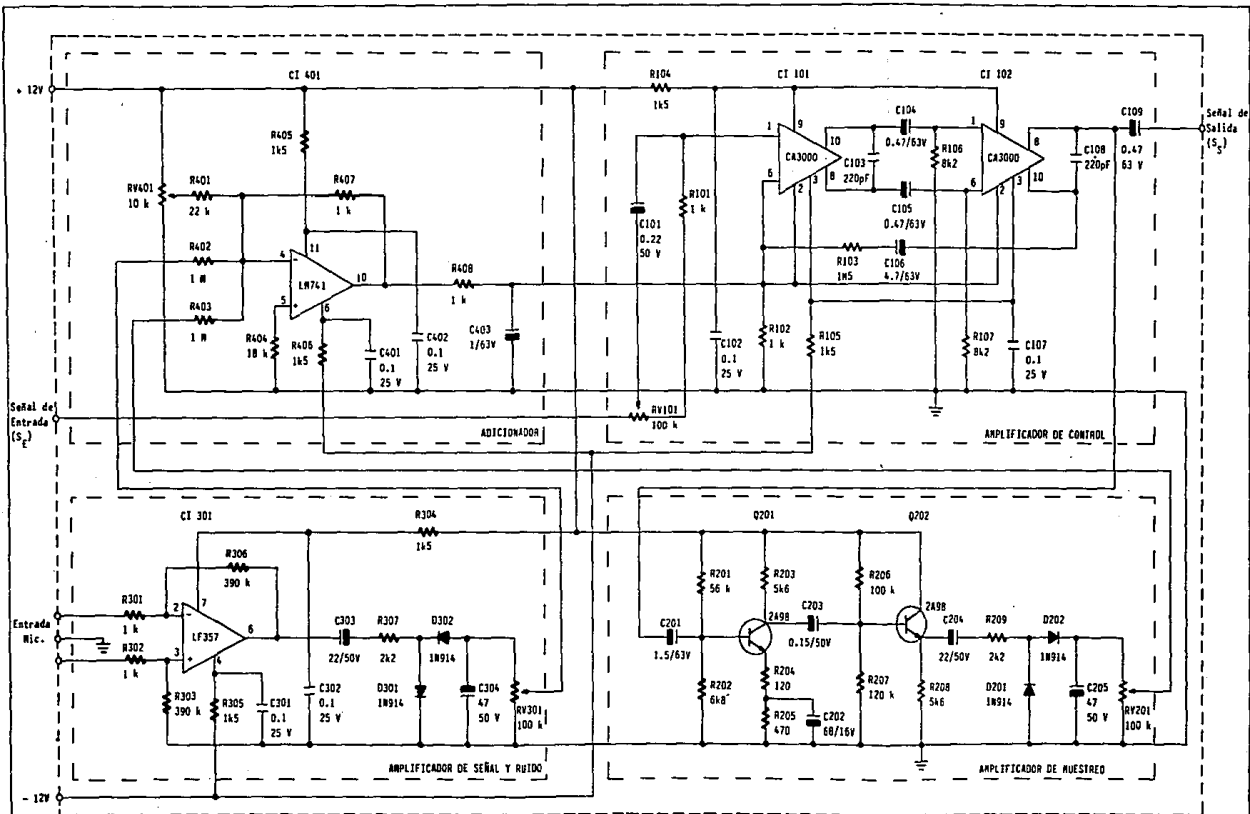
Impedancia de la entrada del micrófono sensor: 2 k Ω balanceada

Tensión de alimentación: ± 12 V, CC

Consumo de potencia: 310 mW Max.

5.5 DIAGRAMA ELECTRICO GENERAL

La figura 5.5-1 muestra el diagrama eléctrico del control automático de nivel sonoro. El amplificador de control, el amplificador de muestreo, el amplificador de señal y ruido, y el adicionador se encuentran delimitados con línea punteada para facilitar su respectiva localización.



NOTAS: Todas las resistencias en ohms y a 1/4 W.
 Todos los capacitores en microfaradios, excepto lo indicado.

CONTROL AUTOMÁTICO DE NIVEL SONORO

5.6 LISTA DE COMPONENTES

A continuación se describe la lista completa de los componentes utilizados en el diseño del control automático de nivel sonoro.

AMPLIFICADOR DE CONTROL (figura 5.3-1).

R101 = R102 = 1 k Ω , 1/4 W, 5%

R103 = 1M5 Ω , 1/4 W, 5%

R104 = R105 = 1k5 Ω , 1/4 W, 5%

R106 = R107 = 8k2 Ω , 1/4 W, 5%

RV101 = 100 k Ω , potenciómetro preajustable

C101 = 0.22 μ F/50 V, electrolítico

C102 = C107 = 0.1 μ F/25 V, cerámica

C103 = C108 = 220 pF/500 V, cerámica

C104 = C105 = C109 = 0.47 μ F/63 V, electrolítico

C106 = 4.7 μ F/63 V, electrolítico

CI 101 = CI 102 = RCA CA3000, amplificador diferencial integrado

AMPLIFICADOR DE MUESTREO (figura 5.3-3).

R201 = 56 k Ω , 1/4 W, 5%

R202 = 6k8 Ω , 1/4 W, 5%

R203 = 5k6 Ω , 1/4 W, 5%

R204 = 120 Ω , 1/4 W, 5%

R205 = 470 Ω , 1/4 W, 5%

R206 = 100 k Ω , 1/4 W, 5%

R207 = 120 k Ω , 1/4 W, 5%

R208 = 5k6 Ω , 1/4 W, 5%

R209 = 2k2 Ω , 1/4 W, 5%

RV201 = 100 k Ω , potenciómetro preajustable

C201 = 1.5 μ F/63 V, electrolítico

C202 = 68 μ F/16 V, electrolítico

C203 = 0.15 μ F/50 V, electrolítico

C204 = 22 μ F/50 V, electrolítico

C205 = 47 μ F/50 V, electrolítico
D201 = D202 = 1N914, diodo de pequeña señal
Q201 = Q202 = 2A98, transistor NPN de silicio

AMPLIFICADOR DE SEÑAL Y RUIDO (figura 5.3-4).

R301 = R302 = 1 k Ω , 1/4 W, 1%
R303 = R306 = 390 k Ω , 1/4 W, 1%
R304 = R305 = 1k5 Ω , 1/4 W, 5%
R307 = 2k2 Ω , 1/4 W, 5%
RV301 = 100 k Ω , potenciómetro preajustable
C301 = C302 = 0.1 μ F/25 V, cerámica
C303 = 22 μ F/50 V, electrolítico
C304 = 47 μ F/50 V, electrolítico
D301 = D302 = 1N914, diodo de pequeña señal
CI 301 = LF 357, amplificador operacional con entradas JFET

ADICIONADOR (figura 5.3-5).

R401 = 22 k Ω , 1/4 W, 5%
R402 = R403 = 1 M Ω , 1/4 W, 5%
R404 = 18 k Ω , 1/4 W, 5%
R405 = R406 = 1k5 Ω , 1/4 W, 5%
R407 = 100 k Ω , 1/4 W, 5%
R408 = 1 k Ω , 1/4 W, 5%
RV401 = 10 k Ω , potenciómetro preajustable
C401 = C402 = 0.1 μ F/25 V, cerámica
C403 = 1 μ F/63 V, electrolítico
CI 401 = LM 741, amplificador operacional de propósito general

CONCLUSIONES

Dentro del contexto de los sistemas sonoros el principal objetivo es la comunicación, que es el acto de brindar o transmitir información.

Independientemente de los parámetros definidos para el diseño de los sistemas de audiodifusión (directividad de la fuente, volumen del espacio, tiempo de reverberación, etc.), es necesario que éstos sean lo más completos posible para así aumentar la versatilidad de los mismos. Es decir, por una parte se deberá calcular - la potencia necesaria a suministrar a un local o salón para obtener el nivel sonoro deseado, pero además de esto se deberá tener en cuenta el tipo de sistema de audiodifusión a emplear, no sólo - por su potencia nominal, sino también por sus características de -

funcionamiento, componentes electroacústicos y posibilidades de expansión.

Un dispositivo que agrega versatilidad al sistema, es precisamente el control automático de nivel sonoro. Este control no sería necesario si no existiera ruido ambiente que interfiera con el proceso de comunicación, o por lo menos si el nivel de éste fuera constante. Desafortunadamente lo anterior no puede ser posible, y es entonces cuando dicho dispositivo otorga al usuario del sistema comodidad de operación, y al oyente conveniencia al escuchar la información.

El control automático de nivel sonoro aquí presentado, cuya implementación deberá ser entre el detector (micrófono) y el amplificador de audio del sistema sonoro, es un sistema experimental diseñado tomando como base los componentes y características del sistema ideal: un amplificador de audio de ganancia controlable para el amplificador de control, un amplificador de audio de propósito general para el canal de muestreo, un preamplificador de micrófono para el canal de señal y ruido, y un adicionador para el punto de suma del sistema de retroalimentación. No obstante que el sistema ideal no puede ser realizado exactamente, debido a la diferencia que existe entre las características de respuesta en frecuencia de la señal de muestra a la salida del amplificador de control (aproximadamente uniforme) y de la señal de entrada al canal del micrófono (extremadamente variable a causa del micrófono, altavoz y del lugar donde se encuentre instalado el sistema de audiodifusión), esta consideración podrá ser compensada si se colo-

ca el micrófono de tal forma que capte una mínima parte de la señal del altavoz, pero a la vez expuesto al mismo nivel de ruido ambiente que el oyente.

Finalmente, el estudio requerido para una instalación de un sistema sonoro puede ser tan complejo como lo quiera realizar el ingeniero de sonido, sin embargo, una vez hecho, la instalación del control automático de nivel sonoro deberá ser tan sencilla como una expansión del sistema sonoro con otro equipo de audio, a excepción, por supuesto, de la correcta colocación del micrófono sensor.

APENDICE I
REQUERIMIENTOS PARA
SISTEMAS SONOROS MONAURALES,
ESTEREOFONICOS Y
DE 3 CANALES

Nº	REQUERIMIENTOS	SISTEMA SONORO MONAURAL	SISTEMA SONORO ESTEREOFONICO (POR CANAL)	SISTEMA SONORO DE 3 CANALES (POR CANAL)
1	Nivel requerido	95 dB	95 dB	95 dB
2	Máximo nivel	105 dB	105 dB	105 dB
3	Máximo nivel de voz	105 dB	102 dB	100 dB
4	Respuesta en frecuencia en la posición del oyente			
	100 - 160 Hz	+5 -10 dB	+5 dB -10 dB	+5 dB -10 dB
	200 - 3150 Hz	+4 -4 dB	+4 dB -4 dB	+4 dB -4 dB
	4 kHz - 10 kHz	+4 -10 dB	+4 dB -10 dB	+4 dB -10 dB
5	Distorsión medida 6 dB abajo del nivel requerido			
	200 - 500 Hz	<5%	<5%	<5%
	500 - 5 kHz	<3%	<3%	<3%
6	Nivel de ruido medido en la posición del oyente	30 dB	30 dB	30 dB
7	Uniformidad del nivel de presión sonora en la posición del oyente	±3 dB	±3 dB	±3 dB

APENDICE II,
TABLA DE DECIBELES

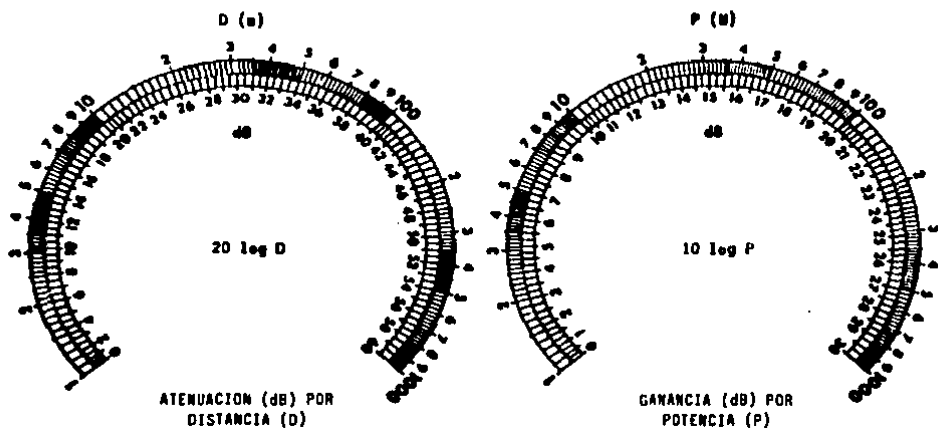
Relación de intensidades y potencias	Relación de presiones, tensiones y corrientes	dB		Relación de intensidades y potencias	Relación de presiones, tensiones y corrientes
		+	-		
1	1	0		1	1
1.26	1.122	1		0.79	0.89
1.585	1.26	2		0.63	0.79
2	1.413	3		0.5	0.7
2.5	1.585	4		0.4	0.63
3.162	1.778	5		0.32	0.56
3.98	2	6		0.25	0.5
5	2.24	7		0.2	0.45
6.31	2.5	8		0.16	0.4
7.943	2.82	9		0.13	0.355
10	3.162	10		0.1	0.32
12.6	3.55	11		0.08	0.28
15.9	3.98	12		0.063	0.25
20	4.47	13		0.05	0.224
25.1	5	14		0.04	0.2
31.6	5.62	15		0.032	0.18
39.8	6.31	16		0.025	0.16
50.1	7.08	17		0.02	0.14
63.1	7.943	18		0.016	0.126
79.4	8.91	19		0.013	0.112
100	10	20		0.01	0.1
1000	31.6	30		0.001	0.0316
10 ³	100	40		10 ⁻⁴	10 ⁻²
10 ⁴	316	50		10 ⁻⁵	3.16 × 10 ⁻³
10 ⁵	10 ³	60		10 ⁻⁶	10 ⁻¹
10 ⁷	3.16 × 10 ³	70		10 ⁻⁷	3.16 × 10 ⁻⁵
10 ⁸	10 ⁴	80		10 ⁻⁸	10 ⁻⁶
10 ⁹	3.16 × 10 ⁴	90		10 ⁻⁹	3.16 × 10 ⁻⁷
10 ¹⁰	10 ⁵	100		10 ⁻¹⁰	10 ⁻⁸
10 ¹¹	3.16 × 10 ⁵	110		10 ⁻¹¹	3.16 × 10 ⁻⁹
10 ¹²	10 ⁶	120		10 ⁻¹²	10 ⁻⁹
10 ¹³	3.16 × 10 ⁶	130		10 ⁻¹³	3.16 × 10 ⁻¹⁰
10 ¹⁴	10 ⁷	140		10 ⁻¹⁴	10 ⁻¹⁰

APENDICE III
EFECTO DE LA DISTANCIA
Y DE LA POTENCIA
SOBRE EL NIVEL DE
PRESION SONORA

El nivel de presión sonora (*SPL*), en dB, es igual a

$$SPL = 20 \log_{10} P/P_0$$

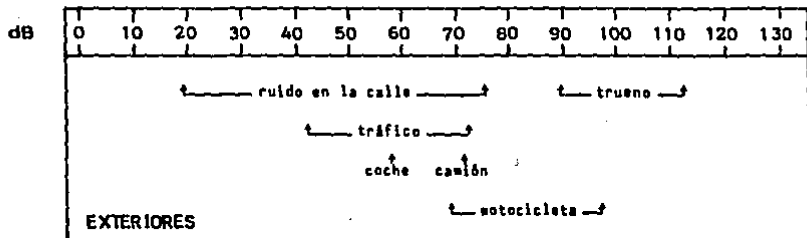
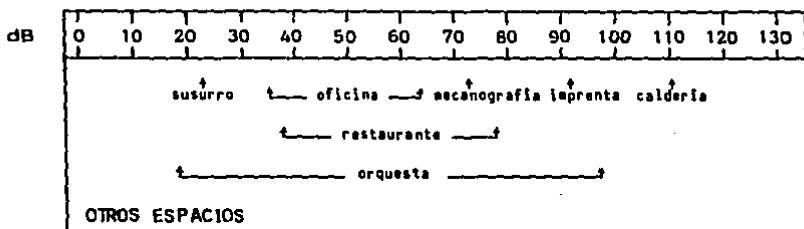
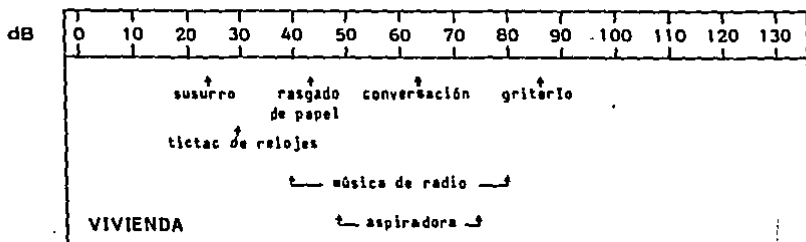
donde *P* es la presión efectiva del sonido y P_0 es la presión de referencia; a menos que se indique otra cosa $P_0 = 0.0002 \text{ dina/cm}^2$ (umbral de audibilidad). Este nivel de presión se ve afectado por la distancia y la potencia de la siguiente manera.



1. Si la potencia de salida es duplicada, el nivel de presión sonora se incrementa 3 dB.
2. Si la distancia es duplicada, el nivel de presión sonora disminuye 6 dB.
3. Para duplicar el nivel de presión sonora (es decir, +6 dB), se requiere aplicar a la potencia un factor de x4.
4. Para duplicar la sonoridad (+10 dB son percibidos como el doble de la intensidad sonora), se requiere aplicar a la potencia un factor de x10.

APENDICE IV
NIVELES DE INTENSIDAD
DE FUENTES SONORAS

Las gráficas siguientes muestran los niveles de energía, y los límites dinámicos asociados, de las diferentes fuentes sonoras encontradas tanto en interiores como en exteriores.



APENDICE V
HOJAS DE DATOS

RCA
Solid State
Division

Linear Integrated Circuits

CA3000

DC Amplifier

Monolithic Silicon

- Designed for use in Communication, Telemetry, Instrumentation, and Data-Processing Equipment
- Balanced differential-amplifier configuration with controlled constant-current source to provide outstanding versatility
- Built-in temperature stability for operation from -55°C to $+125^{\circ}\text{C}$
- Companion Application Note, ICAN 5030 "Applications of RCA CA3000 Integrated Circuit DC Amplifier" covers characteristics of different operating modes, frequency considerations, 10 MHz narrow band tuned amplifier design, crystal oscillator design, and many other application aids



HIGHLIGHTS

- Input Impedance 195 $\text{k}\Omega$ typ.
- Voltage Gain 30 dB typ.
- Common-Mode Rejection Ratio 96 dB typ.
- Input Offset Voltage 1.4 mV typ.
- Push-Pull Input and Output
- Frequency Capability
DC to 30 MHz (with external C and R)
- Wide AOC Range 90 dB typ.

APPLICATIONS

- Schmitt Trigger
- RC-Coupled Feedback Amplifier
- Mixer
- Comparator
- Modulator
- Crystal Oscillator
- Sense Amplifier

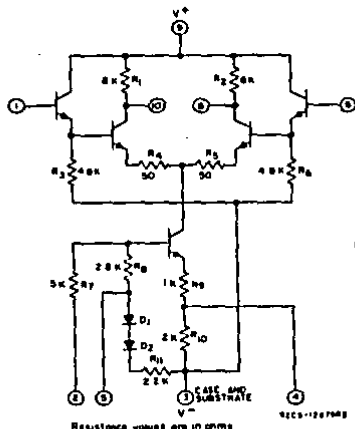


Fig. 1 SCHEMATIC DIAGRAM

ABSOLUTE-MAXIMUM VOLTAGE LIMITS, $\theta_T F_A = 25^\circ\text{C}$

Indicated voltage limits for each terminal can be used under specified voltage conditions for other terminals

All voltages are with respect to ground (common terminal of Positive and Negative DC Supplies)

TERMINAL	VOLTAGE LIMITS		CONDITIONS	
	NEGATIVE	POSITIVE	TERMINAL	VOLTAGE
1	-2	+2	2	0
			3	-8
			6	0
			9	+6
2	-8	0	1	0
			3	-8
			6	0
			9	+6
3	-10	0	1	0
			2	0
			6	0
			9	+6
4	-8	0	1	0
			2	0
			6	0
			9	+6
5	-6	0	1	0
			2	0
			3	-6
			6	0
			9	+6

TERMINAL	VOLTAGE LIMITS		CONDITIONS	
	NEGATIVE	POSITIVE	TERMINAL	VOLTAGE
6	-2	+2	1	0
			2	0
			3	-8
			9	+6
7	NO CONNECTION			
8	0	+6	1	0
			2	0
			3	-8
			6	0
9	0	+10	1	0
			2	0
			3	-8
			6	0
10	0	+6	1	0
			2	0
			3	-6
			6	0
CASE	Internally Connected to Terminal No. 3 (Substrate) DO NOT GROUND			

OPERATING-TEMPERATURE RANGE	-55°C to $+125^\circ\text{C}$
STORAGE-TEMPERATURE RANGE	-65°C to $+150^\circ\text{C}$
LEAD TEMPERATURE (During Soldering)	
At distance 1/16" (1.57 mm) from case for 10 seconds max.	$+265^\circ\text{C}$
MAXIMUM SINGLE ENDED INPUT SIGNAL VOLTAGE	$\pm 4\text{V}$
MAXIMUM COMMON-MODE INPUT SIGNAL VOLTAGE	$\pm 2\text{V}$
MAXIMUM DEVICE DISSIPATION	410
From -55°C to 85°C	
Above 85°C	Derate 5 mW/ $^\circ\text{C}$

STATIC CHARACTERISTICS AND TEST CIRCUITS FOR TYPE CA3000

INPUT OFFSET VOLTAGE AND CURRENT vs TEMPERATURE

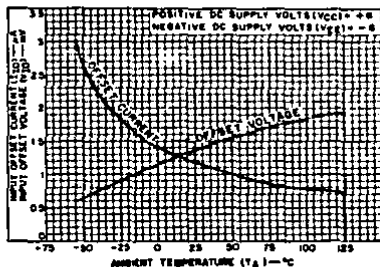


Fig. 2

INPUT BIAS CURRENT vs TEMPERATURE

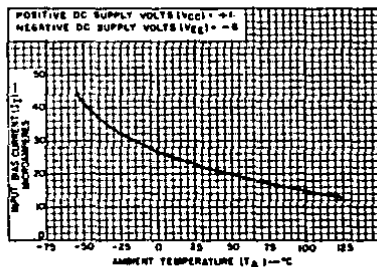


Fig. 3

ELECTRICAL CHARACTERISTICS, at $T_A = 25^\circ\text{C}$, $V_{CC} = +6\text{V}$, $V_{EE} = -6\text{V}$, unless otherwise specified

CHARACTERISTICS	SYMBOLS	SPECIAL TEST CONDITIONS Terminals No. 4 & No. 5 Not Connected Unless Specified		TEST CIRCUITS		LIMITS			TYPICAL CHARAC- TERISTICS CURVES		
						TYPE CA3000					
						Fig.	Min.	Typ.	Max.	Units	Fig.
STATIC CHARACTERISTICS											
Input Offset Voltage	V_{IO}					-	1.8	5	mV	2	
Input Offset Current	I_{IO}					-	1.2	10	μA	2	
Input Bias Current	I_{IB}					-	23	36	μA	3	
Quiescent Operating Voltage	V_B or V_{IO}	TERMINALS									
		4	5								
		NC	NC			-	2.8	-	V	4	
		NC	VEE			-	5.2	-	V	4	
		VEE	NC			-	1.5	-	V	4	
		VEE	VEE			-	0.8	-	V	4	
Device Dissipation	P_D	NC	NC			-	30	-	mW	NONE	
DYNAMIC CHARACTERISTICS											
Differential Voltage Gain	A_{DIFF}	Single-Ended Output $f = 1 \text{ kHz}$	9	28	32	-	48	5			
Single-Ended Input		Double-Ended Output $f = 1 \text{ kHz}$	9	-	38	-	48	5			
Bandwidth at -3 dB Point	BW	$V_i = 10 \text{ mV}$, $R_o = 1 \text{ k}\Omega$		-	850	-	kHz	7			
Maximum Output Voltage Swing	$V_{OUT(P-P)}$	$f = 1 \text{ kHz}$	8	-	8.4	-	$V(P-P)$	NONE			
Common-Mode Rejection Ratio	CMRR	$f = 1 \text{ kHz}$	13	70	80	-	48	8			
Single-Ended Input Impedance	Z_{IN}	$f = 1 \text{ kHz}$	15	70k	185k	-	Ω	10			
Single-Ended Output Impedance	Z_{OUT}	$f = 1 \text{ kHz}$	17	5.5k	8k	10.5k	Ω	12			
Total Harmonic Distortion	THD	$R_L = 1 \text{ k}\Omega$, $f = 1 \text{ kHz}$, $V_{O1} = 42 \text{ V}_{P-P}$		-	0.2	5	%	14			
AMC Range (Maximum Voltage Gain to Complete Cutoff)	AMC	$f = 1 \text{ kHz}$	20	80	90	-	48	NONE			

STATIC CHARACTERISTICS AND TEST CIRCUIT FOR TYPE CA3000

QUIESCENT OPERATING VOLTAGE vs TEMPERATURE

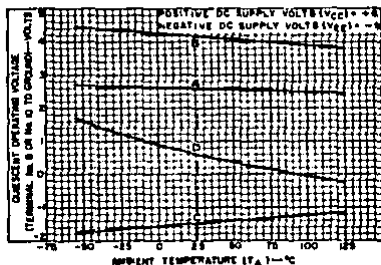
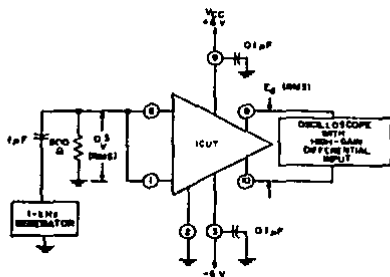


Fig. 4

DYNAMIC CHARACTERISTICS AND TEST CIRCUITS FOR TYPE CA3000

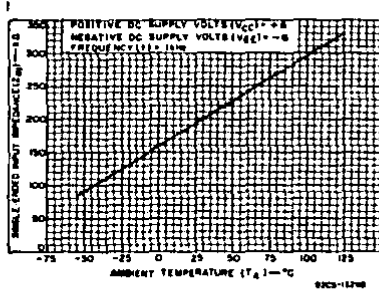
COMMON-MODE REJECTION RATIO TEST CIRCUIT

COMMON-MODE REJECTION RATIO (CMRR) = 20 log $\frac{A_{VOL}(CMR)}$ *A = SINGLE-ENDED VOLTAGE GAIN AS MEASURED
IN CIRCUIT SHOWN IN FIG. 9B

92CS-170942

Fig. 9

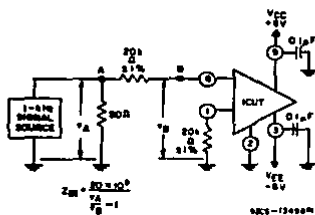
SINGLE-ENDED INPUT IMPEDANCE vs TEMPERATURE



92CS-17100

Fig. 10

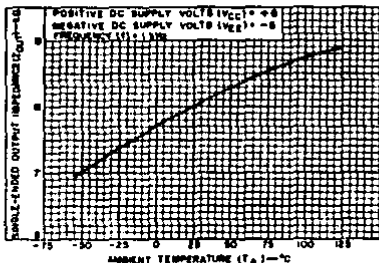
SINGLE-ENDED INPUT IMPEDANCE TEST CIRCUIT



92CS-171000

Fig. 11

SINGLE-ENDED OUTPUT IMPEDANCE vs TEMPERATURE



92CS-17100

Fig. 12

DYNAMIC CHARACTERISTICS AND TEST CIRCUITS FOR TYPE CA3000

SINGLE-ENDED OUTPUT IMPEDANCE TEST CIRCUIT

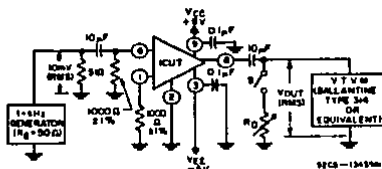


Fig. 13

TOTAL HARMONIC DISTORTION vs TEMPERATURE

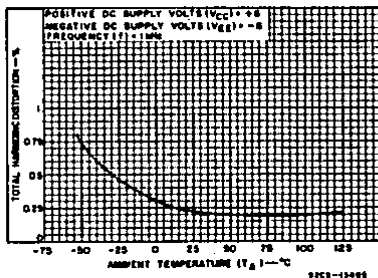
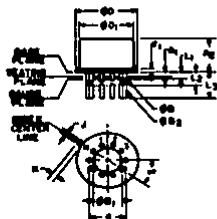


Fig. 14

DIMENSIONAL OUTLINE FOR CA3000
10-LEAD TO 6 JEDEC MO-006-AF

SCCS-10496

SYMBOL	MINIMUM		NOTES	DIMENSIONS	
	MIN	MAX		MIN	MAX
ϕ	0	0.25	1P	0.50	0.70
ϕ_1	0.10	0.15	1	0.10	0.20
ϕ_2	0.15	0.20	2	0.10	0.20
ϕ_3	0	0	3	0.10	0.20
ϕ_4	0.10	0.15	4	0.10	0.20
ϕ_5	0.10	0.15	5	0.10	0.20
ϕ_6	0.10	0.15	6	0.10	0.20
ϕ_7	0.10	0.15	7	0.10	0.20
ϕ_8	0.10	0.15	8	0.10	0.20
ϕ_9	0.10	0.15	9	0.10	0.20
ϕ_{10}	0.10	0.15	10	0.10	0.20
ϕ_{11}	0.10	0.15	11	0.10	0.20
ϕ_{12}	0.10	0.15	12	0.10	0.20
ϕ_{13}	0.10	0.15	13	0.10	0.20
ϕ_{14}	0.10	0.15	14	0.10	0.20
ϕ_{15}	0.10	0.15	15	0.10	0.20
ϕ_{16}	0.10	0.15	16	0.10	0.20
ϕ_{17}	0.10	0.15	17	0.10	0.20
ϕ_{18}	0.10	0.15	18	0.10	0.20
ϕ_{19}	0.10	0.15	19	0.10	0.20
ϕ_{20}	0.10	0.15	20	0.10	0.20

NOTES:

- Refer to Rules for Dimensioning and Lead Profile Chart.
- Lead 10 (ground) shall be 0.09" to 0.10" and shall be Total Position (TP) or maximum normal condition.
- ϕ_1 and ϕ_2 are between L1 and L2. ϕ_3 and ϕ_4 are between L2 and L3. ϕ_5 and ϕ_6 are between L3 and L4. ϕ_7 and ϕ_8 are between L4 and L5. ϕ_9 and ϕ_{10} are between L5 and L6. ϕ_{11} and ϕ_{12} are between L6 and L7. ϕ_{13} and ϕ_{14} are between L7 and L8. ϕ_{15} and ϕ_{16} are between L8 and L9. ϕ_{17} and ϕ_{18} are between L9 and L10. ϕ_{19} and ϕ_{20} are between L10 and L11.
- Measure from Blk. 42.
- ϕ_1 is the spacing of alternate mixing leads.
- ϕ_2 is the maximum quantity of lead protrusion.

AGC RANGE TEST CIRCUIT

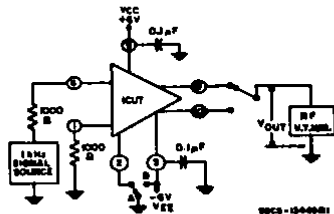


Fig. 15

LF355, LF356, LF357* LF355B, LF356B, LF357B*



MOTOROLA

Specifications and Applications Information

MONOLITHIC JFET INPUT OPERATIONAL AMPLIFIERS

These internally compensated operational amplifiers incorporate highly matched JFET devices on the same chip with standard bipolar transistors. The JFET devices enhance the input characteristics of these operational amplifiers by more than an order of magnitude over conventional amplifiers.

This series of op amps combines the low current characteristics typical of FET amplifiers with the low initial offset voltage and offset voltage stability of bipolar amplifiers. Also, nulling the offset voltage does not degrade the drift or common mode rejection.

- Low Input Bias Current – 30 pA
- Low Input Offset Current – 3.0 pA
- Low Input Offset Voltage – 1.0 mV
- Temperature Compensation of Input Offset Voltage – 3.0 $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
- Low Input Noise Current – 0.01 $\mu\text{A}/\sqrt{\text{Hz}}$
- High Input Impedance – $10^{12}\Omega$
- High Common Mode Rejection Ratio – 100 dB
- High DC Voltage Gain – 106 dB

SERIES FEATURES

- LF355/355B – Low Power Supply Current
- LF356/356B – Wide Bandwidth
- LF357/357B – Wider Bandwidth De-compensated ($A_{V(\text{min})} = 5$)

	LF355/355B	LF356/356B	LF357/357B
Fast Settling Time to 0.01%	6.0 μs	1.5 μs	1.5 μs
Fast Slew Rate	5.0 $\text{V}/\mu\text{s}$	12 $\text{V}/\mu\text{s}$	50 $\text{V}/\mu\text{s}$
Wide Gain Bandwidth	2.5 MHz	5.0 MHz	20 MHz
Low Input Noise Voltage	20 $\text{nV}/\sqrt{\text{Hz}}$	12 $\text{nV}/\sqrt{\text{Hz}}$	12 $\text{nV}/\sqrt{\text{Hz}}$

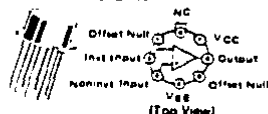
ORDERING INFORMATION

Devices	Temperature Range	Package
LF355B, H	0 to +70°C	Metal Can
LF355B, J	0 to +70°C	Ceramic DIP
LF355B, N	0 to +70°C	Plastic DIP
LF356B, H	0 to +70°C	Metal Can
LF356B, J	0 to +70°C	Ceramic DIP
LF356B, N	0 to +70°C	Plastic DIP
LF357B, H	0 to +70°C	Metal Can
LF357B, J	0 to +70°C	Ceramic DIP
LF357B, N	0 to +70°C	Plastic DIP

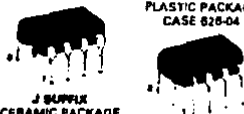
MONOLITHIC JFET OPERATIONAL AMPLIFIERS

SILICON MONOLITHIC INTEGRATED CIRCUITS

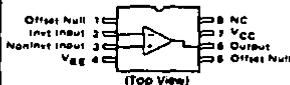
M SUFFIX METAL PACKAGE CASE 601-04



N SUFFIX PLASTIC PACKAGE CASE 626-04



J SUFFIX CERAMIC PACKAGE CASE 693-02



APPLICATIONS

The LF series is suggested for all general purpose FET input amplifier requirements where precision and frequency response reliability are of prime importance.

- Specific applications include:
- Sample and Hold Circuits
 - High Impedance Buffers
 - Fast D/A and A/D Converters
 - Precision High-Speed Integrators
 - Wideband, Low Noise, Low Drift Amplifiers

*NOTE: The LF357/357B are designed for wider bandwidth applications. They are un-compensated ($A_{V(\text{min})} = 5$).

LF355, LF356, LF357, LF355B, LF356B, LF357B

DC ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($V_{CC} = 15$ to 20 V, $V_{EE} = -15$ to -20 V for LF355B, LF356B, LF357B; $V_{CC} = 15$ V, $V_{EE} = -15$ V for LF355, LF356, LF357; $T_A = 0^\circ\text{C}$ to $+20^\circ\text{C}$ unless otherwise noted)

Characteristic	Symbol	LF355B/6B/7B			LF356B/7			Units
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Input Offset Voltage ($I_{RS} = 50 \Omega$, $V_{CM} = 0$) ($T_A = 25^\circ\text{C}$) (Over Temperature)	V_{IO}	—	3.0	5.0	—	3.0	10	mV
Average Temperature Coefficient of Input Offset Voltage ($I_{RS} = 50 \Omega$)	$\Delta V_{IO}/\Delta T$	—	5.0	—	—	5.0	—	$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
Change in Average TC with V_{IO} Adjust ($I_{RS} = 50 \Omega$) (Note 2)	$\Delta TC/\Delta V_{IO}$	—	0.5	—	—	0.5	—	$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ per mV
Input Offset Current ($V_{CM} = 0$) (Note 3) ($T_J = 25^\circ\text{C}$) ($T_J = 70^\circ\text{C}$)	I_{IO}	—	3.0	2.0	—	3.0	50	pA nA
Input Bias Current ($V_{CM} = 0$) (Note 3) ($T_J = 25^\circ\text{C}$) ($T_J = 70^\circ\text{C}$)	I_{IB}	—	30	100	—	30	200	pA nA
Input Resistance ($T_J = 25^\circ\text{C}$)	r_i	—	10^{12}	—	—	10^{12}	—	Ω
Large Signal Voltage Gain ($V_O = \pm 10$ V, $R_L = 2.0 \text{ k}$, $V_{CC} = 15$ V, $V_{EE} = -15$ V) ($T_A = 25^\circ\text{C}$) ($0^\circ\text{C} \leq T_A \leq +70^\circ\text{C}$)	A_{VOL}	50	200	—	25	200	—	V/mV
Output Voltage Swing ($V_{CC} = 15$ V, $V_{EE} = -15$ V, $R_L = 10 \text{ k}$) ($V_{CC} = 15$ V, $V_{EE} = -15$ V, $R_L = 2 \text{ k}$)	V_O	± 12 ± 10	± 13 ± 12	—	± 12 ± 10	± 13 ± 12	—	V
Input Common-Mode Voltage Range ($V_{CC} = 15$ V, $V_{EE} = -15$ V)	V_{ICR}	± 11	$+15.1$ -12.0	—	± 10	$+15.1$ -12.0	—	V
Common-Mode Rejection Ratio	CMRR	85	100	—	80	100	—	dB
Supply Voltage Rejection Ratio (Note 4)	PSRR	85	100	—	80	100	—	dB
Supply Current ($T_A = 25^\circ\text{C}$, $V_{CC} = 15$ V, $V_{EE} = -15$ V) LF355B-355 LF356B-357B LF355-357	I_D	—	2.0 5.0	4.0 7.0	—	2.0 —	4.0 —	mA

AC ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($V_{CC} = 15$ V, $V_{EE} = -15$ V, $T_A = 25^\circ\text{C}$)

Characteristic	Symbol	LF355B/356			LF356B/356			LF357B/357			Units	
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max		
Slew Rate (Note 5) ($A_v = 1$) LF355-356 ($A_v = 0$) LF357	SR	—	5.0	—	7.5	12	—	—	30	50	—	V/ μs
Gain-Bandwidth Product	GBW	—	2.5	—	—	5.0	—	—	20	—	—	MHz
Settling Time to 0.01% (Note 6)	t_p	—	4.0	—	—	1.5	—	—	1.5	—	—	μs
Equivalent Input Noise Voltage ($R_S = 100 \Omega$, $f = 100 \text{ Hz}$) ($R_S = 100 \Omega$, $f = 1000 \text{ Hz}$)	e_n	—	25	—	—	15	—	—	15	—	—	nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$
Equivalent Input Noise Current ($f = 100 \text{ Hz}$) ($f = 1000 \text{ Hz}$)	i_n	—	0.01	—	—	0.01	—	—	0.01	—	—	pA/ $\sqrt{\text{Hz}}$
Input Capacitance	C_i	—	3.0	—	—	3.0	—	—	3.0	—	—	pF

NOTES

- Unless otherwise specified, the absolute maximum negative input voltage is equal to the negative power supply.
- The temperature coefficient of the adjusted input offset voltage changes only a small amount (0.5 $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ typically) for each mV of adjustment from its original unadjusted value. Common-mode rejection and open loop voltage gain are also unaffected by offset adjustment.
- The input bias currents approximately double for every 10°C rise in junction temperature, T_J . Due to limited test time, the input bias currents are correlated to junction temperature. Use of a heat sink is recommended if input bias current is to be kept to a minimum.
- Supply voltage rejection ratio is measured for both supply magni-

tudes increasing or decreasing simultaneously, in accordance with common practice.

- The Min. slew rate limits apply for the LF356B and the LF357B, but do not apply for the LF356 or LF357.
- Settling time is defined here, for a unity gain inverter connection using 2.0 k resistors for the LF355-B. It is the time required for the error voltage (the voltage at the inverting input when the amplifier) to settle to within 0.01% of its final value from the time a 10 V step input is applied to the inverter. For the LF357, $A_v = -5.0$, the feedback resistor or from output to input is 2.0 k and the output load is 10 V (see settling time test circuit).

LM741/LM741A/LM741C/LM741E Operational Amplifier

General Description

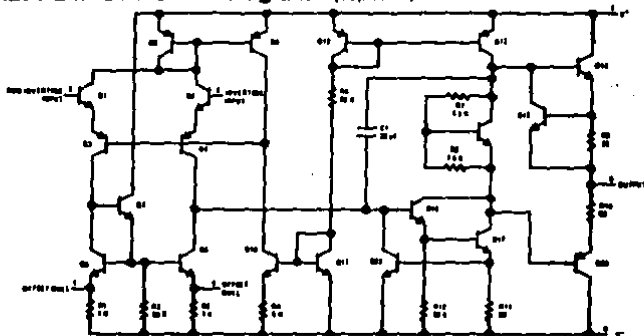
The LM741 series are general purpose operational amplifiers which feature improved performance over industry standards like the LM709. They are direct, plug-in replacements for the 709C, LM201, MC1439 and 748 in most applications.

The amplifiers offer many features which make their application nearly foolproof: overload pro-

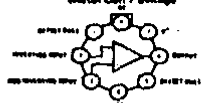
tection on the input and output, no latch-up when the common mode range is exceeded, as well as freedom from oscillations.

The LM741C/LM741E are identical to the LM741/LM741A except that the LM741C/LM741E have their performance guaranteed over a 0°C to +70°C temperature range, instead of -55°C to +125°C.

Schematic and Connection Diagrams (Top Views)

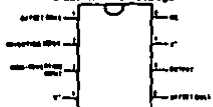


Metal Can Package



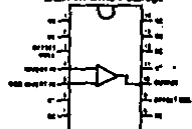
Order Number LM741M, LM741AM,
LM741CM or LM741EM
See NS Package N08C

Dual-In-Line Package



Order Number LM741CN or LM741EN
See NS Package N08B
Order Number LM741CJ
See NS Package J88A

Dual-In-Line Package



Order Number LM741CN-16
See NS Package N16A
Order Number LM741J-16,
LM741AJ-16
or LM741CJ-16
See NS Package J16A

Absolute Maximum Ratings

	LM741A	LM741E	LM741	LM741C
Supply Voltage	±22V	±22V	±22V	±18V
Power Dissipation (Note 1)	500 mW	500 mW	500 mW	500 mW
Differential Input Voltage	±30V	±30V	±30V	±30V
Input Voltage (Note 2)	±18V	±18V	±18V	±18V
Output Short Circuit Duration	Indefinite	Indefinite	Indefinite	Indefinite
Operating Temperature Range	-55°C to +125°C	0°C to +70°C	-55°C to +125°C	0°C to +70°C
Storage Temperature Range	-65°C to +150°C	-65°C to +180°C	-65°C to +150°C	-65°C to +150°C
Lead Temperature (Soldering, 10 seconds)	300°C	300°C	300°C	300°C

Electrical Characteristics (Note 3)

PARAMETER	CONDITIONS	LM741A/LM741E		LM741		LM741C		UNITS	
		MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX		
Input Offset Voltage	TA = 25°C				1.0	5.0	2.0	8.0	mV
	RS ≤ 10 kΩ								mV
	RS ≤ 50 Ω			0.8	3.0				mV
	TAMIN ≤ TA ≤ TAMAX								mV
	RS ≤ 50 Ω			4.0			6.0	7.5	mV
Average Input Offset Voltage Drift	RS ≤ 10 kΩ			1.5					μV/°C
Input Offset Voltage Adjustment Range	TA = 25°C, VS = ±20V	±10			±15		±15		mV
Input Offset Current	TA = 25°C		2.0	20	20	200	70	200	nA
	TAMIN ≤ TA ≤ TAMAX		70	70	85	850	380		nA
Average Input Offset Current Drift				0.8					nA/°C
Input Bias Current	TA = 25°C		30	80	80	800	60	800	nA
	TAMIN ≤ TA ≤ TAMAX		0.210			1.8	0.8	0.8	μA
Input Resistance	TA = 25°C, VS = ±20V	1.0	6.0		0.2	2.0	0.2	2.0	MΩ
	TAMIN ≤ TA ≤ TAMAX, VS = ±20V	0.8							MΩ
Open Voltage Range	TA = 25°C				±12	±13	±12	±13	V
	TAMIN ≤ TA ≤ TAMAX								V
Large Signal Voltage Gain	TA = 25°C, RL ≥ 2 kΩ		80						V/mV
	VS = ±20V, VO = ±15V				30	200	30	200	V/mV
	VS = ±18V, VO = ±10V								V/mV
	TAMIN ≤ TA ≤ TAMAX, RL ≥ 2 kΩ		32		26		15		V/mV
	VS = ±20V, VO = ±15V		10						V/mV
Output Voltage Swing	VS = ±20V		±18						V
	RL ≥ 10 kΩ		±15						V
	RL ≥ 2 kΩ				±12	±14	±12	±14	V
	VS = ±18V				±10	±13	±10	±13	V
	RL ≥ 10 kΩ								V
Output Short Circuit Current	TA = 25°C	10	25	25			25		mA
	TAMIN ≤ TA ≤ TAMAX	10	40						mA
Common-Mode Rejection Ratio	TAMIN ≤ TA ≤ TAMAX	80	85	70	85	70	85		dB
	RS ≤ 10 kΩ, VCM = ±12V								dB
	RS ≤ 50 Ω, VCM = ±12V								dB

Electrical Characteristics (Continued)

PARAMETER	CONDITIONS	LM741A/LM741E			LM741			LM741C			UNITS	
		MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX		
Supply Voltage Rejection Ratio	$T_{MIN} \leq T_A \leq T_{MAX}$ $V_S = +120V$ in $V_S = +18V$ $R_S \leq 80\Omega$ $R_L \leq 10k\Omega$	86	98					77	98	77	98	dB
Transient Response	$T_A = 25^\circ C$, Unity Gain											dB
			0.25	0.8	0.3		0.2					μs
Rise Time			6.0	20		5					5	%
Overhoot												%
Bandwidth (Note 4)	$T_A = 25^\circ C$	0.437	1.6									MHz
Slew Rate	$T_A = 25^\circ C$, Unity Gain	0.3	0.7		0.9		0.6		0.6		2.8	V/ μs
Supply Current	$T_A = 25^\circ C$				1.7	2.8		1.7	2.8			mA
Power Consumption	$T_A = 25^\circ C$											mW
	$V_S = +120V$		80	150								mW
LM741A	$V_S = +18V$				50	85		50	85			mW
	$V_S = +120V$											mW
LM741E	$T_A = T_{MIN}$			165								mW
	$T_A = T_{MAX}$			135								mW
LM741	$V_S = +120V$			180								mW
	$T_A = T_{MIN}$			150								mW
LM741	$T_A = T_{MAX}$			150								mW
	$V_S = +18V$				80	100						mW
	$T_A = T_{MIN}$				45	75						mW
	$T_A = T_{MAX}$											mW

Note 1: The maximum junction temperature of the LM741/LM741A is $150^\circ C$, while that of the LM741C/LM741E is $100^\circ C$. For operation at elevated temperatures, devices in the TO-8 package must be derated based on a thermal resistance of $150^\circ C/W$ junction to ambient, or $48^\circ C/W$ junction to case. The thermal resistance of the dual-in-line package is $100^\circ C/W$ junction to ambient.

Note 2: For supply voltages less than $\pm 18V$, the absolute maximum input voltage is equal to the supply voltage.

Note 3: Unless otherwise specified, these specifications apply for $V_S = +18V$, $-65^\circ C \leq T_A \leq +125^\circ C$ (LM741/LM741A). For the LM741C/LM741E, these specifications are limited to $0^\circ C \leq T_A \leq +70^\circ C$.

Note 4: Calculated value from: SRW (MHz) = $0.35/RI_{rise}$ Time (μs).

BIBLIOGRAFIA

- 1 Herrmann, U. F., "Sound Reinforcement", N. V. Philips' Gloeilampenfabrieken, Eindhoven, 1974.
- 2 Ballou, Glen, "Handbook for Sound Engineers", Howard W. Sams and Company, Audio Library, 1987.
- 3 Meyer, E., and Ernst-Georg Neumann, "Physical and Applied - Acoustics", Academic Press, London, 1972.
- 4 Turner, L. W., "Electronics Engineer's Reference Book", Butterworth & Co. (Publishers) Ltd., London, 1976.
- 5 Boylestad, R., and Louis Nashelsky, "Electronic Devices and Circuit Theory", Prentice Hall, Inc., Englewood Cliffs, N. J., 1982.
- 6 Malvino, A. P., "Electronic Principles", McGraw-Hill Co., U.S.A., 1979.
- 7 RCA, "Linear Integrated Circuits and MOS Devices", RCA Corporation, U.S.A., 1974.

- 8 Motorola, "Linear and Interface Integrated Circuits", Motorola, Inc., Phoenix, Ariz., 1985.
- 9 National Semiconductor, "Linear Databook", National Semiconductor Corporation, Santa Clara, California, 1982.
- 10 National Semiconductor, "Audio/Radio Handbook", National Semiconductor Corporation, Santa Clara, CA., 1980.
- 11 Cutler, Phillip, "Linear Electronic Circuits", McGraw-Hill, Inc. U.S.A., 1972.
- 12 Schilling, D.L., and C. Belove, "Electronic Circuits: Discrete - and Integrated", McGraw-Hill, New York, 1981.
- 13 Leidich, A. J., and Malchow M. E., "Applications of the RCA-CA3000 Integrated Circuit DC Amplifier", RCA Appl. Note ICAN-5030.
- 14 Voelker, E. J., and W. Teuber, "Sound System for a Multi-Purpose Hall: Requeriments and Applications", A E S Preprint, - Hamburg, March 5-8, 1985.
- 15 Barnett, Peter, "Sound Systems: A New Approach", Public -- Address, September 1984, pp. 7-10.
- 16 Barnett, P., and Peter Mapp, "Sound System Design: Distance and Power", Public Address, October 1984, pp. 6-7.
- 17 Barnett, P., and Peter Mapp, "Sound System Design: Distance and Power-Reverberant Field", Public Address, December 1984, pp. 10-14.
- 18 Feldman, L., "All About Microphones", Radio Electronics, October 1979, pp. 101-103, p. 144.