

Universidad
Nacional
de Quilmes

Código

1587

Musica electroacustica

Materia: Taller II (Leichman)

Tema: Acustica y sistemas de sonido

Autor: Miyara

Profesor: Leichman

Precio alumnos con Tarjeta

\$:8.30

Público general \$ 16.60

Usuarios frecuentes \$ 14.11

Centro de Impresiones

Universidad Nacional de Quilmes

Tel. 4365 - 7100 int. 212 * E-mail: impresiones@unq.edu.ar

Centro de Impresiones

Recomendaciones para realizar encargues

- Para realizar un encargo con la tarjeta debe tener un saldo mínimo igual al valor del encargo a realizar. De no poseer dicho saldo, deberá hacer *previamente* la carga correspondiente (en la fila de “Carga de crédito”).
- Los encargues realizados con la tarjeta sólo podrán ser retirados con la misma.
- Los encargues sin tarjeta deberán ser abonados en el momento de solicitados, al precio de público general y por la totalidad del importe.
- Luego de realizar un encargo se devuelve junto con la tarjeta un comprobante de la operación; recomendamos verificar que los códigos que figuran allí sean los correctos antes de retirarse del mostrador. Los reclamos posteriores a ese momento no serán tomados en cuenta.
- Los encargues pueden ser anulados *en el mismo momento* de haber sido realizados, acercándose al mostrador con la tarjeta con la que fue realizado.
- No se realizan encargues telefónicamente.
- Los encargues de cuadernillos de la Universidad Virtual de Quilmes (UVQ) tienen una demora de al menos dos días hábiles.

Recomendaciones para realizar impresiones

- Para imprimir un documento en el Centro de Impresiones se deben enviar los archivos por correo electrónico como adjunto a **impresiones@unq.edu.ar**; los archivos permanecerán almacenados por un máximo de 2 días.
- En el asunto del mail debe indicarse el apellido y nombre del solicitante de la impresión.
- Los archivos deben estar configurados en los tamaños A3 o A4, de lo contrario se cobrará la edición de los mismos, cuyo costo es de \$1 por hoja.
- El Centro de Impresiones no se hace responsable por los daños o pérdidas de discuetes que sean entregados para realizar alguna impresión. Se recomienda NO utilizar este método, pues además de ser obsoleto se pierde tiempo en el escaneo de virus.
- No se realizarán impresiones desde casillas de mail personales o desde el Campus Virtual de la UNQ; para tales efectos existe la casilla **impresiones@unq.edu.ar** antes mencionada.
- Usuarios de **hotmail** y **yahoo**: los archivos suelen demorar unos veinte minutos en llegar.

Consideraciones generales

- El mostrador se encuentra divido en secciones (encargues y retiros, copias e impresiones, carga de crédito) para brindarle un mejor servicio; respete las filas, no comprometa al empleado.
- Las copias suministradas por el Centro de Impresiones son para uso exclusivamente académico.



REUN

RED DE EDITORALES
DE UNIVERSIDADES
NACIONALES



EDITORIALES
DE LA

A.U.G.M.

ASOCIACIÓN DE
UNIVERSIDADES
GRUPO
MONTEVIDEO



ISBN Nº 950-673-196-9

ACUSTICA Y SISTEMAS DE SONIDO

UNR EDITORA

EDITORIAL DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE ROSARIO
URQUIZA 2050 - 2000 ROSARIO - REPUBLICA ARGENTINA
Impreso en la Argentina - Printed in Argentina

A María Victoria

Prólogo

Este libro ha sido escrito con el objeto de proporcionar al lector una base conceptual sobre los sistemas de sonido que resulte aprovechable tanto para el lector no especializado como para el que se dedique profesionalmente al manejo y aplicación de los mismos.

Dado que el hombre es un "animal de costumbre", y como tal tiene la capacidad de habituarse a determinados estímulos exteriores a él, le resulta fácil adaptar su propia percepción de los fenómenos a diversos paradigmas. Así, la "alta fidelidad" fue virando desde la antigua grabación magnética sobre un hilo de acero hasta la actual tecnología digital, pasando por la fonografía en disco de pasta y en disco de vinilo, por la monofonía y la estereofonía, por la cinta abierta y el cassette, por los reductores de ruido complementarios y no complementarios. En cada una de esas etapas, la "calidad" del sonido seguramente conformó y hasta sorprendió a muchos, hasta que esa calidad era superada por la de una nueva tecnología. Todo esto muestra el grado de subjetividad del hombre a la hora de juzgar un fenómeno perceptivo como la calidad del sonido, y, por consiguiente, la *necesidad de contar con criterios imparciales*, que sólo se logran mediante un adecuado andamiaje conceptual. El enfoque general del texto es, por lo tanto, conceptual, poniendo el acento más sobre los aspectos perdurables que sobre la abundancia de detalles relativos a marcas, modelos, o inclusive tecnologías o técnicas específicas rápidamente obsoletas.

Al seleccionar los temas a cubrir se puso especial énfasis en aquellos conceptos cuya comprensión resultaría beneficiosa para la actividad profesional del operador de sonido. Así, en los primeros capítulos se introduce la naturaleza ondulatoria del sonido y sus principales parámetros, como la frecuencia, la longitud de onda, la velocidad de propagación y la intensidad; la constituciónpectral del sonido como superposición de tonos puros y sus consecuencias; los mecanismos perceptivos básicos, como la percepción de la altura, la intensidad y el timbre, el enmascaramiento y la espacialidad; los rudimentos de la acústica musical; y el comportamiento del sonido en los recintos, en cuanto a ambiente, reverberación, absorción y aislación, incluyendo pautas para el tratamiento acústico de ambientes.

Luego se abordan los efectos del nivel sonoro excesivo sobre el oído humano, por ser éste un peligro considerable tanto para el operador de sonido como para el público que presencia un espectáculo o que participa de una fiesta o encuentro, o, peor aún, que concurre asiduamente a locales bailables con elevados niveles sonoros. Se aboga aquí por un uso responsable de la tecnología de audio.

Posteriormente se realiza un estudio de los sistemas de sonido, partiendo de las generalidades y luego centrándose en cada uno de los tipos de bloques principales que suelen aparecer en los modernos sistemas de sonido, ya sea para refuerzo sonoro como para la grabación y edición de la música o la voz. Así, se estudian primero los conceptos elementales de electricidad (tensión, corriente, potencia), imprescindibles para comprender las especificaciones y el conexionado de los equipos, y los conceptos de señal, ruido, distorsión y respuesta en frecuencia, para luego enfocar detalladamente los diversos dis-

Contenido

positivos y los procesos que éstos involucran: micrófonos, amplificadores, altavoces (parlantes), compresores y expansores, filtros y ecualizadores, procesadores de efectos (retardos, ecos, vibrato, trémolo, reverberación, coro, flanger, phaser, distorsionadores, resaltadores, excitadores, transpositores de altura).

También se introducen los conceptos básicos del audio digital, como el muestreo, la digitalización, la frecuencia de muestreo, la resolución, los filtros antialias y de suavizado, el sobre muestreo. Luego se enfocan los procesos de registro analógico y digital del sonido. Por último, se estudia la consola de mezcla, como elemento integrador de todos los dispositivos anteriores.

En el tratamiento de los temas se ha procurado no abusar de desarrollos matemáticos y detallados técnicos, manteniéndose dentro de los límites de lo estrictamente necesario. De hecho, el nivel matemático requerido no va más allá del álgebra elemental que toda persona aprende en su instrucción secundaria. Se han apoyado las explicaciones con abundantes figuras, y se han intercalado ejemplos de aplicación en muchos temas para facilitar su comprensión. Se ha dado especial importancia a una discusión de las especificaciones de los diversos equipos, proporcionando en muchos casos criterios de selección en función de las posibles aplicaciones.

El texto puede ser utilizado por cualquier persona interesada en adquirir una visión conceptual sobre la acústica, el audio y los sistemas de sonido, pero será especialmente provechoso para aquellos que desarrollan su actividad profesional o laboral en este rubro, ya que con demasiada frecuencia nos encontramos con sonidistas, técnicos u operadores que desconocen casi por completo el material sobre el que trabajan, es decir el sonido, así como las herramientas de que disponen para captarlo, modificarlo, elaborarlo y darle una forma y presentación acordes a las diversas circunstancias.

Indudablemente, podrá obtenerse mayor beneficio de este libro si se tiene la posibilidad de experimentar con los diversos dispositivos discutidos en él. Una buena idea para interiorizarse y conocer más a fondo los equipos es acudir a los comercios especializados y solicitar demostraciones de la operación, así como revisar las especificaciones y relacionarlas con lo que se escucha.

Quisiera concluir agradeciendo a quienes hicieron posible esta obra. A Mario Oyarbide y a Juan Carlos Benvenuti, por haberme impulsado, desde el Centro de Estudios de Tecnologías Artísticas (CETeAr), a transformar mis embrionarios apuntes en un libro de texto; a Ezequiel García Pinilla y a Mauricio Santiago, quienes colaboraron en la revisión de los originales; a mis alumnos, quienes con sus preguntas y su participación me fueron dando ideas sobre cómo explicar mejor las cosas; a todos mis profesores y maestros (cuya lista es interminable), incluidos los autores de los numerosos libros de los que me he ido nutriendo a lo largo de mi vida. A mis padres, Julia Verdeja y José Miyara, que supieron educarme en la importancia del conocimiento. Por último, y muy especialmente, a mi esposa, María Victoria Gómez, y a mis hijos, Francisco y Andrés, quienes soportaron estoicamente y sin protestar la virtual ausencia que implica el redactar y dar forma final a un libro.

CAPÍTULO 1. Acústica Física	I
Introducción. El sonido: un fenómeno ondulatorio. Velocidad del sonido. Sonidos periódicos. Longitud de onda. Período. Frecuencia. Presión sonora. Representación gráfica del sonido. Amplitud. Envoltorio. Nivel de presión sonora. Algunas formas de onda. Onda senoidal. Espectro del sonido. Espectro inarmónicos. Espectros continuos.	
CAPÍTULO 2. Psicoacústica	18
Introducción. Sensaciones psicoacústicas. Altura. Sonoridad. Timbre. Formantes. Direccionalidad del sonido. Efecto Haas. Espacialidad. Enmascaramiento	
CAPÍTULO 3. Acústica Musical	31
Introducción. Consonancia y disonancia. Escalas musicales. Instrumentos musicales acústicos. Instrumentos musicales electrónicos.	
CAPÍTULO 4. Acústica Arquitectónica	44
Introducción. Ecos. Reflexiones tempranas. Absorción sonora. Tiempo de reverberación. Tiempo de reverberación óptimo. Campo directo y campo reverberante. Resonancias. Materiales absorbentes acústicos. Aislación acústica.	
CAPÍTULO 5. Efectos del ruido en el hombre	58
Introducción. Efectos no clínicos. Efectos clínicos no auditivos. Efectos auditivos. Evolución de la sordera profesional.	
CAPÍTULO 6. Señales y sistemas	62
Introducción. Señales. Sistemas. Diagramas de bloques. Ruido. Rango dinámico. Distorsión. Respuesta en frecuencia. Procesamiento de Señal.	
CAPÍTULO 7. Electricidad	71
Circuitos eléctricos. Corriente eléctrica. Tensión. Fuente ideal de tensión. Resistencia. Potencia eléctrica. Divisor de tensión. Fuente real de tensión. Adaptación de carga. Resistencias en serie y en paralelo. Impedancia. Defasaje. Valor eficaz. Conexión balanceada. Fuente fantasma.	
CAPÍTULO 8. Micrófonos	82
Introducción. Sensibilidad. Respuesta en frecuencia. Direccionalidad. Micrófonos omnidiireccionales, cardioideos, figura de ocho. Micrófonos dinámicos. Micrófonos capacitivos. Polarización. Impedancia. Ruido. Distorsión. Otras especificaciones. Conexión balanceada. Fuente fantasma.	

Federico Miyara
Rosario, julio de 1999

CAPÍTULO 9. Amplificadores	100
Introducción. Ganancia. Niveles de señal. Decibeles referenciados: dBm, dBu, dBV. Señales de bajo nivel, nivel de línea, nivel de potencia. Clasificación de los amplificadores: preamplificadores, amplificadores de potencia. Potencia máxima de salida. Sensibilidad. Relación señal/ruido. Respuesta en frecuencia. Slew rate (velocidad de subida). Distorsión armónica y por intermodulación. Impedancia de entrada. Factor de amortiguación. Separación de canales. Conexiónado.	
CAPÍTULO 10. Altavoces y cajas acústicas	114
Introducción. Clasificación de los altavoces por su rango de frecuencia. Altavoces de bobina móvil. Excitadores de compresión. Acoplamiento a bocina. Cajas acústicas. Baffles. Baffle infinito. Baffle cerrado. Reflector de bajos. Especificaciones de potencia: potencia media máxima, potencia de programa máxima, potencia de pico máxima, potencia máxima EIA. Impedancia nominal. Sensibilidad. Nivel de presión sonora a una distancia y potencia dadas. Respuesta en frecuencia. Direccionalidad.	
CAPÍTULO 11. Filtros y ecualizadores	129
Introducción. Filtros pasabajos y pasaltos. Redes divisoras de frecuencia. Redes pasivas y activas. Multiamplificación. Ecualizadores. Controles de tono. Ecualizadores gráficos. Ecualización de un sistema electroacústico. Analizador de espectro. Ruido rosa. Ecualizadores paramétricos. Factor de mérito Q. Filtros notch.	
CAPÍTULO 12. Acoples	143
Introducción. Realimentación electroacústica. Ganancia de lazo. Técnicas para eliminar los acoples.	
CAPÍTULO 13. Compresores y limitadores	146
Introducción. Rango dinámico y relación señal/ruido. Compresores de audio. Amplificador controlado. Umbral. Relación de compresión. Efectos de la compresión. Ataque. Relevo. Hold. Nivel RMS y nivel de pico. Cadena lateral. De-esser y anti-pop. Limitadores. Compresor-límitador. Distorsión.	
CAPÍTULO 14. Compuertas y expansores	158
Introducción. Compuertas. Umbral. Histéresis. Envoltiente. Tiempo de ataque. Tiempo de relevo. Expansor. Umbral. Relación de expansión. Cadena lateral.	
CAPÍTULO 15. Audio digital	163
Introducción. Numeración binaria. Muestreo. Frecuencia y periodo de muestreo. Teorema del muestreo. Frecuencia de Nyquist. Filtros antialias. Digitalización. Resolución en bits. Conversor analógico-digital. Ruido de digitalización. Relación señal/ruido máxima. Reconstrucción de la señal. Conversor digital analógico. Retención simple. Filtro de suavizado. Sobregrabación. Memorias digitales. Memoria RAM y ROM. Direcciónamiento. Dither.	

CAPÍTULO 16. Efectos I: concepto y estructuras	174
Introducción. Efectos en serie y en paralelo. Conexiones de inserción. Envíos y retornos. Conexión auxiliar. Realimentación de efectos.	
CAPÍTULO 17. Efectos II: retardos, ecos, reverberación	177
Introducción. Retardos analógicos. Retardos digitales. Reflexiones y ecos. Eco simple. Eco múltiple. Inserción de ecualizadores. Reverberación. Preretardo y Reflexiones tempranas. Ambiencia. Aplicaciones. Efecto peine y su corrección. Otras aplicaciones de los retardos.	
CAPÍTULO 18. Efectos III: Modulación, Trémolo, Vibrato	186
Introducción. Modulación. Osciladores de baja frecuencia. Trémolo. Modulación de amplitud. Velocidad. Profundidad. Vibrato. Modulación de frecuencia. Modulación de un retardo. Retardo de referencia.	
CAPÍTULO 19. Efectos IV: Coro (chorus), Flanger	191
Introducción. Pulsaciones. Coro. Flanger. Antecedentes. Implementación digital. Cancelaciones por oposición de fase. Efecto peine. Resultados.	
CAPÍTULO 20. Efectos V: Wah-wah, Phaser	196
Introducción. Modulación de un filtro. Wah-wah. Controles de frecuencia, profundidad, velocidad. Forma de la onda modulante. Phaser. Cancelaciones.	
CAPÍTULO 21. Efectos VI: Distorsionador, resaltadores	199
Introducción. Alinealidades. Distorsionador. Diferencia entre la distorsión armónica y por intermodulación. Inserción de ecualizadores. Aplicación a líneas monodimensionales. Realizadores. Efecto psicoacústico. Aplicaciones.	
CAPÍTULO 22. Efectos VII: Transpositores de altura	202
Introducción. Transposición de altura. Principio de operación de los transpositores digitales. Aplicaciones. Ajuste de afinación. Corrección de afinación. Armonización y polifonía.	
CAPÍTULO 23. Registro magnético	206
Introducción. Tipos de registro. Cintas, discos flexibles, discos rígidos. Cinta abierta, cassette, DAT. Magnetismo y electromagnetismo. Teoría elemental del magnetismo. Interdependencia entre los fenómenos eléctricos y magnéticos. Ferrromagnetismo. Dominios magnéticos. Magnetización. Histéresis. Principios de la grabación magnética. Principios de la reproducción magnética. Estructura de un cabezal de grabación/reproducción. Polarización con corriente continua y alterna. Borrado. Respuesta en frecuencia. La cinta magnética. Nivel de grabación. Especificaciones de los grabadores de cinta. Reductores de ruido. Reductores complementarios y no complementarios.	

Capítulo 1

Acústica Física

CAPÍTULO 24. Registro digital
 Introducción. Clasificación de los sistemas de grabación digital. Principios de la grabación digital: sincronismo, detección y corrección de errores, ancho de banda. El disco compacto (CD): código de Reed-Solomon, subcódigo, modulación 8 a 14, sincronización. Especificaciones de los reproductores de discos compactos. Cinta de audio digital (DAT). Cassette Digital Compacto (DCC). Compresión de datos PASC. Corrección de errores, datos auxiliares y modulación. Especificaciones de los grabadores DCC. Aplicaciones de los sistemas DCC. Minidisc.

CAPÍTULO 25. Consolas de mezcla
 Introducción. Funciones específicas de una consola. Estructura de una consola de mezcla. Canales de entrada. Entradas de línea y de micrófono. Fuente fantasma. Entradas balanceadas y no balanceadas. Ajuste de nivel de entrada. Filtros de corte de baja frecuencia. Canales Mono y Estereofónicos. Conexión de inserción (insert). Equalizador. Faders de canal. Paneo. Solo y Sordina. Conexión auxiliar (envío y retorno). Grupos o submasters. Amplificador de mezcla. Fader principal. Vímetro. Sección de salida. Conexiones para grabador de cinta. Estructura de ganancia. Margen de sobrecarga (headroom). Especificaciones de las consolas. Conexiónado. Puesta a tierra. Conclusión.

281

304

311

309

Rama	Breve descripción
Acústica física	Análisis de los fenómenos sonoros mediante modelos físicos y matemáticos
Picacáustica	Estudio de las sensaciones evocadas por los sonidos y sus diversos parámetros
Acústica musical	Estudio de los instrumentos musicales, las escalas, los acordes, la consonancia y la disonancia, etc.
Acústica arquitectónica	Estudio de la acústica de salas y su influencia sobre la escucha de la palabra y la música
Bioacústica	Estudio del efecto de los sonidos sobre los seres vivientes, y de los sonidos producidos por éstos
Acústica fisiológica	Estudio del funcionamiento del aparato auditivo, desde la oreja hasta la corteza cerebral
Acústica ultrásónica	Estudio del ultrasonido, es decir el sonido inaudible de alta frecuencia, y sus aplicaciones
Acústica subacuática	Estudio del comportamiento del sonido en el agua, y sus aplicaciones
Macroacústica	Estudio de los sonidos extremadamente intensos, como el de las explosiones, turborreactores, etc.
Acústica estructural	Estudio del sonido que se propaga por las estructuras en forma de vibraciones
Acústica fonética	Ánalisis de las características acústicas del habla y sus aplicaciones
Mediciones acústicas	Técnicas de medición de diversos parámetros acústicos como frecuencia, intensidad, espectro, etc.

Tabla 1.1. Algunas subdisciplinas de la Acústica

GLOSARIO

TERMINOLOGÍA EN INGLÉS

BIBLIOGRAFÍA

ÍNDICE ALFABÉTICO

acústica arquitectónica. En este primer capítulo nos dedicaremos a los rudimentos de la acústica física, es decir el estudio de los fenómenos sonoros por medio de modelos físicos y matemáticos.

1.2. El sonido: un fenómeno ondulatorio

El sonido consiste en la propagación de una perturbación en el aire. Para comprender mejor este concepto imaginemos un tubo muy largo lleno de aire, con un pistón en su extremo. El aire está formado por una cantidad muy grande de pequeñas partículas o **moleculas**. Inicialmente, el aire dentro del tubo está en reposo, o, más técnicamente, en equilibrio (Figura 1.1a). Este equilibrio es dinámico, lo cual significa que las moléculas no están quietas, sino que se mueven caóticamente en todas las direcciones debido a la agitación térmica, pero con la particularidad de que están homogéneamente repartidas en el interior del tubo. En otras palabras, en cada centímetro cúbico (cm^3) de aire, ya sea cerca del pistón o lejos de él, hay aproximadamente la misma cantidad de moléculas (una cantidad muy grande: unos 25 trillones).

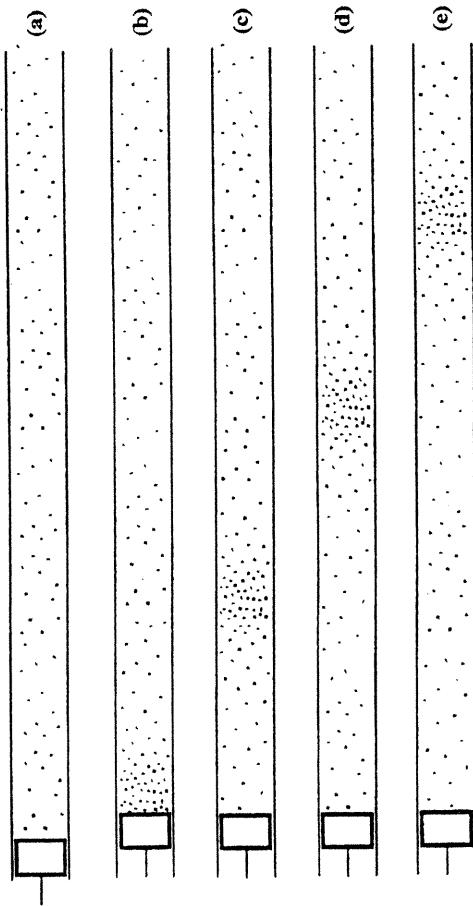


Figura 1.1. Propagación de una perturbación en un tubo. (a) El aire en reposo (moleculas repartidas uniformemente). (b) Ante una perturbación el aire se concentra cerca del pistón. (c), (d), (e) La perturbación se propaga alejándose de la fuente.

Supongamos ahora que se desplaza rápidamente el pistón hacia el interior del tubo (Figura 1.1b). Las moléculas que se encuentran junto al pistón serán empujadas por

te, mientras que las que se encuentran muy alejadas no. Esto implica que en la zona del pistón el aire se encontrará más comprimido que lejos de él, es decir que la misma cantidad de aire ahora ocupa menos espacio. En otras palabras, habrá ahora más moléculas por centímetro cúbico cerca del pistón que lejos de él. Al igual que lo que sucede cuando se abre la válvula de un neumático, el aire comprimido tiende a descomprimirse, desplazándose hacia la derecha, y comprimiendo a su vez el aire que se encuentra próximo a él (Figura 1.1c). Esta nueva compresión implica, otra vez, una tendencia a descomprimirse, que se efectiviza a costa de comprimir el aire contiguo (Figura 1.1d). El proceso se repite así en forma permanente, con lo cual la perturbación original (la compresión del aire cercano al pistón) se propaga a lo largo del tubo alejándose de la fuente de la perturbación (el pistón).

Este proceso se denomina también propagación de una onda sonora, y es similar a lo que sucede cuando en una pileta en calma se deja caer una piedra. En el instante en que la piedra golpea el agua, se produce una perturbación, que se propaga en forma de una circunferencia cuyo radio va en aumento, como se aprecia en la Figura 1.2.

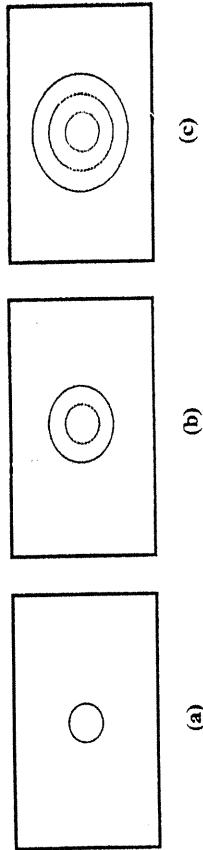


Figura 1.2. Una perturbación de la superficie del agua en una pileta inicialmente en calma se propaga como una circunferencia de radio cada vez mayor.
Al aire libre, es decir sin la restricción de un tubo (y en ausencia de superficies que reflejen el sonido), la perturbación se propaga, similamente, en forma de una onda estérica cuyo radio va aumentando a medida que transcurre el tiempo.

1.3. Velocidad del sonido

Ahora nos preguntamos qué tan rápido se aleja la onda de la fuente. La respuesta es que el sonido se propaga con una velocidad c que en el aire a 23°C vale o bien

$$c = 345 \text{ m/s},$$

$$c = 1242 \text{ km/h}.$$

Esta velocidad varía algo con la temperatura (un $0,17\%/\text{°C}$), por eso en diversos textos pueden encontrarse valores ligeramente diferentes. Una observación importante es que la velocidad del sonido es independiente de la intensidad de la perturbación.

Veamos algunos ejemplos. Si una persona se encuentra a 100 m de distancia de otra (aproximadamente una cuadra), un grito de la primera demorará, a causa de esta velocidad, 29 centésimas de segundo en llegar a donde se encuentra la segunda. Otro ejemplo es el de los relámpagos y los truenos. Un relámpago es una enorme chispa que se produce por una descarga eléctrica entre distintas capas de aire con cargas opuestas. Esta chispa produce a la vez luz y sonido. Sin embargo, la luz viaja a una velocidad mucha más alta, y alcanza nuestra vista casi instantáneamente, mientras que el sonido demora un tiempo apreciable en llegar a nosotros. Así, si cronómetro en mano comprobamos que el trueno se escucha 5 s después de ver un relámpago, conociendo la velocidad del sonido podemos calcular que el relámpago se produjo a una distancia

$$d = 345 \text{ m/s} \times 5 \text{ s} = 1725 \text{ m} = 1,725 \text{ km.}$$

Otro ejemplo interesante es el eco. Si gritamos frente a una superficie vertical un tanto alejada (por ejemplo una barranca o un acantilado), el sonido tardará un tiempo en llegar a la superficie, se reflejará en ella, y volverá demorando otro tiempo adicional. El resultado será que se escucha, unos instantes después, que la pared "repite" el grito. Más adelante veremos ejemplos correspondientes a los sistemas de sonido, en los cuales a causa de la distancia entre los parlantes y el público se producen retardos que es preciso corregir.

1.4. Sonidos periódicos

El fenómeno sonoro que analizamos anteriormente (Figura 1.1) consistía en una única perturbación del aire. La mayor parte de los sonidos de la naturaleza son, en realidad, el resultado no de una sino de *múltiples* perturbaciones sucesivas. Estos sonidos se denominan **periódicos**, y pueden dividirse en ciclos, donde cada ciclo abarca todo lo que sucede entre dos perturbaciones sucesivas del aire. En la Figura 1.3 se muestra un ejemplo de un sonido de este tipo. En (a) todavía no se ha producido ninguna perturbación. En (b) se produce la primera perturbación, que se propaga con una velocidad c alejándose del pistón. En (c), después de que la perturbación ha recorrido cierta distancia, el pistón se mueve nuevamente provocando una segunda perturbación. Mientras la primera perturbación sigue desplazándose con velocidad c , la segunda comienza a hacerlo también con velocidad c . En (d) y (e), se agregan nuevas perturbaciones, las cuales a su vez se propagarán con idéntica velocidad, y así sigue el proceso hasta que en algún momento cesa el sonido.

Siguiendo con la analogía de la piedra que cae en la pileta, podemos pensar en una sucesión de guijarros que caen sobre la superficie del agua, lo cual dará lugar a una serie de círculos concéntricos que van agrandándose a medida que van surgiendo nuevos círculos. Analogamente, al aire libre, y lejos de toda superficie capaz de reflejar el sonido, las sucesivas perturbaciones se propagaran como esferas concéntricas crecientes que se alejan de la fuente. En presencia de superficies reflectoras, la onda deja de ser esférica para volverse sumamente compleja.

Muchas veces se habla de campo sonoro para referirse a la forma en que se distribuye el sonido en los diversos puntos de un determinado espacio, por ejemplo dentro de una sala o al aire libre.

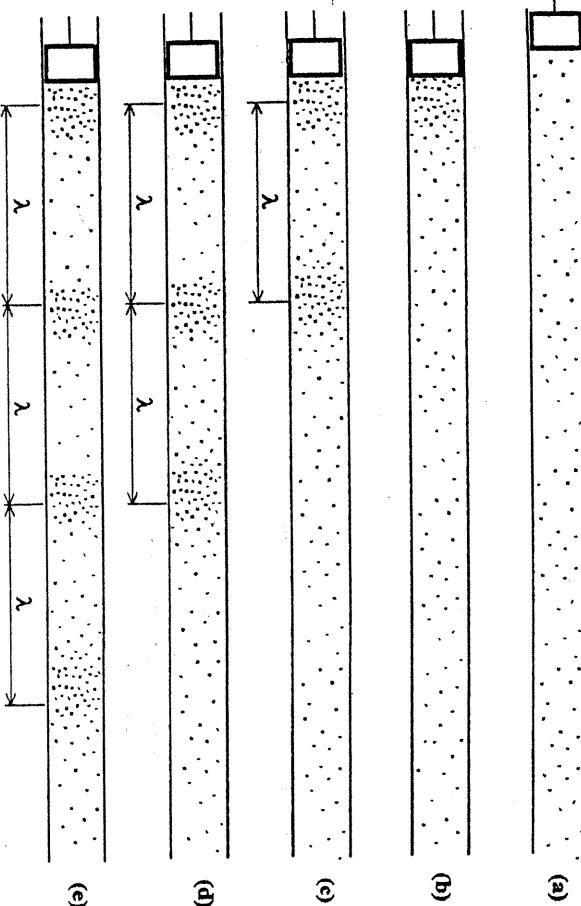


Figura 1.3. Un sonido consecuencia de una perturbación repetitiva, es decir, **periódica**. (a) El aire en reposo. (b) Primera perturbación. (c) Segunda perturbación, cuando la primera ha recorrido una distancia λ (longitud de onda). (d) Tercera perturbación, cuando la primera ha recorrido una distancia 2λ , y la segunda una distancia λ . (e) Cuarta perturbación, cuando las anteriores han recorrido las distancias 3λ , 2λ , y λ respectivamente.

1.5. Longitud de onda

Vamos ahora a definir algunos **parámetros** muy importantes relacionados con los sonidos periódicos. El primero es la **longitud de onda**, que se representa con la letra griega *lambda*, λ , y es la **distancia entre dos perturbaciones sucesivas en el espacio** (Figura 1.3). Se mide en metros (m) o en centímetros (cm), y para los sonidos audibles está comprendida entre los 2 cm (sonidos muy agudos) y los 17 m (sonidos muy graves).

La longitud de onda es importante en varias situaciones. En primer lugar, un objeto grande comparado con la longitud de onda es capaz de alterar significativamente la propagación del sonido cuando se interpone entre la fuente sonora y el oyente. Así, por ejemplo, los sonidos graves pueden "doblar la esquina" fácilmente porque su longitud de onda es grande. Los agudos, en cambio, cuya longitud de onda puede ser de apenas algunos cm, se ven considerablemente atenuados.

Otra situación en la cual la longitud de onda juega un papel importante es en la **eficiencia de los altavoces**. Cuando la longitud de onda λ emitida por un parlante es mucho más pequeña que su propio tamaño, la potencia emitida se reduce considerablemente. Por esa razón, los **tweeters** (altavoces de agudos) son mucho más pequeños que los **woofers** (altavoces de graves).

Por último, veremos más adelante que la respuesta de los micrófonos se ve alterada para aquellos sonidos de longitud de onda λ comparable con el tamaño del micrófono.

1.6. Período

Un segundo parámetro es el **período**, T , que se define como el **tiempo transcurrido entre una perturbación y la siguiente**. Se mide en **segundos (s)** o **milisegundos (ms)**, es decir la milésima parte de un segundo. El período de los sonidos audibles para el ser humano varía entre los **0.05 ms** (sonidos muy agudos) y los **50 ms** (sonidos muy graves). Cabe destacar que son tiempos muy cortos que impiden en general que los ciclos puedan percibirse como fenómenos separados. El cerebro tiende a integrarlos en una única sensación, la sensación sonora.

1.7. Frecuencia

El tercer parámetro, uno de los más fundamentales en Acústica, es la **frecuencia**, f . Se define como la **cantidad de ciclos por segundo**, o lo que es lo mismo, la **cantidad de perturbaciones por segundo**. Se expresa en **hertz (Hz)**, unidad llamada así en honor a Heinrich Hertz, científico del siglo XIX que descubrió las ondas de radio. Esta unidad es equivalente al **ciclo por segundo (cps)**, aunque la unidad Hz se encuentra más frecuentemente en los textos y en las especificaciones técnicas de los diversos equipos. La **frecuencia de los sonidos audibles está comprendida entre los 20 Hz (sonidos graves) y los 20.000 Hz (sonidos agudos)**, o **20 kHz (kilohertz, 20.000 Hz)**.

Existen algunas relaciones matemáticas importantes entre estos parámetros. Así, el período T y la frecuencia f están relacionados por las ecuaciones

$$f = \frac{1}{T}$$

$$T = \frac{1}{f}$$

en las cuales si T se expresa en s , entonces f se expresa en Hz , y si T se expresa en ms , f se expresa en kHz .

Por ejemplo, si sabemos que el período de cierto sonido es de **0.01 s**, es decir **$1/100 s$** , entonces la frecuencia será, aplicando la primera relación, **100 Hz**. Si, en cambio conocemos que la frecuencia es de **1.000 Hz**, aplicando la segunda relación se llega a que el período es de **0.001 s**, es decir **1 ms**.

La otra relación importante es la que vincula la longitud de onda con la frecuencia, y es la siguiente:

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

donde c es la velocidad del sonido. Así, un sonido de frecuencia **500 Hz**, tiene una longitud de onda de

$$\lambda = \frac{345}{500} = 0.69 \text{ m} = 69 \text{ cm}.$$

Como segundo ejemplo, la voz masculina (al hablar normalmente) tiene una frecuencia de unos **120 Hz**, lo cual corresponde, según la fórmula anterior, a una longitud de onda de **2.88 m**.

1.8. Presión sonora

Según hemos visto, el sonido puede considerarse como una sucesión de ondas de compresión seguidas por ondas de descompresión que se propagan por el aire a una velocidad de **345 m/s**. Sin embargo, si nos ubicamos en una posición fija, veremos que la presión atmosférica aumenta y disminuye periódicamente, conforme pasan por el lugar las sucesivas perturbaciones. Dado que nos referiremos bastante seguido a valores de presión, conviene aclarar que la unidad adoptada internacionalmente para la presión es el Pascal, abreviada Pa. Expresada en esta unidad, la presión atmosférica es del orden de **100.000 Pa** (o, como se suele anunciar en los informes meteorológicos, alrededor de **1.000 hPa**, donde hPa es la abreviatura de hectopascal), es decir **100 Pa**. Ahora bien. Los aumentos y las disminuciones de presión debidas a las ondas sonoras son realmente muy pequeños comparados con este valor de presión atmosférica. Los sonidos más intensos que se perciben como tales (después de eso se perciben como dolor) implican un aumento de unos **20 Pa**. Para distinguir este incremento de la presión atmosférica en ausencia de sonido, se lo denomina **presión sonora**, abreviada P. Así, la presión sonora es lo que se debe agregar a la presión atmosférica en reposo para obtener el valor real de presión atmosférica.

Por ejemplo, si la presión en reposo es de **100.000 Pa** y la presión en presencia de un sonido es de **100.008 Pa**, entonces la presión sonora es

$$P = 100.008 \text{ Pa} - 100.000 \text{ Pa} = 8 \text{ Pa}.$$

El trabajar con la presión sonora en lugar de la presión total, nos ahorra tener que arrastrar números con gran cantidad de cifras.

Las presiones sonoras audibles varían entre **0.00002 Pa y 20 Pa**. El valor más pequeño, también expresado como **$20 \mu\text{Pa}$** (donde μPa es la abreviatura de **micropascal**, es decir una millonésima de Pa), se denomina **umbral auditivo**.

1.9. Representación gráfica del sonido

Hasta ahora no habíamos tenido en cuenta la manera en que se aplican las perturbaciones sucesivas. Así, podría ocurrir que éstas fueran el resultado de un suave vaivén

del pistón, o que por el contrario cada perturbación consistiera en una brusca sacudida del mismo. La realidad es que aún manteniéndose la frecuencia, ambos sonidos sonarán muy diferentes, lo cual muestra la importancia de conocer la forma de la perturbación. Para ello se utiliza un tipo de representación gráfica denominada oscilograma, que consiste en mostrar la evolución en el tiempo de la perturbación (Figura 1.4) en un par de ejes correspondientes al tiempo (eje horizontal) y a la presión sonora (eje vertical).

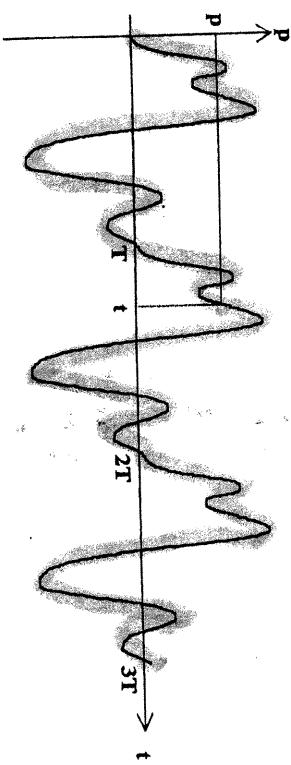


Figura 1.4. El oscilograma de un sonido, en el cual pueden apreciarse 3 ciclos o períodos completos del mismo. En el eje horizontal se representa el tiempo y en el eje vertical la presión sonora. Obsérvese que la forma de onda es en este caso relativamente completa.

El significado de este gráfico es que para cada instante t , representado como un punto o posición en el eje horizontal, corresponde una presión sonora P , representada por una altura medida en la escala del eje vertical. Los valores positivos (arriba del eje t) representan compresiones y los valores negativos (debajo del eje t), descompresiones.

Es interesante explorar el significado del periodo T y de la frecuencia f en un oscilograma. En la Figura 1.4 se puede apreciar que T es la duración de cada ciclo o período repetitivo de la onda. En la Figura 1.5, se ha dibujado la onda durante un tiempo de 1 s (en otra escala). Dado que hay 12 ciclos en dicho tiempo, la frecuencia es de 12 Hz.

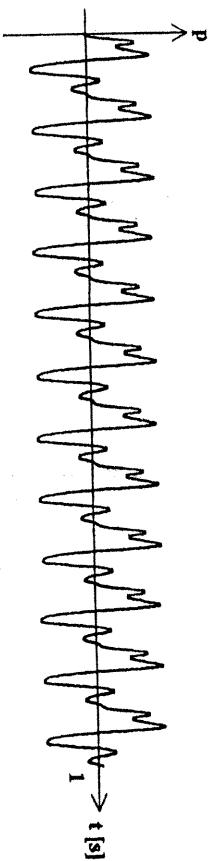


Figura 1.5. Significado de la frecuencia en un oscilograma. En la unidad de tiempo, es decir 1 s, se cuentan 12 ciclos, por lo cual la frecuencia es de 12 Hz.

1.10. Amplitud

El oscilograma nos permite interpretar fácilmente un parámetro del sonido vinculado a la fuerza o intensidad del mismo: la amplitud. La amplitud se define como el **máximo valor que alcanza una oscilación en un ciclo**. La amplitud se denomina también **valor de pico o valor pico**. En la Figura 1.6 vemos la misma forma de onda con dos amplitudes diferentes.

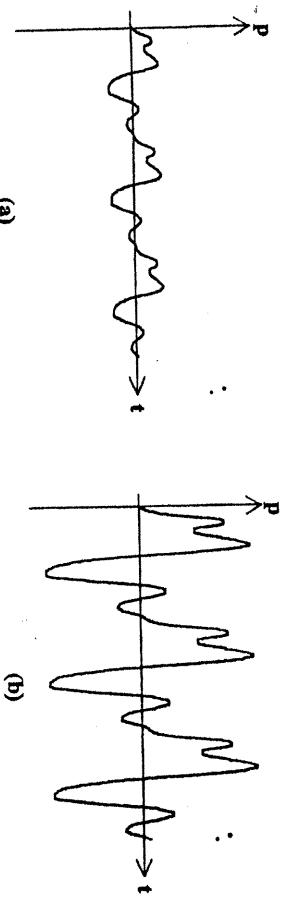


Figura 1.6. Dos ondas con igual frecuencia y forma de onda, pero con diferente amplitud. (a) Pequeña amplitud. (b) Gran amplitud.

1.11. Envoltorio

La amplitud de un sonido no es necesariamente constante, sino que puede variar en el tiempo. De hecho, la mayor parte de los sonidos reales tienen amplitud variable. Se define la envoltorio de un sonido como la forma que se obtiene uniendo las amplitudes de los ciclos sucesivos. En la Figura 1.7 se puede apreciar una onda cuya amplitud varía en el tiempo. En linea de trazos se muestra la envoltorio respectiva.

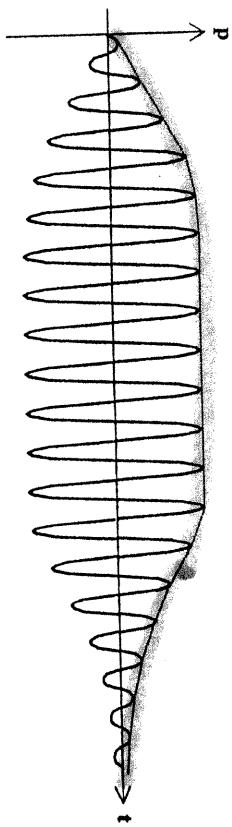


Figura 1.7. Una forma de onda con amplitud variable con el tiempo. En línea de trazos se ha dibujado la envoltorio, curva que une los picos de cada ciclo.

Veremos que la envolvente es uno de los factores decisivos en la determinación del timbre de una voz o instrumento. El otro factor es el espectro, que veremos también oportunamente.

1.12. Nivel de presión sonora

Para el rango de los sonidos audibles, la presión sonora varía entre valores extremadamente pequeños ($0,00002 \text{ Pa} = 20 \times 10^{-6} \text{ Pa}$) hasta valores que si bien todavía pequeños, son *un millón* de veces más grandes que los anteriores (20 Pa). Estas cifras son poco prácticas de manejar, por lo cual se ha introducido otra escala que comprime este rango: la escala de decibeles. Para expresar una presión sonora en decibeles, se define primero una presión de referencia P_{ref} que es la mínima presión sonora audible (correspondiente al sonido más suave que se puede escuchar):

$$P_{\text{ref}} = 0,00002 \text{ Pa} = 20 \mu\text{Pa}.$$

Entonces se define el nivel de presión sonora, NPS (en inglés se utiliza la sigla SPL, sound pressure level), mediante la siguiente fórmula:

$$\text{NPS} = 20 \log_{10} \frac{P}{P_{\text{ref}}} \quad [\text{dB}],$$

donde P es la presión sonora, y \log_{10} el logaritmo en base 10. El resultado está expresado en decibeles, abreviado dB. Así, para un sonido apenas audible, para el cual $P = P_{\text{ref}}$, resulta

$$\text{NPS} = 20 \log_{10} \frac{P}{P_{\text{ref}}} = 20 \log_{10} 1 = 0 \text{ dB}$$

dado que el logaritmo de 1 es 0. Como segundo ejemplo, consideremos un sonido que tiene una amplitud 1000 veces mayor que el anterior. Entonces

$$\text{NPS} = 20 \log_{10} \frac{1000 P_{\text{ref}}}{P_{\text{ref}}} = 20 \log_{10} 1000 = 60 \text{ dB},$$

por ser $\log_{10} 1000 = 3$. Por último, para el sonido más intenso,

$$\text{NPS} = 20 \log_{10} \frac{P}{P_{\text{ref}}} = 20 \log_{10} 1.000.000 = 120 \text{ dB}.$$

La expresión matemática mediante la cual se calcula el nivel de presión sonora no es en realidad importante *desde el punto de vista práctico*, ya que el instrumento con el que se mide NPS, es decir el decibelímetro, no está graduado en valores de presión, sino precisamente en dB, por lo cual en la práctica no hace falta calcular el valor de NPS a partir del correspondiente valor de presión.

En la Tabla 1.2 se indican algunos valores de conversión entre presión sonora y nivel de presión sonora.

Tabla 1.2. Valor de la presión correspondiente a varios niveles de presión sonora.

NPS [dB]	P [Pa]
120	20,0
110	6,3
105	3,6
100	2,0
95	1,1
90	0,63
85	0,36
80	0,20
75	0,11
70	0,063
60	0,020
50	0,0063
40	0,0020
30	0,00063
20	0,00020
10	0,000063
0	0,000020

1.13. Algunas formas de onda

Podemos afirmar que virtualmente cada sonido implica una forma de onda diferente. Existen sin embargo algunas formas de onda que reciben especial atención, ya sea por su simplicidad o por su utilidad práctica o teórica. La primera de ellas es la **onda cuadrada**, que consiste en dos niveles (generalmente uno positivo y el otro negativo) que se van alternando en el tiempo. Cada uno de ellos permanece un tiempo $T/2$, donde T es el período. En la Figura 1.8 se muestra un ejemplo. Esta onda es muy fácil de sintetizar electrónicamente. No existe en la Naturaleza, pero es muy fácil de escuchar.

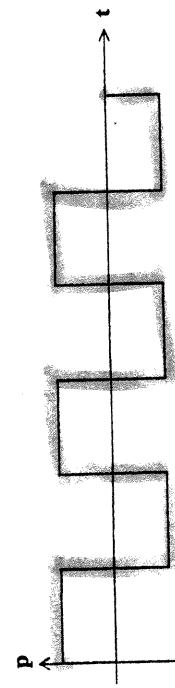


Figura 1.8. Tres ciclos de una onda cuadrada.

Una variante de la onda cuadrada es el **tren de pulsos**, en el cual el tiempo de permanencia en cada uno de los dos niveles no es el mismo. Se suele especificar un porcentaje que corresponde a la proporción del periodo en el nivel alto. En la Figura 1.9 se muestra un tren de pulsos al 25%.

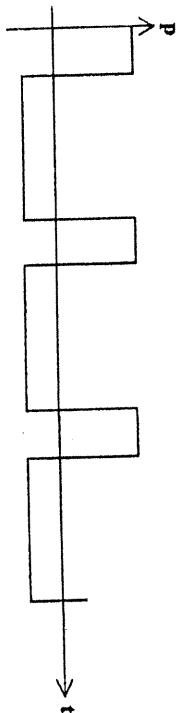


Figura 1.9. Tres ciclos de un tren de pulsos al 25%.

Otra forma de onda interesante es la **onda triangular** (Figura 1.10). Está formada por rampas que suben y bajan alternadamente.

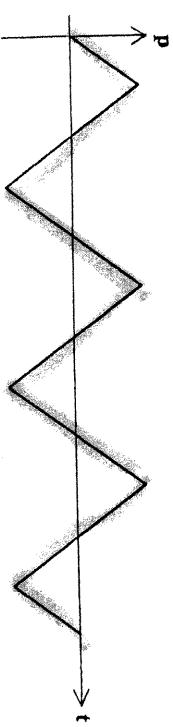


Figura 1.10. Tres ciclos de una onda triangular.

La **onda diente de sierra** (Figura 1.11) tiene una subida rápida y una bajada en forma de rampa o viceversa. Si bien tampoco es una forma de onda natural, la forma de onda del sonido del violín guarda cierta similitud con la diente de sierra. También tienen

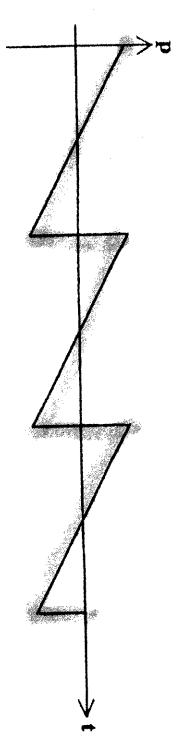


Figura 1.11. Tres ciclos de una onda diente de sierra

esta forma de onda los sonidos que se generan al rozar dos objetos, por ejemplo el chiringo cuando se frota rápidamente una tiza en un pizarrón.

1.14. Onda senoidal

Finalmente, tenemos la onda más importante, no sólo en Acústica sino en toda la Física y gran parte de la Matemática: la **onda senoidal** (Figura 1.12), también denominada **senoide** o **sinusoide**. Si bien matemáticamente tiene cierta complicación (está representada por la función trigonométrica **seno**), físicamente esta forma de onda corresponde a las oscilaciones más sencillas posibles. Pocos sistemas son tan simples como para oscilar senoidalmente. El más conocido es el péndulo: la oscilación de un peso suspendido de un hilo sigue una ley senoidal. En el campo de la música, el diapasón de berquilla (no confundir con el corista o afinador de banda) produce un sonido casi puramente senoidal. El silbido es también casi senoidal, y lo mismo ocurre con una flauta ejecutada *piano* (suave): Una cuerda de guitarra punteada muy suavemente en su punto medio también produce un sonido aproximadamente senoidal.

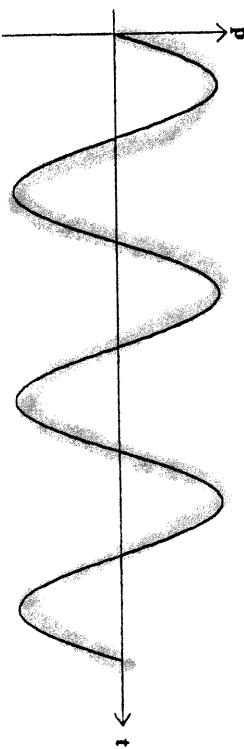


Figura 1.12. Tres ciclos de una onda senoidal o senoide.

Pero lo que da mayor importancia todavía a esta forma de onda es el hecho de que **cualquier onda periódica** puede considerarse como una **superposición** (suma) de ondas senoidales de distintas frecuencias, todas ellas múltiplos de la frecuencia de la onda (propiedad conocida como Teorema de Fourier). Dichas ondas se llaman **armónicas**. Esta superposición no se limita a ser un artificio de análisis del sonido, sino que si se escucha atentamente es perfectamente audible en muchos casos. La onda senoidal es la más simple precisamente porque *consta de una sola frecuencia*.

1.15. Espectro del sonido

Vimos que cualquier sonido periódico puede representarse como la suma de una serie de armónicos, es decir de sonidos senoidales cuyas frecuencias son $f, 2f, 3f, 4f, 5f$, etc. Por ejemplo, el LA central del piano, cuya frecuencia es de 440 Hz, contiene armónicos de frecuencias 440 Hz, 880 Hz, 1320 Hz, 1760 Hz, 2200 Hz, etc. Cada uno de estos armónicos puede tener su propia amplitud. En la Figura 1.13a se muestran los primeros armónicos de una onda cuadrada, y en la Figura 1.13b se ha obtenido su suma, que según se aprecia se va aproximando a la onda cuadrada.

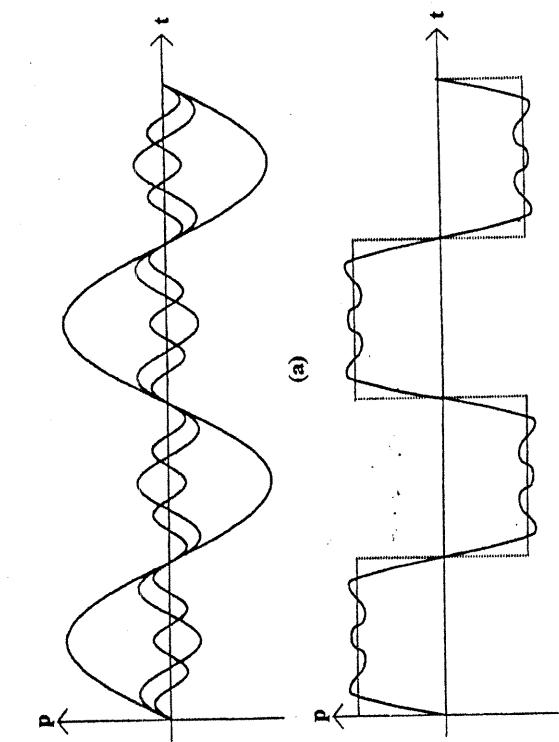


Figura 1.13. (a) Los tres primeros armónicos no nulos de una onda cuadrada de frecuencia f_0 , cuyas frecuencias son f_0 , $3f_0$ y $5f_0$. (b) El resultado de superponer los tres armónicos, comparado con la onda cuadrada. Si bien tres armónicos son poca cantidad, vemos que comienza a esbozarse la forma de la onda cuadrada.

La información sobre las frecuencias que contiene un determinado sonido y sus respectivas amplitudes constituyen lo que se denomina el **espectro del sonido**. El espectro se puede especificar en forma de tabla, o se puede representar gráficamente mediante un **spectrograma**, que es un gráfico con dos ejes: el horizontal, graduado en frecuencia, y el vertical, en amplitud. En la Tabla 1.3 se indican los primeros armónicos para las ondas cuadrada, triangular y diente de sierra, suponiendo que la amplitud es, 1 en los

tres casos, 1. En la Figura 1.14 se ha representado el spectrograma para una onda cuadrada de amplitud 1 y frecuencia 100 Hz, incluyendo hasta el armónico 7.

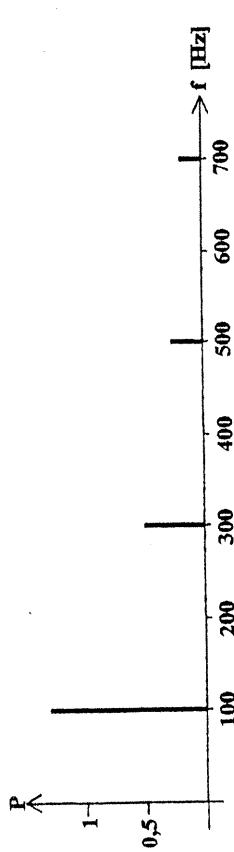


Figura 1.14. Espectro de una onda cuadrada de amplitud 1 y frecuencia 100 Hz. Esta onda tiene únicamente armónicos impares.

Así como la amplitud de un sonido puede variar en el tiempo de acuerdo con su envolvente, también es posible que los diversos armónicos que integran determinada forma de onda posean sus correspondientes envolventes, que no tienen por qué ser iguales. De hecho, esto es lo que sucede en la mayoría de los sonidos naturales. Un caso bastante común es que los armónicos superiores (los de frecuencias más altas) se extingan antes que los de menor frecuencia, quedando al cabo de unos segundos un sonido prácticamente senoidal. Esto sucede por ejemplo en el piano, cuyos sonidos comienzan con un gran contenido armónico (en cantidad y amplitud), lo cual se manifiesta como una sonoridad brillante e incisiva. A medida que transcurre el tiempo, los armónicos de mayor frecuencia van desapareciendo, y el sonido se vuelve más opaco.

Agregando un tercer eje para representar el tiempo (lo cual obliga a una representación tridimensional, a menudo hecha sobre el papel o la pantalla recurriendo a la perspectiva), es posible representar gráficamente la variación temporal de cada armónico, como se muestra en la Figura 1.15.

1.16. Espectros inarmónicos

Hasta ahora hemos analizado el caso de espectros armónicos, es decir en los cuales las frecuencias presentes eran múltiplos de cierta frecuencia, denominada frecuencia fundamental. No hay impedimento, sin embargo, para que los "armónicos" sean de frecuencias cualesquiera, por ejemplo 100 Hz, 235 Hz y 357 Hz. De hecho, muchos sonidos naturales son de esta última clase, por ejemplo el sonido de las campanas, o el correspondiente a los diversos tipos de tambores. En estos casos las ondas senoidales que constituyen el sonido en cuestión se denominan **sonidos parciales** en lugar de armónicos. Este tipo de sonidos no es periódico, a pesar de lo cual también pueden representarse gráficamente en un oscilograma. Sin embargo, lógicamente, **no podrá identificarse una frecuencia ni un período**. El espectro correspondiente a estos sonidos se denomina **espectro inarmónico**.

Tabla 1.3. Amplitud de los primeros 7 armónicos del espectro de las ondas cuadrada, triangular y diente de sierra.

ARMÓNICO N°	CUADRADA	TRIANGULAR	DIENTE DE SIERRA
1	1.27	0.31	0.64
2	0	0	0.32
3	0.42	0.09	0.21
4	0	0	0.16
5	0.25	0.032	0.13
6	0	0	0.11
7	0.18	0.017	0.091

También puede representarse un spectrograma de estos sonidos. A diferencia de lo que ocurre en los espectros armónicos, las líneas espetrales no están equiespaciadas.

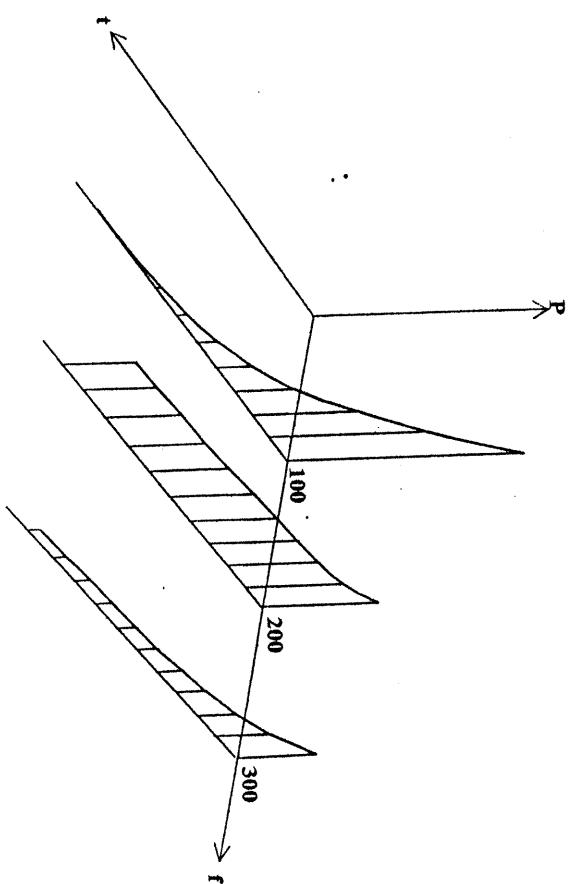


Figura 1.15. Espectrograma tridimensional en el cual se pone de manifiesto la evolución temporal de cada armónico. En este ejemplo se ha tomado una forma de onda de 100 Hz con sólo 3 armónicos. El armónico 1 (100 Hz) se extingue rápidamente, el armónico 2 (200 Hz) se extingue muy lentamente, y el armónico 3 (300 Hz) se extingue moderadamente rápido. Al cabo de algún tiempo, por consiguiente, predomina ampliamente el segundo armónico.

En el caso de los espectros inarmónicos también puede existir una variación en el tiempo, pudiendo en este caso inclusive variar no sólo la amplitud de los sonidos parciales, sino también la frecuencia. En los sonidos reales esta variación existe, aunque normalmente es pequeña. Se debe a que la frecuencia con que vibran algunos cuerpos físicos varía ligeramente con la amplitud de vibración, por lo cual al ir disminuyendo esta amplitud, su frecuencia varía con ella.

1.17. Espectros continuos

Existen otro tipo de sonidos, formados por una cantidad muy grande de parcelas muy próximas entre sí, que se denominan genéricamente **ruido**. Algunos ejemplos de esto son el sonido del mar, el ruido de fondo de un cassette y el sonido que se emite al

pronunciar las consonantes f , j , s , z o simplemente al soplar. Debido a la gran cantidad de parciales presentes, y al hecho de que cada uno es de amplitud muy pequeña, lo más conveniente es representar el espectro no mediante líneas espetrales individuales, sino como una curva continua (Figura 1.16) denominada **densidad espectral**, P^2 .

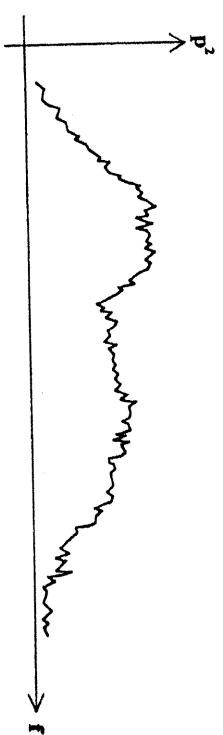


Figura 1.16. Ejemplo de espectro continuo de un ruido. En el eje horizontal se indica la frecuencia, y en el vertical la densidad espectral, que representa la energía en función de la frecuencia.

Existen dos tipos de ruido que tienen importancia específica en Acústica: el **ruido blanco** y el **ruido rosa**. También se menciona a veces el **ruido browniano**. El ruido blanco (Figura 1.17a) se caracteriza por tener una densidad espectral constante, es decir igual para todas las frecuencias. Esto significa que contiene parciales de todas las frecuencias con igual amplitud. El nombre de ruido "blanco" proviene de realizar una analogía con la luz blanca, que contiene todos los colores del espectro con la misma intensidad. El ruido rosa (Figura 1.17b) contiene mayor proporción de bajas frecuencias (de ahí el nombre de "rosa", ya que contiene todas las bajas frecuencias, que en la luz correspondían al color rojo). Tiene la particularidad de que en cada octava (es decir el intervalo de frecuencias desde un do al siguiente, o desde un re al siguiente, etc.) tiene la misma energía sonora. El ruido rosa tiene aplicación en la escualización de sistemas de sonido mediante ecualizadores por octavas o por tercios de octava. Es también una señal útil para la prueba de equipos de sonido, ya que es un tipo de ruido que suena natural al oído.

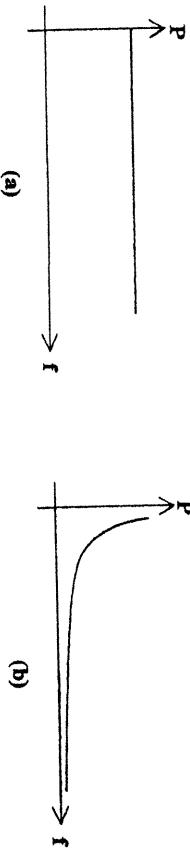


Figura 1.17. (a) Densidad espectral del ruido blanco. (b) Densidad espectral del ruido rosa.

escualización de sistemas de sonido mediante ecualizadores por octavas o por tercios de octava. Es también una señal útil para la prueba de equipos de sonido, ya que es un tipo de ruido que suena natural al oído.

Capítulo 2

Psicoacústica

2.1. Introducción

Brevemente, la Psicoacústica se dedica a estudiar la percepción del sonido, es decir, cómo el oído y el cerebro procesan la información que nos llega en forma de sonido.

2.2. Sensaciones psicoacústicas

Cuando escuchamos un sonido, percibimos sensaciones que pueden ser clasificadas en tres tipos: la **altura**, la **sonoridad** y el **timbre**. La altura es la sensación que nos permite distinguir los sonidos graves de los agudos, y, más específicamente, diferenciar los sonidos de una escala musical. La sonoridad, en cambio, es la sensación por la cual distinguimos un sonido fuerte de uno débil. El timbre agrupa una serie de cualidades por las cuales es posible distinguir los sonidos de los diversos instrumentos y voces.

En una primera aproximación, cada parámetro físico del sonido se corresponde de manera más o menos directa con un tipo de sensación psicoacústica específica. Así, la frecuencia está relacionada con la sensación de altura, la amplitud con la sonoridad, y el espectro (incluyendo las posibles envolventes) con el timbre. Veremos, sin embargo, que la cuestión no es tan sencilla, existiendo en general una importante dependencia entre cada sensación y *todos* los parámetros del sonido.

2.3. Altura

La relación entre frecuencia y altura es bastante directa, correspondiendo las bajas frecuencias a sonidos graves y las altas frecuencias a sonidos agudos (Figura 2.1). En realidad, la altura como parámetro psicofísico varía un poco, además, con la intensidad del sonido, es decir que un sonido débil y otro fuerte de la misma frecuencia parecen tener alturas ligeramente distintas. También varía un poco con el timbre. Un timbre muy brillante parece ser más agudo que uno más opaco, aún cuando la frecuencia y la intensidad sean iguales.

La relación matemática entre la altura y la frecuencia es la siguiente. Si se conoce la frecuencia de una nota de la escala, por ejemplo f_{LA} , la frecuencia de la nota ubicada

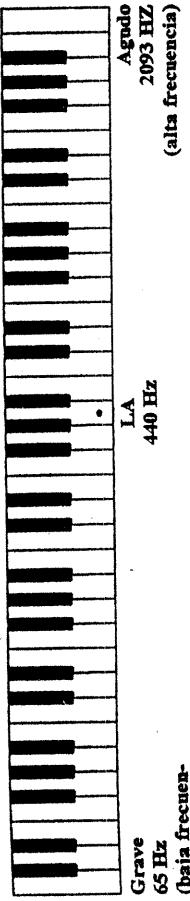


Figura 2.1. Relación entre la frecuencia y la altura en un teclado de 5 octavas. Se ha marcado el LA central, cuya frecuencia se encuentra normalizada internacionalmente a 440 Hz.

un semitonos más arriba (es decir, en un teclado, la tecla blanca o negra inmediatamente a la derecha), en este caso f_{SIB} , puede obtenerse multiplicando por $\sqrt[12]{2}$:

$$f_{SIB} = \sqrt[12]{2} \cdot f_{LA},$$

es decir

$$f_{SIB} \approx 1,05946 \cdot f_{LA}.$$

Así, si $f_{LA} = 440$ Hz, resulta $f_{SIB} \approx 466,16$ Hz. Aplicando esta fórmula sucesivamente se puede determinar la frecuencia de todas las notas superiores al LA. Para las notas inferiores, se divide por $\sqrt[12]{2}$ en lugar de multiplicar por dicho valor.

En la Tabla 2.1 se dan las frecuencias correspondientes a la octava central (la que contiene el LA 440), obtenidas por este procedimiento. Para determinar las frecuencias de las notas de otras octavas, podría continuarse, con el procedimiento anterior o bien

Tabla 2.1. Frecuencias correspondientes a las notas de la octava central.

NOTA	FRECUENCIA (Hz)
DO	261,63
DO#	277,18
RE	293,66
RE#	311,13
MI	329,63
FA	349,23
FA#	369,99
SOL	392,00
SOL#	415,30
LA	440,00
LA#	466,16
SI	493,88
DO'	523,25

utilizar otra relación matemática que indica que para obtener la frecuencia de una nota una octava más alta, simplemente se *multiplica por 2*. Por ejemplo el LA ubicado una octava por encima del LA central tiene una frecuencia de 2×440 Hz, es decir 880 Hz. Analógamente, para determinar la frecuencia de una nota una octava más baja, se *divide por 2*.

2.4. Sonoridad

La sensación de sonoridad, es decir de fuerza, volumen o intensidad de un sonido, está, en principio, relacionada con su amplitud. Sin embargo la relación no es tan directa como la que existe entre la frecuencia y la altura. De hecho, la sonoridad resulta en realidad fuertemente dependiente no sólo de la amplitud sino también de la *frecuencia*. Así, a igualdad de frecuencias podemos afirmar que un sonido de mayor amplitud es más sonoro. En la Figura 2.2 se muestra el ejemplo de dos sonidos de 200 Hz, de los cuales el de mayor amplitud es más sonoro. Pero si aumentamos la frecuencia del sonido de *menor amplitud*, éste puede llegar a percibirse como *más sonoro*. En el ejemplo de la Figura 2.3, el sonido de menor amplitud se lleva a 600 Hz, percibiéndose ahora con mayor sonoridad.

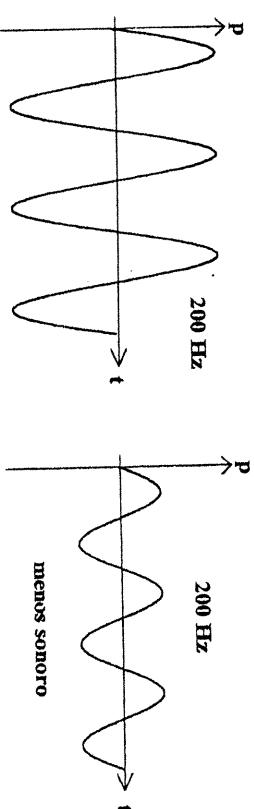


Figura 2.2. Dos senoides de frecuencia 200 Hz. La de mayor amplitud se percibe como más sonora.

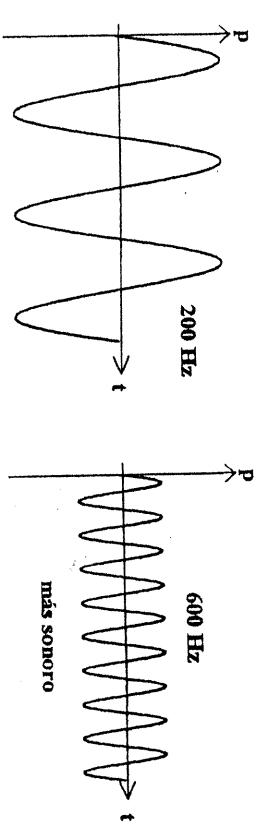


Figura 2.3. Dos senoides de frecuencia 200 Hz y 600 Hz respectivamente. La de mayor amplitud se percibe como *menos sonora*.

Los resultados anteriores obedecen al hecho de que el oído es más sensible en las frecuencias centrales, es decir entre 500 Hz y 5 kHz, que en las muy bajas o muy altas. Se han realizado investigaciones para demostrar este hecho, la primera de las cuales data de 1933, y fue llevada a cabo por los investigadores norteamericanos Fletcher y Munson. El experimento consistía en lo siguiente. Se hacía escuchar a personas de buena audición un tono puro (es decir senoidal) de 1 kHz y de un nivel de presión sonora conocido, por ejemplo 40 dB. Luego se les presentaba un tono de otra frecuencia (por ejemplo 200 Hz) y se les pedía que ajustaran el volumen hasta que les pareciera *igualmente sonoro* que el tono de 1 kHz. Por último se media el nivel de presión sonora. Repitiendo este experimento con diversas frecuencias y niveles de presión sonora se obtuvieron las curvas de igual nivel de sonoridad, o curvas de Fletcher y Munson, que se adjuntan en la Figura 2.4. Estas curvas permitieron definir el nivel de sonoridad, NS, de un tono como el *nivel de presión sonora de un tono de 1 kHz igualmente sonoro que dicho tono*.

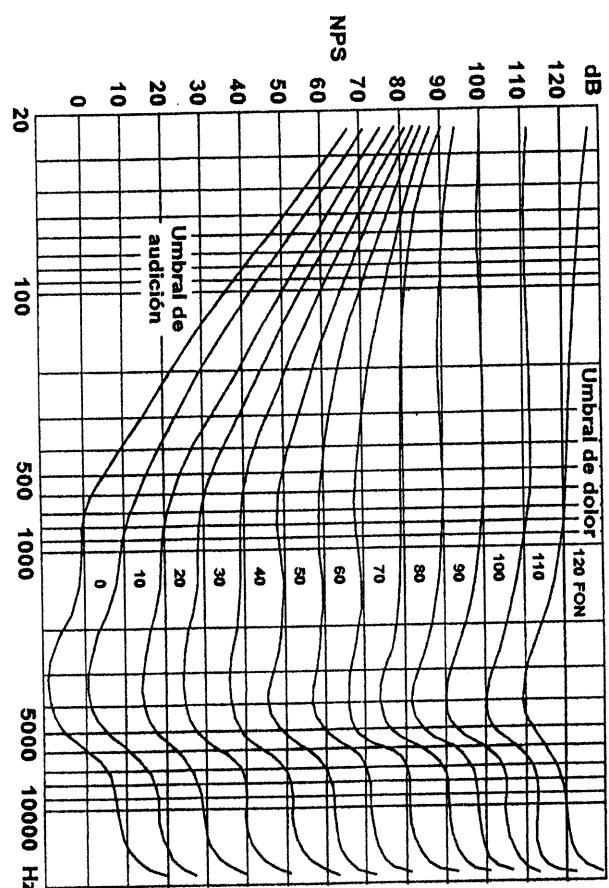


Figura 2.4. Curvas de Fletcher y Munson. Un tono de 200 Hz y 40 dB de NPS provocará la misma sensación de sonoridad que uno de 1000 Hz y 20 dB de NPS. Se dice entonces que tiene un *nivel de sonoridad de 20 fon*. Obsérvese que a igual NPS los sonidos muy graves (baja frecuencia) y los muy agudos (alta frecuencia) tienen menor nivel de sonoridad que los sonidos medios. Además, en la zona de los 3000 Hz se tiene la mayor sensibilidad del oído. La curva de 0 fon es el umbral de audición, y la de 120 fon, el umbral de dolor.

Para diferenciar el nivel sonoro del nivel de presión sonora, se lo expresa en **fon**. En la Figura 2.4 se muestra el ejemplo de un tono de 200 Hz y 40 dB, el cual se escucha igualmente sonoro que uno de 1000 Hz y 20 dB, de donde el primero tiene $NS = 20$ fon. Las curvas extremas son los límites de la audición humana. La correspondiente a 0 fon es el **umbral de audición**, por debajo del cual una vibración del aire no es perceptible. Conviene aclarar que el umbral de audición depende realmente de la persona y del estado de su oído. La curva de 0 fon es el umbral para personas de buena audición. Una pérdida de 10 a 20 dB respecto a este umbral se considera normal. Por encima de los 25 dB de pérdida, comienzan las dificultades para la comprensión oral. La curva de 120 fon corresponde al **umbral de dolor**. De allí para arriba, en lugar de sonido como tal comienza a percibirse un **dolor intenso**, además de empezar de inmediato el **dano irreversible** del oído interno.

Las curvas de Fletcher y Munson permiten explicar diversos fenómenos y hechos que se observan en audiotécnica, por ejemplo por qué se requiere mayor potencia de un equipo de sonido para tener buenos graves que para lograr una adecuada respuesta en frecuencias medias. Son también la razón de los filtros de **sonoridad** de los equipos de sonido, que aumentan la proporción de graves cuando se escucha a bajo volumen. También explican por qué un equipo de baja potencia y mala calidad puede así y todo sonar “fuerte”: al distorsionar el sonido, agrega armónicos de alta frecuencia que se escuchan más que las bajas frecuencias originales.

Una vez conocida esta característica de la audición, se pretendió construir un instrumento de medición capaz de indicar no la variable física asociada (por ejemplo el nivel de presión sonora), sino precisamente el nivel sonoro. Si bien ninguno de los intentos resolvió el problema por completo, se logró una solución aceptable agregando a un decíbelímetro un filtro que tuviera una respuesta similar a la del oído. Para ello, antes de realizar la medición simplemente se atenían los graves, que es justamente lo que hace el oído. El resultado fue una nueva escala de decibeles: los **decibeles A (dBA)**, que se popularizó a tal punto que la mayoría de las mediciones de sonido o ruido hoy en día se expresan en dBA. Las excepciones son los casos en que se requiere valores objetivos con carácter experimental. El instrumento utilizado para medir dBA es el **medidor de nivel sonoro** (no debe confundirse **nivel sonoro** con **nivel de sonoridad**, ya que el primero es el resultado de aplicar el filtro antidecho, mientras que el segundo es el parámetro psicoacústico definido por las curvas de Fletcher y Munson). En la Tabla 2.2 se resumen algunos niveles sonoros de fuentes y ambientes típicos, que puede ser de utilidad para estimar un nivel sonoro cuando no se dispone de un medidor de nivel sonoro.

2.5. Timbre

El **timbre** de un sonido es una calidad compleja, que depende de varias características físicas. El estudio de los diversos aspectos del timbre fue muy motivado por el deseo de reproducir artificialmente los sonidos de los instrumentos naturales, así como de crear timbres completamente nuevos, dando origen a diversas técnicas de síntesis de sonidos. Si bien hoy en día los sintetizadores electrónicos son los de mayor difusión y expansión, la síntesis de sonidos cuenta con varios siglos de historia. En efecto, el órgano de tubos puede atestiguar los esfuerzos del ingenio humano en este sentido.

Hay dos enfoques para el análisis del timbre. El primero estudia los sonidos aislados, y se propone identificar todos los elementos que los distinguen de otros sonidos. El

Tabla 2.2. Nivel sonoro para varias fuentes y ambientes típicos.

FUENTE	FO	NS (dBA)
Umbral de dolor		120
Discoteca a todo volumen		110
Martillo neumático a 2 m		105
Ambiente industrial ruidoso		90
Piano a 1 m con fuerza media		80
Automóvil silencioso a 2 m		70
Conversación normal		60
Ruido urbano de noche		50
Habitación interior (día)		40
Habitación interior (noche)		30
Estudio de grabación		20
Cámara sonoramortiguada		10
Umbral de audición a 1 kHz		0

segundo enfoque, clasifica los sonidos según la fuente (por ejemplo un instrumento), y asocia una calidad timbrica con cada fuente.

El primer enfoque distingue un sonido grave de un clarinete, por ejemplo, de otro sonido agudo del mismo instrumento. De hecho, quien no conoce el clarinete, al escuchar separadamente ambos registros (grave y agudo) puede pensar que se trata de instrumentos diferentes. Aquí intervienen dos elementos: el **espectro** y las **envolventes**. Hay una **envolvente primaria**, que es la que determina la forma en que varía en el tiempo la amplitud general, y una serie de **envolventes secundarias**, que corresponden a las variaciones temporales relativas de los armónicos o de los parciales (según que el espectro sea armónico o inarmónico respectivamente). La envolvente primaria está fuertemente relacionada con la forma en que se produce el sonido, y caracteriza a familias completas de instrumentos. Las envolventes secundarias dependen de la manera en que se amortiguan las diferentes frecuencias del espectro.

En los sintetizadores electrónicos de sonidos se ha procurado desde el principio proveer recursos para controlar estas envolventes. Al principio se trabajaba con una envolvente primaria de 4 tramos, denominada **ADSR** (siglas de Attack-Decay-Sustain-Release, es decir Ataque-Caidá-Sosten-Relevo), que se muestra en la Figura 2.5. Los sintetizadores actuales permiten, según su complejidad (lo cual en general está en proporción al costo), definir las envolventes con mayor precisión, es decir con mayor cantidad de tramos. Las envolventes secundarias se han implementado con una multitud de técnicas, por ejemplo la utilización de filtros variables con el tiempo, la modulación de frecuencia, y la síntesis aditiva.

Las envolventes mencionadas varían con la altura del sonido, es decir con su frecuencia, y también pueden variar con la intensidad, es decir con la amplitud del sonido. En el primer caso, resulta natural que en los sonidos de mayor frecuencia los tiempos se reduzcan, ya que a mayor frecuencia las cosas suceden más rápido. En el segundo caso, los sonidos más intensos producen un efecto equivalente a una distorsión, lo cual agrega más frecuencias al espectro, modificando de hecho las envolventes secundarias.

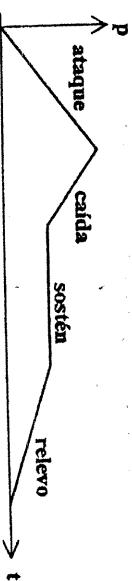


Figura 2.5. Envoltorio característico de los primeros sintetizadores de sonido, formada por 4 tramos, que aproxima las envolventes de diversos instrumentos, variando la posición de los extremos de cada tramo.

2.6. Formantes

El segundo enfoque de análisis del timbre, en cambio, busca las características comunes a todos los sonidos de un instrumento o de una voz, y las que los distinguen de los sonidos de otros instrumentos o voces. El elemento fundamental de este análisis es la existencia de resonancias en los componentes accesorios al mecanismo propiamente dicho de producción del sonido, resonancias que filtran el sonido, favoreciendo determinadas frecuencias más que otras.

Para ilustrar este concepto, tomemos por ejemplo la voz humana. El mecanismo que produce el sonido son las denominadas **cuerdas vocales**, ubicadas en la laringe, detrás de la nuez de Adán (protuberancia notoria en los varones a la mitad del cuello). Dicho sonido es filtrado por las diversas cavidades del conducto vocal: la laringe, la cavidad oral (boca) y la cavidad nasal (interior de la nariz). Estas cavidades actúan como tubos, y es sabido que al escuchar a través de un tubo, el sonido se "colora", es decir que adquiere una calidad diferente de la original, debido precisamente a su acción filtrante, que privilegia algunas frecuencias sobre otras. Cada una de las cavidades agrega una "coloración" propia, que se combinan para originar no sólo el timbre particular de cada voz, sino el que corresponde, dentro de una misma voz, a cada vocal.

Las frecuencias de las resonancias se denominan **formantes**. En la Figura 2.6 se muestra, mediante un ejemplo, la forma en que actúan los formantes. Por simplicidad se ha supuesto que el sonido original tiene un espectro compuesto por varios armónicos de igual amplitud. Luego de atravesar el filtro, aquellos armónicos cuyas frecuencias son cercanas a los formantes F_1 , F_2 y F_3 predominan frente a las otras.

El cerebro es capaz de realizar (inconscientemente) un análisis tan elaborado de los sonidos que percibe el oído como para **detectar los formantes característicos de un instrumento o fuente sonora**, y así asociar como pertenecientes a un **único timbre** sonidos con espectros bastante diversos.

Por esta razón, el timbre puede reconocerse aún cuando debido a una deficiencia de un sistema de sonido el espectro se altere. Esto sucede, por ejemplo, en los equipos de mala calidad, que atenían las frecuencias bajas (graves) así como las altas (agudos). Sin embargo, los formantes, que habitualmente están en la región central del espectro, es decir entre los 200 Hz y los 4000 Hz, no son tan severamente afectados y por lo tanto "sobreviven" a la distorsión, permitiendo reconocer el timbre. Un ejemplo son las radios de bolsillo. Otro es el teléfono; en este caso, la fundamental (primer armónico) de las

vozes masculinas (y de gran parte de las femeninas) es virtualmente eliminada, lo que no impide que sigamos reconociendo ni los **fónenos** ni los **timbres de voz**.

No obstante, conviene aclarar que la mera identidad timbrica no es equivalente a la **fidelidad** del sonido, aunque en muchos casos, como en el sistema telefónico, es suficiente con la primera para lograr una buena inteligibilidad del mensaje.

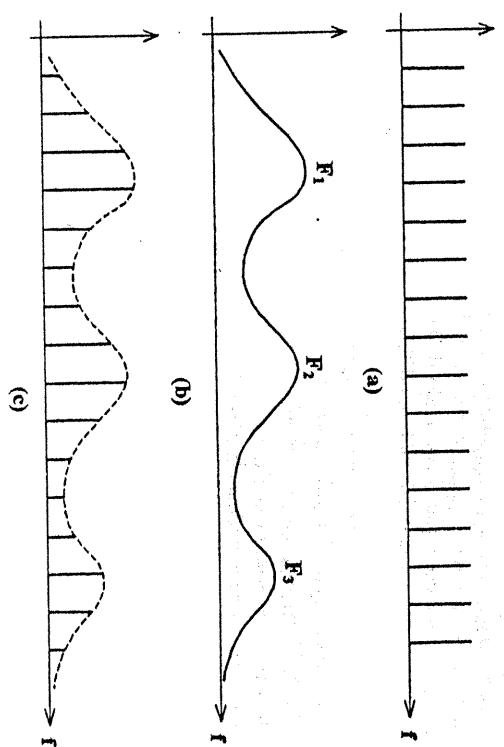


Figura 2.6. Efecto de los formantes. (a) Espectro hipotético de un sonido (por simplicidad se ha supuesto de amplitud constante). (b) Curva de los formantes. (c) Espectro luego de la acción de filtrado de los formantes.

Para concluir con esta breve descripción del timbre, es interesante observar que ni los formantes, ni las envolventes ni el espectro *tomados aisladamente* permiten explicar el timbre, que es más bien resultado de la interacción de todos estos factores. Se han realizado experimentos en los cuales se priva al sonido de un instrumento de su ataque (es decir se altera severamente su envolvente), y el sonido se vuelve prácticamente inpercibible, aunque sus formantes y su espectro permanezcan intactos. Por ejemplo, quitando el ataque al piano se obtiene un sonido que más bien parecerá ser de algún instrumento de viento. Del mismo modo, si conservamos la envolvente original pero cambiamos los formantes, se escuchará un sonido algo percusivo como el del piano, pero indudablemente diferenciado de aquél. Se han realizado multitud de experimentos que muestran fenómenos de este tipo y que ponen de manifiesto la complejidad del timbre.

2.7. Direccionalidad del sonido

Hasta el momento hemos estudiado el sonido como una onda de presión que pasa por un lugar, sin prestar atención a su procedencia. Pero los sonidos reales se origi-

nan en fuentes que están ubicadas en algún lugar del espacio circundante, dando origen a dos tipos de sensaciones: la **direccionalidad** y la **espacialidad**. La **direccionalidad** se refiere a la capacidad de localizar la dirección de donde proviene el sonido. Esta sensación es la que nos permite ubicar visualmente una fuente sonora luego de escucharla. La **espacialidad**, en cambio nos permite asociar un sonido con el ambiente en el cual éste se propaga, y estimar por ejemplo las dimensiones de una habitación o una sala sin necesidad de recurrir a la vista.

La **direccionalidad** está vinculada con dos fenómenos. El primero es la pequeña diferencia de tiempos que hay entre la percepción de un sonido con el oído derecho y con el oído izquierdo, debido a que el recorrido de la onda sonora desde la fuente (un instrumento, por ejemplo) hasta cada oído es diferente (Figura 2.7). Así, un sonido proveniente de la izquierda llegará antes al oído izquierdo, simplemente porque éste está más cerca de la fuente sonora. Esta diferencia es siempre menor que 0,6 ms.

El otro fenómeno es la diferencia de presiones sonoras (o intensidades), también causada por la diferencia entre las distancias. En el ejemplo del sonido que viene de la izquierda, la presión sonora es mayor en el oído izquierdo, no sólo por estar más cerca de la fuente, sino porque además la cabeza actúa como barrera para el sonido.

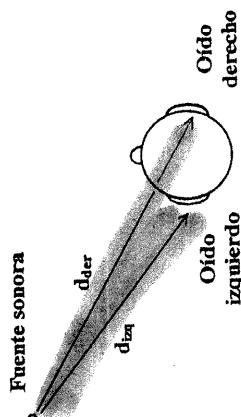


Figura 2.7. Direccionalidad del sonido. El recorrido entre la fuente sonora y el oído izquierdo es menor que el correspondiente al oído derecho, es decir $d_{izq} < d_{der}$. Por esto el sonido llega antes y con mayor presión al oído izquierdo que al derecho.

2.8. Efecto Haas (de precedencia)

Un experimento interesante consiste en alimentar unos auriculares estereofónicos con dos señales iguales, una de las cuales se encuentra ligeramente retardada respecto a la otra (Figura 2.8). Si se va aumentando el retraso desde 0 a 0,6 ms, se crea la sensación de una fuente virtual (es decir aparente) que parece desplazarse desde el frente hacia el lado que no experimenta retraso. Después de los 0,6 ms y hasta los 35 ms de retraso, la fuente virtual permanece más o menos fija, pero parece ensancharse cada vez más. Para retrasos mayores de 35 ms la fuente virtual se divide en dos, percibiéndose separadamente ambos canales, como provenientes de fuentes diferentes. A medida que el retraso se hace mayor, el segundo sonido aparece como un eco del primero. Este experimento

ilustra el denominado **efecto de precedencia**, o también **efecto Haas** (en honor al investigador que estudió sus consecuencias para la inteligibilidad de la palabra), que puede utilizarse para controlar de un modo más realista la ubicación aparente de una fuente en la imagen estereofónica.

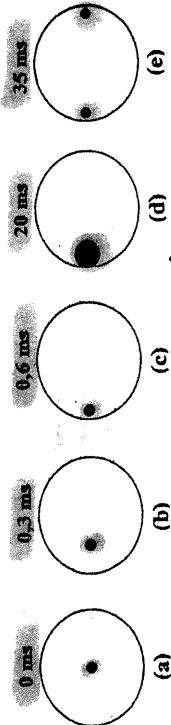


Figura 2.8. Efecto Haas, o efecto de precedencia. Se envía por medio de auriculares un sonido corto a ambos oídos, estando el correspondiente al oído derecho retrasado respecto al del oído izquierdo. En la figura se muestran las imágenes auditivas ante diferentes retardos: (a) La señal llega a ambos oídos simultáneamente (sin retraso). (b) La señal llega al oído izquierdo a ambos oídos simultáneamente (sin retraso). (c) La señal llega al oído izquierdo 0,3 ms después que al oído derecho: la fuente virtual se desplaza hacia la derecha. (d) La señal llega al oído izquierdo 0,6 ms después que al oído derecho: la fuente virtual deja de moverse. (e) La señal llega al oído izquierdo 20 ms después que al oído derecho: la fuente virtual parece ensancharse. (e) La señal llega al oído izquierdo 35 ms después que al oído derecho: por primera vez se crea la sensación de dos fuentes virtuales.

2.9 Espacialidad

La espacialidad del sonido depende de varios factores. El primero es la **distancia entre la fuente y el oído**. Esto está vinculado a la familiaridad que se tenga con una fuente sonora específica (o un tipo de fuente). A mayor distancia, la presión sonora es menor, lo que hace que si se conoce la fuente, se pueda tener una idea de la distancia. Por ejemplo, si escuchamos a alguien *hablar normalmente*, podemos saber si se encuentra cerca o lejos. Si se trata de una fuente desconocida, el cerebro la asocia inconscientemente con alguna fuente que resulte más familiar.

El segundo factor lo constituyen las **reflexiones tempranas**. En el descampado, la onda sonora generada por una fuente se aleja indefinidamente atenuándose hasta volverse inaudible (Figura 2.9a). En un ambiente cerrado, en cambio, la onda sonora se refleja en las paredes múltiples veces (Figura 2.9b). Las primeras reflexiones se denominan **reflexiones tempranas**. Las reflexiones tempranas proveen al sistema auditivo una clave temporal que se relaciona con la distancia entre las paredes, lo cual a su vez se vincula al tamaño del ambiente. Esto crea la sensación de ambientalidad.

El tercer factor que hace a la espacialidad del sonido es la **reverberación**. El fenómeno de la reverberación se produce como consecuencia de las numerosas reflexiones tardías del sonido. Mientras que las primeras reflexiones (las reflexiones tempranas) están distanciadas considerablemente, las subsiguientes comienzan a superponerse entre sí, debido a que aparecen las reflexiones de las reflexiones, y luego las reflexiones de las

reflexiones de las reflexiones, y así sucesivamente. Esto lleva a que al cabo de unos pocos instantes se combinen miles de reflexiones que dan origen a la reverberación (Figura 2.10).

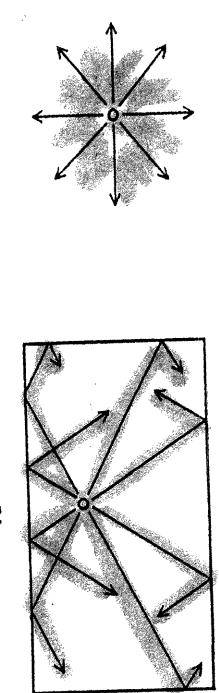


Figura 2.9. (a) Una fuente sonora en campo abierto: el sonido se aleja indefinidamente de la fuente. (b) Una fuente sonora encerrada en un ambiente cerrado: el sonido se refleja una y otra vez en las superficies del recinto (paredes, techo y piso).

El efecto más conocido de la reverberación es el hecho de que el sonido se prolonga aún después de interrumpida la fuente. Por ejemplo si golpeamos las manos, aunque el sonido generado es muy corto, "permanece" en el ambiente durante algunos instantes. El tiempo de permanencia, o **tiempo de reverberación**, depende de las características acústicas del ambiente, y nos da una clara sensación de espacialidad que puede y debe ser aprovechada en audiodescena para evocar ambientes de gran realismo.

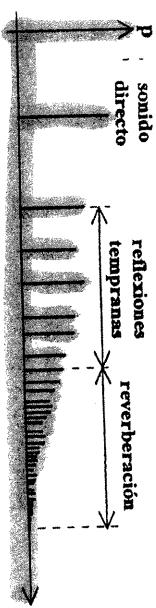


Figura 2.10. Reflexiones tempranas y reverberación en un ambiente cerrado.

El último factor que interviene en la sensación de espacialidad es el movimiento de la fuente. Muchas fuentes son fijas, pero otras son móviles, y la movilidad es percibida a través no solo del desplazamiento evocado por la dirección de procedencia del sonido, sino por el denominado efecto Doppler, por el cual la frecuencia de una fuente móvil parece cambiar. Así, cuando una ambulancia se acerca a nosotros, la altura (frecuencia) del sonido emitido por la sirena es mayor (más agudo) que cuando la ambulancia se detiene. Cuando, contrariamente, ésta se aleja, la altura baja, (más grave). Este efecto sólo rara vez se utiliza en música, ya que normalmente se supone que los instrumentos musicales se mantienen en una posición determinada, o los eventuales desplazamientos se producen con lentitud, siendo el cambio de frecuencia imperceptible. Tiene aplicación,

sin embargo, en las bandas de sonido de películas o videos, ya que permite simular con mayorrealismo una fuente móvil (típicamente un vehículo).

2.10. Enmascaramiento

Dentro de las cualidades del oído hay una que tiene consecuencias de gran importancia para la audición, y es el hecho de que los sonidos son capaces de **enmascarar** a otros sonidos. Enmascarar a un sonido significa ocultarlo o hacerlo imperceptible. El enmascaramiento es un fenómeno bastante familiar para todos. Sigue, por ejemplo, cuando intentamos escuchar a alguien que habla en medio de un ruido muy intenso: no podemos discriminar lo que dice porque su voz es **enmascarada por el ruido**.

Es interesante observar que el enmascaramiento es **una propiedad del oído, no del sonido**. En un buen equipo de audio, si mezclamos un sonido muy intenso (por ejemplo 90 dB) con otro muy débil (por ejemplo 20 dB), la salida de los parlantes contendrá ambos sonidos en sus proporciones originales. Esto puede comprobarse aislando sucesivamente, mediante filtros adecuados, uno u otro sonido. Sin embargo el oído *no percibe* 90 dB.

Se ha estudiado con gran detalle el efecto enmascaramiento de los sonidos sobre otros sonidos. Para ello se determinó cómo cambia la curva del umbral de audición ante la presencia de un sonido dado (denominado **sonido máscara**, o **sonido enmascarante**). Esta determinación se repitió para diversos sonidos máscara, de distintas frecuencias, amplitudes y contenidos espectrales. A modo de ejemplo, en la Figura 2.11 se muestra el efecto de un tono máscara de 400 Hz para varios niveles sonoros (40 dB, 60 dB y 80 dB). Se puede apreciar que a medida que aumenta el nivel de presión sonora del tono máscara, mayor resulta el incremento del umbral, lo cual significa que los otros tonos deberían ser cada vez más intensos para no ser enmascarados. Por otra parte, la región enmascarada se ensancha, vale decir que la zona de influencia de la máscara crece. En otras palabras, al aumentar el nivel del tono máscara, se produce un incremento cuantitativo (mayor nivel) y cualitativo (más frecuencia) del umbral.

El enmascaramiento es, en cierto sentido, un defecto del oído, pero también es una virtud, ya que nos permite desembocar en una cantidad de información infinita o difícil de procesar por el cerebro. Una interesante aplicación actual del enmascaramiento es la compresión de los datos de audio digital, de manera de reducir la cantidad de espacio requerido para almacenar un tiempo, dado de música. La técnica se basa en aprovechar que mucha información que aparece en una grabación de alta calidad no aporta nada a la audición, ya que es enmascarada por otros tonos presentes, de modo que puede eliminarse, con ahorro de espacio. Por ejemplo, si se detecta que existe un tono de 400 Hz de 80 dB, de acuerdo a lo indicado por la curva de 80 dB de la Figura 2.11 un tono de 1000 Hz y 30 dB será inaudible, y por consiguiente se puede eliminar sin perjuicio alguno para la calidad de la reproducción. Esta idea se aplica en los DCC (Digital Compact Cassette, o cassette compacto digital) y en los MD (Minidisc), así como en el formato comprimido MPEG usado en Internet. Ultimamente también se está utilizando para mejorar la calidad de los CD (Compact Disc) del estándar de 16 bits a 19 ó 20 bits.

La música funcional de los locales comerciales, los bares y algunas salas de espera de consultorios médicos, también aprovecha el fenómeno de enmascaramiento, posibilitando cierta "privacidad pública", al impedir que las conversaciones ajenas puedan ser escuchadas por terceras personas.

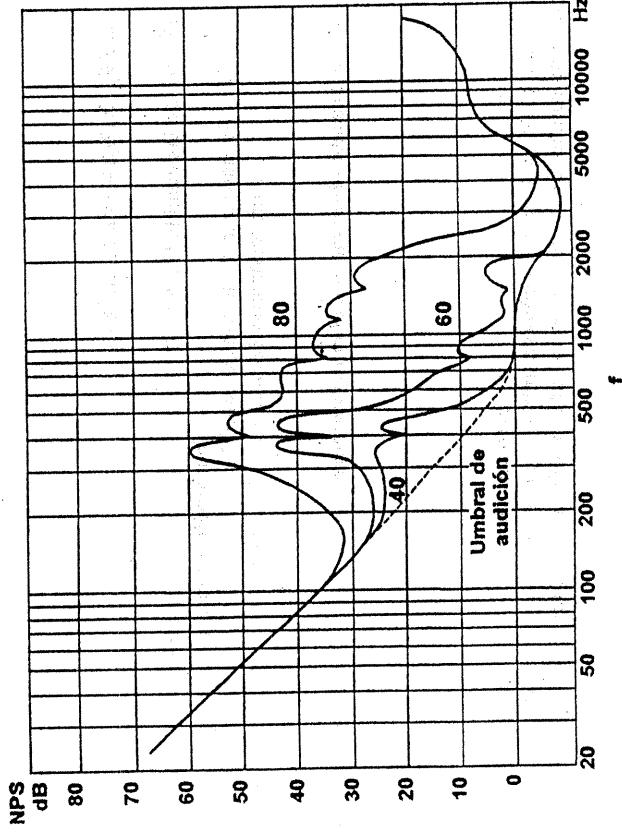


Figura 2.11. Enmascaramiento. Curvas de umbral de audición ante la presencia de un tono máscara de 400 Hz (según Egan, Harold y Hake). Se muestran las curvas correspondientes a los casos en que el tono máscara tiene niveles de presión sonora de 40 dB, 60 dB y 80 dB respectivamente, y en líneas de trazos, el umbral de audición original. Se observa que cuanto mayor es el nivel del tono máscara, mayor es el incremento del umbral, y más amplia la zona del espectro afectada.

Por último, también se apela al enmascaramiento en forma inconsciente cuando se incrementa el volumen de un equipo de música ante la existencia de ruidos ambientes. En este caso, al elevar el nivel sonoro de la música, ésta enmascara al ruido ambiente, permitiendo escuchar la música en mejores condiciones. En el mundo moderno el ruido ambiente es considerable, lo que ha llevado a la sociedad al acostumbramiento, y aún a la predilección por la música "a todo volumen". Esto es potencialmente peligroso para la salud auditiva (ver capítulo 5).

Capítulo 3

Acústica Musical

3.1. Introducción

La Acústica Musical estudia no sólo el comportamiento de los instrumentos musicales (tanto acústicos como electroacústicos), sino también las relaciones entre los distintos sonidos para dar origen a sensaciones musicalmente significativas, como la percepción de una escala musical, la sensación de consonancia y disonancia, los diferentes timbres, etc.

3.2. Consonancia y disonancia

Al superponer dos sonidos de frecuencias muy próximas entre sí tiene lugar un fenómeno de batido (bamboo) o pulsaciones entre ambos, consistente en una fluctuación periódica de la amplitud. Por ejemplo, si superponemos dos tonos puros de 700 Hz y 800 Hz e igual amplitud, se tiene la situación ilustrada en la Figura 3.1. Al sumarlos, dado que en el instante inicial ($t = 0$) están en fase (es decir que los cruces por cero coinciden en el tiempo), la amplitud se duplica. A medida que transcurre el tiempo, debido a la diferencia de frecuencia, las dos senoides se van desfasando, y hacia los 5 ms, el octavo semiperíodo de la senoide de 800 Hz y el séptimo de la de 700 Hz están prácticamente en contrafase, razón por la cual el resultado es casi nulo. Hacia los 10 ms vuelven a estar en fase, y por lo tanto la amplitud vuelve a ser doble. Se obtiene así un sonido modulado por una envolvente que se repite cada 10 ms, es decir que tiene una frecuencia de 100 Hz. Obsérvese que esta frecuencia es la diferencia entre las dos frecuencias superpuestas:

$$100 \text{ Hz} = 800 \text{ Hz} - 700 \text{ Hz}$$

El resultado anterior se puede generalizar. Si se superponen (suman) dos sonidos de frecuencias f_1 y f_2 , (f_1 mayor que f_2), entonces aparecen pulsaciones de frecuencia $f_1 - f_2$. Si la diferencia de frecuencias es muy pequeña, entonces las pulsaciones serán muy lentas, y no se percibirán como una pulsación sino como una suave envolvente. Por ejemplo, si las frecuencias son 440,1 Hz y 440 Hz, la diferencia es 0,1 Hz, es decir una pulsación cada 10 s. En este caso, dado que la gran mayoría de las notas usadas en música

ca son mucho más cortas que eso, no llegaría a completarse una pulsación, produciéndose más bien la sensación de un sonido más cantado, más expresivo.

Si las pulsaciones son un poco más rápidas, por ejemplo 1 ó 2 Hz, se percibe un efecto llamado trémolo, semejante a notas repetidas. Si son bastante más rápidas, por ejemplo 5 ó 10 Hz hasta unos 50 Hz, el resultado produce una sensación de agitación comúnmente denominada disonancia.

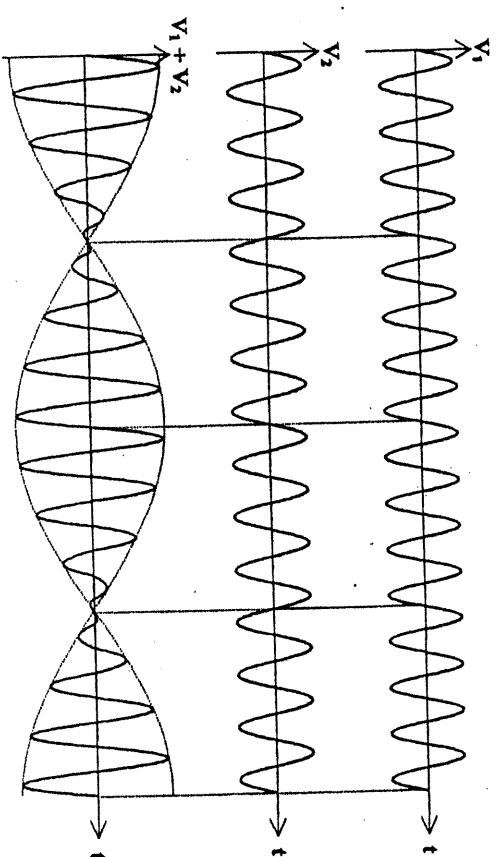


Figura 3.1. Batido entre dos tonos de frecuencia 300 Hz (arriba) y 700 Hz (al medio). Se ha representado un tiempo de 20 ms.

El efecto de batido analizado anteriormente suponía que los sonidos eran tonos puros, es decir ondas senoidales. Si en lugar de ello se tienen dos sonidos de los más frecuentemente utilizados en la música, es decir sonidos formados por cierta cantidad de armónicos, es posible que se produzcan batidos entre los armónicos de ambos sonidos. Supongamos, por ejemplo, un acorde formado por dos sonidos de 220 Hz y 311 Hz (un LA y un RE# respectivamente). Es sabido en música que dicho acorde resulta disonante. Si efectuamos la resta entre ambas frecuencias obtenemos

$$311 \text{ Hz} - 220 \text{ Hz} = 91 \text{ Hz},$$

que es un batido demasiado rápido para provocar sensación de disonancia. Pero si tenemos en cuenta los armónicos de ambos, que son respectivamente 220 Hz, 440 Hz, 660 Hz, ... y 311 Hz, 622 Hz, 933 Hz, ..., resulta que el tercer armónico de 220 Hz, es decir 660 Hz, interfiere con el segundo armónico de 311 Hz, es decir 622 Hz, causando pulsaciones de frecuencia

$$660 \text{ Hz} - 622 \text{ Hz} = 38 \text{ Hz}.$$

El resultado es una clara sensación de disonancia. Si los sonidos hubieran sido senoidales, si bien la combinación sonaría algo extraña, no se percibiría casi agitación alguna.

Nos preguntamos ahora cuándo dos sonidos forman un acorde consonante. La condición para esto es que no exista interferencia entre armónicos importantes, es decir intensos, de uno y otro sonido. Así, tenemos que la consonancia más perfecta es el unísono (frecuencias exactamente iguales, ya que en ese caso no hay en absoluto pulsaciones. Luego sigue la octava, es decir cuando los sonidos están en una relación de frecuencias 2:1 (un sonido tiene el doble de frecuencia que el otro). Aquí tampoco hay posibilidad de "choques" entre armónicos, porque todos los armónicos del más agudo coinciden exactamente con armónicos del más grave. Luego sigue la quinta, que corresponde a una relación de frecuencias de 3:2 (uno de los sonidos tiene frecuencia 1,5 veces la del otro). Tomemos por ejemplo la quinta formada por el LA de 220 Hz y el MI de 330 Hz. En este caso los armónicos sucesivos, mostrados en la Figura 3.2, difieren en 110 Hz ó más.

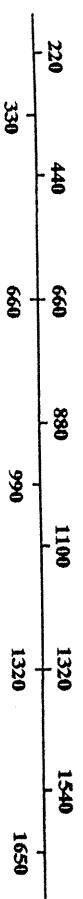


Figura 3.2. Primeros armónicos de las notas LA de 220 Hz y MI de 330 Hz. La mínima distancia entre armónicos de uno y otro sonido es de 110 Hz.

El mismo tipo de análisis muestra que las siguientes consonancias son, en orden decreciente de perfección, las que corresponden a pares de sonidos con relaciones de frecuencias de 4:3 (cuarta), 5:4 (tercera mayor), 6:5 (tercera menor), 5:3 (sexta mayor) y 8:5 (sexta menor). En la Tabla 3.1 se listan las consonancias con sus correspondientes relaciones de frecuencia.

Tabla 3.1. Relaciones de frecuencia entre los sonidos de las diversas consonancias

Unísono	8 ^{ma}	5 ^{ta}	4 ^{ta}	3 ^{ra} mayor	3 ^{ra} menor	6 ^{ta} mayor	6 ^{ta} menor
1	2	3/2	4/3	5/4	6/5	8/5	9/5

3.3. Escalas musicales

Las escalas musicales surgen históricamente de la necesidad de satisfacer tres principios: economía, reproducibilidad, y funcionalidad.

3.3.1. Economía

De todos los sonidos disponibles (es decir audibles) deben seleccionarse la menor cantidad posible. Una razón es que la mayoría de los instrumentos permiten realizar sólo una cantidad relativamente pequeña de sonidos. Algunas excepciones son la voz humana,

los instrumentos de arco (violin, viola, etc.) y el trombón a vara. En el caso de la música grupal (orquestras, bandas), el hecho de que algunos instrumentos posean una cantidad limitada de sonidos condiciona fuertemente los sonidos utilizables por los instrumentos de afinación continua. Otra razón es la necesidad de lograr la máxima variedad con la mayor simplicidad.

3.3.2. Reproducibilidad

Los sonidos seleccionados deben ser fácilmente reproducibles, tanto vocal como instrumentalmente. Cuando se habla de "reproducibles" significa que debe ser fácil de lograr una afinación suficientemente precisa como para no alterar de modo apreciable el sentido de lo que se ejecuta o canta.

3.3.3. Funcionalidad

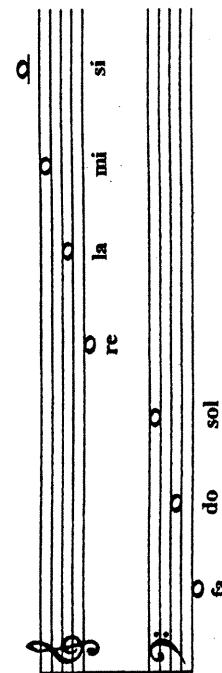
La escala adoptada debe satisfacer los criterios estéticos correspondientes al uso que se le va a dar. Por ejemplo, si el uso será armónico (es decir que se emplearán combinaciones simultáneas de sonidos), entonces la mayor cantidad posible de superposiciones entre sonidos de la escala deberán resultar aceptables o "agradables" de acuerdo al estilo armónico que se va a practicar. Esto implica que al adoptar una escala se deben tener en cuenta cuestiones como el gusto y otros aspectos.

3.3.4. Escalas para uso monofónico

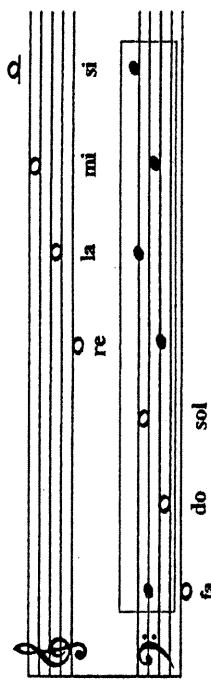
En este caso, que corresponde a las músicas más primitivas, sólo aparece un sonido por vez. Corresponde al canto o a los instrumentos monofónicos como la flauta, etc. El principio de funcionalidad en este caso no implica ninguna restricción. El principio de reproducibilidad requiere casi exclusivamente la memoria, ya que los sonidos sucesivos deben ser fácilmente memorizables.

El criterio básico será que existan armónicos comunes entre los sonidos más importantes de la escala, ya que de esa manera éstos actuarán como "pivotes" entre ambos, permitiendo una transición segura, es decir con buena afinación, entre ellos. El intervalo más fácil de memorizar es el *unísono* (igual frecuencia), ya que corresponde a una repetición exacta de la altura anterior. Luego sigue la octava, ya que la octava de un sonido equivale a su segundo armónico. Después sigue la quinta, cuyo segundo armónico coincide con el tercero de la nota original. Podríamos seguir investigando los intervalos superiores al tercero son en general poco interesantes, pero dado que los armónicos superiores de los armónicos difíciles de escuchar.

Se utiliza en realidad otro criterio, que es el encadenamiento de quintas y de octavas, es decir que partiendo de un sonido, se toma primero su quinta, luego la quinta de la quinta, y así sucesivamente hasta completar un número deseado de sonidos. Para la escala más simple, se toman siete sonidos, que en notación musical son:



Luego se sube o baja la cantidad de octavas que haga falta para que todos los sonidos se encuentren dentro de una misma octava. Así, el *fa* se sube una octava, el *do* y el *sol* no se modifican, el *re* y el *la* se bajan una octava, y el *mi* y el *si* se bajan dos octavas. Se obtiene la escala recuadrada en línea de puntos:



El último paso sería reordenar las notas de modo que sus frecuencias vayan en aumento. La escala así obtenida se llama *escala de Pitágoras*, o *escala pitagórica*, ya que el célebre filósofo y matemático griego fue quien la sistematizó.

3.3.5. Escalas para uso armónico o polifónico

En un estadio más avanzado de la evolución de la música surge la necesidad de combinar sonidos simultáneos, al intentar varias personas cantar una misma melodía. Entre cantantes de igual tesitura vocal era posible cantar al unísono (igual altura). Pero, por ejemplo, entre las voces masculinas y las femeninas hay una diferencia promedio de una octava, de modo que el primer intervalo de uso simultáneo (además del caso trivial del unísono) fue la octava (relación de frecuencias 2:1). Luego fueron surgiendo otros intervalos, como la quinta (3:2) y la cuarta (4:3), y posteriormente surgió la polifonía, en la cual se superponían diferentes melodías, formando en cada instante diversos intervalos simultáneos.

El principio de funcionalidad válido para esta aplicación requiere que la mayor cantidad posible de superposiciones de sonidos de la escala que se adopte resulte "agradable", concepto desde luego *muy relativo*. En la época en que se consolidaron las escalas sobre las que se basan las hoy en uso, el criterio era el de la *consonancia*.

Las consonancias disponibles son, en orden decreciente de perfección, las ya indicadas en la Tabla 3.1 (dicho orden coincide aproximadamente con el orden histórico en que fueron siendo aceptadas en la evolución de la música). En una música polifónica desarrollada, es de esperar que cada una de estas consonancias aparezca con cierta frecuencia, por lo que es preciso elegir los sonidos de la escala de manera de lograr la mayor cantidad posible de superposiciones consonantes. En la escala de Pitágoras, las octavas, las quintas y las cuartas son *acusticamente perfectas*, pero las tercera y sextas no. Si tomamos por ejemplo, el intervalo entre un *DÓ* y un *MI* pitagóricos, que parecería ser una tercera mayor, resulta la siguiente relación de frecuencias:

$$\frac{f_{\text{MI}}}{f_{\text{DO}}} = \frac{3}{2} \cdot \frac{3}{2} \cdot \frac{3}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} = \frac{81}{64},$$

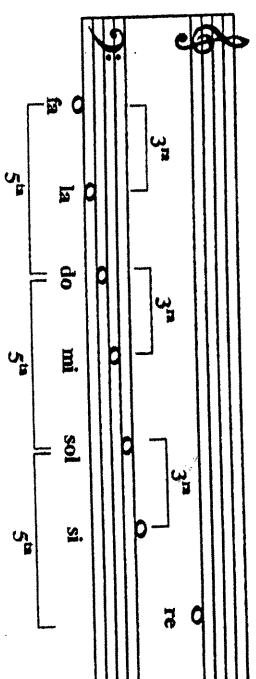
donde los cuatro primeros factores $\frac{3}{2}$ corresponden al encadenamiento de cuatro quintas desde el *do* hasta el *mi* agudo, y los factores $\frac{1}{2}$ corresponden a bajar dos octavas.

Vemos que el resultado difiere de una tercera mayor acústicamente perfecta, a la cual correspondería una relación de $5/4$, es decir

$$\frac{5}{4} = \frac{80}{64} \neq \frac{81}{64}.$$

La diferencia, correspondiente a una relación $81/64$, se denomina coma pitagórica, y es un pequeño intervalo de alrededor de $1/10$ de tono. Esta diferencia es claramente perceptible, produciendo una consonancia no tan perfecta como el intervalo perfecto.

Este inconveniente se origina en que para la construcción de la escala pitagórica no se utilizaron terceras perfectas. Para subsanarlo, en lugar de generar la escala por encadenamiento de 6 quintas, se utilizan sólo 3 quintas, lo cual origina 4 notas. Las tres notas faltantes se logran tomando las terceras mayores perfectas sobre las tres primeras notas:



Luego se procede igual que en la escala de Pitágoras, subiendo o bajando la cantidad de octavas que haga falta para que todos los sonidos se encuadren dentro de una misma octava. Así, el fa y el la se suben una octava, y el re se baja una octava. Finalmente se reordenan. Esta escala se denomina **escala natural, escala perfecta o escala de Aristógenes**.

3.3.6. Escala temperada

Tanto la escala pitagórica como la natural poseen 7 notas en cada octava. Al ir evolucionando la música, ya no fue suficiente con estas 7 notas. Así, la denominada **música ficta** fue introduciendo algunas notas falsas ("ficta" significa " fingida" o "falsa") no pertenecientes a la escala.

Hay varias razones por las cuales resulta interesante agregar algunas notas más. La primera es la necesidad de la transposición, es decir subir o bajar una melodía para adaptarla a la tessitura de una voz o instrumento diferente de aquél para el que fue concebida. La transposición más simple es la transposición a la octava superior o inferior según el caso, pero a veces tal transposición resulta excesiva, ya que quizás era suficiente con transportar una quinta o una cuarta. El problema es que para realizar una transposición con esos intervalos hace falta agregar un sonido nuevo en la escala de Pitágoras y dos en la natural.

La segunda razón es la necesidad de realizar modulaciones. En música, modular equivale a realizar un cambio de tonalidad, es decir de escala, dentro de una misma pieza, de manera que algunos pasajes de la pieza utilizan una escala, y otros, otra escala.

M2

Ambas situaciones requieren, entonces, el agregado de nuevos sonidos a la escala. Esto tiene el inconveniente de que si se quiere conservar el carácter acústicamente perfecto de los intervalos de la escala, se haría necesario agregar una cantidad enormemente grande de nuevos sonidos, lo cual no solo no es práctico sino que además va en contra del concepto mismo de escala planteado al principio.

Después de diversas pruebas durante varios siglos se propuso una escala con 12 sonidos en cada octava, en la cual los intervalos elegidos, pese a no ser perfectos, resultan bastante aceptables. Esta escala se denomina **escala temperada**. En realidad se han propuesto y utilizado históricamente varias escalas temperadas. La actualmente en uso es la que utiliza el **temperamento uniforme**. En ella se divide la octava en 12 intervalos exactamente iguales, denominados **semitones**, cuyas frecuencias sucesivas están relacionadas por la expresión

$$f_{\text{siguiente}} = \sqrt[12]{2} \cdot f = 1,05946 \cdot f.$$

Con esta ecuación se pueden calcular, a partir de una frecuencia estándar, como la del LA 440 Hz, las frecuencias de todos los otros sonidos de la escala. Los valores correspondientes a la octava central se incluyen en el capítulo 2.

3.4. Instrumentos musicales acústicos

Haremos aquí una breve descripción de los mecanismos básicos de producción de sonido de los instrumentos musicales. Los instrumentos musicales se clasifican según el medio productor de sonido en instrumentos de cuerda, de viento y de percusión.

3.4.1. Instrumentos de cuerda

Los instrumentos de cuerda producen sus sonidos por medio de una cuerda vibrante. Los métodos para poner la cuerda en vibración son de tres tipos: la percusión, el punteo, y el frotado. La percusión consiste en golpear la cuerda, como sucede en el piano. El punteo, en separar la cuerda de su posición de reposo y soltarla, mecanismo característico de la guitarra. Finalmente, el frotado consiste en rozar la cuerda con un material de gran adherencia como ciertas fibras naturales y sintéticas, procedimiento utilizado en los instrumentos como el violín.

De estos tres mecanismos, el de frotado es el único que permite entregar energía en forma permanente, y así responder la que se va disipando. En los otros casos el sonido se extingue más o menos rápidamente.

Cuando la cuerda vibra, transmite en forma directa al aire algo de energía sonora. Sin embargo, el mecanismo principal de emisión de sonido no es éste. La mayor parte de la energía de la cuerda pasa a través del puente (apoyo de la cuerda) a una tabla delgada de gran superficie denominada **placa armónica, tabla armónica o caja armónica**, y al vibrar ésta se produce una importante emisión sonora.

Se puede verificar lo anterior comparando una guitarra eléctrica *sin amplificación* con una guitarra acústica. La guitarra acústica posee caja armónica, y en cambio la guitarra eléctrica no. El sonido de esta última es prácticamente inaudible.

La frecuencia de vibración de una cuerda depende de la tensión que soportan, de su masa (o peso) por unidad de longitud, y de su longitud. Si T es la tensión en kgf (ki-

logramos fuerza), μ es la densidad lineal (masa por unidad de longitud), en g/m (gramos por metro), y L es la longitud en cm, entonces la frecuencia f viene dada por la fórmula

$$f = \frac{4.950}{L} \sqrt{\frac{T}{\mu}}.$$

Por ejemplo, una cuerda de piano de 120 cm, cuya densidad lineal es de 7,4 g/m, sometida a una tensión de 66 kgf tiene una frecuencia

$$f = \frac{4.950}{120} \sqrt{\frac{66}{7,4}} = 123,2 \text{ Hz},$$

que corresponde a un si grave, una octava y un semitonos por debajo del do central. La fórmula revela varias cosas. En primer lugar, al tensar más la cuerda (es decir al aumentar T), aumenta la frecuencia. Este es el método clásico para afinar cualquier instrumento de cuerda: al ajustar las clavijas se modifica precisamente la tensión. En segundo lugar, al aumentar la densidad baja la frecuencia. Por ese motivo siempre las cuerdas graves son más gruesas. En la guitarra, por ejemplo, dado que una cuerda de nylon con la masa suficiente para las cuerdas más graves sería imprácticamente gruesa, se las recarga con un entorchado (arrollamiento) de cobre. En tercer lugar, la frecuencia es inversamente proporcional a la longitud L . Este principio se utiliza en los instrumentos de mástil como la guitarra, el violín, el contrabajo, etc. para obtener muchos sonidos diferentes de cada cuerda (en el piano y en elarpa esto no es necesario). Otra aplicación de esta propiedad es que al reducir la longitud de la cuerda a la mitad, su frecuencia aumenta al doble, es decir *sigue una octava*. Este fue uno de los primeros descubrimientos de la acústica antigua, realizada por los griegos utilizando el monocordio, un instrumento de una sola cuerda. Otro descubrimiento vinculado con esta propiedad es que si se divide la cuerda en partes iguales, se obtiene la serie de armónicos. Al dividirla por 2, se obtiene el segundo armónico, al dividirla por 3, el tercero, y así sucesivamente. Esto es utilizado por los guitarristas, para obtener el efecto denominado armónico.

3.4.2. Instrumentos de viento

Los instrumentos de viento producen sonido por vibración de una así denominada columna de aire. La columna de aire es simplemente el aire dentro de un tubo, y el mecanismo de vibración consiste en que la onda sonora se refleja una y otra vez en los extremos del tubo, siendo un hecho de lo más notable que la reflexión se produce lo mismo esté el extremo abierto o cerrado (aunque con diferentes características).

Hay dos mecanismos de producción de sonido en una columna de aire. El primero es el de un obstáculo que provoca remolinos o turbulencias que luego son acentuadas por la resonancia del tubo. Es el caso de la flauta. El segundo es el de la lengüeta, es decir una lámina elástica de metal, caña o plástico (según el caso), que obstruye el pasaje del aire. Esto implica un aumento de presión hasta que finalmente se vence su resistencia. Esto produce una descompresión que vuelve a obstruir el pasaje de aire, repitiéndose el ciclo. A esta categoría pertenece la mayoría de los instrumentos (oboe, clarinete, fagot, etc.). Inclusive los instrumentos denominados metálicos, como el trombón o la trompeta, utilizan este mecanismo, donde la lengüeta está formada por... /los labios presionados!

La frecuencia de los instrumentos de viento depende de la velocidad del sonido c y de la longitud del tubo L , según la fórmula *aproximada*, válida para tubos abiertos en ambos extremos, como la flauta, el oboe, la trompeta, etc.:

$$f = \frac{c}{4L}.$$

Para tubos cerrados en un extremo (la embocadura), como el clarinete, en cambio, vale la aproximación

$$f = \frac{c}{4L}.$$

Además de estas frecuencias aparecen las frecuencias de los sonidos armónicos, que difieren en ambos casos. Para tubos abiertos las frecuencias son:

$$f_n = \frac{c}{n \cdot 2L}, \quad n = 1, 2, 3, \dots$$

y para tubos cerrados en un extremo

$$f_n = (2n-1) \frac{c}{4L}, \quad n = 1, 2, 3, \dots$$

En este caso sólo aparecen los armónicos impares. Esto da un timbre muy particular, del cual el ejemplo más representativo es el clarinete.

La primera observación está referida a la dependencia de la velocidad del sonido. Como ésta aumenta con la temperatura, resulta que la frecuencia producida por un instrumento de viento aumenta con la temperatura. Esto justifica por qué los *vientistas* deben "calentar" el instrumento, y también por qué al variar la temperatura durante un espectáculo los vientos se desafinan.

La segunda observación se refiere a la variación inversa con la longitud del tubo. Esto es similar a lo que sucedía en las cuerdas. En este caso hay tres formas de variar la longitud. Una forma es mediante orificios, como en la flauta. Al cerrar todos los orificios, la longitud es máxima, y el tono producido, grave. A medida que se van desaparendo orificios, la longitud efectiva del tubo se va achicando, y el tono se va haciendo más agudo. Otra forma es mediante unas válvulas que intercalan trozos adicionales de tubo, como en la trompeta. La última forma, es mediante un tubo deslizante (tipo telescopio), que al introducirse o extraerse del tubo principal reduce o aumenta la longitud total.

La tercera observación es que mediante el procedimiento anterior no se puede obtener mucho más de una octava, ya que cuando la longitud del tubo se vuelve demasiado pequeña, la calidad del sonido empeora. Por otra parte, a diferencia de la guitarra o el violín, donde hay varias cuerdas, en una flauta no es posible tener varios tubos (salvo en la denominada flauta de Pan). Entonces se recurre a la producción de armónicos. Sólo de una forma particular, es posible seleccionar qué armónico se producirá (o lo que es lo mismo, se inhiben los otros). Combinando los armónicos con la variación de la longitud por cualquiera de los procedimientos detallados, se consigue cubrir varias octavas.

3.4.3. Instrumentos de percusión

Los instrumentos de percusión son aquellos que producen sonido al golpear objetos. Los hay de altura determinada, como los xilófonos (placas de madera), los metalófonos (placas de metal) y las campanillas ('varillas de metal'), y los de altura indeterminada, como los parches (tambores, bombos) en general (salvo los timbales), los platillos, etc.

A diferencia de los instrumentos de cuerda y de viento, los instrumentos de percusión crean sonidos con espectro no armónico, por lo cual siempre aparecen parciales o sobretonos no armónicos. Cuando éstos son débiles, la altura es indeterminada, pero cuando son intensos (como en los tom-tom) o muy abundantes (como en los platillos), la altura es indeterminada. En muchos instrumentos se crea además una resonancia con una columna de aire, por ejemplo en la marimba, o el vibrafón, lo cual accentúa el sonido y ayuda a filtrar los parciales inarmónicos.

Dentro de la percusión existen efectos especiales, como el uso de un arco de control sobre el borde de un platillo, o el efecto de las escobillas, o el de los resortes en el redoblante.

La percusión provee una gran riqueza de posibilidades, aunque en mucha música se le relega al papel de una simple base rítmica.

3.5. Instrumentos musicales electrónicos

Los instrumentos musicales electrónicos surgieron prácticamente con la electrónica, pero recién alcanzaron difusión masiva con el advenimiento de la tecnología digital. Antes de eso, los sintetizadores analógicos eran, o bien muy rudimentarios, o bien excesivamente costosos e inaccesibles, y, en cualquier caso, reservados para los especialistas, debido a las dificultades para obtener los sonidos deseados. En esta sección haremos una descripción muy sucinta de algunas de las características más importantes de estos instrumentos.

3.5.1. Osciladores

El elemento fundamental de todo sintetizador es el oscilador, es decir el dispositivo encargado de generar la señal eléctrica que luego habrá de transformarse en onda sonora. La salida de un oscilador puede controlarse por medio de varios parámetros. En primer lugar, puede controlarse la frecuencia, que determinará la altura del sonido producido. Luego está la amplitud, que determina la sonoridad. Después, podemos seleccionar la forma de onda. En los sintetizadores analógicos existían pocas formas de onda posibles: ondas senoidal, cuadrada y triangular, trenes de pulsos, y en algunos casos ruidos blancos. En los sintetizadores digitales actuales, es posible seleccionar cientos y hasta miles de formas de onda diferentes. Ello se debe a que se utilizan sonidos muestrados, es decir sonidos reales (o sintéticos) grabados y almacenados en bancos de memoria. Luego, cada vez que se requiere producir un sonido, el oscilador simplemente reproduce el sonido durante el tiempo que haga falta (según la duración de la nota a ejecutar).

3.5.2. Control de envolventes

Hay muchos parámetros que pueden controlarse por medio de envolventes. Originalmente la envolvente surge como modelo físico para describir cómo varía en el tiempo de la amplitud de una forma de onda (capítulo 1), tal como sucede en todos los instru-

mentos acústicos. En un contexto más general, una envolvente es la evolución en el tiempo de cualquier parámetro imaginable asociado a un generador de sonido. Así, pueden variar en el tiempo la altura, el contenido armónico, etc.

3.5.3. Envolvente de altura

La envolvente de altura (o de frecuencia fundamental) permite simular efectos de los instrumentos reales, los cuales varían inicialmente un poco su frecuencia. También pueden generar sonidos nuevos, o que imitan sonidos naturales, como los ladridos.

3.5.4. Envolvente de filtrado

Uno de los procedimientos directos de la época de los sintetizadores analógicos era generar una forma de onda con un gran contenido armónico (por ejemplo un tren de pulsos muy angostos y muy altos), y luego aplicarle diversos filtros que eliminaban o atenuaban algunos de los armónicos, o bien enfatizaban otros. La envolvente aplicada a estos filtros, permitía ir cambiando en el tiempo a qué armónicos se daba preferencia. En los sintetizadores actuales, la envolvente de filtrado permite, por ejemplo, simular electrónicamente el hecho general de que los armónicos de alta frecuencia se atenuan más rápido que los de baja frecuencia. Entonces si se tiene un filtro que deja pasar sólo las frecuencias hasta cierta frecuencia f_c , reduciendo paulatinamente esa frecuencia se logra ir eliminando primero los armónicos de mayor frecuencia.

3.5.5. Moduladores

Otra característica habitual en los instrumentos acústicos es el control de la expresión a través de pequeñas fluctuaciones periódicas de algunos parámetros, por ejemplo la altura (vibrato) o la amplitud (trémolo). Si en lugar de las envolventes (o si además de ellas) se agrega una modulación en los correspondientes parámetros de control del oscilador, se consigue simular dicha expresividad. La aplicación de moduladores se estudiará más detalladamente en el capítulo 18 para el caso de los efectos.

3.5.6. Seguimiento de altura (key tracking)

En los instrumentos acústicos, gran parte de las propiedades de los sonidos varían según qué nota se esté ejecutando. Por ejemplo, las notas más graves suelen tener un contenido armónico mayor que las más agudas. También sus envolventes (ya sea la primera, es decir la de amplitud, como cualquier otra que esté actuando sobre diversas características del sonido) pueden tener velocidades distintas según la altura. Por ejemplo, un sonido agudo se extingue más rápidamente, por lo cual su envolvente decayrá más rápido que la de los sonidos graves.

3.5.7. Controladores

Los osciladores, con todas las características descritas, pueden ser controlados por medio de una interfaz. Una interfaz es un dispositivo que permite la comunicación entre entes de naturaleza diversa, por ejemplo entre un sintetizador y un ser humano. El controlador más clásico es un teclado, que simula el teclado de órgano, piano o clave. Existen otros controladores, como por ejemplo guitarras, vientos o percusión, que permiten también enviar órdenes al sintetizador sobre qué sonidos debe producir. En todos los casos, la idea es que el músico ejecute un instrumento que le sea técnicamente familiar.

Los controladores pueden enviar información de varias clases. Lo más básico es, por supuesto, enviar información sobre qué altura generar. Pero a través de sensores en las teclas, permiten enviar información sobre la fuerza con que se tocó la tecla, que el sintetizador normalmente transformará en un valor de amplitud. El parámetro enviado realmente no es la fuerza, sino la velocidad con que se bajó la tecla, razón por la cual dicho parámetro recibe el nombre de *velocidad* (en inglés, *velocity*).

Aún cuando la velocidad se utilice con mayor frecuencia para controlar la amplitud del sonido, muchas veces se puede utilizar para controlar otros parámetros o funciones. Por ejemplo, se puede emplear para simular el hecho característico de los instrumentos acústicos de que los sonidos más fuertes tienen mayor contenido armónico. Entonces se puede controlar, mediante la velocidad, la apertura o cierre de un filtro. Así, cuando se oprime la tecla rápidamente (con fuerza), el filtro deja pasar todos los armónicos. Cuando se oprime lentamente (con suavidad), en cambio, bloquea los armónicos superiores, lográndose un sonido no sólo más suave sino también más opaco.

Algunos teclados están equipados a su vez de **celdas de carga** (es decir sensores de presión) debajo de las teclas, cuya finalidad si es medir la fuerza que se ejerce sobre la tecla, pero no *durante* su bajada sino *después*. El objeto es lograr influir sobre el sonido después de iniciado, algo que en el teclado de piano no es posible pero que en cambio es muy común en instrumentos como el violín, la guitarra o la trompeta. Este parámetro se denomina **postpulsación** (en inglés *aftertouch*). La postpulsación puede utilizarse para alterar características de la modulación, y así darle control al intérprete del tipo de vibrato, por ejemplo, que produce. También puede usarse para variar la sonoridad de un sonido que ya empezó, y así simular una nota sostenida y *crescendo* en las cuerdas o los vientos, por ejemplo.

Por último existen controles de **afinación**, **modulación** y **volumen**, a través de palancas, pedales o diales (ruedas). Estos controles permiten modificar en tiempo real la afinación, la modulación o el volumen en forma totalmente personal, lo cual permite crear el efecto expresivo exacto que busca el intérprete.

3.5.8. Efectos

Una posibilidad muy interesante que poseen ahora cada vez más frecuentemente los sintetizadores (aún los muy económicos) es la posibilidad de agregar efectos al sonido. Por *efectos* se entiende modificaciones que le dan mayor expresividad, o mayor realismo, o mayor espacialidad, etc. Por ejemplo, es posible agregar reverberación, o simular mayor cantidad de instrumentos (coro), o mejorar el sonido o su percepción (re-saltadores), etc.

3.5.9. Posibilidades adicionales

La discusión anterior sugiere el hecho sumamente interesante de que con los mismos recursos introducidos para imitar con mayor fidelidad los instrumentos conocidos, es posible crear sonidos totalmente nuevos. De hecho, uno de los métodos de síntesis más poderosos que se conocen, la síntesis por modulación de frecuencia, fue descubierto haciendo experimentos con el vibrato en los cuales se llevaban los parámetros totalmente fuera de contexto, acercando la frecuencia de la modulación a la frecuencia fundamental del sonido.

3.5.10. Interconexión MIDI

Las posibilidades de aplicación de los sintetizadores se multiplicaron al introducirse la norma de comunicaciones **MIDI** (Musical Instrument Digital Interface, Interfaz digital para instrumentos musicales). Esta norma establece un código de comunicación entre instrumentos musicales, y entre instrumentos musicales y computadoras. Esto permite varias cosas. En primer lugar, mediante programas de computadora denominados **secuenciadores** (sequencers) es posible controlar el instrumento por computadora, lo cual implica entre otras cosas, ejecutar automáticamente música previamente programada. También permite ejecutar un acompañamiento orquestal mientras el músico toca en tiempo real la parte solista en su teclado.

También es posible seleccionar los instrumentos, o modificarlos (editarlos) para lograr personalizarlos al gusto del intérprete. Es posible cambiar virtualmente todos los parámetros de cualquier sonido, así como parámetros globales como la afinación, mediante órdenes adecuadas enviadas en forma de códigos **MIDI**.

Por último, también es posible realizar una "grabación" de una interpretación. Esta grabación se diferencia de una grabación tradicional en que lo que se graba no son señales de audio sino las señales **MIDI** que permiten al sintetizador repetir en forma idéntica la ejecución. Esto no quiere decir que no pueda luego modificarse la ejecución. A diferencia de una grabación convencional, en la cual si se cometió un error no hay mucho que pueda hacerse para corregirlo decorosamente, en una grabación **MIDI** es posible eliminar y reemplazar notas equivocadas, se puede mejorar la expresividad de un pasaje, se pueden agregar voces imposibles de tocar, cambiar de timbre, etc. Las posibilidades son casi ilimitadas. En el caso de instrumentos de gran jerarquía, es posible lograr interpretaciones magistrales, debido a la cantidad de posibilidades de control que se ofrecen al ejecutante. Sin embargo, el dominio de la totalidad de tales posibilidades requiere una práctica y condiciones personales comparables a las necesarias para la interpretación de cualquier instrumento tradicional.

Capítulo 4

Acústica Arquitectónica

4.1. Introducción

La Acústica Arquitectónica estudia los fenómenos vinculados con una propagación adecuada, fiel y funcional del sonido en un recinto, ya sea una sala de concierto o un estudio de grabación. Esto involucra también el problema de la aislación acústica.

Las habitaciones o salas dedicadas a una aplicación determinada (por ejemplo para la grabación de música, para conferencias o para conciertos) deben tener cualidades acústicas adecuadas para dicha aplicación. Por cualidades acústicas de un recinto entendemos una serie de propiedades relacionadas con el comportamiento del sonido en el recinto, entre las cuales se encuentran las reflexiones tempranas, la reverberación, la existencia o no de ecos y resonancias, la cobertura sonora de las fuentes, etc.

4.2. Echos

El fenómeno más sencillo que tiene lugar en un ambiente con superficies reflectoras del sonido es el eco, consistente en una única reflexión que retorna al punto donde se encuentra la fuente unos 100 ms (o más) después de emitido el sonido. Se produce después de un tiempo t relacionado con la distancia d a la superficie más próxima por la expresión

$$t = \frac{2d}{c},$$

donde c es la velocidad del sonido, es decir 345 m/s. El factor 2 se debe a que el sonido recorre de ida y de vuelta la distancia entre la fuente sonora y la superficie. De esta forma se deduce que para tener un eco la superficie más próxima debe estar a unos 17 m. Cuando hay dos paredes paralelas algo distantes se puede producir un eco repetitivo.

4.3. Reflexiones tempranas

Cuando la fuente sonora está rodeada por varias superficies (piso, paredes, techo) un oyente recibirá el sonido directo, y además el sonido reflejado en cada pared. Las

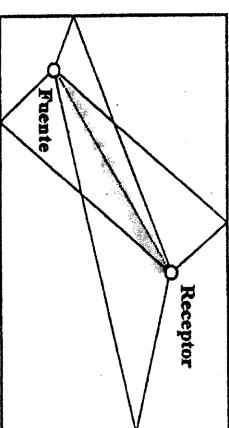


Figura 4.1. En líneas de puntos, el sonido directo. En líneas llenas, algunas de las primeras reflexiones o reflexiones tempranas.

En salas no demasiado grandes, las primeras reflexiones están bastante cerca en el tiempo unas de otras, de manera que no se llegan a percibir como eco.

4.4. Ambiencia

La distribución en el tiempo de las reflexiones tempranas crea la sensación de ambiciencia, es decir la sensación que permite al oyente identificar auditivamente el espacio en el que se encuentra. Las personas no videntes desarrollan una especial habilidad para interpretar la información espacial contenida en la ambiciencia.

Arquitectónicamente, el control de la ambiciencia se puede lograr mediante un cuidadoso diseño que involucra trazar, sobre un plano de la sala, "rayos" acústicos similares a los de la Figura 4.1, medir cuidadosamente sus recorridos, y de allí determinar los tiempos de llegada de las correspondientes reflexiones. Hoy en día este trabajo se realiza con el auxilio de computadoras digitales y programas adecuados.

4.5. Absorción sonora

Las superficies de un recinto reflejan sólo parcialmente el sonido que incide sobre ellas; el resto es absorbido. Según el tipo de material o recubrimiento de una pared, ésta podrá absorber más o menos el sonido, lo cual lleva a definir el **coeficiente de absorción sonora**, abreviado con la letra griega α (alfa), como el cociente entre la energía absorbida y la energía incidente:

$$\alpha = \frac{\text{Energía absorbida}}{\text{Energía incidente}}.$$

El coeficiente de absorción tiene una gran importancia para el comportamiento acústico de un ambiente, y por esa razón se han medido y tabulado los coeficientes de

primeras reflexiones recibidas, que se encuentran bastante separadas en el tiempo, se denominan **reflexiones tempranas**. Esta situación se ilustra en la Figura 4.1.

absorción para varios materiales y objetos. En general, los materiales duros, como el hormigón o el mármol, son muy reflectores y por lo tanto poco absorbentes del sonido, y en cambio los materiales blandos y porosos, como la lana de vidrio, son poco reflectores y por consiguiente muy absorbentes.

En la Tabla 4.1 se dan los valores de α para varios materiales típicos de construcción, objetos y personas (ya que las personas también absorben el sonido). Se proporciona para varias frecuencias, ya que α depende bastante de la frecuencia. En general la absorción aumenta con la frecuencia, debido a que para frecuencias altas la longitud de onda es pequeña y entonces las irregularidades de la superficie o el propio espesor del material son más comparables con la longitud de onda. En algunos casos, sin embargo, algún fenómeno de resonancia entre el material y la pared puede mejorar la absorción en bajas frecuencias.

4.6. Tiempo de reverberación

Después del período de las reflexiones tempranas, comienzan a aparecer las reflexiones de las reflexiones, y las reflexiones de las reflexiones se sucesivamente, dando origen a una situación muy compleja en la cual las reflexiones se densifican cada vez más. Esta permanencia del sonido *atmosfera de interrupción* la fuente se denomina **reverberación**.

Ahora bien; en cada reflexión, una parte del sonido es absorbido por la superficie, y otra parte es reflejada. La parte absorbida puede transformarse en minúsculas cantidades de calor, o propagarse a otra habitación vecina, o ambas cosas. La parte reflejada mantiene su carácter de sonido, y viajará dentro del recinto hasta encontrarse con otra superficie, en la cual nuevamente una parte se absorberá y otra parte se reflejará. El proceso continúa así hasta que la mayor parte del sonido sea absorbido, y el sonido reflejado sea demasiado débil para ser audible, es decir, se extingue.

Para medir cuánto dura este proceso de extinción del sonido se introduce el concepto de **tiempo de reverberación**, T, técnicamente definido como el *tiempo que demora el sonido en bajar 60 dB por debajo de su nivel inicial* (se ha elegido 60 dB porque con esa caída se tiene la sensación de que el sonido se ha extinguido completamente). En algunas publicaciones se suele representar también este valor con el símbolo RT₆₀, formado por la sigla en inglés de *reverberation time* (tiempo de reverberación), seguida por la referencia a los 60 dB. Otra abreviatura es T₆₀.

Como ejemplo, si al interrumpir un sonido de 90 dB en 3 s, entonces será T = 3 s. Salvo para sonidos inicialmente muy intensos, antes de caer 60 dB el sonido se vuelve inaudible por quedar emascarado por el ruido de fondo o ruido ambiente.

El tiempo de reverberación depende de cuán absorbentes sean las superficies de la sala. Así, si las paredes son muy reflectoras (es decir que reflejan la mayor parte del sonido que llega a ellas), se necesitarán *muchas reflexiones* para que se extinga el sonido, y entonces T será grande. Si, en cambio, son muy absorbentes, en cada reflexión se absorberá una proporción muy alta del sonido, por lo tanto en unas pocas reflexiones el sonido será prácticamente inaudible, por lo cual T será pequeño. Dado que los materiales duros, como el hormigón o los azulejos, son poco absorbentes del sonido, un ambiente con paredes de este tipo tendrá un tiempo de reverberación largo. Una sala cubierta con mate-

riales absorbentes como cortinados, alfombras, etc., por el contrario, tendrá un tiempo de reverberación corto.

Tabla 4.1. Coeficientes de absorción de diversos materiales en función de la frecuencia (según varias fuentes). Los valores no suministrados no estaban disponibles.

Material	Coeficiente de absorción α a la frecuencia				
	125	250	500	1.000	2.000
Hormigón sin pintar	0,01	0,01	0,02	0,02	0,04
Hormigón Pintado	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02
Ladrillo visto sin pintar	0,02	0,02	0,03	0,04	0,05
Ladrillo visto pintado	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02
Revoque de cal y arena	0,04	0,05	0,06	0,08	0,06
Placa de yeso (Durock) 12 mm a 10 cm	0,29	0,10	0,05	0,04	0,09
Yeso sobre metal desplegado	0,04	0,04	0,04	0,06	0,03
Mármol o azulejo	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02
Madera en paneles (a 5 cm de la pared)	0,30	0,25	0,20	0,17	0,15
Madera aglomerada en panel	0,47	0,52	0,50	0,55	0,58
Parquet	0,04	0,04	0,07	0,06	0,06
Parquet sobre asfalto	0,05	0,03	0,06	0,09	0,10
Parquet sobre listones	0,20	0,15	0,12	0,10	0,09
Alfombra de goma 0,5 cm	0,04	0,04	0,08	0,12	0,03
Alfombra de lana 1,2 kg/m ²	0,10	0,16	0,11	0,30	0,50
Alfombra de lana 2,3 kg/m ²	0,17	0,18	0,21	0,50	0,63
Cortina 338 g/m ²	0,03	0,04	0,11	0,17	0,24
Cortina 475 g/m ² , fruncida al 50%	0,07	0,31	0,49	0,75	0,70
Espuma de poliuretano (Fonac) 35 mm	0,11	0,14	0,36	0,32	0,90
Espuma de poliuretano (Fonac) 50 mm	0,15	0,25	0,50	0,94	0,92
Espuma de poliuretano (Fonac) 75 mm	0,17	0,44	0,59	1,03	1,03
Espuma de poliuretano (Sonex) 35 mm	0,06	0,20	0,45	0,71	0,95
Espuma de poliuretano (Sonex) 50 mm	0,07	0,32	0,72	0,88	0,97
Espuma de poliuretano (Sonex) 75 mm	0,13	0,53	0,90	1,07	1,07
Lana de vidrio (fieltro 14 kg/m ²) 25 mm	0,15	0,25	0,40	0,50	0,65
Lana de vidrio (fieltro 14 kg/m ²) 50 mm	0,25	0,45	0,70	0,80	0,85
Lana de vidrio (panel 35 kg/m ²) 25 mm	0,20	0,40	0,80	0,90	1,00
Lana de vidrio (panel 35 kg/m ²) 50 mm	0,30	0,75	1,00	1,00	1,00
Ventana abierta	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Vidrio	0,03	0,02	0,02	0,01	0,07
Panel cielorraso Spanacustic (Manville) 19 mm	—	0,80	0,71	0,86	0,88
Panel cielorraso Acoustidom (Manville) 4 mm	—	0,72	0,61	0,68	0,79
Panel cielorraso Prismatic (Manville) 4 mm	—	0,70	0,61	0,70	0,78
Panel cielorraso Profil (Manville) 4 mm	—	0,72	0,62	0,69	0,78
Panel cielorraso fumado Anar tone (USG) 5/8"	0,34	0,36	0,71	0,85	0,88
Panel cielorraso fumado Cortesa (AWI) 5/8"	0,31	0,32	0,51	0,72	0,74
Asiento de madera (0,8 m ² /asiento)	0,01	0,02	0,03	0,04	0,08
Asiento tapizado Grueso (0,8 m ² /asiento)	0,44	0,44	0,44	0,44	0,44
Personas en asiento de madera (0,8 m ² /persona)	0,34	0,39	0,44	0,54	0,56
Personas en asiento tapizado (0,8 m ² /persona)	0,53	0,51	0,51	0,56	0,59
Personas de pie (0,8 m ² /persona)	0,25	0,44	0,59	0,56	0,62

La propiedad anterior se puede expresar por medio de una fórmula, denominada **fórmula de Sabine**, en honor al físico norteamericano que la obtuvo a principios de este siglo. Según dicha fórmula el tiempo de reverberación T puede calcularse como:

$$T = 0,161 \cdot \frac{V}{\alpha \cdot S},$$

donde V es el volumen de la habitación en m^3 , S es el área de su superficie interior total en m^2 , y α es el coeficiente de absorción sonora, ya definido como la fracción de la energía sonora incidente que es absorbida por las superficies de la habitación.

Como ejemplo, supongamos una sala rectangular de 4 m de ancho, por 6 m de largo, por 3 m de alto. Entonces

$$S = 4 \times 3 + 4 \times 3 + 6 \times 3 + 6 \times 3 + 4 \times 6 + 4 \times 6 = 108 \text{ m}^2$$

$$V = 4 \times 3 \times 6 = 72 \text{ m}^3$$

Si $\alpha = 0,1$ (las superficies absorben el 10% de la energía sonora incidente), resulta

$$T = 0,161 \cdot \frac{72}{0,1 \times 108} = 1,07 \text{ s}$$

Dado que, según vimos, los coeficientes de absorción α dependen de la frecuencia, resulta también que el tiempo de reverberación depende de la frecuencia.

En general, los recintos están formados por diversos materiales, cuyos coeficientes de absorción no tienen por qué ser iguales. Si una sala tiene una parte S_1 de su superficie con coeficiente α_1 , otra parte S_2 con coeficiente α_2 , ... y por último una parte S_n con coeficiente α_n , entonces

$$T = 0,161 \cdot \frac{V}{\alpha_1 \cdot S_1 + \alpha_2 \cdot S_2 + \dots + \alpha_n \cdot S_n}$$

Por ejemplo, si en el caso anterior las paredes tienen $\alpha = 0,1$, en tanto que el techo tiene un cielorraso acústico con $\alpha = 0,6$ y el piso $\alpha = 0,15$, resulta

$$T = 0,161 \cdot \frac{72}{0,1 \cdot 60 + 0,6 \cdot 24 + 0,15 \cdot 24} = 0,48 \text{ s}$$

Vemos cómo el uso del cielorraso acústico redujo considerablemente el tiempo de reverberación.

Varias investigaciones realizadas evaluando las acústicas de las mejores salas del mundo (según la opinión de las audiencias o usuarios y de expertos) han revelado que

para cada finalidad existe *un tiempo de reverberación óptimo*, que aumenta al aumentar el volumen en m^3 de la sala. En la Figura 4.2 se muestra el resultado de uno de estos estudios. Debe aclararse que *no hay coincidencia* entre los resultados presentados por diversos investigadores, aunque cualitativamente son similares.

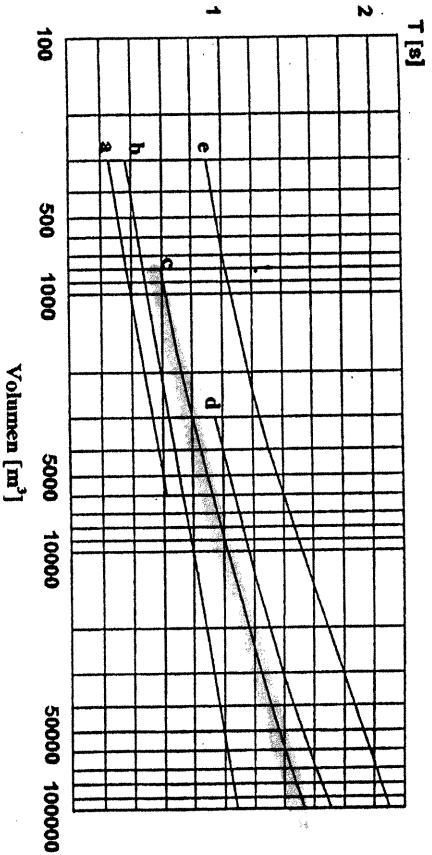


Figura 4.2. Tiempo de reverberación óptimo en función del volumen de una sala (según L. L. Beranek). (a) Estudios de radiodifusión para voz. (b) Salas de conferencias. (c) Estudios de radiodifusión para música. (d) Salas de conciertos. (e) Iglesias.

En general, se observa que la palabra requiere menores tiempos de reverberación que la música, debido a que la parte más significativa de la palabra son las consonantes, que son a la vez débiles y más cortas que las vocales. En consecuencia, con un tiempo de reverberación alto las vocales se prolongan demasiado, enmascarando a las consonantes que les siguen, lo que reduce la inteligibilidad de la palabra. La música, por el contrario, *se beneficia* con un tiempo de reverberación considerable, ya que éste permite empalmar mejor los sonidos y disimular pequeñas imperfecciones de ejecución, a la vez que aporta una espacialidad que es deseable en la música.

Como ejemplo de aplicación, supongamos un pequeño teatro de 10 m de ancho por 12 m de fondo por 6 m de altura, que va a ser utilizado para obras de teatro. El volumen de la sala será

$$V = 10 \times 12 \times 6 = 720 \text{ m}^3,$$

lo cual significa, eligiendo la curva b de la Figura 4.2, que el tiempo de reverberación óptimo será de 0,45 s. De la fórmula del tiempo de reverberación es posible calcular el valor de α necesario para obtener este tiempo óptimo:

$$\alpha = 0,161 \cdot \frac{V}{T \cdot S}$$

Teniendo en cuenta que

$$S = 12 \times 10 + 12 \times 10 + 12 \times 6 + 12 \times 6 + 10 \times 6 + 10 \times 6 = 504 \text{ m}^2,$$

resulta

$$\alpha = 0,161 \cdot \frac{720}{0,45 \cdot 504} = 0,51.$$

Este valor es bastante elevado, lo cual significa que el tratamiento acústico resultaría costoso, situación bastante común en la arquitectura acústica. El tratamiento acústico suele ser casi tan costoso como la construcción del edificio.

4.8. Campo sonoro directo y reverberante

Un segundo elemento que interviene en la acústica de un ambiente es cómo se distribuye en él el campo sonoro. Por campo sonoro se entiende el valor que adquiere la presión sonora en cada punto del espacio. A los efectos del análisis, el campo sonoro se divide en dos componentes: el campo directo y el campo reverberante. El campo directo contiene la parte del sonido que acaba de ser emitido por la fuente, y que por lo tanto *ain't no experimentó ninguna reflexión*, y el campo reverberante, en cambio, incluye el sonido *déspués de la primera reflexión*.

Estas dos componentes tienen comportamientos muy diferentes. El campo directo disminuye con la distancia a la fuente, y lo hace a razón de 6 dB por cada duplicación de la distancia. Así, si a 1 m de una fuente sonora se mide un nivel de presión sonora de 80 dB, a 2 m (el doble de 1 m) tendremos 74 dB; a 4 m (el doble de 2 m) habrá 68 dB; a 8 m (el doble de 4 m) existirá un campo directo de 62 dB, y así sucesivamente.

El campo reverberante, en cambio, es *constante* en los ambientes cerrados, como habitaciones, salas y otros recintos. Esto se debe a que el sonido sufre multitud de reflexiones, y todas ellas se superponen entre sí, resultando una *distribución prácticamente uniforme* del sonido.

En el descampado, donde el sonido puede propagarse libremente sin que se produzcan reflexiones, *sólo existe la componente de campo directo*. Por esta razón, el nivel de presión sonora disminuye rápidamente con la distancia. Así, una persona hablando normalmente a 50 m se escuchará sólo muy débilmente. En un ambiente cerrado, en cambio, si bien muy cerca de la fuente predominia el campo directo, a cierta distancia predomina el campo reverberante.

En la Figura 4.3 se ilustran ambas componentes de la presión sonora y el campo sonoro resultante de la superposición de ambas. Existe una distancia denominada *distancia crítica* que limita las regiones en las que predomina uno u otro campo. Para distancias menores que la distancia crítica, predomina el campo directo, y para distancias mayores, predomina el campo reverberante. Por esta razón se suele denominar también *campo cercano y campo lejano a las componentes directa y reverberante*.

Una característica del campo directo es que es bastante direccional, mientras que el campo reverberante es difuso, es decir adireccional. Por esta razón, en un teatro, cerca del escenario se percibe claramente la procedencia de los sonidos, pero más lejos no tanto (aunque por efecto Haas, el sonido directo, que llega siempre primero, permite percibir la dirección del sonido aún con un importante campo reverberante).

El campo reverberante permite explicar por qué dentro de una habitación los sonidos se perciben con mayor sonoridad que en un ámbito abierto. En éste último sólo existe el campo directo. En una habitación el sonido se ve reforzado por el campo reverberante, que *acumula la energía sonora que no es absorbida en las reflexiones*. En el descampado, al no haber reflexiones, la energía sonora simplemente se aleja continuamente de la fuente, sin posibilidad de acumularse.

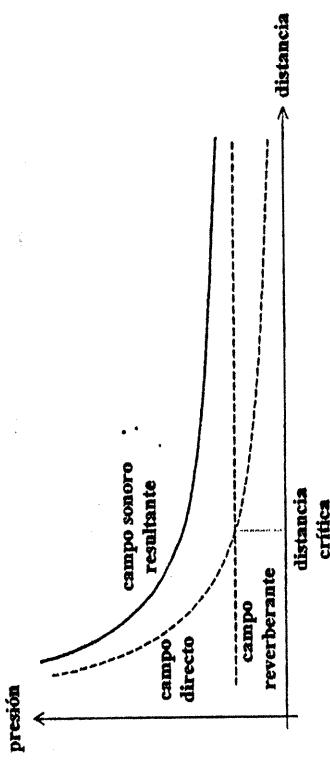


Figura 4.3. Campo directo y campo reverberante. Se indica también la distancia crítica, que limita las regiones donde predomina una u otra componente del campo sonoro.

De la discusión anterior puede deducirse que el campo reverberante será tanto mayor cuanto más reflectoras del sonido sean las superficies de un ambiente (o lo que es lo mismo, cuanto menor sea el coeficiente de absorción), ya que en ese caso será mayor la energía acumulada. Como también el tiempo de reverberación aumenta cuando aumenta la reflexión, resulta que *a mayor tiempo de reverberación, mayor campo reverberante*.

Esto explica por qué en los ambientes con paredes duras, como los gimnasios, a igualdad de la fuente el nivel sonoro es tan alto. A esto se agrega el hecho de que el campo reverberante tiende a emascarar el habla, por lo que la gente inconscientemente sube la voz para aumentar el campo directo, y poder comunicarse por lo menos con las personas más próximas. Esto a su vez incrementa el campo reverberante, pues significa más energía sonora para acumular en el ambiente.

4.9. Resonancias

En las salas pequeñas, aparece un tercer elemento que incide en la calidad acústica, que son las *resonancias o modos normales de vibración*. Esto sucede como consecuencia de las reflexiones sucesivas en paredes opuestas. Si en una habitación se genera una onda sonora que viaja perpendicularmente a dos paredes enfrentadas, al reflejarse en una de ellas lo hará también perpendicularmente, de modo que volverá sobre sí misma y posteriormente se reflejará en la pared opuesta. Así, se generará lo que se denomina una *onda estacionaria*, es decir una onda que va y viene entre las dos pare-

des. Esta onda es, de hecho, una onda sonora que se escuchará precisamente como un sonido. Si la distancia entre las dos paredes es L , la longitud de tal onda es $2L$, y por consiguiente deberá cumplirse (según lo visto en la sección 1.1) que

$$2 \cdot L = \frac{c}{f},$$

donde c es la velocidad del sonido (345 m/s) y f la frecuencia del sonido resultante. De aquí se puede obtener la frecuencia, que resulta ser

$$f = \frac{c}{2 \cdot L}.$$

Como ejemplo, supongamos que las paredes distan unos 3 m entre sí. Entonces

$$f = \frac{345}{2 \cdot 3} = 57,5 \text{ Hz},$$

que corresponde al si bemol casi 3 octavas por debajo del la central ($\text{LA } 440 \text{ Hz}$). Esta es sólo una de las muchas **frecuencias de resonancia** que puede tener esta sala. Otras corresponden a los armónicos de esa nota (es decir los múltiplos de $57,5 \text{ Hz}$, como 115 Hz , $172,5 \text{ Hz}$, etc.).

¿Qué consecuencias tiene esto para las condiciones acústicas del recinto? Las resonancias se ponen de manifiesto cuando aparece un sonido de igual o similar frecuencia. Por ejemplo, si un bajo ejecuta esta nota, la acústica de la habitación parecerá amplificar dicho sonido, en desmedro de los otros sonidos. A esto se agrega que para las frecuencias de resonancia el tiempo de reverberación es mucho más prolongado, por lo cual dicha nota se prolongará más que las otras. Esto se considera un defecto acústico importante. Entre las posibles soluciones, están: a) evitar las superficies paralelas, que favorecen las resonancias, b) agregar absorción acústica que reduzca el tiempo de reverberación, c) ecualizar el sistema de sonido de modo de atenuar las frecuencias próximas a la resonancia o resaltar las otras frecuencias.

Las resonancias rellenan el espectro musical, lo cual favorece el canto solista, es decir las melodías sencillas y no demasiado rápidas. Por ese motivo resulta agradable cantar en el baño (especialmente para la voz masculina). Es un ambiente pequeño, y por lo tanto con resonancias motorias. Sin embargo, desde el punto de vista de la escucha de la música, no resulta tan agradable, porque distorsiona lo que se quiere escuchar.

Otra consecuencia de las resonancias es que la difusión del sonido no es satisfactoria, es decir que la distribución espacial del mismo no es uniforme: en algunos puntos el nivel sonoro es mucho mayor que en otros, siendo la diferencia mayor que la atribuible al campo directo.

A medida que crece el tamaño de una habitación, las resonancias tienden a estar cada vez más próximas entre sí, y se transforman en reverberación, mejorando también la difusión. Lo mismo sucede cuando la forma de la sala es irregular.

En el diseño de pequeñas salas o estudios de grabación o ensayo es primordial prestar atención a los problemas de difusión y de resonancias. Las siguientes son algunas recomendaciones:

- 1) Evitar las simetrías. Si la habitación tiene forma rectangular, las aristas deberían ser todas de diferente longitud (la forma cúbica de algunas habitaciones es particular-

miente deficiente desde el punto de vista acústico). Algunas proporciones satisfactorias son $1 : 1,14 : 1,39$, $1 : 1,28 : 1,54$ y $1 : 1,6 : 2,23$.

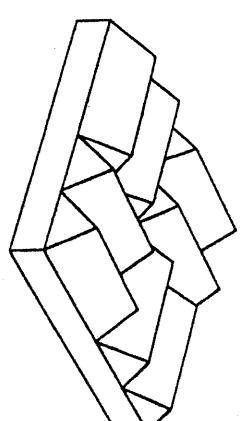
- 2) Si es posible, evitar los paralelismos. Esto puede lograrse inclinando una o dos paredes, e inclusive el cielorraso.
- 3) En casos severos, recubrir con material absorbente una de cada par de paredes paralelas, o mejor aún (aunque es una solución más costosa), colocar algunas baldosas difusoras disponibles comercialmente (por ejemplo las RPG).

4.10. Materiales absorbentes acústicos

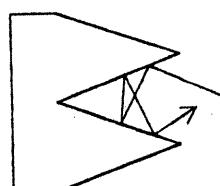
Los materiales de construcción y los revestimientos tienen propiedades absorbentes muy variables. A menudo es necesario, tanto en salas de espectáculo como en estudios de grabación y monitoreo realizar tratamientos específicos para optimizar las condiciones acústicas. Ello se logra con materiales absorbentes acústicos, es decir materiales especialmente formulados para tener una elevada absorción sonora.

Existen varios tipos de materiales de esta clase. El más económico es la lana de vidrio, que se presenta en dos formas: como fieltro, y como panel rígido. La absorción aumenta con el espesor, y también con la densidad. Permite absorciones sonoras muy altas. El inconveniente es que debe ser separada del ambiente acústico mediante paneles protectores cuya finalidad es doble: proteger la lana de vidrio de las personas, y a las personas de la lana de vidrio (ya que las partículas que se podrían desprender no sólo lastiman la piel sino que al ser respiradas se acumulan irreversiblemente en los pulmones, con el consecuente peligro para la salud). Los protectores son en general planchas perforadas de Eucatex u otros materiales celulásticos. Es de destacar que salvo en las planchas perforadas de gran espesor, no tienen efecto propio en la absorción, por lo tanto las planchas perforadas aplicadas directamente sobre la pared son bastante ineffectivas.

Otro tipo de material son las espumas de poliuretano, y poliéster uretano, o de melamina. Son materiales que se fabrican facetados en forma de cuñas anacoicas (Figura 4.4a). Esta estructura superficial se comporta como una trampa de sonido, ya que el sonido que incide sobre la superficie de una cuña se refleja varias veces en esa cuña y en la contigua. El resultado es un aumento de la superficie efectiva de tres veces o más (Figura 4.4b).



(a)



(b)

Figura 4.4. (a) Una muestra de material absorbente a base de espumas poliuretanicas con terminación superficial en cuñas anacoicas. (b) Mecanismo por el cual las cuñas anacoicas logran gran absorción sonora.

Para tratamiento acústico de ciegos se pueden emplear plafones fonoabsorbentes basados en fibras minerales (basalto), fibra de vidrio, fibras celulosicas, corcho, etc. con diversas terminaciones superficiales de fantasía. En general se instalan suspendidas por medio de bastidores a cierta distancia de la losa. Cuanto mayor es la separación, mejor es la absorción resultante, sobre todo si se intercala algo de lana de vidrio. Es necesario efectuar aquí dos advertencias. La primera se refiere al poliestireno expandido (telgopor). Si bien es un excelente aislante térmico, sus *características acústicas son muy pobres*, contrariamente a lo que mucha gente supone, y por lo tanto no debería utilizarse en aplicaciones en las que la absorción o la aislación acústica sean críticas. La segunda advertencia es con respecto a la costumbre de recubrir los ciegos con cajas de huevos, bajo la creencia de que son buenas absorbentes del sonido. En realidad no son efectivas para esta aplicación, debido a que carecen de la porosidad y el volumen necesarios. Tal vez el origen de la confusión esté en la semejanza que presentan con las cajas anecoicas. No son recomendables para ninguna aplicación acústica seria.

El tratamiento de pisos se realiza normalmente con alfombras, las cuales son más efectivas si se colocan sobre *bajoalfombras* porosos de fibra vegetal (arpillera, yute) o poliéster. El efecto de las alfombras no se reduce a absorber el sonido, sino que atemian los ruidos de pisadas u objetos que caen o rozan el suelo (por ejemplo, cables de microfonos). A igual estructura, la absorción de una alfombra aumenta con el espesor. El tipo de fibra constitutiva de una alfombra (lana, nylon) no afecta significativamente a su coeficiente de absorción.

Por último, los cortinados también pueden aprovecharse como absorbentes sonoros, especialmente cuando forman parte del diseño arquitectónico con algún fin estético o funcional. Hay que tener en cuenta que a mayor separación de la pared, mayor efectividad en la absorción. También es importante la porosidad, ya que una cortina plástica impermeable no tiene propiedades absorbentes. Por el contrario, una cortina de tela gruesa, de terciopelo, etc., será bastante absorbente. La absorción también aumenta con el plegado, fijado o drapado, es decir la relación entre el área efectivamente ocupada por la cortina y el área de la cortina estirada. Una cortina fruncida al 50% puede llegar casi a duplicar su coeficiente de absorción.

Una aplicación interesante de las cortinas es la obtención de una acústica variable. Para ello se coloca una cortina frente a una pared relativamente reflectora. Al correr la cortina se va descubriendo la pared, y el conjunto se vuelve menos absorbente.

4.11. Aislación acústica

Aislar acústicamente un recinto significa impedir que los sonidos generados dentro del mismo trasciendan hacia el exterior y, reciprocamente, que los ruidos externos se perciban desde su interior.

La **aislación acústica** (o aislación sonora) es muy importante en todo lo que tenga que ver con sonido profesional. Si el recinto es una sala de concierto o de espectáculos en la cual se ejecuta o propala música a alto nivel sonoro, es preciso evitar que los sonidos trasciendan convirtiéndose en ruidos molestos al vecindario. Si se trata de una sala de grabación o un estudio radiofónico, cualquier ruido proveniente del exterior contaminará el sonido que se desea difundir o grabar, en desmedro de su calidad, lo cual también debe evitarse.

En una primera aproximación al problema, podemos observar que la aislación sonora se logra interponiendo una pared o tabique entre la **fuente sonora** y el **receptor**. La aislación es tanto mayor cuanto mayor sea la densidad superficial (kg/m^2) del tabique y cuanto mayor sea la frecuencia del sonido. Esta es la razón por la cual las paredes gruesas (y por lo tanto pesadas) ofrecen mayor aislación que las delgadas. También explica por qué de la música del vecino se escucha mucho más la base rítmica de la percusión grave (baja frecuencia) que las melodías, por lo general más agudas (alta frecuencia).

Un análisis más detallado indica que es posible obtener una mayor aislación acústica por medio de tabiques dobles, o, más generalmente, múltiples. En otras palabras, dada una cantidad de material (por ejemplo 20 cm de espesor de hormigón) podemos sacarle mayor provecho si lo dividimos en dos partes (en este caso dos paredes de 10 cm cada una) y lo sepáramos con un espacio de aire. Si el espacio de aire se rellena con algún material absorbente (típicamente, lana de vidrio), el resultado es una aislación todavía mayor.

Este tipo de estructura se utiliza mucho con placas de roca de yeso (Durlock, Placo, Pladur). Estas placas están formadas por yeso recubierto a ambos lados por celulosa (cartón). El espesor es, normalmente, de unos 12 mm, y se suelen usar de 2 separadas 50, 70 ó 90 mm mediante perfiles de chapa. El espacio entre ambas placas se rellena con lana de vidrio (Figura 4.5a). La aislación que se consigue es sorprendente para el espesor y el peso total. Se puede lograr mayor aislación aún utilizando dos placas de roca de yeso de cada lado, y montándolas sobre perfiles independientes para evitar las conexiones rígidas propensas a transmitir las vibraciones (estructura alternada, Figura 4.5b).

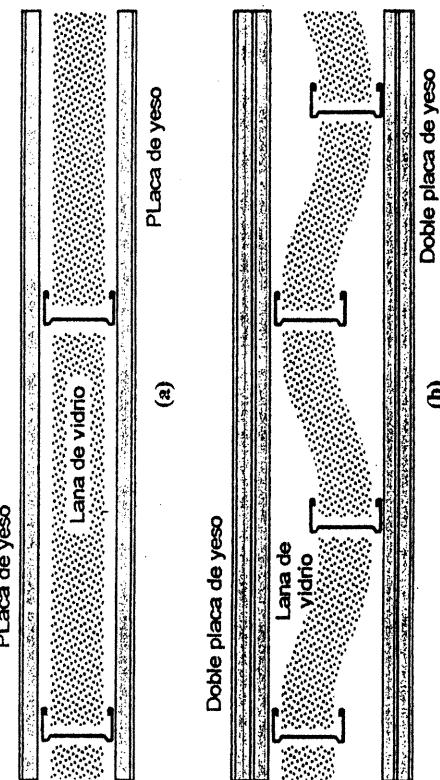


Figura 4.5. (a) Vista superior en corte de un montaje de placas de roca de yeso con estructura formada por perfiles de chapa. (b) Estructura alternada sin conexión rígida. Notar la diferencia de espesores a uno y otro lado de la pared.

Un análisis más detallado indica que es posible obtener una mayor aislación acústica por medio de tabiques dobles, o, más generalmente, múltiples. En otras palabras, dada una cantidad de material (por ejemplo 20 cm de espesor de hormigón) podemos sacarle mayor provecho si lo dividimos en dos partes (en este caso dos paredes de 10 cm cada una) y lo sepáramos con un espacio de aire. Si el espacio de aire se rellena con algún material absorbente (típicamente, lana de vidrio), el resultado es una aislación todavía mayor.

Este tipo de estructura se utiliza mucho con placas de roca de yeso (Durlock, Placo, Pladur). Estas placas están formadas por yeso recubierto a ambos lados por celulosa (cartón). El espesor es, normalmente, de unos 12 mm, y se suelen usar de 2 separadas 50, 70 ó 90 mm mediante perfiles de chapa. El espacio entre ambas placas se rellena con lana de vidrio (Figura 4.5a). La aislación que se consigue es sorprendente para el espesor y el peso total. Se puede lograr mayor aislación aún utilizando dos placas de roca de yeso de cada lado, y montándolas sobre perfiles independientes para evitar las conexiones rígidas propensas a transmitir las vibraciones (estructura alternada, Figura 4.5b).

También se utiliza el concepto de tabique doble para construir ventanas de gran aislación sonora, como las "peceras" que separan la sala de control de la sala de grabación.

ción de los estudios. En este caso se utilizan dos hojas de vidrio grueso de distintos espesores (por ejemplo 6 mm y 8 mm), fijados al marco mediante masillas no endurecibles de silicona. En los bordes interiores (en forma más o menos oculta) se coloca material absorbente, como lana de vidrio o espuma de poliuretano. Para evitar que por diferencias de temperatura se produzcan condensaciones por dentro, lo cual empañaría los vidrios, se colocan gránulos de **silica gel**, un poderoso deshumectante. En la Figura 4.6 se muestra la estructura de una ventana de este tipo.

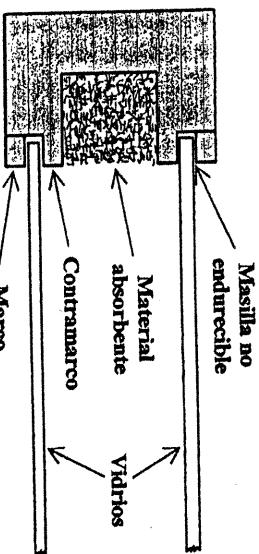


Figura 4.6. Corte según un plano horizontal de una ventana de doble vidrio. Obsérvese el diferente espesor de los vidrios.

Para catalogar la aislación sonora de diferentes materiales y estructuras se usan dos parámetros: la **pérdida de transmisión**, PT, y la **clase de transmisión sonora**, STC (Estados Unidos), o el **índice de reducción acústica**, RW (Europa y Argentina).

La Pérdida de transmisión, PT, es un parámetro expresado en dB que depende de la frecuencia e indica cuánto se atenúa la **energía sonora** incidente al atravesar el tabique. Así, una pérdida de transmisión de 40 dB significa que la energía sonora que pasa al otro lado es 40 dB menor que la incidente.

Obsérvese que se está hablando de la **energía sonora**, que no es lo mismo que la **presión sonora**. Si un tabique tiene PT = 40 dB, y del lado de la fuente hay un nivel de presión sonora de 90 dB, **no es válido** afirmar que del otro lado hay 90 dB - 40 dB, es decir 50 dB. Puede haber menos o más de 50 dB, según las circunstancias. Por ejemplo, si el lado receptor es muy reverberante, habrá más de 50 dB; y si el tabique es muy pequeño, por ejemplo una pequeña ventanilla en el medio de una pared muy gruesa, entonces del lado receptor habrá probablemente menos de 50 dB. Si bien el análisis detallado no es muy complejo, escapa al objeto de este libro.

La **clase de transmisión sonora** (en inglés, sound transmission class), STC, es una especie de valor promedio de la pérdida de transmisión a varias frecuencias. Es un valor único que permite catalogar rápidamente la calidad de la aislación sonora que ofrece un tabique, especialmente en lo que se refiere a la privacidad de la palabra. Así, un valor de STC inferior a 25 implica que la voz normal se entiende perfectamente, y un valor superior a 45 implica que la voz alta casi no se percibe. El índice de reducción sonora RW, es la versión europea, también usada en la Argentina (puede diferir hasta en 1 dB).

En la Tabla 4.2 se detallan los valores de PT a varias frecuencias y de STC, correspondientes a varios materiales y estructuras. Se han considerado los materiales y es-

tructuras actuando en condiciones casi ideales. No se ha tenido en cuenta, por consiguiente, la denominada **transmisión por flancos**, es decir el sonido que se filtra a través de fisuras, intersticios o juntas mal selladas, o que se propaga por la estructura en forma de vibraciones, o que se transmite por tuberías de ventilación o aire acondicionado, o por los canos de distribución de energía eléctrica. En todo proyecto de aislación acústica deben tenerse en cuenta todos estos detalles, ya que de lo contrario se corre el riesgo de invertir grandes sumas de dinero sin lograr los resultados esperados. Es importante saber que el intersticio debajo de una puerta puede llegar a empeorar la attenuación de una puerta en 20 dB ó más. Pueden utilizarse burletes perimetrales en las puertas y masilla con silicona (es decir, no endurecible) en toda fisura, grieta o junta.

Por último, debe advertirse que la información brindada en este capítulo se ha incluido a título informativo, siendo conveniente obtener una opinión especializada antes de encarar un proyecto que involucre grandes inversiones, ya que es muy fácil cometer errores que luego se pagarán, a la larga o a la corta, muy caro.

Tabla 4.2. Pérdida de transmisión de diversos materiales en función de la frecuencia, y clase de transmisión sonora (según varias fuentes). Los valores no suministrados no estaban disponibles.

Material o estructura	STC	PT a la frecuencia				
		125	250	500	1.000	2.000
Hormigón (90 mm)	37	30	30	37	35	38
Hormigón (140 mm)	45	30	34	41	48	55
Hormigón (190 mm)	53	37	46	46	54	60
Hormigón (220 mm)	50	33	41	45	51	57
Hormigón (90 mm) + aire (25 mm) + fibra de vidrio (65 mm) + hormigón (90 mm) + placa de yeso (16 mm)	62	49	54	57	66	71
Placa de yeso (Durlock) (12 mm)	28	15	20	25	29	32
Placa de yeso (Durlock) (2x12 mm)	31	19	26	30	32	37
Placa de yeso (12 mm) + aire (90 mm) + placa de yeso (12 mm)	33	12	23	32	41	44
Placa de yeso (2x12 mm) + aire (90 mm) + placa de yeso (12 mm)	37	16	26	36	42	45
Placa de yeso (2x12 mm) + aire (70 mm) + placa de yeso (2x12 mm)	45	23	30	45	49	52
Placa de yeso (12 mm) + aire (20 mm) + fibra de vidrio (50 mm) + placa de yeso (12 mm)	45	21	35	48	55	56
Placa de yeso (2x12 mm) + aire (40 mm) + fibra de vidrio (50 mm) + placa de yeso (2x12 mm)	55	34	47	56	61	59
Vidrio (6 mm)	31	25	28	31	34	36
Vidrio laminado (6 mm)	35	26	29	32	35	43
Vidrio (3 mm) + aire (50 mm) + vidrio (3 mm)	38	18	26	38	43	35
Vidrio (3 mm) + aire (40 mm) + vidrio (6 mm)	45	29	35	44	46	47
Puerta madera maciza (24 kg/m ³) sin burlote	22	19	22	26	24	23
Puerta madera maciza con burlote	26	22	25	29	25	28
Fuerta de madera maciza (24 kg/m ³) + aire (230 mm) + Puerta acero chapa # 18 hueca (26 kg/m ³) + burlote magnético en el marco	49	35	44	48	44	54

Capítulo 5

Efectos del ruido en el hombre

5.1. Introducción

El excesivo nivel sonoro, ya sea éste el resultado del ruido molesto de una maquinaria industrial o de la música más excesiva, tiene efectos nocivos para el hombre que han sido detalladamente estudiados por investigadores de todas partes del mundo. Es importante recalcar que tanto la música como el ruido de una fábrica tienen similares efectos nocivos cuando sus niveles sonoros son elevados. El cerebro los discrimina, pero el oído, que es quien sufre el daño, no.

Una cualidad del mundo moderno es, precisamente, la de que a causa del vertiginoso crecimiento de la tecnología, se ha incrementado el nivel sonoro ambiental, que hoy se reconoce como un *contaminante más*. Una consecuencia indirecta de esto es la tendencia a escuchar música con niveles excesivos, lo cual trae aparejados diversos problemas, como afectaciones nerviosas, sónáticas y auditivas.

5.2. Efectos no clínicos

El primer efecto es la molestia. A modo de criterio general, puede afirmarse que el nivel de *comfort auditivo* se da hasta los 70 a 80 dBA, dependiendo del tipo de sonido, la motivación para escucharlo, y las características personales de quien lo escucha. Por encima de 120 dBA se percibe dolor además de un sonido ensordecedor.

En relación con la eficiencia en el trabajo, se observa que la misma se reduce ante un ruido repentino o inusual, pero al volverse éste repetitivo el individuo se acostumbra y recupera la eficiencia. Esto es especialmente cierto para el caso de los trabajos manuales o que no requieren una gran elaboración intelectual. Las tareas intelectuales se ven más afectadas por el ruido que las físicas.

Uno de los efectos más notorios del ruido o los sonidos intensos es la interferencia a la palabra, lo cual crea dificultades para la comunicación oral. Esto a su vez lleva a las personas a elevar la voz, forzando sus cuerdas vocales.

Por otra parte, por encima de los 90 dBA desaparece la alta fidelidad, ya que las propias distorsiones del oído impiden una escucha fiel de la música. Dichas distorsiones son, en parte, resultado de una contracción muscular refleja dentro del oído medio que actúa como mecanismo de protección del sistema auditivo. Otra razón es que los sonidos de nivel tan elevado enmascaran mucho más a los sonidos más débiles, con lo cual desaparece toda sutileza. Esto muestra lo inútil de llevar el nivel sonoro muy por encima de este valor.

5.3. Efectos clínicos no auditivos

Se han descrito numerosos efectos clínicos (efectos que se manifiestan a través de síntomas o patologías) no auditivos del ruido. Entre ellos pueden citarse la hipertensión arterial pasajera, las taquicardias, las cefaleas, el nerviosismo, el estrés, la reducción del rendimiento físico y la pérdida de la concentración y de la atención. También hay variaciones del ritmo respiratorio, disminución de la secreción salival y del tiempo de tránsito intestinal. Por último, se producen afecções de la garganta como resultado de forzar la voz.

A partir de estudios epidemiológicos se han comprobado incrementos significativos en la incidencia de ataques cardíacos, neurológicos, digestivos y endocrinos, los cuales llegan a ser hasta 4 veces más frecuentes en la población expuesta a ruidos muy intensos, como sucede en las zonas aledañas de los aeropuertos.

Los sonidos intensos inciden también en el sentido del equilibrio, a través de dos mecanismos. El primero son las vibraciones intensas que se producen en el órgano sensor del equilibrio, que está muy próximo al oído interno y comunicado con él. El segundo es la interferencia entre las señales nerviosas de los dos sistemas, dado que los respectivos nervios están muy próximos. Esto repercute en el control del equilibrio, llegando a producirse mareos e inestabilidades ante la exposición prolongada a sonidos muy intensos (por ejemplo ante la escucha de música excesivamente fuerte, lo cual suele suceder en las discotecas y otros locales bailables).

5.4. Efectos auditivos

El efecto sobre la audición humana ha sido una de las primeras consecuencias de los niveles sonoros excesivos que se estudiaron. Las investigaciones se realizaron aprovechando datos obtenidos en ambientes laborales. La consecuencia más notoria es la *pérdida de audición*. Esta dolencia, conocida como *hipoacusia*, sobreviene ante la exposición a ruidos extremadamente fuertes aún cuando sea durante poco tiempo, o ante la exposición reiterada a lo largo del tiempo a ruidos no tan intensos.

Ejemplos del primer caso son las explosiones, bombas de estrondo, o disparos de armas de fuego sucedidas cerca de una persona, sin mediar ningún tipo de protección auditiva. El segundo caso se da por lo general en ambientes laborales, aunque también se puede dar en el interior de vehículos, en ambientes con música muy fuerte, y ante el uso del walkman, discernir o de radios portátiles con auriculares, ya que en general el usuario ajustará el volumen de modo de contrarrestar el ruido ambiente (ya bastante elevado), enmascarándolo.

La pérdida auditiva se determina midiendo, por medio de una audiometría, cuánto sube el umbral auditivo en cada frecuencia respecto al considerado normal (ver capítulo 2, sección 2.4), teniendo en cuenta que el aumento del umbral significa que hace falta más nivel de presión sonora para percibir la presencia de un sonido. Luego se promedian los valores a 500 Hz, 1 kHz y 2 kHz, obteniéndose la pérdida auditiva promedio, PAP. Se considera que hay hipoacusia, o incapacidad auditiva, cuando la PAP supera los 25 dB, ya que se ha comprobado que a partir de esta cifra *comienzan las dificultades para la comprensión de la palabra*.

Se define el riesgo de la exposición a determinado nivel de ruido de origen laboral durante un tiempo dado como *el porcentaje de las personas expuestas que adquieren algún grado de incapacidad auditiva menos el porcentaje de las personas no expuestas que adquieren el mismo grado de incapacidad*. Se toma esta diferencia para eliminar los casos de presbiacusia (es decir la pérdida gradual de la audición con la edad), y conservar sólo aquellos atribuibles exclusivamente a la exposición al ruido.

En la Tabla 5.1 se indican los porcentajes de personas no expuestas a ruidos importantes que adquieren incapacidad de acuerdo al criterio anterior, en función de la edad, es decir, la distribución estadística de presbiacúsicos.

Tabla 5.1. Porcentaje de personas con presbiacusia en función de la edad.

Edad	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65
%	1	2	3	5	7	10	14	21	33	50

La Organización Internacional de Normalización (ISO, International Standardization Organization) ha emitido una norma, la ISO 1999, que proporciona los riesgos (según la definición anterior) en función del nivel sonoro laboral promedio en dBA, y los años de exposición, como se indica en la Tabla 5.2 (los datos consignados corresponden a la primera edición de la ISO 1999). A los efectos de calcular el riesgo de acuerdo con la definición dada, se considera que la vida laboral comienza a los 20 años de edad.

Tabla 5.2. Riesgo porcentual en función del nivel sonoro y de los años de exposición.

Nivel sonoro promedio [dBA]	Años de exposición									
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	
80	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
85	1	3	5	6	7	8	9	10	7	
90	4	10	14	16	16	18	20	21	15	
95	7	17	24	28	29	31	32	29	33	
100	12	29	37	42	43	44	44	41	35	
105	18	42	53	58	60	62	61	54	41	
110	26	55	71	78	78	77	72	62	45	
115	36	71	83	87	84	81	75	64	47	

El nivel sonoro promedio se calcula sobre 8 horas diarias y 6 días por semana. Si la jornada laboral es de menos horas, se resta al nivel real 3 dBA por cada reducción a la mitad, y lo mismo para cada reducción a la mitad de la semana laboral. Por ejemplo, si un disc jockey trabaja 4 horas por día y 3 días por semana (es decir, la mitad de horas y la mitad de días) sometido a 106 dBA, equivale a 106 - 3 - 3 = 100 dBA para la tabla anterior, y por lo tanto después de 10 años de actividad el riesgo de sufrir daño auditivo irreversible es de un 29%.

Vemos, entonces, que para los 100 a 110 dBA que en promedio hay en las discotecas, salones de fiestas, conciertos de rock, etc., el riesgo de sufrir hipoacusia en pocos años es muy alto. Por esta razón el técnico de sonido (en especial el disc jockey y quien hace sonido en salas o exteriores) está expuesto a ver deteriorado uno de sus sentidos máspreciados y *laboralmente más imprescindibles*: el oído. Esto implica la necesidad de trabajar siempre con protectores auditivos, ya sean del tipo de los tapones (de siliconas, de lana mineral, etc.) o del tipo de copa (auriculares, orejeras, etc.), los que utilizados sistemáticamente reducen los riesgos considerablemente.

Los valores de la tabla anterior han llevado a la mayoría de los países a promulgar reglamentaciones por las cuales se exige que en *ambientes laborales* no se exceda un nivel promedio de 90 dBA (lo cual en realidad brinda una protección relativa, porque hasta un 21% de los sometidos a este nivel sonoro puede desarrollar hipoacusia). En la República Argentina, la ley que se aplica es la Ley de Higiene y Seguridad en el Trabajo, N° 19.587.

La tabla muestra que cuando el nivel de ruido es inferior a los 80 dBA el porcentaje de personas afectadas más allá de lo atribuible a la presbiacusia no es significativo. Por otra parte, la Agencia de Protección Ambiental (EPA, Environmental Protection Agency) de los Estados Unidos, ha concluido que una exposición permanente (24 horas diarias) a un nivel de ruido de 70 dBA o bien una exposición de carácter laboral (8 horas diarias) a 75 dBA aseguran que un 96% de la población no sufrirá mayores daños auditivos que los correspondientes a la presbiacusia.

5.5. Evolución de la sordera profesional

La sordera profesional, inducida por ruido o sonidos de nivel muy alto, comienza perjudicando la audición de las altas frecuencias. El sonido pierde brillo, y más adelante empiezan a perderse las frecuencias imprescindibles para comprender la palabra. Es de notar que la percepción de la música se ve afectada mucho más tarde, ya que la comprensión de la música es mucho menos crítica que la de la palabra.

Después de una exposición no muy larga a niveles muy altos, por ejemplo durante 2 horas a 100 dBA, se produce una hipoacusia temporal, es decir que después de unas horas de descanso auditivo desaparece, volviendo la audición a niveles normales. Sin embargo, la calidad de la audición poco después de la exposición es un fiel reflejo de lo que será la audición después de unos años de someter reiteradamente el oído a estos niveles. En otras palabras, la hipoacusia sigue, a largo plazo y de forma irreversible, evolución similar que al principio se da temporalmente.

Capítulo 6

Señales y Sistemas

6.1. Introducción

La interconexión entre dos o más dispositivos, tales como micrófonos, amplificadores, equalizadores, altavoces, etc., da origen a lo que se denomina un sistema. Estos dispositivos, así como el sistema resultante, tienen la característica común de que *todos reciben, procesan y entregan señales de algún tipo*. El concepto de señal es el de *una magnitud variable en el tiempo que transmite o transporta información*. En el caso de los sistemas de sonido, existen dos tipos principales de señal: acústicas y eléctricas. La conversión entre ambos tipos de señal se realiza por medio de dispositivos denominados genéricamente **transductores** (micrófonos, altavoces, auriculares). Otros tipos de señales involucradas en sistemas de audio son las magnéticas (cintas, discos rígidos) y las ópticas (discos compactos, transmisión por fibra óptica).

A efectos de lograr un resultado óptimo, es necesario tomar ciertos recaudos en la interconexión de los componentes de un determinado sistema. Cuestiones como la adaptación de impedancias, el ancho de banda, el rango dinámico, la relación señal a ruido y otras, deben ser cuidadosamente analizadas en cada caso particular si se desea sacar el máximo provecho del equipamiento disponible. En lo que sigue nos ocuparemos de algunos de estos aspectos, varios de los cuales serán profundizados en capítulos ulteriores.

A efectos de lograr un resultado óptimo, es necesario tomar ciertos recaudos en la interconexión de los componentes de un determinado sistema. Cuestiones como la adaptación de impedancias, el ancho de banda, el rango dinámico, la relación señal a ruido y otras, deben ser cuidadosamente analizadas en cada caso particular si se desea sacar el máximo provecho del equipamiento disponible. En lo que sigue nos ocuparemos de algunos de estos aspectos, varios de los cuales serán profundizados en capítulos ulteriores.

mentes diferentes, ello no implica ninguna relación de tamaño entre las señales, simplemente porque no es posible comparar una presión con una tensión eléctrica (del mismo modo que no tiene sentido decir que "la longitud de esta mesa es mayor que una hora").

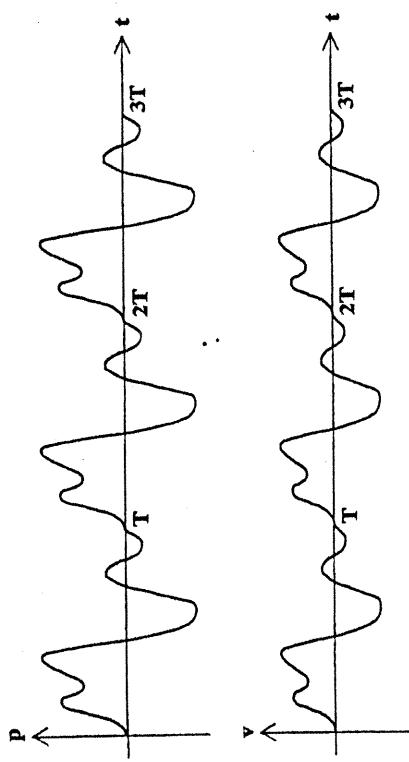


Figura 6.1. Forma de onda de una señal sonora (presión) y su análoga eléctrica (tensión). Obsérvese que las formas de onda, así como sus frecuencias, son iguales. El cambio aparente de amplitud, en realidad se debe a que los factores de escala no son iguales. En otras palabras, no es posible comparar unidades de presión con unidades de tensión eléctrica.

Hemos dicho que *idealmente* las formas de onda de dos señales análogas (como el sonido y la tensión correspondiente producida por el micrófono) deberían coincidir. En los casos *reales*, no obstante, esto es sólo aproximadamente así, debido básicamente a los **fenómenos: las distorsiones (o deformaciones de la onda) y el ruido**. Las distorsiones son las alteraciones en la forma de onda, y el ruido es una señal espuria o indeseada que se agrega a la señal de interés. La calidad de un transductor será función de qué tan pequeños sean los efectos de estos fenómenos. El micrófono ideal no es aquél que carece por completo de distorsión y ruido (ya que ello es una imposibilidad física), sino aquel capaz de reducirlos a un nivel imperceptible para el oído humano.

6.2. Señales

Según hemos visto, todos los equipos, dispositivos y sistemas trabajan con señales, es decir con magnitudes variables que transmiten información. En el caso de los sistemas de sonido, la **información es, precisamente, la forma de onda del sonido**. La señal original es el sonido mismo tal como llega al elemento transductor, es decir al micrófono. El micrófono convierte la señal sonora en una señal eléctrica. ¿Qué relación existe entre ambas señales? Idealmente, la señal eléctrica debería tener exactamente la misma forma de onda que la señal sonora, con un mero cambio de unidades: la señal sonora es una presión sonora, mientras que la señal eléctrica es una tensión (o voltaje). Este es el concepto de **analogía**. Por eso se dice que la señal eléctrica es una representación análoga o analógica de la señal sonora. En la Figura 6.1 se ilustra esta situación, mostrando una señal sonora y su analogía eléctrica. Aunque las amplitudes se han dibujado deliberada-

Un sistema es, generalmente hablando, el resultado de interconectar entre sí un conjunto de dispositivos con entidad propia. Hay dos razones básicas para pensar en términos de sistemas cuando se encara la solución de determinado problema técnico. La primera, es porque resulta más sencillo subdividir el problema en varios subproblemas más simples, y luego resolver éstos mediante herramientas y recursos más específicos. La segunda razón es que las soluciones a los subproblemas pueden tener otros usos. Así, es muy probable que un subproblema sea también parte de otros problemas, o, lo que es lo

mismo, que al resolver otros problemas técnicos complejos surjan situaciones similares a algunas ya resueltas con anterioridad. Por ejemplo, el problema de la **amplificación** es muy recurrente en la electrónica, de modo que el diseño de un amplificador puede aprovecharse en muchas situaciones diferentes. Esto no sólo permite amortizar mejor la inversión realizada para el diseño del producto, sino que extiende su mercado potencial y permite a una empresa especializarse en su fabricación, lo cual redundaría en una optimización de los procesos de manufactura y en una mejor calidad final del equipo.

A modo de ejemplo, supongamos que se requiere un teclado capaz de entregar una potencia de 100 W y que tenga la posibilidad de ecualización para compensar los defectos acústicos de la sala en que se lo vaya a utilizar, es decir un "sintetecualiamplificador". Difícilmente haya muchos potenciales usuarios de un producto tan específico. Quizás pudieran venderse 100 ó 200 unidades por año, lo cual no justifica la inversión en el desarrollo de tal equipo. En cambio, podemos desarrollar un teclado que sólo produzca señal de bajo nivel, y separadamente un ecualizador y un amplificador de 100 W. El mercado para el amplificador será potencialmente mucho más amplio, porque no sólo lo requerían los 100 ó 200 usuarios del "sintetecualiamplificador" sino quien tenga un reproductor de CD, quien posea un sintonizador, quien desee amplificar su cassettera o su DAT, etc. Algo similar sucederá con la parte ecualizadora y con el teclado mismo.

Este planteo **modular** requiere que los fabricantes de los diversos componentes de un sistema se pongan de acuerdo acerca de ciertas pautas mínimas de compatibilidad, que aseguren que sea posible, por ejemplo, conectar el amplificador de una marca con el ecualizador de otra. Para ello existen normas que son respetadas por todos aquellos que pretenden ofrecer un producto versátil. En ese sentido, hoy en día la cuestión se ha facilitado bastante, pero sigue siendo necesario verificar la interconectabilidad de dos equipos para asegurar su funcionamiento óptimo.

6.4. Diagramas de bloques

Para representar gráficamente las interconexiones entre los diversos dispositivos se utilizan diagramas de bloques. Un diagrama de bloques es un dibujo en el cual cada componente de un sistema se representa con un símbolo adecuado (por ejemplo un triángulo o un rectángulo), con una o más entradas, por las cuales ingresan la o las señales a procesar, y también con una o más salidas, por las cuales se obtienen la o las señales ya procesadas. Cada bloque puede a su vez contener parámetros, que son valores numéricos que se asignan a determinadas variables que afectan el funcionamiento. En un amplificador, por ejemplo, uno de tales parámetros sería el control de **ganancia** (o volumen).

En la Figura 6.2 se muestra un ejemplo elemental de diagrama de bloques correspondiente a un micrófono, un preamplificador, un ecualizador, un amplificador de potencia y un parlante.

Una característica de los diagramas de bloques es que son esquemáticos. No se presentan los detalles del conexionado. Las líneas, que en la realidad son pares de cables, están representadas en general por un solo hilo (representación **unifilar**). A pesar de ello, la interconexión real supone algunas condiciones de compatibilidad. Por ejemplo, las impedancias de entrada y salida, el nivel de señal, el tipo de señal, el tipo de referencias para la señal, el rango dinámico, la respuesta en frecuencia, el tipo de conectores, la potencia, etc.

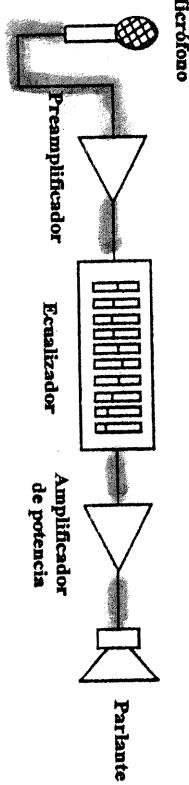


Figura 6.2. Un ejemplo de diagrama de bloques

Ruido. La naturaleza relativa de este concepto puede ilustrarse del siguiente modo: si en un lugar hay cuatro personas, de las cuales A escucha a B y C escucha a D (Figura 6.3), entonces lo que habla D es ruido para A, pero lo que habla B es ruido para C!

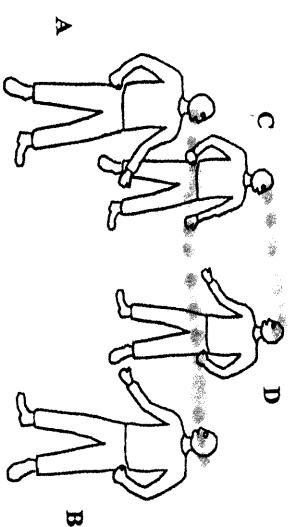


Figura 6.3. Cuatro personas conversando. A escucha a B y C escucha a D. Lo que habla D es ruido para A pero no para C; y lo que habla B es ruido para C pero no para A.

En los sistemas de sonido existen dos tipos de ruido: el **ruido acústico** y el **ruido eléctrico**. El ruido acústico es el ruido ambiente propiamente dicho, formado por un sinúmero de fuentes cercanas y lejanas que se superponen. Por ejemplo, el ruido de los vehículos de la calle o de la gente que conversa, el ruido de máquinas, ventilación, etc., que se filtran a través de defectos en la aislación sonora. Este ruido puede reducirse a un mínimo por medio del control de ruido, mejorando aislaciones o reduciendo la emisión de las fuentes. El ruido eléctrico se origina en los fenómenos físicos que tienen lugar dentro de los circuitos eléctricos y electrónicos. Si bien es posible reducirlo cuidando el diseño y fabricación de los componentes y dispositivos, existen límites físicos que impiden eliminarlo por completo. Lo importante es mantenerlo por debajo del umbral de la audición, lo que es hoy posible aunque costoso. Otro tipo de ruido eléctrico es el que se

origina en los soportes magnéticos, como cintas o discos, que se traslada a la señal eléctrica. En los sistemas digitales, existe además el ruido de cuantización o de digitalización, que comentaremos oportunamente.

El ruido puede clasificarse también según su espectro de frecuencias. Hay ruidos de espectro continuo, de espectro discreto, y mixtos. El ruido eléctrico de los componentes es de espectro continuo, es decir que contiene todas las frecuencias del espectro audible. El ruido ambiente, suele ser de tipo mixto. Se combinan ruidos de espectro continuo, como el ruido del viento o la combinación de numerosas fuentes relativamente lejanas, con ruidos que poseen frecuencias específicas, como el ruido de ventiladores u otras máquinas. Por ejemplo, si un ventilador tiene 4 aspas y gira a 1200 rpm (revoluciones por minuto), genera un tono de $4 \times 1200 / 60 = 80$ Hz, más sus armónicos (el ventilador genera además ruido aerodinámico, que es de espectro continuo). Los transformadores de las fuentes de alimentación, así como los balastos (inductancias) de los tubos fluorescentes vibran con la frecuencia de la línea de alimentación, es decir 50 Hz, provocando también zumbidos auditivos. Estos zumbidos también pueden acoplarse eléctricamente, a través del efecto capacitivo o efecto antena de los cables, razón por la cual éstos deben ser de excelente calidad y adecuadamente blindados (el blindaje o cubierta metálica de los cables permite eliminar este efecto).

Otro tipo de ruido que es a veces muy insidioso es el que se origina en los acoples entre los parlantes y los micrófonos (ver capítulo 12). Este ruido, de espectro discreto, está normalmente constituido por un único tono cuya frecuencia puede variar según la distancia recorrida por el sonido entre el parlante y el micrófono (puede ser a través de un camino directo o por reflexiones, según el tipo de orientación, la direccionalidad del micrófono, la cobertura del parlante, la ubicación respecto a superficies reflectoras, la ganancia del sistema, etc.).

Finalmente, existen los ruidos de conexiónado, tanto en el instante en que se realiza la conexión o desconexión, o al mover accidentalmente cables, como los permanentes, ocasionados por deficiencias en los cables y contactos. Los primeros suelen ser bastante intensos, y pueden evitarse bajando el nivel al mínimo antes de realizar cualquier tipo de conexión.

En la mayoría de los equipos de audio se especifica la relación señal/ruido, S/R, definida como

$$S/R = 20 \log_{10} \frac{\text{señal}}{\text{ruido}},$$

donde la señal se refiere al máximo valor de señal que admite el equipo para un funcionamiento correcto (sin distorsión).

6.6. Rango dinámico

El rango dinámico es un parámetro asociado a una señal que representa la relación entre el máximo y el mínimo nivel de la señal, expresada logarítmicamente en decibelios:

$$RD = 20 \log_{10} \frac{S_{\text{máxima}}}{S_{\text{mínima}}}.$$

Para algunos tipos de señal se define el concepto de nivel, como una expresión logarítmica de la señal en dB, referida a un valor de referencia. Por ejemplo, la presión sonora, vista en el capítulo 1, tiene asociado un nivel de presión sonora, dado por

$$NPS = 20 \log_{10} \frac{P}{P_{\text{ref}}} \quad [\text{dB}].$$

En esos casos, el rango dinámico puede obtenerse también como diferencia entre los niveles máximo y mínimo de la señal. Por ejemplo,

$$RD = NPS_{\text{máxima}} - NPS_{\text{mínima}}.$$

Si, por ejemplo, la señal sonora producida por un instrumento es como máximo de 100 dB y como mínimo de 38 dB, entonces

$$RD = 100 \text{ dB} - 38 \text{ dB} = 62 \text{ dB}.$$

La importancia del rango dinámico es que permite determinar si una señal atravesará satisfactoriamente un sistema dado, comparándola con su especificación de la relación señal/ruido. Por ejemplo, la señal anterior no podría grabarse satisfactoriamente en una cassettera con una relación señal/ruido de 58 dB, pero sí en un DAT con una relación señal a ruido de 95 dB.

6.7. Distorsión

La distorsión es la deformación de la forma de onda de una señal. El caso más sencillo, representado en la Figura 6.4 es cuando la señal es una senoide pura. Como se

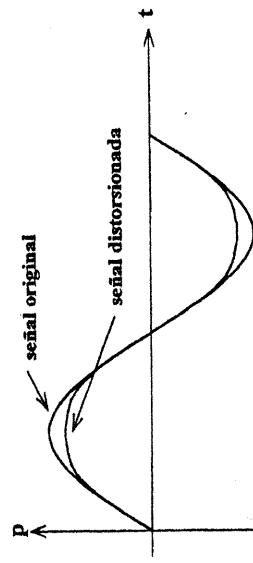


Figura 6.4. Deformación de una onda senoidal a causa de una distorsión en el sistema.

puede observar, la forma de onda cambió pero la frecuencia fundamental sigue siendo la misma. Esto implica que aparecen armónicos de la fundamental, que se agregan a la señal original. Este tipo de distorsión se denomina distorsión armónica, y se especifica por

medio de un parámetro denominado distorsión total armónica, THD (siglas de la denominación inglesa: total harmonic distortion) que expresa los armónicos generados como porcentaje de la señal senoidal original:

$$\text{THD} = \frac{\text{armónicos}}{\text{fundamental}} \cdot 100 \%$$

El efecto audible de la distorsión armónica es el de agregar algo de brillo al timbre de la onda senoidal. En la mayoría de los casos no es un efecto desagradable, aun cuando altera la señal original.

Lamentablemente, es muy raro que en una señal real aparezca una senoide pura. En general aparecen ondas mucho más complejas, formadas en el mejor de los casos por fundamentales que ni siquiera están relacionadas armónicamente. En estos casos aparece otro tipo de distorsión denominada distorsión por intermodulación. Tomemos el caso más simple, que es el de dos tonos senoidales puros de frecuencias f_1 y f_2 . Esta distorsión se caracteriza por el hecho de que además de los armónicos de f_1 y f_2 , aparecen frecuencias iguales a las sumas y restas de esos armónicos, es decir aparecen las frecuencias dadas por la fórmula:

$$f = |n \cdot f_1 \pm m \cdot f_2|,$$

donde n y m son números enteros (incluyendo el 0), y las barras verticales significan que se toma el valor absoluto (es decir el resultado sin el signo en caso de que diera negativo). Estas frecuencias nuevas se llaman productos de intermodulación, o también productos de distorsión.

La distorsión por intermodulación se mide con una señal formada por un tono de 60 Hz superpuesto a uno de 7 kHz, siendo el de 60 Hz de amplitud 4 veces mayor que el de 7 kHz, y se especifica con un parámetro abreviado IMD (siglas del inglés, intermodulation distortion) que expresa el porcentaje de los armónicos generados respecto a la señal original.

Para ver el efecto audible de esta distorsión, supongamos por ejemplo que utilizamos como frecuencias f_1 y f_2 las correspondientes a un acorde forma de tercera mayor (ver capítulo 3), por ejemplo 100 Hz y 125 Hz. Este acorde forma una consonancia en su versión original, formada por las notas sol y si. Las frecuencias presentes originalmente son los armónicos de cada una, es decir 100 Hz, 200 Hz, 300 Hz, 400 Hz, 500 Hz, 600 Hz, ... y 125 Hz, 250 Hz, 375 Hz, 500 Hz, 675 Hz, ... Si ahora restamos 375 Hz - 200 Hz, obtenemos un sonido de frecuencia 225 Hz, que es disonante con el de 200 Hz. El resultado de ésta y otras disonancias que se verifican entre la gran cantidad de sonidos parásitos generados es un sonido desagradable si uno espera escuchar una consonancia.

La distorsión por intermodulación resulta, así, mucho más perjudicial para la calidad del sonido que la distorsión armónica. Si bien cualquier dispositivo que distorsiona lo hace de las dos maneras, no necesariamente todas las distorsiones armónicas están acompañadas por la misma distorsión por intermodulación, razón por la cual es importante en las especificaciones técnicas de los equipos disponer de ambas cifras.

Tanto la distorsión armónica como la por intermodulación son distorsiones no lineales, es decir que se producen cuando las amplitudes son grandes. Para señales de pequeña amplitud la distorsión es, normalmente, despreciable. Por ese motivo en general

es la distorsión quien pone un límite al máximo nivel de señal que puede manejar un dispositivo. Cuando la distorsión se vuelve excesiva, se dice que el dispositivo se *satura*, o que entra en *saturación*.

6.8. Respuesta en frecuencia

Las distorsiones discutidas en la sección anterior son del tipo denominado no lineal. Existe otro tipo de distorsión, denominado *lineal*, que es independiente de la amplitud (mientras no sobrevenga la saturación, es decir las distorsiones no lineales). En este tipo de distorsión lo que ocurre es que cada frecuencia presente en la señal es tratada en forma diferente. De hecho, una señal senoidal no experimenta deformación alguna en su forma de onda.

Este comportamiento se conoce como *respuesta en frecuencia*, y se especifica como una curva que representa la relación en dB entre la entrada y la salida de un dispositivo para diversas frecuencias. Los detalles serán incluidos en cada caso particular. En la Figura 6.5 se muestra un ejemplo.

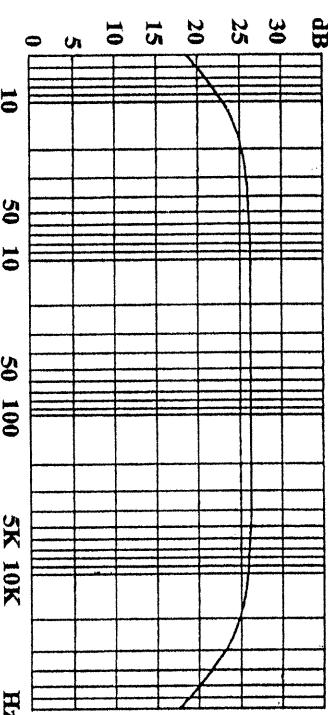


Figura 6.5. Respuesta en frecuencia de un amplificador.

6.9. Procesamiento de señal

Cada bloque de un sistema realiza algún tipo de procesamiento de señal, es decir modifica de alguna manera útil la señal que llega a su entrada. Existen numerosos dispositivos procesadores de señal. Repasaremos brevemente los más fundamentales, y posteriormente profundizaremos algunos conceptos sobre cada uno de ellos.

El primer procesador de la cadena de audio es el *microfono*, un transductor capaz de convertir señal sonora en señal eléctrica. La necesidad de este dispositivo surge de que el procesamiento posterior se realiza hoy exclusivamente por medios electrónicos, que manejan señales eléctricas.

El segundo procesador de señal es el *amplificador*. Este componente toma una señal eléctrica de pequeño nivel y la transforma en una señal de igual forma de onda pero

mayor amplitud, es decir la amplificación. Los amplificadores son necesarios porque las señales de los transductores son normalmente de muy bajo nivel, insuficiente para comunicar directamente un sistema de registro del sonido, o un parlante. Hay dos tipos de amplificadores: los que toman señales de muy bajo nivel y las convierten en señales de mediano nivel, denominados preamplificadores, y los que toman señales de mediano nivel y las amplifican hasta niveles muy elevados de potencia. Estos últimos se denominan amplificadores de potencia.

Un tercer tipo de procesador lo constituyen las varias formas de filtros. Estos dispositivos dejan pasar ciertas frecuencias del espectro de la señal de entrada, y bloquean las restantes. Dos ejemplos son el control de tonos (graves-agudos, o graves-medios-agudos) y los ecualizadores. Se utilizan para varias funciones: para enfatizar algunas frecuencias presentes en el espectro de la señal de entrada pero que por alguna razón sufren atenuaciones dentro del sistema; para corregir problemas acústicos de la sala; para lograr ciertos efectos especiales; para reducir el ruido total del sistema bloqueando las bandas de frecuencia en las cuales hay ruido pero no señal, etc.

Otra clase de procesadores son los compresores, expansores, limitadores y compuertas. La aplicación de estos dispositivos permite acomodar el rango dinámico, es decir la relación entre el máximo y el mínimo nivel de una señal, al rango dinámico manejable por un procesador posterior. Así, los compresores reducen el rango dinámico, sin afectar mayormente la fidelidad de lo escuchado. Los limitadores son protecciones destinadas a evitar picos muy elevados que destruirían alguna parte del sistema (por ejemplo los tweeters). Los expansores permiten recuperar rango dinámico, así como reducir el ruido de bajo nivel. Por último, las compuertas eliminan la señal cuando su nivel está por debajo de cierto umbral, lo cual permite evitar que durante los silencios aparezca el ruido residual del dispositivo que le precede (cuando la señal es suficientemente alta, el ruido es enmascarado por ésta).

Finalmente, está una familia muy amplia de procesadores de efectos, dispositivos que crean efectos como la reverberación, las reflexiones tempranas (retardos), el enriquecimiento del espectro de un sonido, etc. La finalidad de estos es dar más realismo a una grabación o una sonorización, permitir una mayor expresividad, mejorar la calidad de los sonidos o de su percepción, etc.

Capítulo 7

Electricidad

7.1. Circuitos eléctricos

Es importante conocer algunos rudimentos de la terminología eléctrica y electrónica para sacar el mejor provecho a los equipos que integran una cadena de audio. Comencemos definiendo un **circuito eléctrico** como un conjunto de componentes interconectados por medio de hilos conductores (cables), de tal modo que exista uno o más circuitos cerrados. Estos componentes pueden ser fuentes de alimentación (por ejemplo una batería, o la línea domiciliaria), fuentes de señal (por ejemplo micrófonos, sintetizadores), dispositivos eléctricos (por ejemplo lámparas, motores, resistores y capacidores) o componentes electrónicos (por ejemplo diodos, transistores y circuitos integrados o chips).

7.2. Corriente eléctrica (I)

La característica de tales circuitos es que por ellos circula corriente eléctrica, que no es otra cosa que cargas eléctricas en movimiento. La intensidad de corriente eléctrica, o simplemente corriente, se define como la cantidad de carga eléctrica que circula por un conductor, y se mide en una unidad denominada **amper** (**A**). Para corrientes pequeñas se utiliza la unidad **miliamper** (**mA**), es decir la milésima parte de un amper. Por ejemplo, por una lamparita común circula una corriente de alrededor de 0.3 A, es decir 300 mA.

Puede establecerse una analogía hidráulica para muchos conceptos eléctricos. En

el caso de la corriente, se la puede assimilar a un caudal de agua circulando por una tubería.

7.3. Tensión (V) y tensión de electricidad

La corriente es una de las dos magnitudes circuitales más relevantes. La otra es la tensión. Esta magnitud se mide utilizando como unidad el **volt** (o **voltio**), razón por la cual a veces se le llama voltaje. A diferencia de la corriente, la tensión se mide entre dos puntos de un circuito. Así, en la línea domiciliaria, la tensión entre el vivo y el neutro es de 220 V. Del mismo modo, la tensión entre el positivo y el negativo de una pila común

es de 1,5 V. Un ejemplo más específico es la tensión entre los terminales de un micrófono. En este caso los niveles son muy pequeños, por lo cual es conveniente utilizar como unidad un submúltiplo del volt: el milivolt (mV), que equivale a la milésima parte de 1 V.

En la analogía hidráulica, la tensión es equivalente a la diferencia de presión a dos alturas diferentes de una cafetera.

7.4. Fuente de tensión ideal

La fuente de tensión es un componente de los circuitos que espontáneamente produce una tensión entre sus terminales. La fuente es ideal cuando dicha tensión es independiente de lo que se le conecte. En la realidad no existen las fuentes ideales, pero algunas fuentes, como la línea domiciliaria de 220 V y las baterías de automóvil se aproximan bastante.

Hay dos tipos de fuentes de tensión: las fuentes constantes (tensión continua) y las fuentes variables en el tiempo (tensión alterna). En la Figura 7.1 se muestran los símbolos utilizados para ambas. Las fuentes de tensión se pueden clasificar en **fuentes de alimentación**, y **fuentes de señal**. Las fuentes de alimentación son las que proporcionan la energía que un circuito necesita para poder funcionar. Normalmente son de valor elevado, del orden de algunos volts a varios cientos de volts, y constituyen una parte interna e inaccesible de los equipos. Las fuentes de señal, en cambio, tienen niveles normalmente mucho más bajos, que pueden llegar a ser menores de 1 mV.



Figura 7.1. (a) Símbolo de una fuente de tensión constante. (b) Símbolo de una fuente de tensión variable

Las fuentes de alimentación pueden ser de **continua** (pilas, baterías, fuentes de los circuitos electrónicos) o de **alterna** (línea de distribución de energía domiciliaria de 220 V). Las fuentes de señal son, casi siempre, de alterna.

7.5. Resistencia

Desde el punto de vista de los bloques, las señales eléctricas son casi siempre tensiones, aunque internamente los dispositivos electrónicos pueden trabajar *tanto con tensiones de tensión como con señales de corriente*. La conversión entre una corriente y una tensión se realiza con un elemento llamado **resistor** (o también, por abuso de terminología, resistencia). El resistor tiene asociado un valor llamado **resistencia** y simbolizado

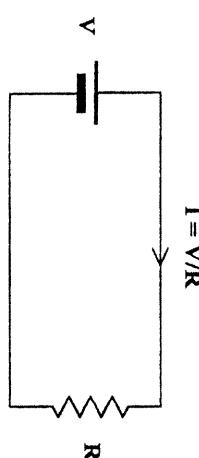


Figura 7.2. Circuito simple formado por una pila y una resistencia. La corriente y la tensión verifican la ley de Ohm: $V = R \cdot I$.

Todo conductor (cable) real tiene algo de resistencia. La resistencia aumenta con la longitud del conductor, y también aumenta al reducirse la sección. Así, un cable grueso tendrá baja resistencia, y un cable delgado, alta resistencia. Por esa razón, los cables destinados a conducir grandes corrientes deben ser gruesos.

En la analogía hidráulica que veníamos desarrollando, un resistor sería equivalente a un caño delgado. Al colocar ese caño comunicando un tanque de agua de gran altura con otro de pequeña altura, el caudal (corriente) será tanto más pequeño cuanto más delgado sea el caño, lo cual es equivalente a aumentar la resistencia (ver Figura 7.3).

R, que se expresa en unidades de **ohm** (Ω), o su múltiplo, el **kiloohm** ($k\Omega$), igual a 1.000Ω . El símbolo de un resistor es una línea quebrada (ver Figura 7.2).

La propiedad fundamental de un resistor es la **Ley de Ohm**, que relaciona precisamente la tensión V entre sus terminales y la corriente I que circula por ella. Esta ley establece que

$$V = R \cdot I$$

Esta famosa relación es básica para el estudio de los circuitos eléctricos. Por ejemplo, si por un resistor de 600Ω circula una corriente de 2 mA , entonces la tensión entre los terminales de la resistencia será

$$V = 600 \times 0,002 = 1,2 \text{ V}.$$

También puede presentarse en su forma inversa:

$$I = \frac{V}{R}.$$

Esta fórmula indica que, a igual tensión, la corriente disminuye al aumentar la resistencia. Esta es la razón por la cual este dispositivo se denomina **resistor**: se "resiste" a la circulación de corriente.

En la Figura 7.2 se muestra el diagrama de un circuito con una fuente de tensión y un resistor, ilustrando la Ley de Ohm.

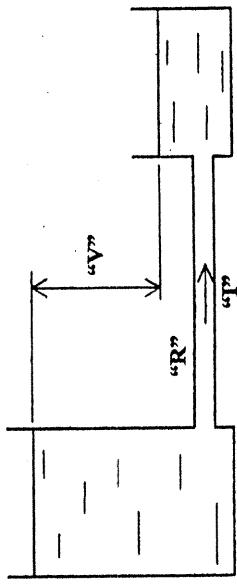


Figura 7.3. Analogía hidráulica del circuito de la Figura 7.2. La fuente está representada por los dos tanques con desnivel, y el resistor por un caño más o menos delgado que los comunica.

7.6. Potencia eléctrica

La potencia eléctrica P (o simplemente potencia) es la energía eléctrica entregada a un dispositivo por unidad de tiempo (normalmente, 1 s). Se expresa en **watt** (o también **vatio**), unidad que se abrevia **W**. Se demuestra en Electroecnia que la potencia entregada a un dispositivo de dos terminales cualquiera de un circuito puede calcularse como el producto entre la tensión en sus terminales y la corriente que circula por él, es decir

$$P = V \cdot I.$$

En el caso en que el dispositivo es un resistor de valor R , entonces la potencia vale

$$P = (R \cdot I) \cdot I = R \cdot I^2,$$

o también

$$P = V \cdot \frac{V}{R} = \frac{V^2}{R}.$$

Vemos que la potencia está relacionada siempre con el cuadrado de la corriente o de la tensión, es decir con el cuadrado de la señal (el valor de R o de $1/R$ es un simple factor de proporcionalidad). A modo de ejemplo, consideremos un parlante de 8Ω al cual se le aplica una tensión de 20 V . Entonces la potencia eléctrica entregada vale

$$P = \frac{20 \times 20}{8} = 50 \text{ W}.$$

También podría interesarnos calcular la tensión necesaria para lograr cierta potencia. Para ello, de la fórmula de la potencia, despejamos V^2 :

$$V^2 = P \cdot R,$$

y de allí,

$$V = \sqrt{P \cdot R}.$$

Supongamos, por ejemplo, que queremos suministrar a un parlante de 4Ω una potencia de 200 W . Entonces debemos aplicarle una tensión

$$V = \sqrt{200 \cdot 4} = \sqrt{800} = 28,3 \text{ V}.$$

7.7. Divisor de tensión

En la Figura 7.2 vimos un circuito simple formado por una fuente de tensión y una resistencia. Hay muchas situaciones, particularmente las que involucran fuentes reales (ver la próxima sección), en las que deben considerarse fuentes con dos resistencias, en una configuración circuital como la ilustrada en la Figura 7.4.

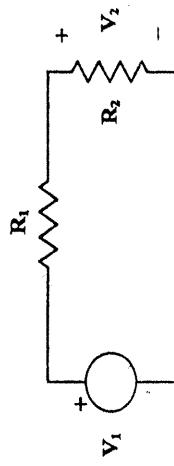


Figura 7.4. Estructura de un divisor de tensión

En esos casos, muchas veces es necesario determinar cuál es la tensión real aplicada en la resistencia R_2 . Dicha tensión se puede calcular con la siguiente fórmula:

$$V_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot V_1.$$

Dado que R_2 es siempre menor que $R_1 + R_2$, la tensión aplicada en dicha resistencia no es V_1 sino un valor menor. Por esa razón, este tipo de circuito se denomina divisor de tensión.

Tomemos por ejemplo el caso en que el parlante de 4Ω del ejemplo anterior es alimentado con la fuente de $28,3 \text{ V}$, pero a través de un cable demasiado largo y delgado, cuya resistencia es de 1Ω (para un cable, este valor es demasiado alto; corresponde a una longitud de 29 m de cable de cobre de $0,5 \text{ mm}^2$ de sección). Entonces, aplicando la fórmula anterior, la tensión aplicada al parlante es

$$V_2 = \frac{28,3}{1 + 4} = 22,6 \text{ V}.$$

es decir que a causa de un cable inapropiado, la tensión en el parlante será bastante menor que la calculada.

Ahora bien: ¿Hay alguna forma de obtener sobre el parlante *toda* la tensión de la fuente? Si revisamos la fórmula del divisor de tensión, vemos que para que ello se cumpla, debería ser:

$$\frac{R_2}{R_1 + R_2} = 1.$$

Lo cual sólo se puede cumplir si $R_2 = 0$. Sin embargo, si R_2 es *mucho más grande* que R_1 , la igualdad anterior se cumple *aproximadamente*:

$$\frac{R_2}{R_1 + R_2} \approx 1.$$

Esto significa que si R_2 es mucho mayor que R_1 , la tensión de la fuente se aprovecha casi totalmente. Por ejemplo, supongamos que en el ejemplo del parlante de $4\ \Omega$ se utilizan cables de $2\ \text{mm}^2$ de sección y $10\ \text{m}$ de longitud, cuya resistencia es de $0,09\ \Omega$ en lugar de $1\ \Omega$. Entonces

$$V_2 = 28,3 \cdot \frac{4}{0,09 + 4} = 27,6\ \text{V},$$

tensión mucho más cercana al valor ideal. Este ejemplo muestra la importancia de una adecuada elección de los cables.

7.8. Fuente de tensión real

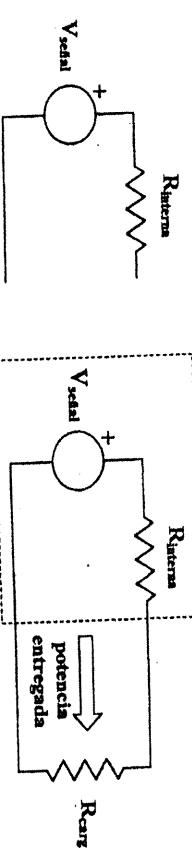
Las fuentes de tensión reales, ya sean de alimentación o de señal, siempre están acompañadas por una resistencia en serie, denominada **resistencia interna** (Figura 7.5a). Al conectar a una fuente real una resistencia externa, denominada **resistencia de carga**, o simplemente **carga**, de acuerdo a lo que hemos visto se forma un divisor de tensión (Figura 7.5b), y por lo tanto la tensión efectiva sobre dicha resistencia es menor que el valor original de la fuente.

7.9. Adaptación de carga

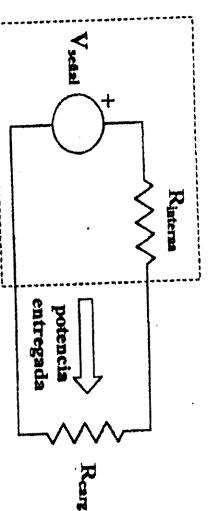
Una pregunta frecuente es cuánta potencia es capaz de entregar un amplificador de audio. Esta pregunta tiene dos posibles interpretaciones. La primera, cuánta potencia estaría, idealmente, en condiciones de entregar. La segunda, la potencia que es seguro para su propia integridad que entregue.

La primera respuesta es que la máxima potencia que puede entregar una fuente se obtiene cuando se cumple la condición de adaptación, es decir

$$R_{\text{carga}} = R_{\text{interna}}.$$



(a)



(b)

Figura 7.5. (a) Modelo de una fuente de señal con su resistencia interna. (b) Una fuente de señal con su resistencia interna, que alimenta a una resistencia de carga.

En sistemas de sonido existen multitud de conexiones del tipo *fuente-carga*. Algunas de ellas se detallan en la Tabla 7.1. En general se toma la precaución de que la resistencia de carga sea mucho mayor que la resistencia interna de la fuente:

$$R_{\text{carga}} \gg R_{\text{interna}},$$

de modo que la tensión efectiva sobre la carga se aproxime lo más posible a la tensión de la fuente. Esto se debe a que en la gran mayoría de los sistemas que se utilizan en audio las señales son de tensión (una excepción importante la constituyen las señales MIDI, que son señales de corriente) y siempre conviene mantener la señal lo más alta posible, a fin de lograr una relación señal/ruido elevada.

Tabla 7.1. Ejemplos de pares fuente-carga típicos de los sistemas de sonido.

Fuente	Carga
Microfono	Entrada de micrófono de consola
Salida de línea de consola	Entrada de amplificador de potencia
Salida de amplificador de potencia	Almohadillas o cajas acústicas
Salida de sintetizador	Entrada de línea de consola
Salida analógica de DAT	Entrada de compresor - limitador
Salida de línea de consola	Entrada de amplificador de potencia
Salida de compresor - limitador	Entrada de ecualizador
Salida de línea de consola	Entrada de amplificador de potencia
Salida de ecualizador	Entrada de procesador de efectos
Salida auxiliar de consola	Entrada auxiliar de consola
Salida de procesador de efectos	Entrada de procesador de efectos
Envío de inserción de consola	Entrada de inserción de consola
Salida de procesador de efectos	Retorno de inserción de consola

Calculemos dicho valor para el amplificador que veníamos analizando, cuya tensión de salida es $28,3\ \text{V}$, y cuya resistencia interna puede valer, típicamente, $0,02\ \Omega$ (los amplificadores suelen tener muy baja resistencia de salida). Para ello, *carguemoslo* con una re-

sistencia también de $0,02 \Omega$. Obsérvese que este valor es mucho menor que el valor de 4Ω para el que está realmente destinado este amplificador. El resultado es que como las dos resistencias son iguales, la tensión es la mitad:

$$V_2 = 28,3 \frac{0,02}{0,02 + 0,02} = 14,1 \text{ V.}$$

Con este valor, podemos calcular la potencia entregada a esa carga:

$$P = \frac{14,1 \times 14,1}{0,02} = 10.000 \text{ W.}$$

¡El resultado es inconcebiblemente grande! El problema es que no tuvimos en cuenta que el amplificador, para poder entregar 10.000 W tendría que disipar casi la misma potencia en forma de calor, lo cual equivale a unas 8 estufas a cuarzo generando calor. Como no es posible en un tamaño reducido y sin refrigeración forzada disipar tal cantidad de calor, pueden ocurrir dos cosas: 1) si el amplificador tiene protección, actúa ésta, limitando la potencia a algo más de los 200 W para los cuales está previsto, ó 2) si el amplificador no tiene protección, se destruye.

En audio es raro trabajar con la condición de adaptación, ya que por lo que se dijo antes, es preferible trabajar con máxima tensión que con máxima potencia. No sucede lo mismo en radiofrecuencia, por ejemplo en señales de FM o de TV, dado que las señales recibidas en la antena son muy débiles y deben ser aprovechadas al máximo.

7.10. Resistores en serie y en paralelo

Hay varias situaciones en las que es necesario interconectar resistores. Supongamos que disponemos de 4 altavoces de 100 W y 4Ω . Nos preguntamos cuál es la mejor manera de conectarlos para aprovechar al máximo un amplificador que entrega una potencia de 350 W sobre una carga de 4Ω . La intuición sugiere que debería ser posible, de alguna forma, conectarlos de modo que cada uno de ellos reciba la cuarta parte de la potencia del amplificador, es decir $350/4 \text{ W} = 87,5 \text{ W}$, con lo cual el amplificador estaría dando toda su potencia, y los altavoces estarían recibiendo una potencia bastante cercana a la máxima que toleran.

El ejemplo anterior muestra un caso típico de interconexión de componentes. Podremos la solución al problema planteado para introducirnos en los conceptos más básicos de las conexiones en serie y en paralelo.

Dos resistores están conectados en serie cuando comparten un terminal. En este caso, por ambos resistores circula la misma corriente. La conexión en serie de dos resistencias R_1 y R_2 equivale a una resistencia igual a la suma de ambas (Figura 7.6):

$$R_{\text{serie}} = R_1 + R_2.$$

Por ejemplo, si disponemos de dos altavoces de 4Ω , podemos conectarlos en serie para obtener un sistema de 8Ω .

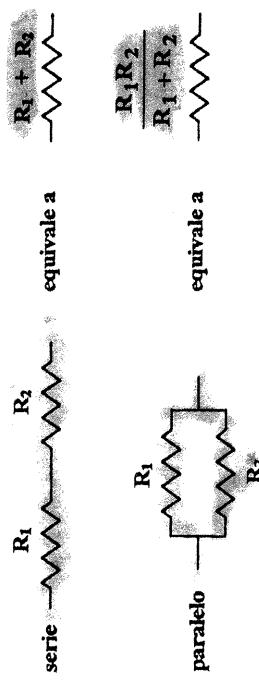


Figura 7.6. Conexiones en serie y en paralelo de dos resistencias, con sus valores de resistencia equivalente.

Dos resistores están conectados en paralelo cuando comparten los *dos* terminales, lo cual implica que están sometidos a la misma tensión (Figura 7.6). La resistencia equivalente de dos resistencias conectadas en paralelo es

$$R_{\text{paralelo}} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}.$$

Si conectamos en paralelo dos parlantes de 8Ω , por ejemplo, se obtiene un sistema cuya resistencia equivalente es de

$$R_{\text{paralelo}} = \frac{8 \cdot 8}{8 + 8} = 4 \Omega.$$

Cuando se conectan resistencias en serie, el resultado es siempre mayor que las resistencias originales. En cambio, cuando se conectan resistencias en paralelo, el resultado es menor que cualquiera de los componentes. Si las resistencias interconectadas son iguales, en el caso serie se obtiene una resistencia doble, y en el caso paralelo, una resistencia mitad.

Veamos ahora cómo se resuelve el problema planteado al principio. Existen dos posibles soluciones. En la primera se conectan de a dos altavoces en paralelo, con lo cual la resistencia obtenida es de 2Ω . Luego se conectan dos de estos grupos en serie, obteniéndose nuevamente 4Ω (Figura 7.7). La segunda solución es similar, conectando

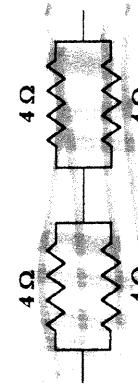


Figura 7.7. Conexión de cuatro altavoces en paralelo y en serie para obtener un sistema de potencia 4 veces mayor.

primero en serie y después en paralelo. En ambas soluciones, cada parlante está sometido a la mitad de la tensión total, lo cual implica que se le entrega la cuarta parte de la potencia. El conjunto aprovecha, por lo tanto la totalidad de los 350 W que era capaz de entregar el amplificador.

7.11. Impedancia

Muchos componentes eléctricos se comportan como si su resistencia variara con la frecuencia de la señal aplicada. En otras palabras, sigue valiendo una relación similar a la Ley de Ohm, pero el valor de la resistencia depende de la frecuencia. En estos casos estamos en presencia de una **impedancia**, simbolizada con **Z**.

7.12. Defasaje

Las impedancias difieren de las resistencias aún en otro aspecto, que es el de probar un defasaje entre la tensión **V** y la corriente **I**, es decir que los picos de la senoide que representa a la tensión están desplazados en el tiempo respecto a los picos de la senoide que representa a la corriente. El concepto de defasaje se ilustra en la Figura 7.8.

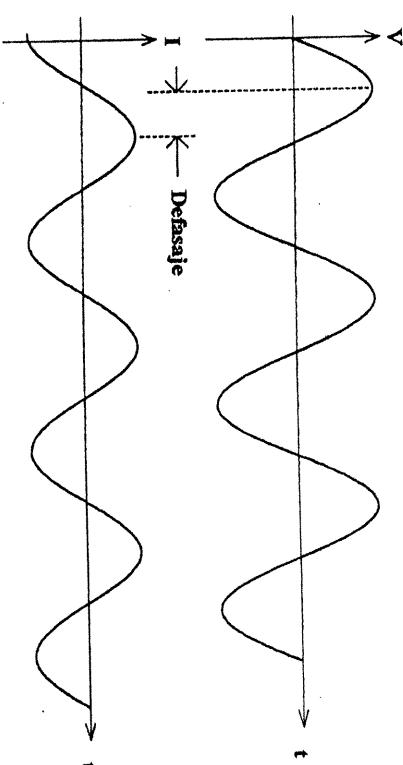


Figura 7.8. Concepto de defasaje. La corriente **I** que circula por una impedancia está desfasada con respecto a la tensión **V** entre sus terminales. En este caso la corriente está atrasada respecto a la tensión, porque su pico se alcanza algún tiempo después que el de la tensión.

En el caso en que la resistencia interna de la fuente de señal varíe con la frecuencia, es decir, que se trate de una impedancia, entonces se habla de **adaptación de impedancias**, lo cual sucede cuando las magnitudes de las impedancias son iguales y los defasajes, opuestos.

7.13. Valor eficaz (RMS)

Para una tensión continua (constante en el tiempo), la ecuación de la potencia sobre una resistencia era

$$P = \frac{V^2}{R}.$$

Si quisieramos aplicar la misma fórmula en el caso de una tensión alterna (variable en el tiempo), nos encontraríamos con que la potencia varía en el tiempo, ya que **V** lo hace. Esto no es demasiado significativo, ya que con respecto a la potencia siempre interesa más su promedio:

$$P_{\text{promedio}} = \text{promedio} \left(\frac{V^2}{R} \right).$$

Es interesante encontrar un valor de tensión continua **equivalente**, es decir que entregue a la resistencia la misma potencia promedio que la tensión alterna. Dicho valor se denomina **valor eficaz** de la tensión, y se abrevia **V_{ef}** (en inglés, root mean square, RMS). Con esta definición resulta

$$P_{\text{promedio}} = \frac{V_{\text{ef}}^2}{R}.$$

Lamentablemente, no hay una relación directa entre el valor eficaz y el valor de pico o amplitud de la señal. La relación depende enormemente de la forma de onda, como se muestra en la Tabla 7.2. Un caso bastante conocido es el de la tensión de la línea domiciliaria, cuyo **valor eficaz** es de 220 V. Como se trata de una onda senoidal, su valor de pico es en realidad 311 V. La razón por la cual el valor eficaz es menor que eso es que durante gran parte del ciclo toma valores mucho menores que 311 V.

Tabla 7.2. Relación entre el valor eficaz y el valor de pico de varias formas de onda.

Forma de onda	Valor eficaz	Forma de onda
Cuadrada	Valor de pico	
Senoidal	$0,707 \times \text{Valor de pico}$	
Triangular	$0,577 \times \text{Valor de pico}$	
Pulsos de 1 ms cada 10 ms	$0,316 \times \text{Valor de pico}$	
Pulsos de 0,1 ms cada 10 ms	$0,100 \times \text{Valor de pico}$	

Capítulo 8

Micrófonos

8.1. Introducción

El primer elemento de la cadena de audio es el **micrófono**, un transductor capaz de convertir señal sonora en señal eléctrica. Con mayor precisión, convierte presión sonora en tensión. Estudiaremos algunos parámetros y especificaciones importantes, así como las estructuras constructivas de los micrófonos dinámicos y capacitivos.

8.2. Sensibilidad

A los fines de conectar un micrófono con el resto de los componentes, es importante conocer cuánta tensión produce ante una dada presión sonora. En el capítulo 6 vimos que ante determinada amplitud de la presión, en los terminales del micrófono se producía cierto valor de tensión. Dijimos en ese momento que no tenía sentido afirmar, por ejemplo, que "la presión es mayor que la tensión". Pero si tiene sentido determinar la relación que hay entre la tensión y la presión. Esa relación se denomina **sensibilidad** del micrófono. En la Figura 8.1 se muestran las formas de onda de la presión y la tensión.

La **sensibilidad de un micrófono** puede definirse como *el cociente entre la tensión producida y la presión que le da origen*, es decir

$$S = \frac{V}{P}$$

Recordemos que la unidad que se utiliza internacionalmente para medir la presión es el **pascal**, abreviado **Pa** (que equivale aproximadamente a **10 millonesimas**, es decir **1 ciemillésima**, de la presión atmosférica), de modo que la sensibilidad de un micrófono se expresa en volts por pascal (**V/Pa**). Otra manera muy difundida de expresar la sensibilidad es en **dB** referidos a **1 V/Pa**. En ese caso, llamando **sensibilidad de referencia**, **S_{ref}**, a **1 V/Pa**, se obtiene con esta fórmula:

$$S_{\text{dB}} = 20 \log_{10} \frac{S}{S_{\text{ref}}}$$

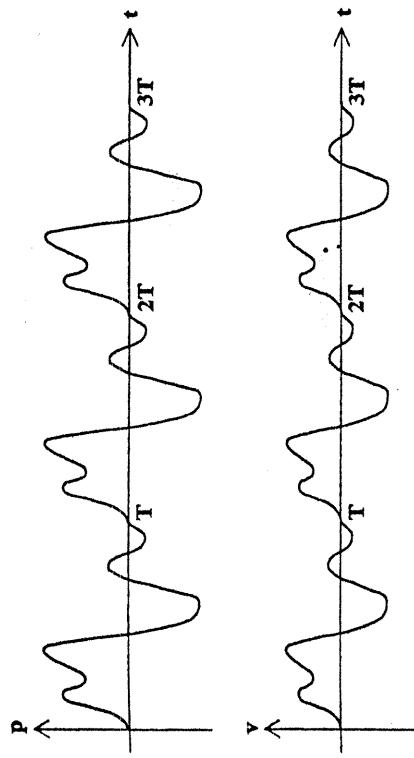


Figura 8.1. Presión sonora y su análoga, la tensión generada por un micrófono.

Por ejemplo, un micrófono que ante una presión sonora de **0,2 Pa** desarrolla una tensión de **1 mV**, tendrá una sensibilidad

$$S = \frac{0,001 \text{ V}}{0,2 \text{ Pa}} = 0,005 \frac{\text{V}}{\text{Pa}}$$

que en **dB** será

$$S|_{\text{dB}} = 20 \log_{10} \frac{0,005}{1} = -46 \text{ dB}$$

El signo (-) es porque la sensibilidad es menor que la de referencia, es decir debe calcularse el logaritmo de un número menor que 1, que es negativo.

NOTA: A veces (especialmente en especificaciones de micrófonos que llevan muchos años en el mercado), en lugar de utilizar como referencia **1 V/Pa** se utiliza **1 V/μbar**. El **μbar** (microbar) es una unidad de presión igual a **0,1 Pa**, por lo cual la sensibilidad referida a **1 V/μbar** resulta **20 dB** menor (más negativa) que al referirla a **1 V/Pa**. Así, en el ejemplo anterior tendríamos **S|_{dB} ref 1 V/μbar = -66 dB**.

Como segundo ejemplo, nos preguntamos qué tensión proporcionará este mismo micrófono ante un nivel de presión sonora de **94 dB**. Sabemos que

$$94 \text{ dB} = 20 \log_{10} \frac{P}{P_{\text{ref}}}$$

donde **P_{ref}** es la presión de referencia, que expresada en micropascales, **μPa** (es decir **1/1.000.000 de pascal**), es **20 μPa**. Nos interesa obtener **P**. Para ello, primero escribimos

$$\log_{10} \frac{P}{P_{ref}} = \frac{94}{20} = 4,7.$$

De allí, aplicando la operación inversa del logaritmo, que consiste en elevar 10 a una potencia igual al logaritmo, se tiene

$$\frac{P}{P_{ref}} = 10^{4,7} = 50119.$$

Entonces

$$P = 50119 \times P_{ref} = 50119 \times 20 \mu\text{Pa} \approx 1 \text{ Pa}.$$

El valor de 94 dB es un valor bastante utilizado precisamente porque corresponde a una presión sonora de 1 Pa. Con este valor, conociendo la sensibilidad, se obtiene la tensión:

$$V = S \times P = 0,005 \times 1 = 0,005 \text{ V}.$$

La señal de tensión de los micrófonos es, normalmente, muy pequeña (salvo para niveles de presión sonora muy altos), lo cual implica que está muy expuesta a los ruidos eléctricos. Por esta razón es *preciso utilizar cables y conexiones de excelente calidad para los micrófonos*, así como *preamplificadores de bajo ruido*.

Para simplificar el cálculo de la presión, la Tabla 8.1, reproducida del capítulo 1, da la equivalencia entre la presión y el nivel de presión sonora para varios valores.

Tabla 8.1. Conversión entre el valor de la presión y el nivel de presión sonora.

NPS (dB)	P (Pa)
120	20,0
110	6,3
105	3,6
100	2,0
95	1,1
90	0,63
85	0,36
80	0,20
75	0,11
70	0,063
60	0,020
50	0,0063
40	0,0020
30	0,00063
20	0,00020
10	0,000063
0	0,000020

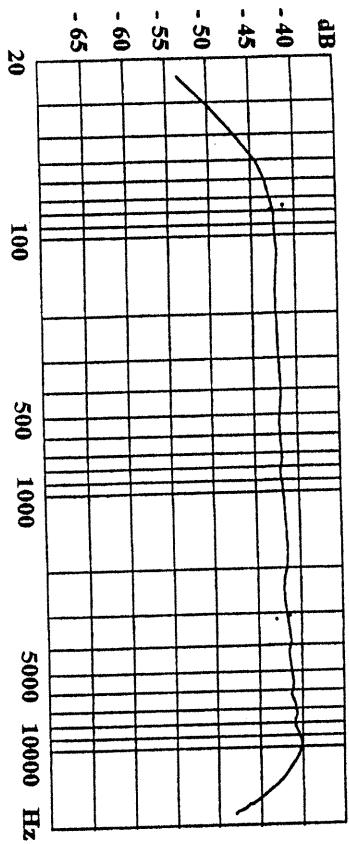


Figura 8.2. Curva de la respuesta en frecuencia de un micrófono típico.

constante con la frecuencia. Esto significa que ante dos sonidos de diferente frecuencia, por ejemplo 30 Hz y 10 kHz, pero *idéntica amplitud*, el micrófono generará *tensiones diferentes*. En este ejemplo, la sensibilidad para 30 Hz es de -50 dB, mientras que para 10 kHz es de -40 dB, lo cual hace una diferencia de 10 dB. Esto implica que la tensión generada por el micrófono a 10 kHz será (a cálculo hecho) más de 3 veces mayor que la generada a 30 Hz.

También se nota en la respuesta cierta *irregularidad* (fluctuaciones) en alta frecuencia. Esto es una consecuencia directa de que la longitud de onda a esas frecuencias ya es comparable al tamaño del micrófono (por ejemplo a 10 kHz la longitud de onda es de 3,45 cm), lo cual hace que el propio micrófono interfiera en el campo sonoro causando el equivalente de "sombra" acústicas sobre sí mismo, que dependen mucho de la longitud de onda.

Finalmente, se aprecia que existe una banda de frecuencias, que en el ejemplo abarca desde alrededor de 50 Hz hasta unos 15.000 Hz, en que la respuesta es bastante plana. Los extremos se denominan respectivamente **frecuencia inferior** y **frecuencia superior**, definidas como aquellas frecuencias por debajo de la cual y por encima de la cual la sensibilidad cae 3 dB (o en algunas especificaciones, 1 dB) por debajo del valor a 1 kHz. Cuando se desea dar una idea rápida de la respuesta en frecuencia de un micrófono, se especifican las frecuencias inferior y superior, lo cual en general es suficiente para decidir si un micrófono es o no adecuado para determinada aplicación.

8.4. Direccionalidad

Otra característica importante en los micrófonos es su direccionalidad. Debido a su construcción, y a los principios de la Acústica, la sensibilidad de un micrófono varía según el ángulo respecto a su eje desde donde viene el sonido. En la Figura 8.3 se ilustra este hecho.

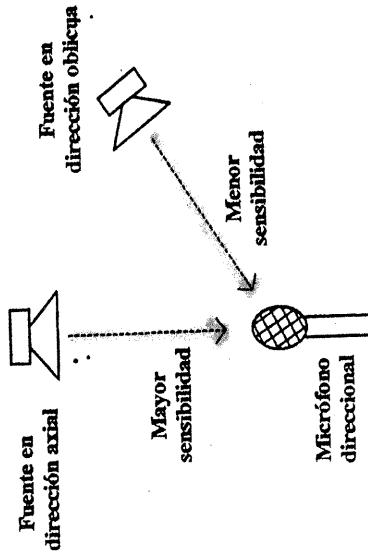


Figura 8.3. Efecto sobre la sensibilidad de un micrófono direccional (por ejemplo cardioide) de las diversas orientaciones de la fuente.

Se pueden indicar las características direccionales de un micrófono por medio de un **diagrama direccional o diagrama polar** como el que se muestra en la Figura 8.4. En este tipo de diagrama se indica cómo varía la sensibilidad del micrófono con el ángulo entre la fuente sonora y el eje principal, es decir aquella dirección de máxima sensibilidad. En el ejemplo de la Figura 8.4, por ejemplo, a los 90° la sensibilidad es unos 6 dB menor que en el eje principal.

El patrón direccional (forma del diagrama polar) de un micrófono varía con la frecuencia, debido a que para altas frecuencias, la longitud de onda es pequeña, comparable al tamaño del propio micrófono, que proyecta sobre sí mismo "sombra" acústicas que dependen de la orientación y de la longitud de onda (y por lo tanto de la frecuencia). En la Figura 8.4 se repite el diagrama polar de la Figura 8.4, incluyendo otras dos frecuencias.

Se han popularizado diversos patrones direccionales, cada uno destinado a un tipo específico de aplicaciones. El patrón omnidireccional, cuyo diagrama polar se ilustra en la Figura 8.6, tiene la misma sensibilidad en todas las direcciones, por lo cual no requiere ser apuntado hacia la fuente. Este tipo de micrófono se utiliza precisamente cuando se requiere captar sonido ambiental, sin importar su procedencia. Los micrófonos omnidireccionales, en general tienen menor variación del patrón polar con la frecuencia, razón por la cual no presentan picos importantes en la respuesta en frecuencia.

En la Figura 8.4 se muestra un **patrón cardioide**. Estos micrófonos son bastante direccionales, reduciéndose muchísimo su sensibilidad en la dirección opuesta a la principal (180°). Debido a su característica direccional, los micrófonos cardioideos tienen la

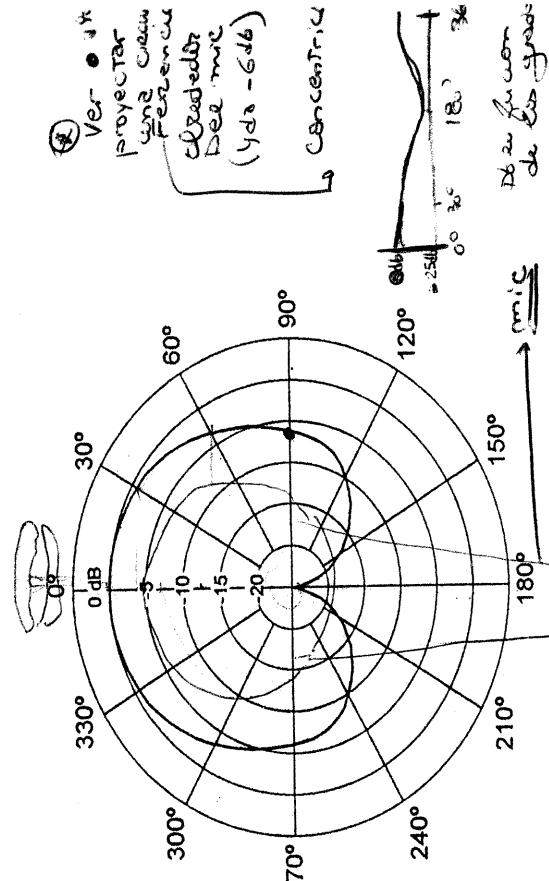


Figura 8.4. Un ejemplo de diagrama direccional o diagrama polar de micrófono. En él se indica cómo varía la sensibilidad con la dirección de procedencia del sonido, respecto a la sensibilidad máxima (0 dB), que corresponde a la dirección principal del micrófono. Este ejemplo se denomina **efecto de proximidad**, y es utilizado por los vocalistas para engrosar el tono de su voz.

Una de las principales aplicaciones del patrón cardioide (también llamado **dirigencial o unidireccional**) es la de tomar sonido de una fuente determinada cuya posición es bastante estable, como por ejemplo un instrumento musical, rechazando lo más posible los sonidos provenientes de otras fuentes. Así, la captación del ruido ambiente se reducirá considerablemente, ya que el ruido es **multidireccional**, es decir que proviene de todas las direcciones. Un micrófono omnidireccional, lo captará en su totalidad, mientras que uno cardioide tomará sólo una parte de dicho ruido.

Dado que en estos micrófonos el patrón polar **cambia bastante con la frecuencia** (Figura 8.5), al captar sonidos laterales, estos resultarán "filtrados", acentuándose algunas frecuencias por sobre otras, lo cual implicaría que dichos sonidos laterales estarán bastante distorsionados, o "coloreados". Los micrófonos cardioideos de mejor calidad están diseñados para evitar lo más posible estas fluctuaciones con la frecuencia de sus patrones polares.



Otro patrón polar difundido es la **figura de ocho**, llamada así por tener la forma de un 8 (Figura 8.7). Este tipo de micrófono podría denominarse también **bidireccional**, ya que es fuertemente direccional en las dos direcciones paralelas al eje principal. En la dirección perpendicular a este eje, por el contrario, la sensibilidad es nula, por lo que permite eliminar casi por completo la captación de ruidos provenientes de dichas direcciones.

Como los cardioideos, exhiben también el efecto de proximidad, aumentando la sensibilidad a los graves cuando la fuente se acerca mucho al micrófono.

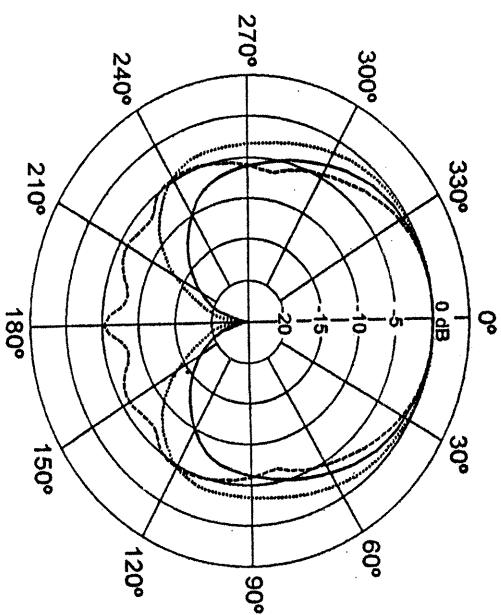


Figura 8.5. Variación con la frecuencia del diagrama polar del micrófono cardioide de la Figura 8.4. Las diferentes curvas responden al diferente patrón de "sombras" acústicas para cada longitud de onda.

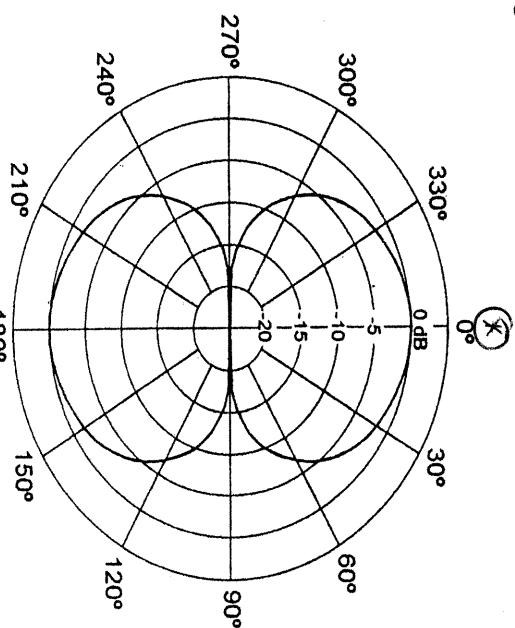


Figura 8.7. Patrón polar figura de ocho.

Dado que estos micrófonos se caracterizan por rechazar las señales acústicas provenientes de los lados de una fuente, son útiles para minimizar la captación de señal proveniente de un músico o cantante que se encuentra al lado del que se pretende tomar con el micrófono. También se utilizan para grabaciones estereofónicas (cuando se pretende crear la imagen sonora estéreo directamente desde la grabación y no por mezcla posterior), colocando para ello dos micrófonos a 90° entre sí. Esta configuración se denomina X-Y. De esta forma, la señal captada por cada micrófono será rechazada por el otro, contribuyendo a crear una mayor independencia o separación de los canales.

Además de los tipos principales descritos, existen en el mercado micrófonos con otros patrones polares, como por ejemplo el subcardioide (menos direccional que el cardioide), hipercardioide (similar al cardioide pero con un ángulo de captación todavía menor, a costa de la existencia de un pequeño lóbulo en la dirección opuesta a la principal), o el lobular (muy direccional, con un lóbulo que abarca ángulos de captación tan cerrados como 90°). La aplicación de estos micrófonos es bastante específica, y conviene en cada caso aplicarlos según las indicaciones del fabricante.

En general, los micrófonos direccionales (cardioides, figura de ocho, hipercardioide, etc.) tienen peor respuesta en frecuencia que los omnidireccionales. Esto se debe a

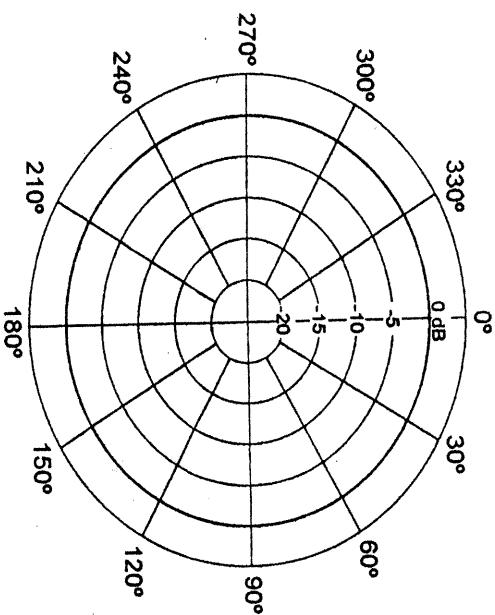


Figura 8.6. Patrón polar omnidireccional

que según se mostraba en la Figura 8.5, el patrón polar de los direccionales varía con la frecuencia, y por lo tanto para direcciones diferentes de la principal la respuesta en frecuencia tiene fluctuaciones más importantes que para la dirección principal. El resultado de esto es que el sonido proveniente de los costados no sólo estará más atenuado que el que proviene del frente (precisamente por la direccionalidad) sino que se verá más afectado en frecuencia, es decir estará "colorado" (por ejemplo, tendrá tendencia a enfatizar los graves, u otras frecuencias específicas, produciendo respectivamente un sonido más sordo o algo metálico), como se muestra en el ejemplo de la Figura 8.8. En los mejores micrófonos, este detalle es tenido en cuenta, de modo que el patrón polar resulte más uniforme con la frecuencia, con lo cual el sonido proveniente de los costados sólo sonará más débil, y no además distorsionado.

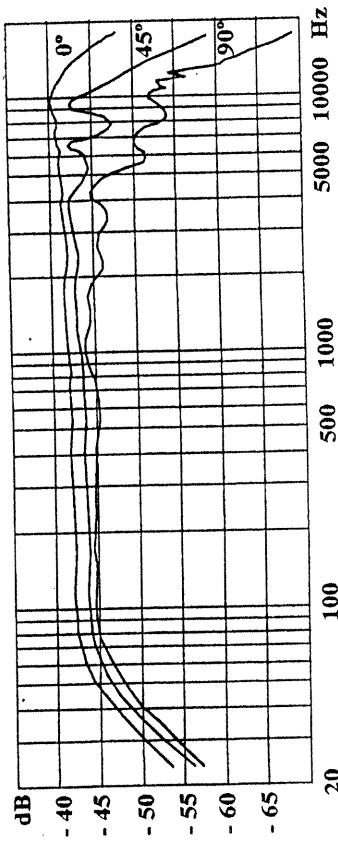


Figura 8.8. Respuesta en frecuencia de un micrófono direccional típico para diferentes ángulos respecto a la dirección principal: 0°, 45° y 90°. Según se puede apreciar, las irregularidades en alta frecuencia se hacen mayores, introduciendo una mayor distorsión de frecuencia en la señal.

8.5. Micrófonos dinámicos

Existen varios mecanismos de conversión de energía sonora en energía eléctrica utilizados en los micrófonos. Los más habituales corresponden a los micrófonos dinámicos y los micrófonos capacitivos.

Los micrófonos dinámicos, también denominados de bobina móvil, están constituidos por una bobina con varias espiras de alambre de cobre que se desplaza en forma oscilante a lo largo de un núcleo cilíndrico de imán. La bobina es impulsada por un diafragma que vibra en concordancia con las variaciones de presión de una onda sonora (Figura 8.9). De la física se sabe que cuando una bobina se mueve dentro de un campo magnético (en este caso el del imán) se genera en sus terminales una tensión eléctrica denominada fuerza electromotriz, y éste es precisamente el principio de operación de los micrófonos dinámicos (véase el capítulo 23 para mayores detalles).

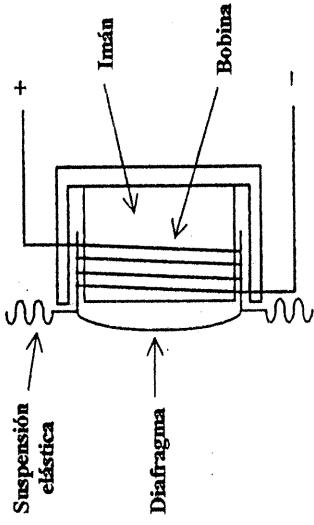


Figura 8.9. Diagrama esquemático constructivo de un micrófono dinámico o de bobina móvil. Las variaciones de presión causadas por una onda sonora imprimen movimiento al diafragma, el cual arrastría consigo a la bobina. El movimiento de la bobina respecto al imán genera una tensión eléctrica entre los terminales + y - del micrófono.

Los micrófonos dinámicos generan tensiones bastante pequeñas, del orden de 1 a 4 mV/Pa (milivolt por pascal). Para lograr mayores sensibilidades sería necesario que la bobina tuviera muchas espiras, lo cual implicaría aumentar su masa. Esto repercutiría negativamente en la respuesta en alta frecuencia, dado que a mayor masa, mayor inercia, es decir mayor dificultad para que una onda de alta frecuencia ponga en movimiento al conjunto diafragma - bobina (sería equivalente a intentar sacudir rápidamente un objeto muy pesado). De todas maneras, aún con pocas espiras (y por lo tanto baja sensibilidad) el comportamiento en alta frecuencia está limitado en general a unos 16 kHz. Actualmente, el uso de potentes imanes de neodimio permite reducir la cantidad de espiras, permitiendo en algunos modelos extender la frecuencia a la banda completa de audio.

Otra desventaja de los micrófonos dinámicos es que el denominado **ruido de manipulación** (es decir el ruido ocasionado al mover o tocar el micrófono) es importante, debido a dos factores: la gran inercia del conjunto diafragma - bobina y el agregado de resonancias artificiales para mejorar la respuesta en las altas y bajas frecuencias. El primer factor (inercia de la bobina) implica que al mover el micrófono la bobina tiende a permanecer inmóvil, creándose un movimiento relativo entre la bobina y el imán (ya que éste se ha desplazado junto con el cuerpo del micrófono) equivalente a que el diafragma se moviera y el imán estuviera fijo. Se genera así una tensión similar a la que produciría un ruido acústico. Esta tensión indeseada se denomina **ruido eléctrico**. El segundo factor (agregado de resonancias) implica que el ruido que se produce al tocar el micrófono se vea amplificado, especialmente en baja frecuencia, generando también ruido eléctrico.

La ventaja principal de este tipo de micrófonos es su robustez y tolerancia a condiciones adversas de operación, como variaciones de temperatura o humedad, grandes niveles de presión sonora, golpes y sacudidas, etc., por lo cual son especialmente aptos para el sonido en vivo. Otra ventaja es que no requieren fuentes de alimentación propias para generar señal eléctrica en respuesta a un sonido.

8.6. Micrófonos capacitivos

Los micrófonos capacitivos (también denominados de capacitor, de condensador, o electrostáticos) se basan en la utilización de un campo eléctrico en lugar de un campo magnético. Están formados por un diafragma muy delgado (típicamente, 5 micrones de espesor) bañado en oro, y una placa posterior metálica que normalmente está perforada o ranurada (Figura 8.10). Ambas forman un condensador cuya capacidad varía con la distancia entre si, y esta distancia varía al vibrar el diafragma impulsado por las variaciones de presión de la onda sonora. La ecuación fundamental de un condensador es

$$V = \frac{q}{C}$$

donde V es la tensión en sus terminales, q es la carga eléctrica en sus terminales, y C es el valor de la capacidad asociada al condensador. Si de alguna manera se consigue cargar las placas del condensador con una carga fija q , al variar la capacidad C variará también la tensión V que se mide entre los terminales. Este es el principio físico de funcionamiento de los micrófonos capacitivos.

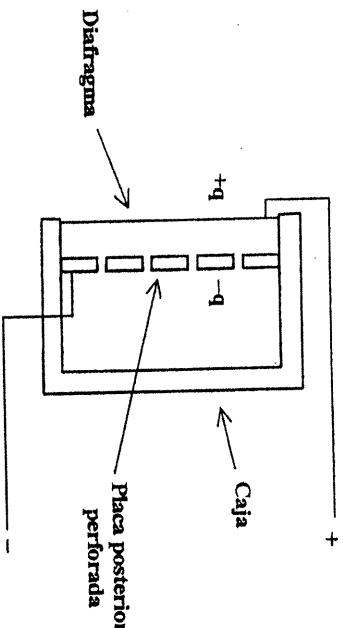


Figura 8.10. Diagrama esquemático constructivo de un micrófono de condensador. Las variaciones de presión causadas por una onda sonora imprimen movimiento al diafragma, y al variar consecuentemente la distancia entre éste y la placa posterior, varía también la capacidad del condensador formado por ambos. Si previamente se ha aplicado una carga eléctrica a ambas placas, la variación de capacidad implicará una variación de tensión eléctrica V entre los terminales + y - del micrófono.

La manera de cargar las placas del condensador es por medio de una polarización externa, lo cual se logra conectando el micrófono a una fuente de tensión constante a través de una resistencia, como se muestra en la Figura 8.11. Esta fuente puede ser o

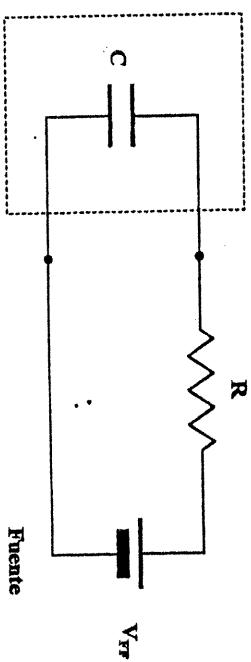


Figura 8.11. Polarización de un micrófono capacitivo mediante una fuente externa o fuente fantasma (phantom power). La fuente V_{ff} suministra la carga necesaria para que las variaciones de capacidad permitan obtener variaciones de tensión.

En la actualidad se encuentra muy difundido un tipo de micrófono a condensador prepolariizado, es decir con una polarización interna intrínseca, que en principio no requiere la utilización de una fuente fantasma. Son los denominados electret, y se caracterizan porque una de las placas contiene una película aislante especial en la cual se han introducido, durante la fabricación, cargas eléctricas que quedan atrapadas en la estructura interna sin posibilidad de escapar.

De todas maneras, todos los micrófonos capacitivos vienen con un amplificador interno que requiere algún tipo de alimentación. Esto se debe a que la impedancia interna (ver próximo párrafo) de un micrófono capacitivo básico es demasiado alta, por lo cual se utiliza un preamplificador sencillo (habitualmente formado por un transistor de efecto de campo) para reducir la impedancia (amplificador de corriente). Esto es necesario para minimizar la captación de ruidos en los cables largos.

8.7. Impedancia

La impedancia interna de un micrófono está vinculada con su modelo circuital o modelo eléctrico, que está constituido por una fuente de tensión y una impedancia, como se muestra en la Figura 8.12. Existen micrófonos de alta impedancia (superior a los $10.000\ \Omega$, es decir $10\ k\Omega$) y de baja impedancia (menor de $500\ \Omega$). En sonido profesional se utilizan casi exclusivamente los micrófonos de baja impedancia, porque son menos ruidosos, y ofrecen menos dificultades para el cableado, en especial cuando están invioladas grandes distancias (algunas decenas de metros), como suele suceder en el sonido en vivo. El nivel de la tensión de salida es, en general, muy pequeño, (del orden de algunos μV hasta unos $100\ mV$), especialmente en los micrófonos de baja impedancia, razón

bien una pila o batería incorporada al propio cuerpo del micrófono, o una fuente remota ubicada en la consola o en el preamplificador, denominada fuente fantasma (phantom power). Esta fuente puede tener un valor comprendido entre $1,5\ V$ y $48\ V$ según el modelo de micrófono.

por la cual se requiere utilizar **preamplificadores** para elevar la tensión hasta el nivel normalmente requerido por las mezcladoras (consolas) de audio. Dichos preamplificadores por lo común están incorporados en las consolas de mezcla, y aparecen en las entradas de micrófono. **No deben confundirse estos preamplificadores con los amplificadores de conversión de impedancia incluidos en los micrófonos capacitivos (tanto los no prepolarizados como los prepolarizados o electret).**

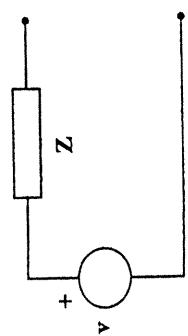


Figura 8.12. Modelo eléctrico de un micrófono, formado por una fuente de tensión v y una impedancia Z .

La impedancia de entrada de los preamplificadores debe ser mucho mayor que la del micrófono, para no ocasionar un efecto de divisor de tensión, lo cual redundaría en una disminución de la tensión efectiva en la entrada del preamplificador. El efecto de divisor de tensión se da siempre en conexiones como la indicada en la Figura 8.13. Resulta

$$V_{\text{amp}} = \frac{Z_{\text{entrada}}}{Z + Z_{\text{entrada}}} v,$$

y por lo tanto cuanto más grande sea Z_{entrada} menor será la disminución de la tensión que recibe el preamplificador. En la práctica la impedancia de los micrófonos suele ser de unos 200Ω y la de las entradas de micrófono de alrededor de 1000Ω .

8.8. Ruido

En los micrófonos hay dos mecanismos de producción de ruido. El más evidente es la captación del **ruido ambiental**, y obedece al mismo principio de conversión de energía sonora en energía eléctrica que tiene lugar para los sonidos típicos. La reducción de este ruido está ligada a la reducción del propio ruido ambiente, y al aprovechamiento del patrón direccional para reducir los ruidos que provienen de direcciones distintas de la señal útil (una voz o instrumento).

El otro mecanismo es el característico de cualquier componente de un circuito, es decir el **ruido eléctrico**. Es un ruido intrínseco del micrófono, y aparecería aún ubicando en una cámara totalmente insonorizada (silenciosa). Este ruido sólo puede reducirse (pero no eliminarse) diseñando el micrófono de modo de que posea muy baja impedancia (por ejemplo 100Ω), y además utilizando en su fabricación materiales de gran calidad y procesos de manufactura sumamente refinados. Es interesante saber que un micrófono de 100Ω tiene como mínimo un ruido eléctrico de $0.18 \mu V$, y que este ruido se duplica cada vez que la impedancia se cuadriplica. En la especificación de un micrófono sólo tiene sentido especificar el ruido eléctrico, ya que el otro depende del nivel de ruido acústico del ambiente en donde se usa el micrófono, y por lo tanto no es atribuible del micrófono.

Existen dos formas de especificar el ruido eléctrico. La primera consiste en asociarlo a un nivel de presión sonora equivalente, por ejemplo 17 dB . En otras palabras, se asimila el ruido eléctrico, que corresponde a un valor pequeño de tensión, a la respuesta hipotética de un micrófono sin ruido propio ante un ruido ambiente del valor indicado. Esta especificación sugiere cuál es el mínimo nivel sonoro para el cual tendrá sentido utilizar este micrófono. Si se intentara captar con ese micrófono un sonido de menor nivel, el ruido propio del micrófono sería más intenso que el sonido a captar, con un resultado de la calidad sonora, o hasta el punto de que el sonido se *emmascare* por el ruido. (*Observese que el solo hecho de que un sonido sea menor que otro no necesariamente implica que sea emmascareado por aquél, aunque si severamente degradado.*)

Como regla general, un sonido debe estar en la misma banda de frecuencias y entre 15 y 20 dB por debajo de otro para resultar emmascareado.)

La segunda forma de especificar el ruido de un micrófono, es a través del concepto de relación señal/ruido. Se define la relación señal/ruido como el cociente entre la señal y el ruido, y a menudo se la expresa en dB:

$$\left. \frac{S}{R} \right|_{\text{dB}} = 20 \log_{10} \frac{\text{señal}}{\text{ruido}} .$$

$$\left. \frac{S}{R} \right|_{\text{dB}} = 20 \log_{10} \frac{2 \text{ mV}}{0.001 \text{ mV}} = 20 \log_{10} 2000 = 66 \text{ dB} .$$



Figura 8.13. Modelo eléctrico de la conexión entre un micrófono y su preamplificador. El micrófono tiene una impedancia Z y el preamplificador tiene una impedancia de entrada Z_{entrada} .

El mismo valor se obtendría si, por ejemplo, el nivel de la señal fuera de 200 mV y el nivel de ruido de $100 \mu V (= 0.1 \text{ mV})$.

Como puede deducirse, para que esta especificación tenga sentido es muy importante incluir el nivel de la señal que se está utilizando en la especificación. Así, la misma

cifra de 66 dB representaría una muy buena relación señal/ruido si la señal utilizada fuera muy pequeña, y en cambio sería muy mala si la señal fuera la máxima que puede manejar el micrófono.

Normalmente la especificación de la señal no se da en mV, sino en Pa (presión) o en dB (nivel de presión sonora), y se incluye la frecuencia de la señal. Una posible especificación podría ser:

S/R: 50 dB a 1 kHz, 0,1 Pa

o bien

S/R: 50 dB a 1 kHz, 74 dB NPS

(Obsérvese que estas especificaciones son idénticas, ya que una presión de 0,1 Pa corresponde a un nivel de presión sonora de 74 dB). En el segundo caso es fácil obtener el nivel de presión sonora equivalente al ruido eléctrico:

$$\text{NPS}_{\text{equivalente}} = 74 \text{ dB} - 50 \text{ dB} = 24 \text{ dB}$$

Esto significa que el límite inferior de utilidad del micrófono es de 24 dB de nivel de presión sonora.

8.9. Distorsión

Otra especificación de interés en los micrófonos es la distorsión. La distorsión se diferencia del ruido en que es una deformación de la onda, mientras que el ruido es una señal independiente que se agrega a la señal. Cuando la señal es una onda senoidal, la distorsión se manifiesta como la aparición de cierta cantidad de armónicos. Así, si la señal (en este caso una presión sonora) era de 500 Hz, por ejemplo, la señal resultante (en este caso la tensión eléctrica generada por el micrófono) contendrá principalmente una onda senoidal de 500 Hz pero también contendrá armónicos de dicha frecuencia, vale decir, senoides de frecuencia 1000 Hz, 1500 Hz, 2000 Hz, etc. Se define la distorsión total armónica (THD) como el cociente entre el valor eficaz de los armónicos generados por la distorsión y el valor eficaz de la fundamental, y se suele expresar en porcentaje. Por ejemplo, supongamos que se expone un micrófono a un sonido senoidal, y que como resultado produce una tensión que tiene 5 mV de primera armónica y 0,05 mV de las restantes armónicas, entonces la distorsión total armónica será:

$$\text{THD} = \frac{0,05 \text{ mV}}{5 \text{ mV}} = 0,01 = 1\%$$

Dado que el fenómeno de la distorsión se da normalmente para niveles altos de señal, la especificación se suele dar asociada con el **máximo nivel de presión sonora** que admite el micrófono. Una posible especificación podría ser:

THD: 1 % a 125 dB NPS.

Otra forma de expresar lo mismo sería:

Máximo NPS: 125 dB a 1% THD .

El valor máximo, salvo que se indique lo contrario, representa un **nivel operativo**, y no un **nivel de seguridad**. La diferencia entre ambos es que el nivel operativo es un nivel para el cual el micrófono todavía está funcionando razonablemente bien, mientras que el nivel de seguridad es aquel superado el cual el micrófono puede deteriorarse. No superar este valor asegura que el dispositivo no se destruya, pero no que funcione satisfactoriamente. Si se reduce la señal hasta el nivel operativo, el funcionamiento volverá a ser correcto.

8.10. Conexión balanceada

A las especificaciones relativas a la performance del micrófono, se agregan otras de carácter más administrativo que operativo. Una de ellas es el tipo de conexión y cableado. Existen dos tipos de conexión clásicas. La más básica es la conexión **simple o no balanceada**, que consiste en dos conductores que unen la cápsula del micrófono al amplificador. Por regla general uno de los conductores rodea al otro formando un mallado o blindaje electrostático cuya finalidad es minimizar la captación de ruido eléctrico por efecto antena. Dicho conductor se conecta normalmente a la masa de la alimentación del amplificador. La otra conexión es la de tipo **balanceado**. En este caso se utilizan tres conductores. Uno de ellos forma también un mallado y actúa como blindaje para los otros, que van por dentro. La característica más importante es que estos conductores llevan señales de signo opuesto con respecto a la malla. Es decir que si en determinado momento uno tiene una tensión de 1 mV, el otro tendrá una tensión de -1 mV. La finalidad de esto es reducir mucho más la captación de ruido eléctrico por los cables, particularmente el ruido inducido por acoplamiento electromagnético, que no es fácil de controlar debido a las dificultades para implementar un adecuado blindaje magnético. Esta inmunidad se logra utilizando como preamplificador un amplificador diferencial, es decir un amplificador que amplifica la diferencia entre las tensiones de sus dos entradas (Figura 8.14).

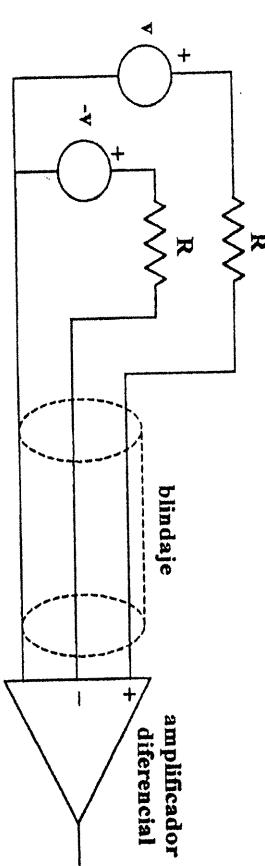


Figura 8.14. Estructura de una conexión balanceada. El cable de conexión tiene tres conductores, uno de los cuales es el blindaje.

Supongamos que $v = 1 \text{ mV}$, y que a causa del efecto antena se genera en cada cable de conexión una tensión de ruido de 10 mV . Entonces la tensión que llega al ter-

inal no inversor (+) es de 11 mV , mientras que la que llega al terminal inversor (-) es 9 mV . El amplificador diferencial amplifica la diferencia,

$$11 \text{ mV} - 9 \text{ mV} = 2 \text{ mV},$$

que es la misma tensión que se obtendría si los cables no captaran ruido:

$$1 \text{ mV} - (-1 \text{ mV}) = 2 \text{ mV}.$$

Debe observarse que el hecho de que se genere en los dos terminales la misma tensión (en el ejemplo, 10 mV) se debe a que los dos conductores se encuentran físicamente muy próximos entre sí, y por lo tanto están prácticamente a la misma distancia del elemento que ocasiona el campo electrostático (un cable de distribución domiciliaria de 220 V , un tubo fluorescente, un motor, etc.). Esta tensión idéntica en ambos conductores balanceados se denomina tensión de modo común.

NOTA: Podría preguntarse por qué no sucede lo mismo en el cable de masa (la malla). Ello se debe a que el cable de masa está siempre conectado a circuitos de *baja impedancia*, lo cual atenúa mucho la captación de ruido.

El conector para lograr la conexión balanceada se denomina habitualmente XLR, aunque también se lo conoce como Cannon, que fue la primera marca comercial que lo introdujo.

8.11. Fuente fantasma

Finalmente, en los micrófonos capacitivos (a condensador), se especifica la alimentación, que puede ser con pila o batería ubicada en el mismo cuerpo del micrófono, o

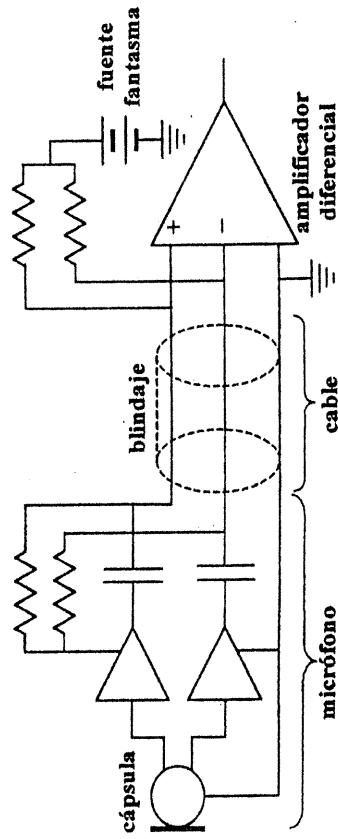


Figura 8.15. Esquema del conexionado de la fuente fantasma. La salida de la cápsula (condensador) se conecta a unos amplificadores cuya finalidad es la de reducir la impedancia naturalmente muy alta del condensador. El usuario sólo debe preocuparse por el cableado, ya que la conexión interna del micrófono y del amplificador diferencial de entrada de la consola ya vienen ensambladas de fábrica.

con fuente fantasma o remota. La fuente fantasma se utiliza en los micrófonos con conexión balanceada, y su estructura circuital se muestra en la Figura 8.15. Las salidas de la cápsula (condensador) ingresan a unos amplificadores cuya única finalidad es la de reducir la impedancia excesivamente alta del condensador hasta los niveles requeridos (según vimos, algunos cientos de ohm). Estos amplificadores, así como la propia cápsula, requieren alimentación, la cual llega de la consola por medio de sendas resistencias (como la potencia requerida es pequeña, estas resistencias no implican un inconveniente). Luego siguen dos capacitores cuya finalidad es eliminar las corrientes continuas, y dejar pasar sólo las frecuencias de audio. Estos capacitores son de valor mucho más alto que los de la cápsula, por lo que su impedancia es muchísimo menor, y por lo tanto no desvirtúan el efecto de los amplificadores mencionados. Los capacitores se conectan (por medio del conector XLR) al cable y luego a la consola, donde las dos señales complementarias ingresan al amplificador diferencial. La fuente fantasma, que hoy en día se encuentra habitualmente incorporada a la consola, aplica la misma tensión a las líneas de señal por medio de otro par de resistencias. Dado que el amplificador es diferencial, la tensión agregada no influye por ser igual en ambas entradas (por la misma razón por la cual la conexión balanceada rechaza el ruido de modo común).

Debido que no todos los micrófonos son de condensador, es lógico preguntarse qué sucede cuando se conecta un micrófono dinámico, por ejemplo, a la entrada de micrófono con fuente fantasma. Si el micrófono es balanceado (se supone que todos los de buena calidad profesional lo son), no sucede nada, ya que se aplica la misma tensión a ambas partes de la cápsula, con lo cual la tensión aplicada es nula. Pero si el micrófono fuera no balanceado, la tensión estaría aplicada directamente a la bobina, lo cual sería potencialmente muy perjudicial para el micrófono, pudiendo fácilmente destruirse. Existen algunos micrófonos dinámicos pseudobalanceados, es decir que por compatibilidad de conexión tienen conector XLR, pero no son realmente balanceados. Habitualmente, las consolas tienen un interruptor que permite conectar o desconectar la fuente fantasma, por lo cual, ante la duda, siempre convendrá desconectarla si no se están empleando micrófonos de condensador. Lamentablemente, no todas las consolas tienen una fuente fantasma por cada canal, por lo cual este interruptor habilita o deshabilita la fuente fantasma para todos los canales simultáneamente.

Antes de abandonar el tema de los micrófonos, comentemos que existen otros tipos de micrófonos, como los piezoelectrinos, los de cinta y los de carbón. Los de cinta han encontrado algún lugar en el audio profesional, pero en general los más utilizados son los ya estudiados de condensador y dinámicos.

Capítulo 9

Amplificadores

y en dB,

$$G|_{dB} = 20 \log_{10} 200 = 46 \text{ dB}.$$

Este mismo amplificador, si en lugar de recibir 100 mV recibiera 7 mV, por ejemplo, produciría a su salida una tensión

$$V_{\text{sal}} = G \cdot V_{\text{entrada}} = 200 \cdot 0,007 \text{ V} = 1,4 \text{ V}.$$

El amplificador es el primer bloques procesador de señal *puramente eléctrico*. Su finalidad es aumentar el nivel de las señales provenientes de generadores de bajo nivel, como los micrófonos, hasta alcanzar un nivel apto para determinada aplicación, como podría ser excitar un parlante o caja acústica. La idea de la amplificación es sumamente recurrente en la electrónica, y aunque tal vez no lo parezca a primera vista existen amplificadores en todos los dispositivos o equipos electrónicos, tales como relojes digitales, controles remotos, computadoras, etc. Nosotros estamos interesados en los amplificadores de señales de audio.

9.1. Introducción

La señal pequeña que se quiere amplificar se aplica entre dos terminales llamados de entrada, y la señal ya amplificada se obtiene entre otros dos terminales denominados de salida. Uno de los parámetros más fundamentales de un amplificador es la **ganancia**, o amplificación, que se define como el cociente entre la tensión de salida y la de entrada:

$$G = \frac{V_{\text{salida}}}{V_{\text{entrada}}}.$$

Para esta definición se ha tomado la tensión como variable de entrada y de salida, obteniéndose por ello la **ganancia de tensión**. En algunos casos (que no analizaremos aquí), la variable de entrada o la de salida, o ambas, son corrientes en lugar de tensiones.

La ganancia muchas veces se expresa también en decibeles (dB), y su valor se obtiene mediante la fórmula

$$G|_{dB} = 20 \log_{10} G = 20 \log_{10} \frac{V_{\text{salida}}}{V_{\text{entrada}}}.$$

Supongamos, por ejemplo, que un amplificador recibe a la entrada una señal de 100 mV y produce a la salida una señal de 20 V. Entonces

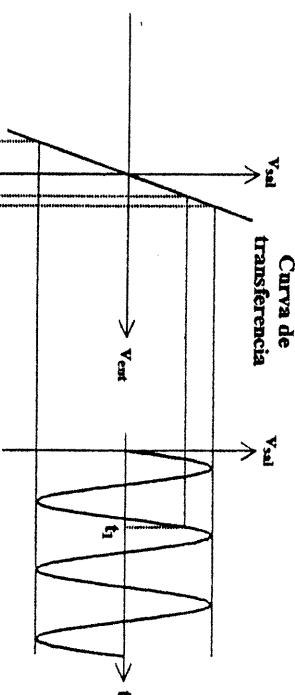


Figura 9.1. Gráfico que ilustra la operación de un amplificador. Para obtener la salida correspondiente a un instante determinado se lleva el valor de la entrada en ese instante al eje horizontal de la curva de transferencia, se prolonga hasta dicha curva, y del eje vertical se obtiene el valor de la salida.

9.3. Niveles de señal

La otra propiedad fundamental de los amplificadores es el *nivel de señal* que son capaces de manejar. Existen tres niveles de señal característicos: **bajo nivel, nivel de línea, y nivel de potencia**. Las señales de *bajo nivel* corresponden a la señal producida directamente por los transductores, como los micrófonos, los fonocaptores para discos de vinilo, y los cabezales de reproducción de cinta magnetofónica. **Las señales de nivel de línea** son el resultado de aplicar **preamplificación** a las señales de bajo nivel, pero también son las señales que producen diversos equipos como las cassetteras, los reproductores de compact disc, los sintonizadores, los sintetizadores y otros instrumentos musicales electrónicos, etc. Finalmente, el *nivel de potencia* es el requerido para excitar los altavoces (parlantes) o cajas acústicas.

Antes de definir estos niveles es conveniente introducir algunos otros conceptos relativos a decibeles. Genéricamente hablando, existen dos tipos de decibeles:

- los que representan niveles absolutos de alguna variable física, lo cual implica la adopción de un valor de referencia (**decibeles referenciados**),
- los que representan una relación entre dos valores cualesquiera de la variable (**decibeles relativos**).

Ejemplo del primer tipo es el nivel de presión sonora NPS, cuyo valor de referencia era una presión de $20 \mu\text{Pa}$. Un ejemplo del segundo tipo es la ganancia de un amplificador, que acabamos de introducir. En audio se utilizan otros tres decibeles absolutos que poseen sendos valores de referencia. Ellos son el dBm, el dBu, y el dBV.

El dBm permite expresar el nivel de potencia eléctrica, que se define como

$$N|_{\text{dBm}} = 10 \log_{10} \frac{\text{Pot}}{\text{Pot}_{\text{ref}}},$$

donde la potencia de referencia vale $\text{Pot}_{\text{ref}} = 1 \text{ mW} = 0,001 \text{ W}$. Observemos que el multiplicador del logaritmo es en este caso 10 y no 20 porque se trata de un nivel de *potencia*. Por ejemplo, una potencia de 1 W corresponde a un nivel

$$N|_{\text{dBm}} = 10 \log_{10} \frac{1 \text{ W}}{0,001 \text{ W}} = 30 \text{ dBm}.$$

El dBm es una unidad para representar el nivel de tensión, definido como

$$N|_{\text{dBm}} = 20 \log_{10} \frac{V}{V_{\text{ref}}}.$$

donde la referencia es, ahora, de tensión, y vale $V_{\text{ref}} = 0,775 \text{ V}$. Tal vez parezca extraño adoptar una referencia como ésta, pero ello obedece a una razón bien definida, y es que cuando se aplica a una resistencia de 600Ω una tensión correspondiente a 0 dBm , es decir $0,775 \text{ V}$, la potencia entregada es 0 dBm , es decir 1 mW . Esto puede verse aplicando la expresión de la potencia eléctrica entregada a una resistencia:

$$\text{Pot} = \frac{V^2}{R} = \frac{(0,775 \text{ V})^2}{600 \Omega} = 0,001 \text{ W} = 1 \text{ mW}.$$

La elección de la resistencia de 600Ω se debe a que éste es un valor en cierta medida normalizado, ya que es el valor de la impedancia de la línea telefónica clásica, donde primero se aplicaron estos conceptos. Las consolas actuales suelen tener impedancias de salida del orden de 100Ω , a pesar de lo cual estas unidades se siguen utilizando. Debe destacarse que una tensión en dBu es numéricamente igual a la potencia en dBm que dicha tensión entrega a una resistencia *sólo cuando la resistencia es de 600Ω* . Salvo esta situación muy particular, un valor expresado en dBm no tiene nada que ver con el mismo valor numérico expresado en dBu. El primero representa un valor de potencia y el segundo un valor de tensión.

Finalmente, el dBV expresa, también, niveles de tensión, según la expresión:

$$N|_{\text{dBV}} = 20 \log_{10} \frac{V}{V_{\text{ref}}},$$

donde la referencia es $V_{\text{ref}} = 1 \text{ V}$. En este caso la referencia parece más lógica que la anterior. A diferencia de lo que sucede entre un nivel de potencia y un nivel de tensión, existe una relación sencilla entre los niveles de tensión en dBV y en dBu (siempre que se refieran a una misma tensión):

$$N|_{\text{dBu}} = N|_{\text{dBV}} + 2,2 \text{ dB}.$$

Un hecho común a todos los decibeles referenciados es que un valor de 0 dB no significa ausencia de señal sino que ésta coincide con el valor de referencia. En la Tabla 9.1 se resumen las unidades que hemos introducido, junto con algunas de sus propiedades más básicas.

Una vez introducidas estas escalas, podemos dar mayor precisión a los tres niveles de señal ya comentados. Así, las señales de bajo nivel son las que tienen un nivel de tensión inferior a -40 dBu , es decir valores de tensión menores de $7,75 \text{ mV}$; las señales de nivel de línea están comprendidas entre -10 dBu y 30 dBu , es decir tensiones entre 245 mV y $24,5 \text{ V}$; y las señales de nivel de potencia son las que superan los 30 dBu , es decir los $24,5 \text{ V}$.

Tabla 9.1. Características de las principales escalas con referencia para expresar niveles de señal.

Unidades	Magnitud	Referencia	Propiedades
dB _{Pres}	Presión sonora	$20 \mu\text{Pa}$	$0 \text{ dB}_{\text{Pres}}$ coincide con el umbral de audición a 1 kHz
dBm	Potencia	1 mW	Es útil cuando es importante la potencia que entrega una fuente, más que su tensión
dBu	Tensión	$0,775 \text{ V}$	Cuando la tensión se conecta a una resistencia de 600Ω coincide numéricamente con el nivel de potencia en dBm
dBV	Tensión	1 V	Una tensión expresada en dBV es $2,2 \text{ dB}$ menor que expresada en dBu

Debe aclararse que los valores anteriores son valores promedio, ya que las señales, por su propia naturaleza, experimentan grandes fluctuaciones de nivel. Así, un micrófono de 10 mV/Pa de sensibilidad ubicado justo al lado de un instrumento de parche, ante un pico de nivel de presión sonora de 134 dB generará entre sus terminales una tensión cercana a 1 V, que es ciertamente mucho mayor que los 7,75 mV que limitan el rango de señales de bajo nivel, lo cual *no implica que el micrófono pase a ser un generador de señales de línea*.

Al mismo tiempo, cuando cierto altavoz está produciendo a 1 m de distancia un pianísimo (sonido muy suave) de 40 dB de nivel de presión sonora, la tensión que se le está aplicando se encuentra cercana a los -40 dBu y no por ello el amplificador que lo excita es un dispositivo de *bajo nivel*.

En la Tabla 9.2 se resumen los tres niveles de señal de audio comúnmente utilizados en los equipos y componentes de audio profesional.

Tabla 9.2. Niveles de señal de audio utilizados en sonido profesional.

Nivel	Ejemplos	Rango de tensión	Nivel en dBu
Bajo	Microfonos Fonolectores Cabezales de reproducción magnética	$V_s < 7,75 \text{ mV}$	$N < -40 \text{ dBu}$
Línea	Preamplificadores Cassetteras Reproductor de CD Sintonizadores Entrada o salida de consola	$245 \text{ mV} < V_s < 24,5 \text{ V}$	$-10 \text{ dBu} < N < 30 \text{ dBu}$
Potencia	Amplificadores de audio de potencia	$24,5 \text{ V} < V_s$	$30 \text{ dBu} < N$

9.4. Clasificación de los amplificadores

Los amplificadores se pueden clasificar según la señal que manejan, y así existen los amplificadores de *bajo nivel*, o preamplificadores, y los de *alto nivel* o amplificadores de potencia. Los preamplificadores tienen como finalidad llevar las señales de bajo nivel al nivel de línea, que es el nivel estandar que manejan las entradas y salidas de las consolas de mezcla. Los amplificadores de potencia reciben señal de nivel de línea a su entrada y la amplifican hasta el nivel de potencia. En la Figura 9.2 se muestra la configuración requerida para llevar una señal de bajo nivel (como la de un micrófono) hasta el nivel de potencia necesario para excitar un parlante.

En realidad los preamplificadores normalmente vienen incorporados en las consolas o equipos generadores de señal como las cassetteras, por lo cual sus especificaciones no están bajo el control del usuario. No sucede lo mismo con los amplificadores de potencia, para los cuales se especifican diversas características técnicas a las que es necesario prestar debida atención.

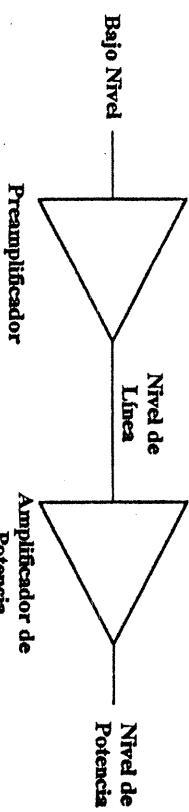


Figura 9.2. Diagrama de bloques de una interconexión amplificadora básica, en la cual se muestran la etapa preamplificadora y la etapa de potencia.

9.5. Potencia máxima de salida

En primer lugar se especifica la **potencia máxima de salida (power output)**, la cual se indica para uno o más valores de **impedancia de carga**, que normalmente son **8 Ω** ó **4 Ω** (pues éstos son los valores típicos de impedancia de los parlantes y cajas acústicas). Dado que la potencia es inversamente proporcional a la impedancia, producido por el sistema completo.

$$\text{Pot} = \frac{V^2}{Z},$$

podría parecer que la potencia para **4 Ω** debería ser siempre el doble que la potencia para **8 Ω**. Sin embargo, el hecho de que los amplificadores incorporan protecciones contra sobrecargas puede hacer que la potencia para **4 Ω sea menor que el doble** de la correspondiente a **8 Ω**. La potencia que entrega el amplificador, según veremos, nos permitirá calcular, en función de los datos técnicos de las cajas acústicas, el nivel de presión sonora producido por el sistema completo.

9.6. Sensibilidad

La segunda especificación de los amplificadores de potencia está relacionada con la ganancia. Se trata de la **sensibilidad (sensitivity)**, definida como *el valor de la tensión de entrada necesaria para producir la máxima potencia*. Puede especificarse en **V** o en **dBV**. Por ejemplo, supongamos un amplificador de 200 W sobre una carga de **4 Ω** y con una sensibilidad de **1,5 V**. Podremos determinar la ganancia de este amplificador del siguiente modo. A partir de la potencia, podemos obtener la tensión de salida. Para ello, en la expresión anterior de la potencia multiplicamos los dos lados por **Z**:

$$V_{\text{salida}}^2 = Z \cdot \text{Pot}$$

de donde

$$V_{\text{salida}} = \sqrt{Z \cdot \text{Pot}} = 28,3 \text{ V}.$$

Luego calculamos la ganancia dividiendo este valor por la tensión de entrada:

$$G = \frac{V_{\text{salida}}}{V_{\text{entrada}}} = \frac{28,3 \text{ V}}{1,5 \text{ V}} = 18,9,$$

y, en dB:

$$G|_{\text{dB}} = 20 \log_{10} G \approx 26 \text{ dB}.$$

9.7. Relación señal/ruido

Una tercera especificación de los amplificadores es su relación señal/ruido, S/R (signal to noise ratio) definida de la misma manera que para los micrófonos, es decir como el cociente entre determinado valor de la señal y el valor de ruido residual propio del amplificador, o su expresión logarítmica en dB:

$$S/R = \frac{V_{\text{señal}}}{V_{\text{ruido}}},$$

$$S/R|_{\text{dB}} = 20 \log_{10} S/R.$$

Igual que en los micrófonos, debe explicitarse cuál es el valor o el nivel de señal utilizada (recordemos que el *valor* se expresa en V mientras que el *nivel* se expresa en alguno de los dB referenciados, por ejemplo dBu o dBV). Así, si se afirma solamente que la relación S/R es de 60 dB, no se está diciendo nada, ya que podría tratarse tanto de un amplificador bastante ruidoso como de uno muy poco ruidoso. Normalmente se supone que la señal respecto a la cual se especifica S/R es la que proporciona la máxima potencia. Esto es así porque es cuando se obtiene el máximo valor, lo cual es conveniente como estrategia de comercialización del equipo.

A modo de ejemplo, supongamos que el amplificador anterior (200 W) tiene una relación S/R de 95 dB a máxima potencia. Nos preguntamos cuál será la relación S/R cuando el amplificador sólo está entregando 10 W, es decir una potencia 20 veces menor que la máxima. Recordando la expresión

$$V_{\text{salida}} = \sqrt{Z \cdot \text{Pot}},$$

vemos que si la potencia se reduce 20 veces, entonces la tensión se reducirá $\sqrt{20}$ veces, es decir alrededor de 4,5 veces. Entonces la relación S/R experimentará la misma reducción, que en dB significa una reducción de $20 \log_{10} 4,5$ dB, es decir 13 dB. Entonces

$$S/R|_{10 \text{ W}} = 95 \text{ dB} - 13 \text{ dB} = 82 \text{ dB}.$$

Esto confirma que un mismo amplificador, según la potencia que esté circunstancialmente entregando puede tener distintos valores de relación S/R.

Esta especificación es importante cuando está en consideración el rango dinámico de la señal. Este se define como la diferencia en dB entre el *máximo* y el *mínimo nivel de salida*. El mínimo nivel es, muchas veces, el nivel de ruido propio del generador de señal (por ejemplo el ruido de cinta en una cassettera, o el ruido eléctrico de un micrófono), o bien el ruido ambiente captado por un micrófono y/o registrado en cualquier soporte. Para una adecuada selección de un amplificador, habría que contemplar que su relación S/R, para al nivel de salida al que va a funcionar realmente, sea mayor que el rango dinámico de la señal a amplificar. De no ser así, puede suceder una de dos cosas: o bien se preserva el nivel inferior de la señal (es decir se eleva el nivel desde la consola), a costa de exponerse a que los picos máximos de señal sean recortados, con la consecuente distorsión (que es muy audible), o bien se evita que se lleguen a producir recortes en los máximos niveles (reduciendo el nivel de salida de la consola), al precio de perder los fragmentos en que la señal esté en su nivel mínimo. Esta situación se puede apreciar en la Figura 9.3, en la cual se han esquematizado ambos casos. De las dos alternativas, la más

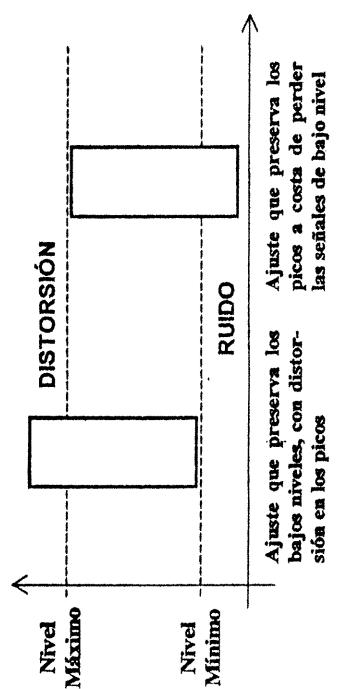


Figura 9.3. Alternativas extremas para señales cuyo rango dinámico excede la relación señal/ruido del amplificador.

La tecnología permite resolver este problema por medio de un dispositivo que viene más adelante: el limitador - compresor de audio, que se encarga de reducir la ganancia del sistema cuando la amplitud se acerca al límite superior. Técnicamente, es un control automático de ganancia, y actúa en forma similar (sólo que mucho más rápido y confiablemente) a un operador humano que al escuchar que sube el volumen, acciona la perilla correspondiente para evitar que suba tanto.

9.8. Respuesta en frecuencia

La siguiente especificación de los amplificadores es la respuesta en frecuencia (frequency response). Indica la variación de la ganancia (normalmente en dB) con la frecuencia. Se suministra de dos maneras diferentes. La primera, ilustrada en la Figura 9.4, se presenta en forma de gráfica de la ganancia en función de la frecuencia. Se observa que la respuesta es razonablemente plana, sin las desviaciones características de los micrófonos, hasta las frecuencias inferior y superior con una corte, donde empieza a caer. La otra forma es dar los límites inferior y superior con una tolerancia, por ejemplo:

20 Hz a 20 kHz, $\pm 0,5$ dB.

Esto significa que la respuesta entre 20 Hz y 20 kHz se mantiene casi constante, con una tolerancia a lo sumo de 0,5 dB hacia arriba y 0,5 dB hacia abajo de su valor nominal (el valor nominal es el valor especificado, o que se deduce de otras especificaciones). Aun- que esta especificación no brinda información tan completa como la gráfica, en la gene- ralidad de los casos es suficiente para seleccionar un amplificador para determinada aplicación. En ambos casos debería indicarse a qué nivel de potencia se ha realizado el ensayo, ya que a grandes niveles la respuesta en frecuencia empeora. Normalmente se utiliza la potencia máxima.

En realidad, hoy en día los amplificadores cubren ampliamente el rango de fre- cuencias de audio, y algunos inclusive lo superan. No es raro encontrar amplificadores que son "planos" hasta los 100 kHz, lo cual es dudoso que provea un beneficio real, por cuanto las frecuencias superiores a los 20 kHz son inaudibles para el oído humano. Se dice que estos amplificadores son capaces de reproducir mejor los transitorios muy bruscos (por ejemplo un golpe de percusión muy incisivo), pero esto puede objetarse desde dos puntos de vista: el oído tampoco percibe la diferencia entre un transitorio brusco y su reproducción con la respuesta limitada a 20 kHz, y además las cajas acústicas disponibles comercialmente tampoco reproducen acústicamente tan bien los transitorios bruscos como el amplificador lo hace eléctricamente.

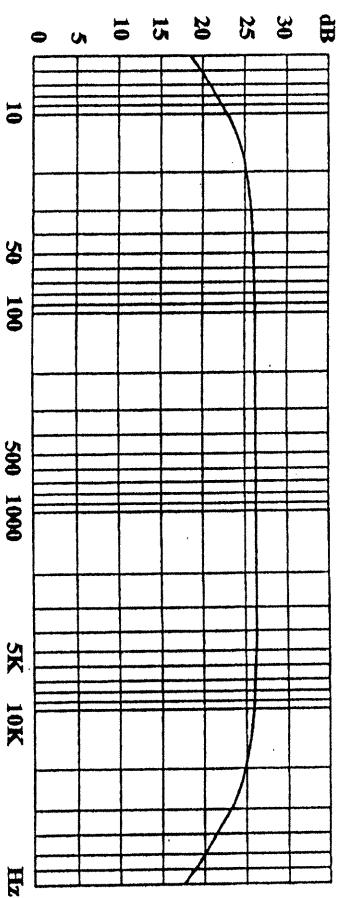


Figura 9.4. Respuesta en frecuencia de un amplificador.

Otra especificación relativa al comportamiento en alta frecuencia es el slew rate (no hay una traducción al castellano que resulte elegante; podría traducirse como velocidad máxima de crecimiento). Se define como la máxima variación de tensión que puede experimentar la salida en un tiempo de 1 μ seg. Esta especificación no es de aplicación sencilla, y normalmente no hace falta tenerla en cuenta si la respuesta en frecuencia se ha especificado a la potencia nominal (máxima).

9.9. Slew rate

La siguiente característica que se debe especificar en los amplificadores es la distorsión. La distorsión consiste en la deformación de una señal a causa de una transferencia no lineal (ver Figura 9.5), y tiene efectos claramente audibles. Algunas distorsiones son favorables al oído, e inclusive son agregadas a propósito, como en los efectos denominados aural exciter, enhancers, etc. En el caso de los amplificadores, siempre hay algo de distorsión. Un hecho interesante es que la distorsión que introducen las válvulas es más favorable a la audición que la que producen los transistores, razón por la cual

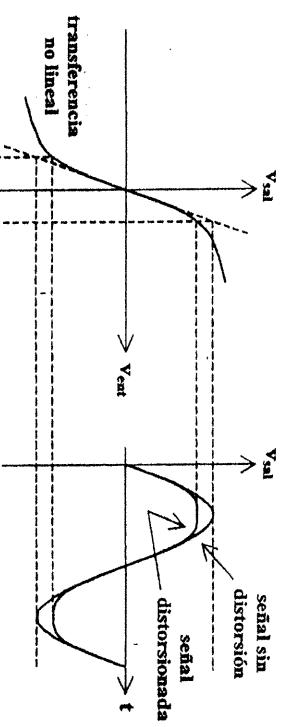


Figura 9.5. Origen de la distorsión en un amplificador. La curva de transferencia *no lineal* hace que una entrada senoidal se deforme, causando distorsión a la salida. En la gráfica de salida se comparan la señal distorsionada con la señal no distorsionada.

desde hace algunos años han ido reapareciendo en el mercado los amplificadores a válvulas, que parecían totalmente superados por los de estado sólido. Estos amplificadores son en general mucho más costosos, debido a que la válvula es un dispositivo de poca difusión en otras áreas.

Existen dos tipos de distorsión: la **distorsión total armónica (total harmonic distortion)**, THD y la **distorción por intermodulación (intermodulation distortion)**, IMD.

La distorsión total armónica se refiere a la deformación que experimenta una señal perfecta (pura) al atravesar un amplificador. El resultado de dicha deformación es la aparición de armónicos de la frecuencia original de la señal, es decir que además de la señal original amplificada, aparece un residuo formado por sus armónicos sucesivos. La distorsión total armónica se define, entonces, como la proporción de armónicos relativos a la fundamental:

$$\text{THD} = \frac{V_{\text{ef armónicos}}}{V_{\text{ef fundamental}}} ,$$

donde $V_{\text{ef armónicos}}$ es la tensión eficaz de los armónicos, y $V_{\text{ef fundamental}}$ la tensión eficaz de la frecuencia fundamental, es decir la originalmente aplicada al amplificador. Normalmente se expresa en %, es decir

$$\text{THD \%} = 100 \cdot \text{THD} .$$

Por ejemplo, si la salida tiene 25 V de fundamental y 0,1 V de armónicos, entonces

$$\text{THD \%} = 100 \cdot \frac{0,1 \text{ V}}{25 \text{ V}} \% = 0,4 \% .$$

Hoy en día se admite que una buena distorsión debe estar por debajo del 0,5 %, existiendo en el mercado amplificadores con distorsiones tan bajas como 0,007 %.

La distorsión por intermodulación se origina en la interferencia mutua que se produce entre dos tonos senoidales de *diferente frecuencia* sumados en un mismo canal (no debe confundirse con lo que sería separación de canales). Cuando se introducen dos tonos de frecuencias f_1 y f_2 , si el amplificador fuera ideal, sólo aparecerían en la salida las mismas frecuencias f_1 y f_2 , pero en un amplificador real también aparecen las frecuencias $n \cdot f_1 \pm m \cdot f_2$, donde $n \cdot f_1$ son los armónicos de f_1 y $m \cdot f_2$ los de f_2 , aclarándose que si alguna de estas frecuencias resulta negativa, se interpreta como su valor positivo correspondiente. Así, si tenemos dos tonos de 100 Hz y 175 Hz, algunas de las frecuencias que pueden aparecer son:

$$\begin{aligned} 2 \cdot 100 - 175 &= 25 \text{ Hz} \\ 2 \cdot 175 - 3 \cdot 100 &= 50 \text{ Hz} \\ 175 - 100 &= 75 \text{ Hz} \\ 3 \cdot 100 - 175 &= 125 \text{ Hz} \\ 2 \cdot 175 - 2 \cdot 100 &= 150 \text{ Hz} \\ 4 \cdot 100 - 175 &= 225 \text{ Hz} \\ 175 + 100 &= 275 \text{ Hz} \end{aligned}$$

La amplitud de cada una de estas frecuencias o el mismo hecho de que una en particular esté o no presente, dependen en realidad de cada amplificador. Existe un procedimiento normalizado para medir y especificar la distorsión por intermodulación, que fue introducido por la SMPTE (Society of Motion Picture and Television Engineers - Sociedad de Ingenieros de Cine y Televisión). Consiste en aplicar simultáneamente (a través de un sumador) un tono senoidal de 60 Hz y otro de 7 kHz, teniendo el de 60 Hz una amplitud 4 veces mayor que el de 7 kHz (es decir un nivel 12 dB mayor). Luego se eliminan los dos tonos de la salida por medio de filtros adecuados y se mide el valor eficaz de lo que queda, el cual es expresado como porcentaje del valor eficaz de los tonos originales.

Aunque muchas veces no se presta debida atención, es mucho más nociva para la señal sonora la distorsión por intermodulación que la distorsión armónica. Efectivamente, la distorsión armónica de un sonido musical aislado, tiende a reforzar algunos armónicos dando mayor brillo al sonido. Cuando se presentan dos o más sonidos, en cambio, la distorsión por intermodulación produce tonos que no están armónicamente relacionados con ninguno de los sonidos originales, produciendo un efecto notorio y desagradable. La mayoría de los amplificadores actuales tiene valores de IMD menores al 0,1 %, y algunos registran valores mucho más bajos aún.

9.11. Impedancia de entrada

Otra especificación es la **impedancia de entrada**, que es la impedancia que se mide externamente en los terminales de entrada. Para ver la importancia de esta especificación, observemos primero en la Figura 9.6 que entre la fuente de señal y la impedancia

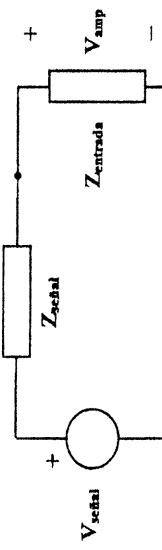


Figura 9.6. Modelo eléctrico de la conexión entre un generador de señal y un amplificador.

de entrada se forma un divisor de tensión. Podemos plantear la ecuación del divisor de tensión para obtener la tensión efectiva aplicada al amplificador:

$$V_{\text{amp}} = \frac{Z_{\text{entrada}}}{Z_{\text{señal}} + Z_{\text{entrada}}} V_{\text{señal}} .$$

Vemos que la tensión real a la entrada del amplificador se reduce tanto más cuanto más pequeña sea su impedancia de entrada con respecto a la impedancia interna de la fuente de señal. Por ello conviene que la impedancia de entrada sea alta comparada con las im-

pedancias usuales en las salidas de línea (por ejemplo la de la consola de mezcla). Tipicamente la impedancia de entrada de los amplificadores está en el rango entre 10 kΩ y 50 kΩ, y la de las consolas es de algunoscientos de Ω, de modo que la reducción de la señal vista por la entrada del amplificador es normalmente menor que un 5%, que en dB corresponde a una reducción menor que 0,5 dB, y por lo tanto poco significativa auditivamente. En los amplificadores con entrada balanceada, se especifican dos valores de impedancia de entrada, uno para entradas balanceadas y otro para entradas no balanceadas, siendo el valor balanceado el doble del no balanceado.

9.12. Factor de amortiguación

En los amplificadores no se especifica en general la *impedancia de salida*, aunque es común proporcionar un dato equivalente, que es el **factor de amortiguación (damping factor)**. Es la relación entre la impedancia nominal de carga y la impedancia real de salida. Por ejemplo, un amplificador que entrega cierta potencia a una carga de 4 Ω y cuya impedancia de salida es de 0,02 Ω posee un factor de amortiguación de

$$F.A. = \frac{4\Omega}{0,02\Omega} = 200.$$

Si bien se consideran satisfactorios valores superiores a 4, los amplificadores actuales alcanzan factores de amortiguación de varioscientos. Esto es importante para lograr que la impedancia del parlante no modifique significativamente la tensión real sobre el parlante, por un razonamiento similar al de la impedancia de la fuente de señal y de la entrada del amplificador.

9.13. Separación de canales

Otra especificación que se suele dar en el caso de los amplificadores estereofónicos es la **separación de canales (crosstalk)**, también denominada diafonía. Esta especificación describe en qué medida aparece señal a la salida de un canal no excitado como consecuencia de una señal aplicada a la entrada del otro canal. La forma de determinarla consiste en aplicar señal en un canal y nada en el otro. Entonces se mide el nivel obtenido en ambos canales (en dBu o dBV), y se resta al nivel del canal no excitado el nivel del excitado. Por ejemplo, supongamos que se aplica una señal que produce a la salida un nivel de 24 dBV en el canal excitado y -40 dBV en el no excitado. Entonces la separación de canales resulta:

$$\text{Separación de canales} = -40 \text{ dBV} - 24 \text{ dBV} = -64 \text{ dB}.$$

La separación de canales es siempre un número negativo, pues es la representación logarítmica de un número menor que 1 (ya que la respuesta del canal no excitado debe ser, por lógica, siempre menor que la del excitado). Una correcta especificación de la separación de canales requiere que se indique a qué frecuencia se hizo la medición. En general se utiliza la frecuencia de 1 kHz.

9.14. Otras características

Finalmente, existe una serie de especificaciones accesorias que no hacen directamente a las prestaciones del amplificador, pero que pueden incidir en cómo se lo aplica. Entre ellas están los conectores de entrada y salida. Tipicamente, las entradas para equipos profesionales son de tipo XLR, que pueden ser balanceadas, no balanceadas o combinables entre ambas disposiciones. También se utilizan, en algunos casos, conectores tipo Jack de 1/4" (6,35 mm) para el caso balanceado de tres vías, también llamados TRS (tip - ring - sleeve, es decir punta - anillo - manga) y para el caso no balanceado de dos vías denominados TS (tip - sleeve: punta - manga). Otro conector que se utiliza es el tipo RCA, que no es balanceado. En general los amplificadores brindan más de una posibilidad para mayor flexibilidad de uso, aunque se prefiere la conexión XLR. A pesar de que el nivel de señal a la entrada de los amplificadores (el nivel de línea) el peligro de la captación de ruido en los cables no es tan severo como en señales de microfono, en sistemas en los que se pretende una gran relación señal/ruido es preferible reducir al máximo toda interferencia. La conexión de salida no se efectúa por conectores sino a través de una bornera en la cual se ajustan directamente las puntas de los cables, del tipo denominado binding post (no existe traducción elegante al castellano; podría traducirse como poste de unión). Otra especificación accesoria que tiene importancia en los amplificadores de gran potencia es el consumo de energía eléctrica. Además de indicar la tensión y la frecuencia (para la Argentina, 220 V y 50 Hz, aunque los equipos importados podrían requerir tensiones como 120 V y frecuencia de 60 Hz), se especifica la corriente máxima en amperes. Este dato se utiliza para dimensionar correctamente los cables y fichas de conexión requeridos, aunque el detalle de este dimensionamiento es demasiado técnico, siendo preferible delegarlo en personal capacitado para ello. Las dimensiones y el peso constituyen otra especificación a tener en cuenta muy especialmente, ya que amplificadores con características similares (especialmente similar potencia) pueden variar notablemente en su tamaño y peso. Es conveniente saber que los amplificadores más livianos, si bien ofrecen ventajas a la hora del traslado y la instalación, por lo general utilizan para los transistores o circuitos integrados de potencia ventilación forzada mediante ventiladores eléctricos, los cuales generan ruido que, en determinadas aplicaciones (música con intervalos de silencio o con pasajes muy suaves), resulta notorio y molesto. En este caso no es posible simplemente cubrir las aberturas de salida de aire porque el amplificador puede producir fallas de funcionamiento transitorias o permanentes, o directamente destruirse por exceso de temperatura. La solución consiste en ubicar el amplificador en una sala separada con adecuada aislación acústica.

Capítulo 10

Altavoces y Cajas Acústicas

10.1. Introducción

Para completar un mínimo sistema acústico que sea funcionalmente completo, a los micrófonos y amplificadores ya descriptos se les debe agregar algún *transductor* que transforme nuevamente la energía eléctrica en energía acústica. Ejemplos de ello son los altavoces, auriculares y auriculares. Nos ocuparemos aquí de los **altavoces** (también denominados **altoparlantes o simplemente parlantes**). Los altavoces más difundidos son los de bobina móvil, tanto para baja como para alta frecuencia. En alta frecuencia (por encima de los 5 kHz) se utilizan también los piezoelectrónicos.

10.2. Clasificación por rangos de frecuencia

Tanto en sonido de *alta fidelidad* (sonido de buena calidad para consumo familiar) como en *sonido profesional* (sonido de calidad superior para grabaciones o espectáculos) es habitual utilizar cajas acústicas que incluyen dos o más altavoces que cubren diferentes rangos de frecuencia. Así, para **bajas frecuencias**, es decir las frecuencias menores de 500 Hz, se utilizan los denominados *woofers* (cuya traducción directa sería "adrañidores"), altavoces cuyo diámetro varía entre 8" (20,3 cm) y 18" (45,7 cm) (aunque lo más común es entre 12" y 18"). Algunos *woofers* llegan hasta frecuencias de 1,5 kHz, particularmente los que se usan en sistemas de sólo dos altavoces (sistemas de dos vías). Para **frecuencias medias**, entre 500 Hz y unos 6 kHz, se utilizan los antiguamente llamados *squawkers* ("graznadores"), cuyo diámetro típico está entre 5" (12,7 cm) y 12" (30,5 cm). Finalmente, para las altas frecuencias, es decir por encima de los 1,5 kHz, y a veces por encima de los 6 kHz, se utilizan los denominados *tweeters* ("piafadores").

En sonido profesional de gran potencia, las cajas acústicas poseen un único altavoz, y se coloca una caja o más por cada rango de frecuencia, con características optimizadas para dicho rango.

10.3. Altavoces de bobina móvil

En la Figura 10.1 se ha representado un altavoz de bobina móvil típico. Está constituido por un *círcuito magnético*, formado a su vez por una base o placa posterior con un núcleo o polo central cilíndrico montado sobre su centro, un imán permanente con forma de una gran arandela, y una placa anterior con forma de arandela más pequeña. Entre el polo central y la placa anterior queda un espacio de aire denominado *entrehielo*, sobre el cual existe un poderoso campo magnético. En dicho entrehielo se aloja la bobina, la cual se halla montada sobre un tubo de papel que la comunica con el cono.

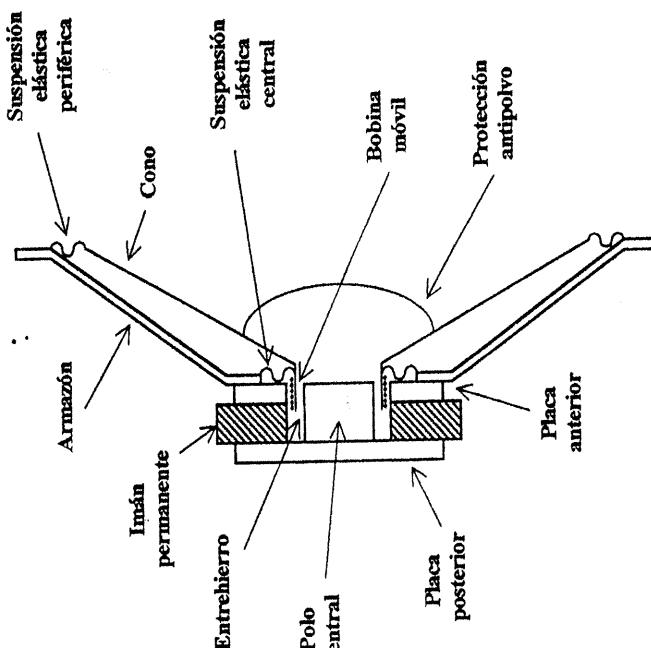


Figura 10.1. Corte transversal de un altavoz de bobina móvil típico, en donde se indican sus partes funcionales más importantes.

Como la bobina está inmersa en un campo magnético, al circular por ella la corriente eléctrica se genera una fuerza que le imprime movimiento (en el capítulo 23 se encontrarán más detalles sobre la interacción eléctrica y magnética). Dicho movimiento se transmite al cono o *diaphragma*, y éste actúa entonces como una especie de pistón, impulsando el aire hacia afuera o hacia adentro según la polaridad de la tensión aplicada a la bobina. Este proceso genera sucesivas ondas de compresión y rarefacción del aire que, tal como se explicó en el capítulo 1, se propagan como sonido. La forma cónica del diafragma es

únicamente para darle mayor rigidez sin aumentar la masa. Si se le diara forma de disco o plato, sería muy difícil evitar que se deformara, y el resultado sería deficitario.

El funcionamiento es, esencialmente, el de un *motor lineal*, es decir un motor cuyo desplazamiento es a lo largo de una línea recta y no en forma rotativa. Como se puede apreciar, estructuralmente es bastante similar a un *microfófono*. De hecho algunos altavoces pequeños pueden invertir su operación y en lugar de transformar energía eléctrica en acústica, pasan a transformar energía acústica en eléctrica, comportándose como microfonos. Es el caso de los intercomunicadores o los porteros eléctricos, cuyo altavoz cumple también la función de microfófono.

La estructura anterior se conoce como altavoz de radiación directa, y resulta satisfactoria sólo para baja frecuencia, particularmente cuando la longitud de onda es mayor que el diámetro del altavoz (recordemos que la longitud de onda disminuye con la frecuencia). Así, para un altavoz de 15" (38,1 cm), el límite superior está en el orden de unos 900 Hz.

En alta frecuencia aparecen varios problemas. En primer lugar la inercia del cono dificulta los movimientos rápidos requeridos para crear sonidos de alta frecuencia. En segundo lugar el cono deja de vibrar como un todo y pasa a ondularse, existiendo zonas del mismo que sobresalen mientras otras se hunden. Las que sobresalen crean una presión sonora positiva mientras que las que se hunden crean una presión negativa. Estas presiones tienden a cancelarse mutuamente, provocando por lo tanto una reducción de la energía sonora irradiada. El grado en que se produce esta cancelación depende mucho de la dirección en la cual se mida el campo sonoro, lo cual crea a su vez un patrón direccional muy irregular. En términos prácticos, esto implica que al desplazar el oído lentamente frente al altavoz, las altas frecuencias aumentan y disminuirán su intensidad, provocando a su vez sonoridades más metálicas o más opacas, lo cual constituye un defecto acústico que atenta contra la calidad de reproducción de la música.

10.4. Excitadores de compresión

En vista de los inconvenientes anteriores, para los altavoces de alta frecuencia se utiliza una variante de la estructura anterior, denominada excitador de compresión (*compression driver*) que se muestra en la Figura 10.2. El nombre se debe a que el excitador genera presiones sonoras muy elevadas, que luego son llevadas a los valores normales mediante una bocina (*Figura 10.3*), que opera como *adaptador de impedancia acústica*. En efecto, por el pequeño tamaño requerido para un altavoz de alta frecuencia, las vibraciones del excitador son pequeñas, y cuencia, que es del orden de algunos cm, las vibraciones del excitador son pequeñas, y sin embargo la presión generada (por funcionar en compresión) es muy alta. Esto es característico de una *alta impedancia acústica*. En cambio en el aire ambiental, la presión es mucho menor pero las vibraciones son grandes, lo cual es semejante de *baja impedancia acústica*. Si no se utilizará un adaptador de impedancia, la potencia acústica radiada sería mucho menor y el sistema perdería rendimiento. La adaptación se logra por medio de un crecimiento gradual de la sección de la bocina.

En la Figura 10.2, vemos que, al igual que en los altavoces de radiación directa, existe un diafragma impulsado por una bobina inmersa en el campo magnético de un imán, pero dicho diafragma tiene forma de cúpula en lugar de ser cónico. Inmediatamente debajo del diafragma, existe un elemento corrector de fase, también con forma de cúpula, pero con perforaciones internas que comunican con la garganta del excitador

(driver). Este elemento permite compensar las diferentes distancias que debe recorrer el sonido desde los distintos puntos del diafragma hasta la garganta, evitando cancelaciones del sonido similares a las ya mencionadas.

Como se indicó anteriormente, para mejorar el rendimiento de este tipo de altavoces se debe utilizar un acoplamiento entre el excitador y el aire ambiental que se materializa mediante una bocina atornillada sobre la cubierta del excitador (driver), como se muestra en la Figura 10.3. La forma más típica de estas bocinas es la exponencial, y la vista frontal (desde adelante) suele ser rectangular. Una característica asociada a las bocinas es, según veremos, que son mucho más direccionales que los altavoces de radiación directa.

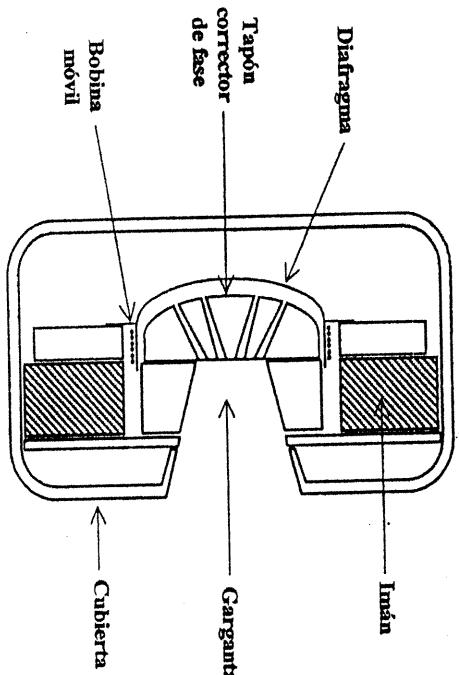


Figura 10.2. Un excitador de compresión (*compression driver*) que es el elemento motor de un tweeter.

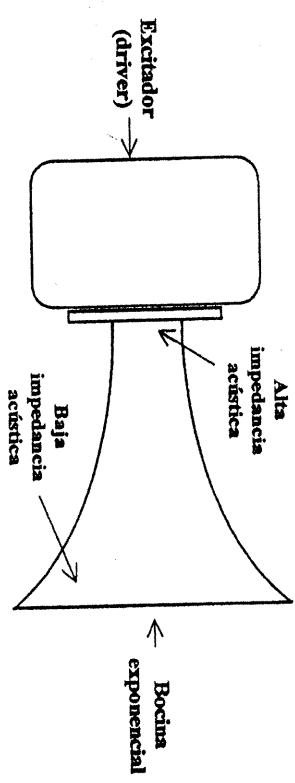


Figura 10.3. Un excitador de compresión acoplado al ambiente por medio de una bocina exponencial.

10.5. Cajas acústicas

Tal como dijimos anteriormente los altavoces se montan en cajas acústicas, cuyo objeto es mejorar las características de la radiación sonora, así como facilitar la manejabilidad y proteger a los excitadores. Refiriéndonos a los altavoces de radiación directa, veremos que si en un instante determinado el cono se desplaza *hacia afuera*, se producirá una *compresión del aire* que se encuentra *delante* del altavoz y en cambio se producirá una *descompresión del aire* que se encuentra *detrás* (Figura 10.4). Esto crea lo que se denomina un dipolo acústico, y conduce a un *patrón direccional irregular*, además de un menor rendimiento sonoro. El agregado de una caja acústica, o *sonodector*, o *baffle*, permite corregir este problema.

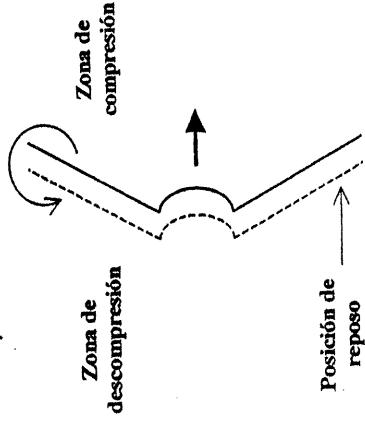


Figura 10.4. Un altavoz de radiación directa sin caja acústica provoca al mismo tiempo zonas de compresión y de descompresión que producen cancelaciones de sonido.

Existen varios tipos de baffles. El baffle conceptualmente más simple consiste en montar el altavoz al ras de una pared sobre un agujero perforado en ésta, de tal manera que las ondas de compresión y descompresión no puedan mezclarse. Este tipo de baffle se denomina *baffle infinito* (o *sonodector infinito*), y permite aprovechar la totalidad de la onda radiada por el altavoz. Si bien teóricamente es uno de los mejores sistemas, por cuestiones de orden práctico su aplicación en general no es factible, ya que se requiere un espacio inutilizado inconvenientemente grande detrás de la pared.

El segundo tipo de baffle es el *baffle cerrado* (Figura 10.5a). Este baffle utiliza una caja recibidora interiormente con material absorbente, de modo que su interior se comporta como un espacio abierto. El resultado es similar al de un baffle infinito. Estos baffles sólo se utilizan en sistemas de pequeña potencia, y frecuencia relativamente alta, dado que en la práctica los materiales absorbentes tienen bajo rendimiento para los graves.

El tercer tipo es el *baffle abierto o baffle ventilado*, que es el más ampliamente utilizado para las cajas de bajos. Hay a su vez varios tipos de baffles ventilados. En el

más sencillo, el denominado *reflector de bajos*, se ilustra en la Figura 10.5b. En este baffle se iradian dos ondas. La primera es la creada por la onda de compresión de la cara externa o delantera del cono, que es radiada en forma directa. La segunda es la creada por la onda de descompresión de la cara interna o posterior del cono, que sale por la abertura o boca del baffle. Si esta onda saliera en forma inmediata al exterior, por estar en *contrafase* respecto a la onda de compresión (es decir por ser opuesta) se cancelaría con aquélla, dando un sonido resultante muy débil. Pero se la hace recorrer cierta distancia antes de salir, de manera que cuando sale, la otra onda ya pasó a ser de descompresión, y entonces las dos están en fase, reforzándose el sonido resultante debido a la contribución de ambas ondas. La distancia que debe recorrer la onda interna para que esto ocurra es la que recorre la onda en la mitad de un ciclo, es decir, media longitud de onda ($\lambda/2$).

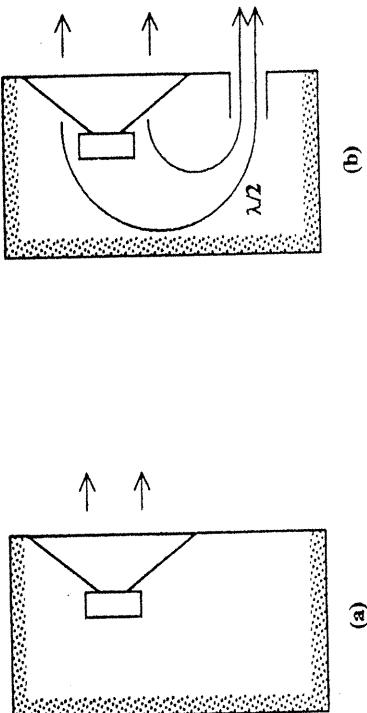


Figura 10.5. (a) Un baffle cerrado. La onda generada por la parte posterior del cono es absorbida por el recubrimiento absorbente. (b) Un baffle reflector de bajos. La onda creada por la parte posterior del cono no recorre una distancia igual a media longitud de onda antes de salir por la abertura del baffle, lo que hace que llegue en fase con la onda radiada directamente por la parte delantera del cono. La abertura incluye un tubo de retroalimentación.

Este principio tiene una limitación, y es que en realidad la longitud de onda depende de la frecuencia, por lo tanto el cambio de fase será el óptimo sólo para *una frecuencia determinada*, ya que la distancia entre el altavoz y la abertura es constante. Para otras frecuencias, puede suceder que el refuerzo sea menos pronunciado, o inclusive que, por el contrario, ambas ondas estén en contrafase, produciéndose la ya comentada cancelación con la correspondiente reducción del sonido radiado.

Para solucionar este problema se recubre interiormente el baffle con un material absorbente acústico (generalmente lana de vidrio) que se encarga de eliminar la onda creada por la parte posterior del parlante cuando ésta es de alta frecuencia. Cuando, por el contrario, la frecuencia es demasiado baja (y por lo tanto la longitud de onda demasia-

do grande), la cancelación es inevitable. Se procura que las dimensiones de la caja sean suficientemente grandes como para que las frecuencias en las que esto ocurre estén por debajo de la propia respuesta del altavoz.

Dentro de los reflectores de bajos, existe una variante para mejorar la respuesta en una muy baja frecuencia que consiste en hacer que el sonido recorra un camino más largo dentro de la caja por medio de un laberinto. Otra variante muy usada consiste en agregar un tubo hacia adentro de la abertura, denominado **tubo de sintonía**, el cual agrega una resonancia a la caja, permitiendo enfatizar sólo aquellas frecuencias para las que el recorrido de la onda sea aproximadamente $\lambda/2$. La frecuencia se elige de modo de extender la respuesta en baja frecuencia.

Finalmente, en cajas de gran potencia se suele utilizar un sistema inspirado en el acoplamiento a bocina que vimos en relación con los tweeters. El inconveniente es que para que una bocina sea efectiva, sus dimensiones deben ser comparables a la longitud de onda del sonido a reproducir. Así, la boca de la bocina debe ser al menos de un cuarto de longitud de onda, lo cual para una frecuencia de 100 Hz, por ejemplo, corresponde a unos 86 cm de diámetro. Esto significa que la longitud debería ser de algunos metros. Por esa razón se recurre a doblar sobre sí misma la bocina, obteniéndose un tipo de caja denominada **folded horn** (bocina plegada), que se muestra en la Figura 10.6.

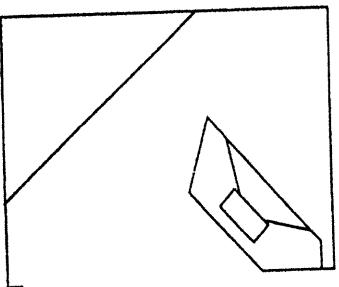


Figura 10.6. Un baffle de bocina para bajas frecuencias. La bocina se encuentra plegada sobre sí misma de modo de reducir el espacio requerido. Por esa razón se suele denominar **folded horn**.

Este tipo de cajas en general tiene mayor rendimiento que los reflectores de bajos, y por ello suelen emplearse en sistemas de gran potencia, donde el consumo general de energía es una consideración importante.

En lo que sigue, abordaremos las especificaciones que se proporcionan habitualmente para los altavoces y cajas acústicas, que resultan necesarias tanto en la selección de un sistema para una determinada aplicación como para el dimensionamiento y análisis del resultado que puede obtenerse en casos concretos, particularmente en la interconexión con un amplificador dado.

10.6. Especificaciones de potencia

Enfocaremos nuestra atención ahora sobre las especificaciones de potencia de los gabinetes acústicos. Existen varias formas diferentes de especificarla, cada una con distintas interpretaciones. La primera es la **potencia media máxima**, que está relacionada con el hecho de que una gran parte de la potencia que recibe un altavoz se disipa en forma de calor en la bobina, aumentando su temperatura. El máximo establecido es un valor que asegura que la bobina no se queme por exceso de temperatura. Esta especificación se suele denominar a veces **potencia RMS**, pero esta denominación es incorrecta, ya que la indicación RMS (root mean square), equivalente a valor eficaz, se aplica a tensiones (o corrientes) y *no* a potencias (recordar que el valor eficaz de una tensión que varía en el tiempo es un valor constante de tensión capaz de entregar a una carga dada la misma potencia media que la tensión variable).

La segunda especificación de potencia es la **potencia de programa máxima**. Este valor, que no siempre se especifica, representa una especie de máximo para un *programa musical típico*, y tiene en cuenta dos cosas: primero, que dicho máximo es de duración relativamente corta, y segundo, que la mayor parte del tiempo los valores de potencia son considerablemente menores que dicho máximo. Lamentablemente, no se encuentran normalizado lo que se entiende por "programa musical típico", razón por la cual el valor es sólo indicativo y no demasiado útil. En general es mucho mayor que la potencia media máxima, pudiendo ser del orden del doble. Así, un altavoz de 100 W de potencia de programa máxima puede ser que admita 200 W de potencia de programa máxima (pero debido a la falta de normalización comentada, esto no puede garantizarse).

La tercera especificación de potencia es la **potencia de pico máxima**, que corresponde al *máximo valor instantáneo de potencia que puede aplicarse durante un tiempo muy corto*. Este valor está relacionado con otra limitación de los altavoces, que es el máximo recorrido, o excursión, de la bobina sin que se destruya el diafragma o cono (lo que habitualmente se denomina *deseñado del altavoz*). La razón para aplicar la potencia durante un tiempo *muy corto* es evitar que la bobina se caliente excesivamente, desmayándose por sobrecalentamiento antes de que se pueda destruir por ruptura del diafragma.

Por último, existe un procedimiento de medición normalizado por la EIA (Electronic Industries Association: Asociación de Industrias Electrónicas) que tiene en cuenta tanto la potencia media (limitaciones térmicas) como la potencia de pico (limitación de excursión), mediante la aplicación de una señal creada para ese fin y que se encuentra estandarizada. El valor de potencia **máxima EIA** indica valores promedio, y aumentándola en un factor de 4 se obtiene el pico máximo.

Como advertencia final, cabe mencionar que para equipos de consumo, como radiodifusores o minicomponentes, se suele indicar un valor de potencia **PMPO**, que representa una especie de valor de pico durante un tiempo extremadamente corto, y que da valores muchísimo mayores que lo que realmente admite el correspondiente altavoz. Dicha especificación es, en realidad, poco honesta, porque aprovecha como estrategia de venta el atractivo que ejercen los equipos de gran potencia en los aficionados, inflando exageradamente los valores y proporcionando cifras engañosas (además es una especificación del parlante y no del amplificador que lo alimenta).

Los valores anteriores permiten dimensionar el amplificador necesario para un determinado altavoz o caja acústica. A fin de establecer un criterio para tal dimensiona-

miento, tengamos en cuenta que cualquier amplificador puede ser llevado a la saturación con una señal de entrada suficientemente alta. La saturación es sinónimo de *recorte* (clipping), lo que significa que la señal de salida, al no poder seguir aumentando, será recortada, tal como se muestra en la Figura 10.7. Por otra parte, el peor caso de recorte tiene cuando la amplitud ideal de salida (es decir si no existiera el recorte) es mucho mayor que el nivel de recorte, como se muestra en la Figura 10.8. En ese caso la onda de salida se parece mucho a una onda cuadrada. Si comparamos una señal senoidal y una onda cuadrada de igual amplitud, resulta que la *potencia de la onda cuadrada es el doble que la potencia de la onda senoidal*. Esto significa que si se aplica una señal senoidal

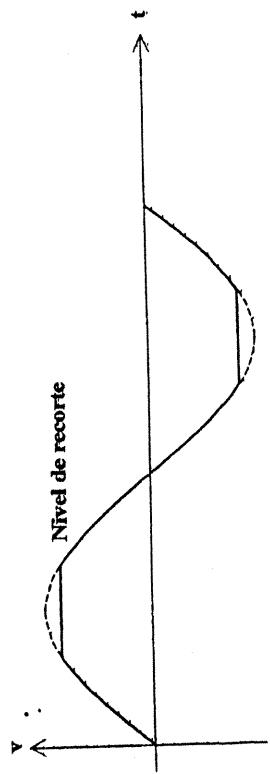


Figura 10.7. Una onda senoidal recortada por saturación del amplificador de potencia. En línea de trazos se ve la parte recortada.

de entrada de tal modo que la salida esté a punto de recortar (pero no recorta), proporcionando 100 W a la carga, una señal de entrada mucho más grande hará que la salida sea casi una onda cuadrada, entregando a la carga 200 W y no 100 W.

La consecuencia de lo anterior es que al distorsionar el amplificador entrega a la carga *más potencia* que la prevista, y ello implica que la carga, es decir el altavoz, puede destruirse. En consecuencia, *hay que asegurarse de que la potencia del amplificador no sea menor que la mitad de la potencia de pico máxima del altavoz o caja acústica*. El valor resultante de este criterio normalmente resulta *mayor* que la *potencia media máxima*. Si con este sistema fueran a reproducirse señales artificiales, como una onda senoidal de gran duración y gran amplitud, ciertamente se pondría en peligro el altavoz. Normalmente, por el contrario, lo que se utiliza son señales musicales, para las cuales el límite es la *potencia de programa máxima*, por lo cual ese inconveniente no se producirá. El segundo criterio a aplicar (junto al anterior) es que el amplificador debería ser capaz de entregar una potencia similar a la *potencia de programa máxima*, para evitar distorsiones al utilizar las cajas cerca de sus prestaciones máximas.

Por ejemplo, una caja de 4 Ω que admite 250 W de potencia media máxima 400 W de potencia de programa máxima y 900 W de potencia de pico máxima, podrá ser utilizada con un amplificador de 400 W de potencia máxima sobre 4 Ω, ya que no se supera en ningún caso la potencia de pico, y tampoco producirá recortes con señales musicales típicas.

10.7. Impedancia nominal

Pasemos ahora a otra especificación fundamental de los altavoces o cajas acústicas: la **impedancia nominal**. Para comprender el alcance preciso de este dato, tengamos en cuenta que un altavoz sin montar en una caja acústica posee cierta frecuencia de resonancia para la cual la impedancia es máxima. Por encima de dicha frecuencia la impedancia decrece, llega a un mínimo, y luego aumenta nuevamente, según se muestra en la Figura 10.9. Dicho mínimo sería la **impedancia nominal**. El máximo puede ser unas

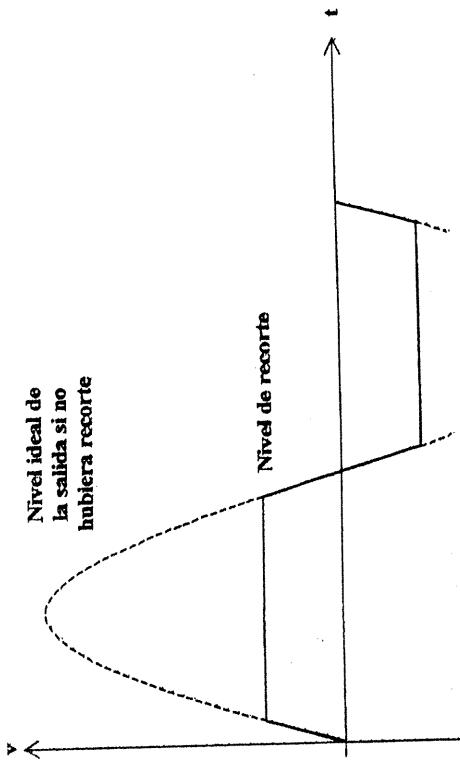


Figura 10.8. Una onda senoidal recortada fuertemente por la saturación del amplificador de potencia. En línea de trazos, la onda senoidal ideal. Se puede observar cómo la onda resultante se parece más a una onda cuadrada.

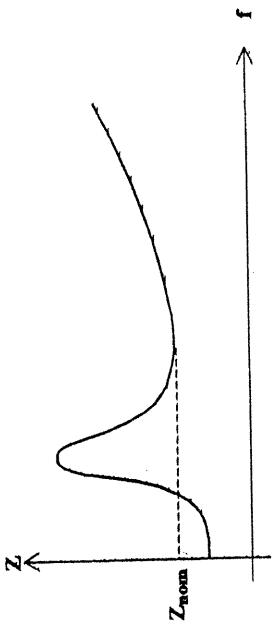


Figura 10.9. Curva de la impedancia de un altavoz sin montar, en función de la frecuencia de la señal que se le aplica. La **impedancia nominal** es la impedancia mínima después de la resonancia.

4 ó 5 veces mayor que la impedancia nominal. En realidad, la curva anterior se modifica cuando el altavoz se monta en un gabinete o caja acústica, debido a la influencia del gabinete sobre las características mecánicas del altavoz. A esto se agrega el hecho de que muchas veces en un mismo gabinete se incluyen dos o más altavoces de diferentes rangos, por lo que las curvas de impedancia de todos ellos se combinan para dar una curva compuesta que puede incluir varias resonancias, como se muestra en la Figura 10.10.

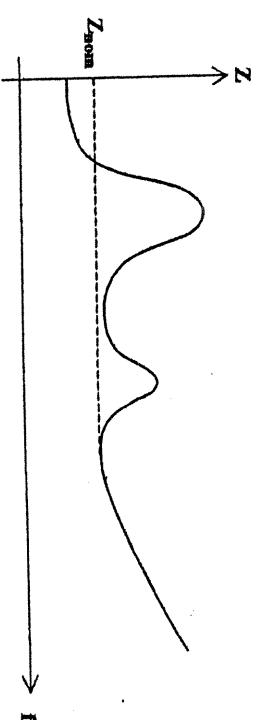


Figura 10.10. Curva de la impedancia de una caja acústica de dos vías, en función de la frecuencia de la señal que se le aplica. La impedancia nominal es la impedancia mínima después de las resonancias.

En la mayoría de los casos se puede esperar razonablemente que la impedancia nominal sea la impedancia medida a una frecuencia de 1 kHz, aunque ello no es una definición sino una observación empírica de diversas cajas acústicas.

La impedancia nominal puede ser utilizada para hacer cálculos de potencia, ya que donde se da el mínimo la impedancia equivalente es de tipo resistivo, es decir que no hay desfasaje entre la tensión y la corriente, y entonces valen las expresiones de la potencia vistas oportunamente.

10.8. Sensibilidad

La siguiente especificación es la sensibilidad (sensitivity), y está relacionada con el nivel de presión sonora que se puede obtener de la caja acústica con una dada potencia. Se define como el nivel de presión sonora a 1 m de distancia (sobre el eje) cuando se aplica una potencia eléctrica de 1 W. A veces se especifica directamente como nivel de presión sonora (SPL) a 1 m y 1 W, sin utilizar la palabra "sensibilidad".

A partir de este valor se puede determinar el nivel de presión sonora a la misma distancia con cualquier potencia. Consideremos, por ejemplo, una caja de 200 W cuya sensibilidad es de 95 dB, y supongamos que queremos saber el nivel de presión sonora a una potencia de las tres cuartas partes de la nominal, es decir, 150 W. Entonces el incremento del nivel de presión sonora en dB será

$$\Delta \text{NPS} = 10 \log_{10} \frac{150 \text{ W}}{1 \text{ W}} \cong 22 \text{ dB},$$

de donde el nuevo nivel de presión sonora (a 1 m de distancia) será

$$\text{NPS} = 95 \text{ dB} + 22 \text{ dB} = 117 \text{ dB}.$$

No es tan sencillo determinar el nivel de presión sonora a una distancia diferente de 1 m, ya que no depende sólo del baffle sino de las características acústicas del ambiente en donde se lo utiliza. En realidad, la medición de la sensibilidad debe realizarse en una cámara anechoica, es decir en una sala en la cual por medio del recubrimiento de todas sus superficies con materiales de gran absorción acústica se han eliminado casi totalmente los échos o reflexiones del sonido. A falta de una cámara anechoica (que es un ambiente muy costoso y por consiguiente pocos laboratorios la poseen), la medición se efectúa al aire libre, lejos de toda superficie y procurando que el ruido ambiente sea bajo. Cuando se hace funcionar el baffle en un ambiente acústico con reflexiones, tal como cualquier habitación o sala normal, la presión sonora es el resultado del campo directo (sonido proveniente del baffle) y del campo reverberante (sonido proveniente de las múltiples reflexiones). A una distancia de 1 m podemos aceptar que predomina el campo directo, por eso es que el verdadero nivel de presión sonora prácticamente coincide con la sensibilidad, pero no sucede lo mismo a distancias mucho mayores.

Es posible estimar la variación del nivel de presión sonora al pasar de una distancia de 1 m a una distancia cualquiera d mediante la siguiente fórmula:

$$\Delta \text{NPS} = 10 \log_{10} \frac{\frac{Q}{4\pi d^2} + \frac{4(1-\bar{\alpha})}{\bar{\alpha}S}}{\frac{Q}{4\pi (1 \text{ m})^2} + \frac{4(1-\bar{\alpha})}{\bar{\alpha}S}},$$

donde $\bar{\alpha}$ es el coeficiente de absorción promedio, S es la superficie de la sala, y Q es el factor de directividad del altavoz, que para bajas frecuencias es 1 y para altas frecuencias depende del ángulo de cobertura de la bocina, y es en general mucho mayor que 1.

A modo de ejemplo, supongamos un salón de $15 \text{ m} \times 12 \text{ m} \times 6 \text{ m}$ con un coeficiente de absorción promedio de 0,2 y un baffle de graves (baja frecuencia) con una sensibilidad de 98 dB (a 1 m y 1 W), excitado con una potencia de 100 W. Queremos saber qué nivel de presión sonora habrá a 6 m de distancia. Para resolverlo, teniendo en cuenta que por ser baja frecuencia tendremos $Q = 1$, y además

$$S = 2 \times 15 \times 12 + 2 \times 15 \times 6 + 2 \times 12 \times 6 = 630 \text{ m}^2,$$

sustituimos en la fórmula

$$\Delta \text{NPS} = 10 \log_{10} \frac{\frac{1}{4\pi (6 \text{ m})^2} + \frac{4 \times (1 - 0,2)}{0,2 \times 630 \text{ m}^2}}{\frac{1}{4\pi (1 \text{ m})^2} + \frac{4 \times (1 - 0,2)}{0,2 \times 630 \text{ m}^2}} = -6 \text{ dB},$$

y entonces el nivel de presión sonora será

$$NPS = 98 \text{ dB} + 10 \log_{10} \frac{100 \text{ W}}{1 \text{ W}} - 6 \text{ dB} = 112 \text{ dB}$$

Si no hubiera reflexiones ($\alpha = 1$), es decir si ubicáramos el altavoz al aire libre o en una cámara anecoica, el resultado sería

$$\Delta NPS = 10 \log_{10} \frac{(1 \text{ m})^2}{(6 \text{ m})^2} = -16 \text{ dB},$$

y entonces

$$NPS = 98 \text{ dB} + 10 \log_{10} \frac{100 \text{ W}}{1 \text{ W}} - 16 \text{ dB} = 102 \text{ dB}.$$

Vemos que la existencia de reflexiones en este caso aumentó el nivel sonoro en **10 dB**. Hay que aclarar que en el caso de altas frecuencias, el aumento es menor, ya que en primer lugar el factor de directividad Q es mucho más alto que 1, y en segundo lugar la absorción sonora para alta frecuencia es mayor, de modo que la diferencia no es tan grande, y hasta puede ser insignificante.

10.9. Respuesta en frecuencia

La siguiente especificación es la respuesta en frecuencia. Nuevamente, cabría aquí distinguir la respuesta en frecuencia de los altavoces individuales de la respuesta en frecuencia de una caja acústica, ya sea que conste de un solo altavoz o de varios de ellos cubriendo diversos rangos. La respuesta en frecuencia es una gráfica que indica cómo varía la sensibilidad del altavoz o baffle con la frecuencia (Figura 10.11). De todos los componentes de audio, probablemente sea el altavoz el más imperfecto, y por ello comúnmente la respuesta en frecuencia resulta más irregular que la del micrófono y mucho más que la del amplificador. Así, no son raras fluctuaciones de hasta 10 dB dentro de la

banda de paso (es decir la región de frecuencias donde el altavoz es efectivo). El uso de adecuados diseños en la caja acústica puede atenuar dichas fluctuaciones, pero las mismas siempre existirán en menor o mayor grado. Otra manera de especificar la respuesta en frecuencia es como rango de frecuencias, por ejemplo:

$$40 \text{ Hz a } 18 \text{ kHz, } \pm 3 \text{ dB}.$$

Esta especificación brinda menos información, pero a menudo es suficiente para seleccionar un componente.

10.10. Direccionalidad

La sensibilidad de un baffle también fluctúa con la dirección, debido a fenómenos de interferencia o cancelación entre las ondas provenientes de distintos puntos del diafragma, en el caso de los altavoces de radiación directa, o debido al patrón direccional de la bocina en los otros casos. A esto se agrega la propia interferencia del gabinete, especialmente notoria en altas frecuencias, para las cuales la longitud de onda entra en competencia con su tamaño. Todo esto da origen a un determinado patrón direccional, según se aprecia en el ejemplo de la Figura 10.12. En realidad hay un diagrama direccional horizontal (Figura 10.12) y otro vertical (Figura 10.13), ya que los baffles no son simétricos. En ambos casos los diagramas respectivos corresponden a mediciones efectuadas en una cámara o sala anecoica (sin eco).

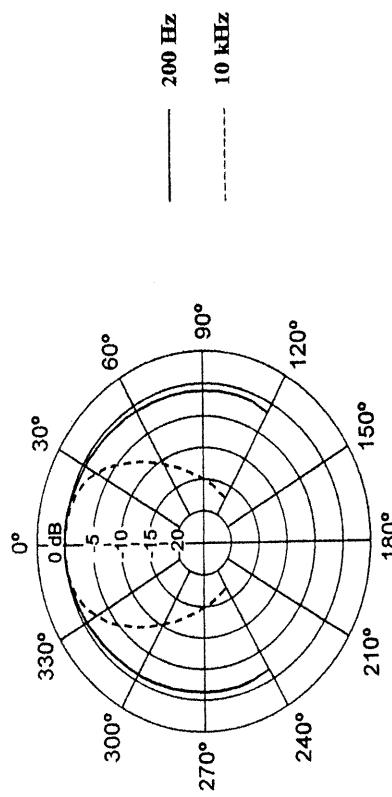


Figura 10.12. Diagrama direccional de un baffle en el plano horizontal. El patrón polar resulta simétrico por la simetría horizontal del baffle, y en alta frecuencia es muy unidireccional.

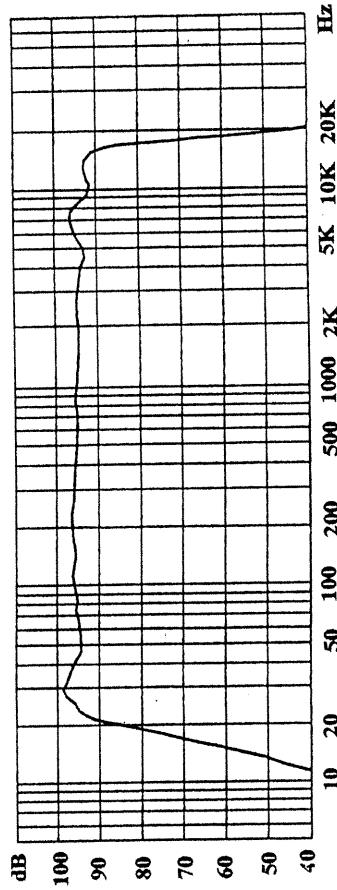


Figura 10.11. Respuesta en frecuencia de una caja acústica.

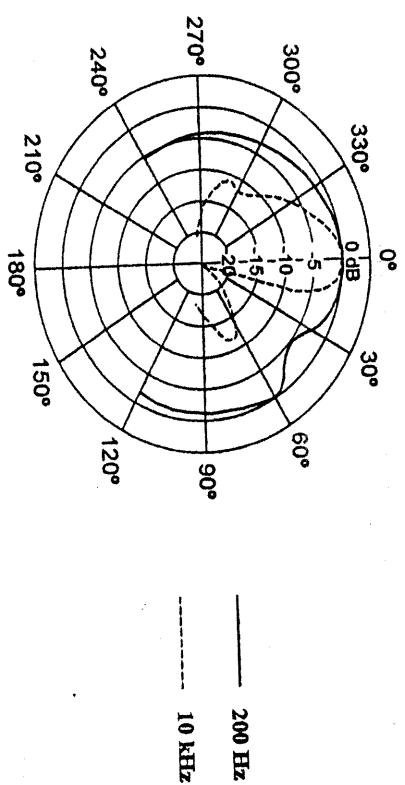


Figura 10.13. Diagrama direccional de un baffle en el plano vertical. El patrón polar es muy asimétrico y la asimetría se profundiza en alta frecuencia.

Capítulo 11

Filtros y ecualizadores

Hasta ahora hemos estudiado dos tipos de procesadores de señal: los *transductores*, que transforman señales de un tipo de energía en otro (microfonos y altavoces) y los *amplificadores*, que modifican (aumentan) la amplitud o nivel de la señal. Ahora estudiaremos los *filtros*, procesadores que actúan modificando el *spectro de la señal*.

La utilización de filtros en el equipamiento electrónico es muy amplia y abarcativa, ya que son muchas las situaciones en que se requiere acentuar o atenuar determinadas frecuencias. Internamente, por ejemplo, aparecen filtros a la entrada de los diversos procesadores para evitar la presencia de señales de muy baja o muy alta frecuencia que sin ser útiles implican el agregado de ruido al sistema. También es necesario filtrar la señal que se envía a un cabezal de grabación magnética para *preenfatizar* las bajas frecuencias, que por la naturaleza propia del sistema de grabación se graban más débilmente. Técnicas parecidas se utilizaban en los discos de vinilo tradicionales. También se emplean filtros para separar la señal en sus componentes espectrales de baja, media y alta frecuencia dentro de los gabinetes acústicos de múltiples vías. Finalmente, podemos mencionar los filtros "antialias" y de "suavizado" que se utilizan en audio digital (desarrollados más adelante).

Desde el punto de vista del usuario, existen varios ejemplos de aplicación de filtros: los *filtros pasajeros* o *pasabajos* que opcionalmente pueden intercalarse en las entradas de algunas consolas para evitar el ingreso de ruidos de muy baja o muy alta frecuencia, las *redes divisoras de frecuencia* (*crossover*) utilizadas en los sistemas de bi-o triamplificación, y los *ecualizadores*, que permiten corregir deficiencias en la respuesta en frecuencia de un sistema.

11.2. Filtros pasabajos y pasajeros

Los filtros pasabajos (PB) son dispositivos que, intercalados en el camino de la señal, permiten pasar todas las frecuencias que están por debajo de cierta frecuencia llamada **frecuencia superior de corte**, bloqueando en cambio las frecuencias superiores a la misma. En la práctica, los filtros pasabajos reales *no bloquen totalmente* las altas frecuencias, sino que las atenúan a razón de una cierta cantidad de dB por octava. Los va-

lores típicos de atenuaciones son **-6 dB/oct**, **-12 dB/oct** y **-18 dB/oct** (ver Figura 11.1).

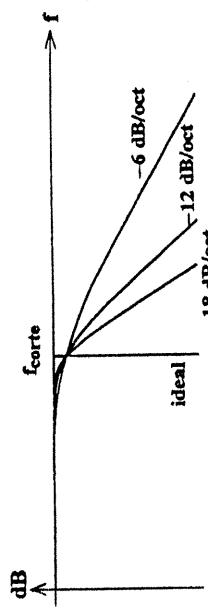


Figura 11.1. Respuesta en frecuencia de un filtro pasabajos ideal y de tres pasabajos reales con diferentes pendientes de corte.

Los filtros pasabajos se utilizan con frecuencias de corte que varian entre **3 kHz y 20 kHz**. Se aplican para eliminar ruido de alta frecuencia en señales de banda limitada. Por ejemplo, una señal grabada con un micrófono con respuesta en frecuencia hasta 12 kHz podría contener ruido de cinta de frecuencias mayores de 12 kHz, que sería deseable eliminar. Un caso típico puede ser cuando se graba una voz o una percusión grave. Si bien la señal original no contiene frecuencias más allá de 8 kHz, en el proceso de grabación se agrega ruido que de no eliminarse, incrementaría el ruido de alta frecuencia innecesariamente.

Los filtros pasaaltos (PA) cumplen la función opuesta a la de los pasabajos: intercalados en el camino de la señal bloquean las frecuencias menores que la frecuencia **inferior de corte**, dejando intacta la señal por encima de dicha frecuencia. Igual que los pasabajos, los pasaaltos reales permiten hasta cierto punto el paso de las bajas frecuencias atenuadas. En la ver Figura 11.2 se ilustra esta situación. Los filtros pasaaltos

de este tipo que puede intercalarse a la entrada reduciendo el ruido sin alterar el material de programa. La frecuencia de corte suele estar entre **20 Hz y 100 Hz**.

11.3. Redes divisoras de frecuencia

Cuando estudiamos los altavoces, vimos que existían unidades fabricadas para cubrir rangos limitados de frecuencia, debido a las dificultades contrapuestas inherentes al comportamiento de un altavoz en alta y baja frecuencia. Por este motivo era necesario cubrir con un sistema de dos o más altavoces el rango de frecuencias completo de la señal de audio.

Cada altavoz del sistema responde, acústicamente, a la porción de la señal comprendida en su rango de frecuencias específico, pero **eléctricamente** responde a todo lo que recibe. Por consiguiente, si enviaríramos toda la señal a cada altavoz, no sólo se estaría desperdiriendo potencia eléctrica, sino que a demás se estaría sometiendo a los altavoces a una gran sobrecarga. Por esta razón es necesario efectuar una separación de la señal en rangos de frecuencia según los altavoces a utilizar. Esta separación se realiza mediante **redes divisoras de frecuencia**, o **redes crossover**.

En el caso de sistemas de pequeña o mediana potencia, los gabinetes acústicos contienen dos o tres altavoces juntos, cubriendo los diferentes rangos de frecuencia, y la red crossover correspondiente es de tipo pasivo (es decir, construida utilizando capacidores y bobinas). En este caso el gabinete recibe una única señal de potencia, proveniente de un solo amplificador, y la división se efectúa, a nivel de potencia, en el propio gabinete (ver Figura 11.3). En el caso de grandes potencias (típicamente mayores de 100 W), este enfoque tiene serias dificultades. Las bobinas deberían ser de grandes dimensiones para poder administrar tanta potencia, el rendimiento de las cajas se reduciría, y deberían hacerse previsiones para desprendérse del calor generado por el recalentamiento de los componentes pasivos. Por estas razones se utiliza otro enfoque, consistente en realizar la división de frecuencias *antes* de la amplificación, y luego amplificar

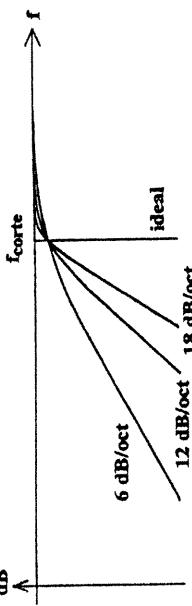
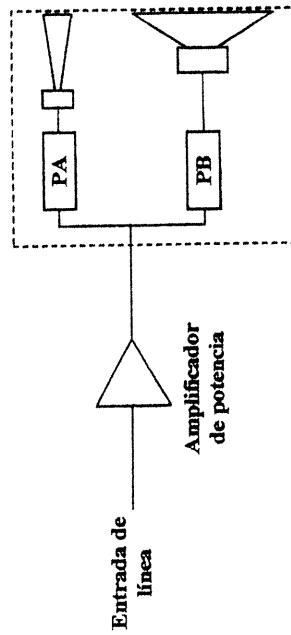


Figura 11.2. Respuesta en frecuencia de un filtro pasaaltos ideal y de tres pasaaltos reales con diferentes pendientes de corte.

se utilizan esencialmente con la misma finalidad que los pasaaltos: la eliminación de bandas de frecuencia que únicamente aportan ruido. En este caso se trata de ruido de baja frecuencia que podría provenir de vibraciones estructurales del edificio en general, de sistemas de ventilación insuficientemente insonorizados, de pasos, de la manipulación del micrófono, etc. Es bastante común que las consolas de mezcla provean un filtro opcional



Gabinete acústico

Figura 11.3. Sistema de amplificación tradicional con divisor de frecuencias pasivo en el propio gabinete. PA y PB denotan los filtros pasaaltos y pasabajos del divisor pasivo.

25

por separado cada una de las señales así obtenidas. Este esquema se denomina genéricamente **multiamplificación** (**biamplificación** en el caso de dos vías, **triamplificación** en el caso de tres, etc.), y se ilustra en la Figura 11.4.

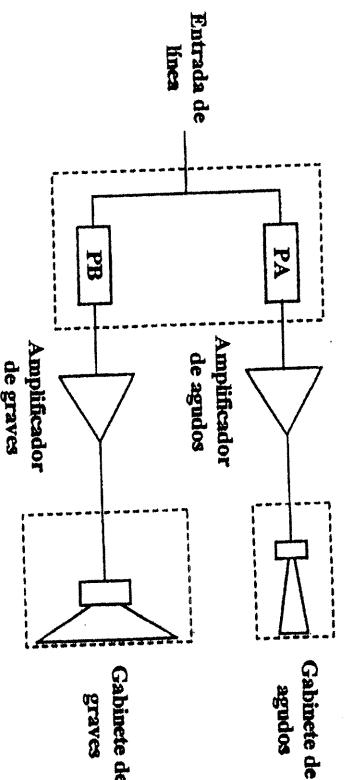


Figura 11.4. Sistema de biamplificación con divisor de frecuencias activo antes de la amplificación. PA y PB denotan los filtros pasadobles y pasabajos del divisor activo.

Los filtros utilizados en el caso de la multiamplificación son activos, es decir que contienen amplificadores, resistencias y capacitores, evitándose así el uso de las bobinas, (que en el caso anterior era imprescindible ya que un filtro activo de potencia sería de hecho más complejo y tendría menor rendimiento que la propia multiamplificación).

Los sistemas multiamplificados presentan varias ventajas frente a los tradicionales. En primer lugar, dado que la potencia se reparte en dos o más amplificadores, cada uno de ellos resulta de menor potencia que si se usara un solo amplificador. En segundo lugar, la distorsión se reduce, debido a que la distorsión en una de las vías no tiene ninguna repercusión en la otra u otras. Esto es especialmente cierto con la distorsión en los graves. En un sistema tradicional, la sobrecarga en los graves implica la generación de armónicos de alta frecuencia que pasan sin inconvenientes por el filtro pasadobles del divisor, apareciendo en los altavoces de alta frecuencia. En un sistema multiamplificado, como la división de frecuencias se realiza a bajo nivel de señal, donde no hay posibilidad de tener distorsiones severas, dichos armónicos se circunscriben al altavoz de baja frecuencia, donde tienen muy poca influencia debido a que la respuesta en alta frecuencia de dichos altavoces cae rápidamente. Se aprovecha así favorablemente una limitación del altavoz para combatir la distorsión. En tercer lugar, aunque normalmente no se ocha mano de este recurso, podrían utilizarse amplificadores de respuesta en frecuencia más restringida, con lo cual se podría optimizar el comportamiento en lo que respecta a ruido y reducir el costo del equipo, ya que no se requeriría de un amplificador de excepcionales prestaciones en toda la banda de audio sino en regiones más restringidas.

Se encuentran disponibles en el mercado redes crossover activas de diversos tipos, en las cuales es posible seleccionar la o las frecuencias de cruce, es decir las frecuencias que limitan las bandas en las que se divide el espectro de audio, así como controlar inde-

pendientemente las ganancias en cada banda, de modo de acomodarse a diferencias de sensibilidad de los diversos altavoces utilizados. Las especificaciones técnicas incluyen los parámetros habituales, relativos a respuesta en frecuencia, distorsión, impedancias de entrada y salida, relación señal a ruido, etc., para los cuales caben los mismos comentarios que para el caso de los amplificadores.

11.4. Ecualizadores

Un ecualizador permite aumentar o reducir la ganancia selectivamente en tres o más frecuencias. De este modo es posible resaltar frecuencias que estaban originalmente debilitadas, o atenuar otras de nivel excesivo. El ecualizador más sencillo es el clásico control de tono, que permite controlar según convenga tres grandes bandas fijas de frecuencia, denominadas genéricamente **graves**, **medios** y **agudos**.

Existen dos tipos de ecualizadores: los **ecualizadores gráficos** o de **bandas** (por ejemplo los ecualizadores de octava, o de tercio de octava), que poseen varias bandas fijas (normalmente entre 5 y 31 bandas), y los **ecualizadores paramétricos**, que poseen una o más frecuencias ajustables, además de otras fijas. Los más difundidos son los ecualizadores gráficos, aunque en general las consolas suelen incluir en cada canal de entrada un sencillo ecualizador paramétrico o semiparamétrico.

11.5. Ecualizadores gráficos

Analicemos primero los ecualizadores gráficos. Como ya se señaló, están divididos en bandas de frecuencia. Cada banda está centrada en una frecuencia determinada, perteneciente a una lista estándar de frecuencias seleccionadas para que la relación entre dos frecuencias consecutivas sea aproximadamente constante. Así, en los ecualizadores de bandas de octava, las frecuencias están elegidas de modo que cada frecuencia sea el doble de la anterior (ya que subir una octava equivale a multiplicar por 2). En los ecualizadores por bandas de tercio de octava, por otra parte, cada frecuencia es aproximadamente un 25 % mayor que la anterior. En la Tabla 11.1 se resumen las frecuencias estándar para ecualizadores de distintas resoluciones.

Es interesante observar que para un ecualizador de resolución dada, por ejemplo de bandas de octava, el ancho de cada banda en Hz aumenta con la frecuencia, de modo que en un gráfico con escala lineal de frecuencia, las primeras bandas están muy comprimidas (ver Figura 11.5). En un gráfico con escala de frecuencia logarítmica (el típico gráfico que se utiliza en la especificación de las respuestas en frecuencia), en cambio, el espacio es uniforme (ver Figura 11.6).

Para el ajuste de la ganancia o atenuación, los ecualizadores gráficos cuentan con un potenciómetro deslizante vertical en cada banda graduado en dB, cuya posición central o neutra corresponde a 0 dB, es decir una ganancia 1 (salida igual a la entrada). En la posición más alta se tiene una ganancia máxima típicamente de 12 dB, es decir una ganancia 4 (aunque en algunos equipos puede comutarse entre 6 dB y 12 dB, y en otros se llega hasta 18 dB), y en la posición más baja una atenuación de -12 dB (-6 dB, ó -18 dB), correspondiente a una reducción de la señal en un factor 4.

Tabla 1. Frecuencias estándar que se utilizan en los ecualizadores de bandas de octava, 2/3 de octava, 1/2 octava y 1/3 octava.

f [Hz]	1	2/3	1/2	1/3	f [Hz]	1	2/3	1/2	1/3	f [Hz]	1	2/3	1/2	1/3
20	*	*	200	*	*	*	2.000	*	*	*	*	*	*	*
22,4	*	*	224	*	*	*	2.240	*	*	*	*	*	*	*
25	*	*	250	*	*	*	2.500	*	*	*	*	*	*	*
28	*	*	280	*	*	*	2.800	*	*	*	*	*	*	*
31,5	*	*	315	*	*	*	3.150	*	*	*	*	*	*	*
35,5	*	*	355	*	*	*	3.550	*	*	*	*	*	*	*
40	*	*	400	*	*	*	4.000	*	*	*	*	*	*	*
45	*	*	450	*	*	*	4.500	*	*	*	*	*	*	*
50	*	*	500	*	*	*	5.000	*	*	*	*	*	*	*
56	*	*	560	*	*	*	5.600	*	*	*	*	*	*	*
63	*	*	630	*	*	*	6.300	*	*	*	*	*	*	*
71	*	*	710	*	*	*	7.100	*	*	*	*	*	*	*
80	*	*	800	*	*	*	8.000	*	*	*	*	*	*	*
90	*	*	900	*	*	*	9.000	*	*	*	*	*	*	*
100	*	*	1.000	*	*	*	10.000	*	*	*	*	*	*	*
112	*	*	1.120	*	*	*	11.200	*	*	*	*	*	*	*
125	*	*	1.250	*	*	*	12.500	*	*	*	*	*	*	*
140	*	*	1.400	*	*	*	14.000	*	*	*	*	*	*	*
160	*	*	1.600	*	*	*	16.000	*	*	*	*	*	*	*
180	*	*	1.800	*	*	*	18.000	*	*	*	*	*	*	*
							20.000	*	*	*	*	*	*	*

En la ver Figura 11.7 se muestra el aspecto que presentan los controles de un ecualizador de bandas de octava cuando están todos en la posición central. La respuesta en frecuencia resulta en ese caso plana en toda la banda de audiofrecuencias, como se indica en la Figura 11.8. Las caídas a uno y otro lado de dicha banda son las normales en todo equipo de audio, colocadas ex profeso para reducir el ruido fuera de la banda de interés (ya que si bien se trata de un ruido inaudible, consume potencia y resta rango dinámico a la señal útil).

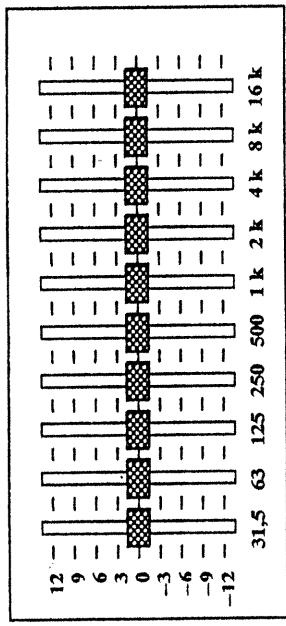


Figura 11.7. Ecualizador de bandas de octava con todos los controles en su posición central (neutra). La respuesta en frecuencia resulta plana en toda la banda de audiofrecuencia.

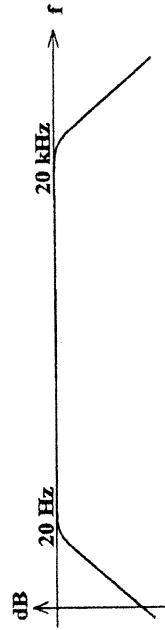


Figura 11.8. Respuesta en frecuencia de un ecualizador de bandas de octava con los controles como en la Figura 11.7.

Si se eleva una de las bandas hasta el valor máximo de 12 dB (Figura 11.9), el punto central de dicha banda se enfatizará en 12 dB, pero el resto de la banda lo hará en menor cuantía. Debido a que los filtros no son ideales, fuera de la banda habrá cierta ganancia residual que se atenúa rápidamente al alejarse de la banda (Figura 11.10).

Si, en cambio, se lleva una banda al valor mínimo de -12 dB (Figura 11.11), el punto central de dicha banda quedará atenuado en 12 dB. El resto de la banda se atenuará menos, y debido a la no idealidad habrá cierta atenuación residual aún fuera de la banda (Figura 11.12).

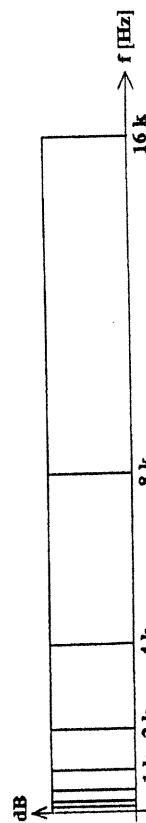


Figura 11.9. Frecuencias centrales de las bandas de octava representadas en un diagrama con eje de frecuencias lineal. Las frecuencias menores de 1 kHz no han sido rotuladas y las inferiores a 125 Hz directamente se han omitido.

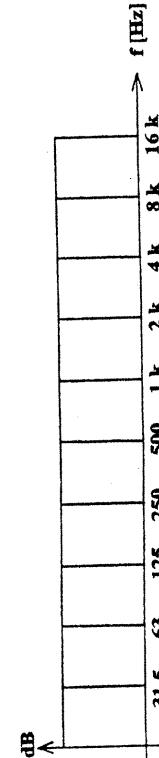


Figura 11.10. Frecuencias centrales de las bandas de octava representadas en un diagrama con eje de frecuencias logarítmico.

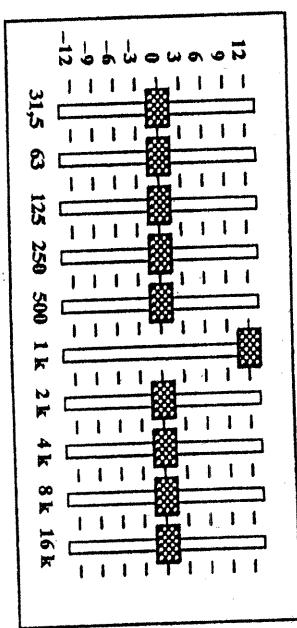


Figura 11.9. Posición de los controles después de acentuar al máximo la frecuencia de 1 kHz.

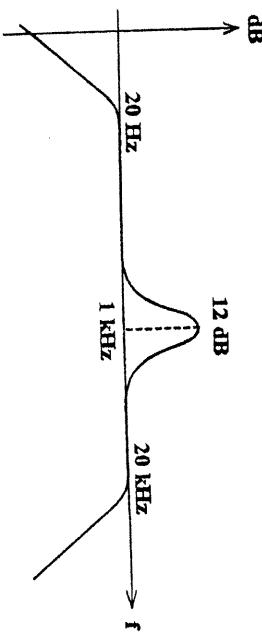


Figura 11.10. Respuesta en frecuencia de un ecualizador de bandas de octava con los controles como en la Figura 11.9 (la frecuencia de 1 kHz acentuada al máximo).

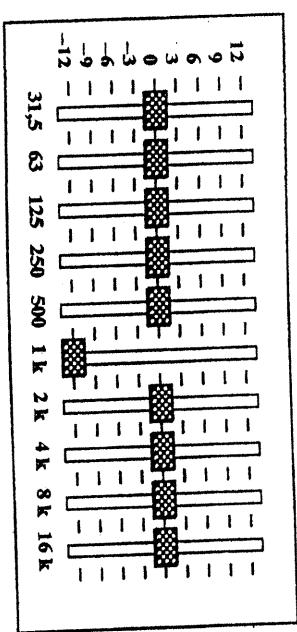


Figura 11.11. Posición de los controles después de atenuar al máximo la frecuencia de 1 kHz.

En la Figura 11.13 se muestra una ecualización más general, y en la Figura 11.14 se muestra la correspondiente respuesta en frecuencia. Se observa que la disposición de los potenciómetros deslizantes es una analogía gráfica bastante representativa de dicha respuesta en frecuencia (salvo las frecuencias muy altas y muy bajas, en donde actúan los filtros pasabajos y pasaaltos incluidos dentro del ecualizador). Esa es la razón por la que estos ecualizadores se denominan *ecualizadores gráficos*.

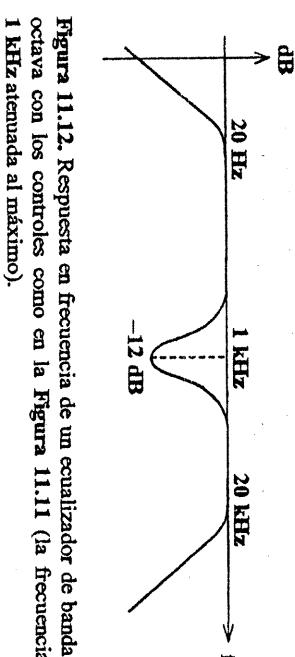


Figura 11.12. Respuesta en frecuencia de un ecualizador de bandas de octava con los controles como en la Figura 11.11 (la frecuencia de 1 kHz atenuada al máximo).

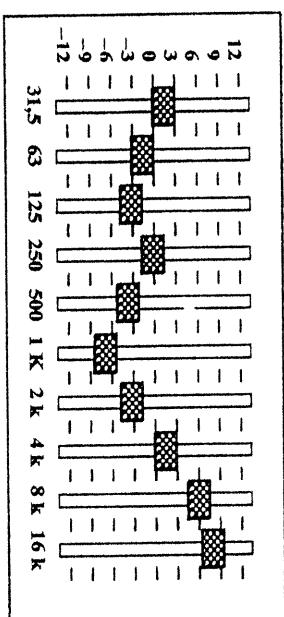


Figura 11.13. Posición de los controles después de una ecualización determinada.

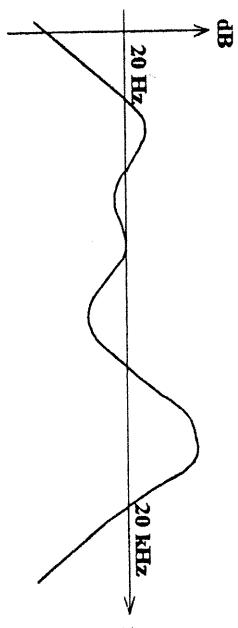


Figura 11.14. Respuesta en frecuencia de un ecualizador de bandas de octava con los controles como en la Figura 11.13.

Es importante tener en cuenta lo siguiente. Si todos los controles se elevan al máximo, idealmente se obtendría una respuesta plana entre 20 Hz y 20 kHz, con una ganancia de 12 dB, es decir 4. En la práctica se obtiene la respuesta indicada en la Figura 11.15, en la cual se aprecia la existencia de una ondulación en la curva de respuesta en frecuencia que puede alcanzar o aún superar los 2 dB. Si bien desde el punto de vista de una señal de régimen permanente (por ejemplo una senoide o una onda cuadrada de gran duración) es difícil apreciar la diferencia entre esta respuesta y la ideal, la palabra y la música (señales mucho más probables en la práctica) distan de constituir un régimen permanente, siendo más bien el resultado de una sucesión de transitorios (sonidos de corta duración). El efecto más notorio en la respuesta transitoria es la presencia de pequeños campanilleos de frecuencias cercanas a las frecuencias centrales de las bandas, que se superponen creando un ruido audible, especialmente en los sonidos cortos de tipo percusivo.

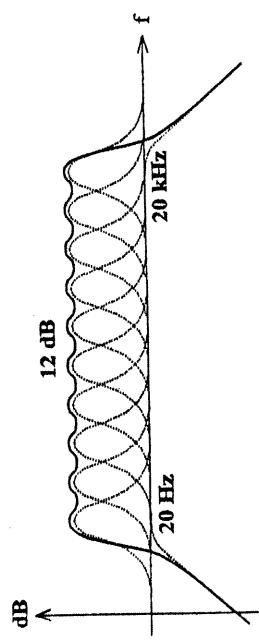


Figura 11.15. Respuesta en frecuencia de un ecualizador de bandas de octava con todos los controles en su extremo superior. En líneas de puntos se han indicado la respuesta "plana" del ecualizador y las respuestas individuales de cada banda.

Por este motivo *no es recomendable asignar al ecualizador una función que no le es propia* como es contribuir a dar ganancia a la señal. Es preferible encender esa función a alguno o algunos de los varios controles dispuestos para ajuste de nivel tanto en las consolas como en los procesadores. En realidad algunos ecualizadores de hecho poseen controles a tal fin, y es preferible utilizarlos en lugar de dar ganancia subiendo todas las bandas. Los mismos comentarios son válidos para la atenuación. Un criterio saludable para una ecualización satisfactoria es verificar que haya aproximadamente el mismo número de controles por encima y por debajo de la línea de 0 dB. De esta manera se reduce tanto el ruido de campanilleo (dependiente de la señal) como el ruido propio del ecualizador (ruido intrínseco).

En cuanto a las especificaciones de los ecualizadores gráficos, se encuentran las que son comunes a los diversos componentes de un sistema de audio: impedancias de entrada y salida, máxima salida, distorsión total armónica (con salida máxima), respuesta en frecuencia (con todos los controles en 0 dB, es decir planos), y ruido. En este caso es común especificar los valores de ruido (o de la relación señal/ruido) para varias posiciones de los controles, como ser todos en 0 dB, todos en -12 dB, y todos en 12 dB. Cores no puede suponerse, en general el ruido es menor con los controles en 0 dB.

Existen varias aplicaciones de los ecualizadores gráficos, entre las cuales pueden citarse el retoque tonal de diversos instrumentos musicales, la utilización como complemento de diversos efectos y procesadores, y la compensación de deficiencias en un sistema de audio. De todas ellas, la última es la aplicación más representativa. Para comprender la naturaleza del problema, debe observarse primero que un sistema de audio comprende no sólo los diversos micrófonos, altavoces y equipos electrónicos utilizados, sino también el ambiente acústico en el cual los mismos harán de funcionar. Cualquier de las partes involucradas puede contribuir con defectos en cuanto a la respuesta en frecuencia. Así, un amplificador puede tener algunas irregularidades leves en la respuesta en frecuencia; un micrófono tiene irregularidades importantes por encima de los 8 ó 10 kHz; una caja acústica presenta no sólo irregularidades en el patrón direccional, sino que además exhibe altibajos en su respuesta en frecuencia debido entre otras cosas a sus propias resonancias, a la imperfección de las redes divisoras de frecuencia para las distintas vías, etc. Por último, el ambiente donde se instala el equipo puede tener absorciones a diversas frecuencias que atenúan algunas frecuencias más que otras, o puede contener resonancias a determinadas frecuencias (originadas en ondas estacionarias), que podrían acentuar las señales de dichas frecuencias.

Los ecualizadores proporcionan una solución a este género de problemas, permitiendo atenuar las frecuencias que resuelvan o resaltar aquellas que son absorbidas. Para ello se intercala antes del amplificador de potencia (o de la red crossover en caso de multiamplificación) el ecualizador, que luego debe quedar instalado como parte integral del sistema.

11.6. Ecualización

Para realizar un *ajuste objetivo* del sistema es necesario utilizar un analizador de espectro en tiempo real (RTA), instrumento de medición que muestra en forma gráfica (por pantalla) el espectro de un sonido en cada instante. Más precisamente, proporciona en forma de un gráfico de barras el nivel de presión sonora en cada banda de octava o en cada banda de tercio de octava, según el tipo de analizador. En la Figura 11.16 se muestra la pantalla de un analizador de bandas de octava.

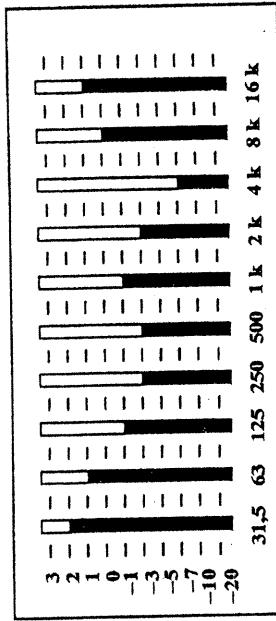


Figura 11.16. Pantalla de un analizador de espectro en tiempo real por bandas de octava. El valor 0 dB es relativo a la escala seleccionada mediante un selector.

Antes de comenzar con el proceso de ecualización se debe llevar todos los controles de la consola a su posición central. Esto significa que los controles de ganancia o atenuación deben estar en la posición en que la ganancia sea unitaria, y los controles de tono o "ecualizadores" en posición plana. Esto último es muy importante, ya que la ecualización del sistema debe considerarse como un *ajuste de referencia*, lo cual significa que se establece un punto de operación en el cual se sabe que la respuesta del sistema es plana. Si posteriormente, por necesidad, gusto, estética o cualquier otra razón se requiere modificar la respuesta en frecuencia parcial de uno o más canales, desde luego podrá hacerse.

El ajuste se lleva a cabo según el diagrama de bloques de la Figura 11.17. Se conecta a una entrada de la consola un generador de ruido rosa. Se utiliza este tipo de señal porque contiene la misma cantidad de energía en cada banda de tercio de octava, de manera que si se conectara dicha señal directamente a un analizador de espectro, se obtendría la misma indicación en todas las bandas. Luego se ubica el micrófono del analizador de espectro en la posición en la que se quiere lograr la ecualización. Esto es importante porque la ecualización puede no ser la misma en todos los puntos de una sala, especialmente si ésta tiene defectos acústicos notorios. Por último, se ajustan los controles del ecualizador de manera de tener una indicación pareja en todas las bandas del analizador de espectro.

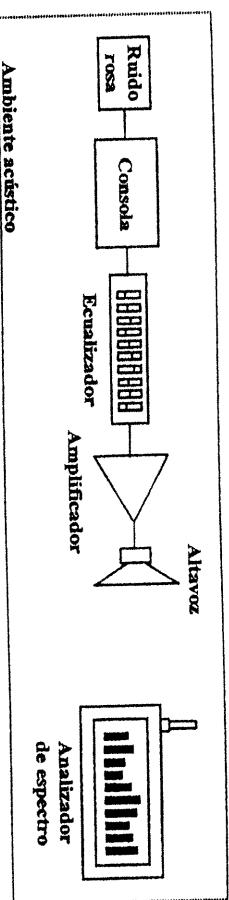


Figura 11.17. Disposición para llevar a cabo la ecualización de un sistema de sonido, incluido el ambiente acústico.

Debe advertirse que el ruido rosa es un ruido de carácter aleatorio, por lo cual varía dinámicamente. Esto implica que la imagen obtenida en la pantalla del analizador no es en realidad estática. En general los analizadores proveen varias velocidades de respuesta. En la velocidad lenta la imagen es más estable que en la rápida. De todas maneras, será necesario efectuar una pormedición visual, procurando observar alrededor de qué nivel oscila la indicación en determinada banda.

Si se debe ecualizar una sala de monitoreo de un estudio, será conveniente que la ecualización se realice en el punto en el cual se encontrará el operador, con éste presente, a fin de asegurar que las condiciones de ajuste sean lo más parecidas que sea posible a las condiciones de operación reales del sistema. Si, en cambio, se va a ecualizar una sala de concierto, deberá seleccionarse varias ubicaciones representativas, y realizar un ajuste del ecualizador que sea aproximadamente el promedio de los ajustes en dichas ubicaciones.

Finalmente, hay que advertir que el método de ecualización propuesto es un *método objetivo*, vale decir que su resultado es *una respuesta en frecuencia general plana para el sistema*. Aun cuando esto sería aparentemente lo deseable en todos los casos, ya que provee un punto de partida conocido, una referencia, muchas personas pueden no conformarse con dichos ajustes. Ello puede deberse a diversos factores: el gusto personal, la postura estética, la costumbre de haber operado durante mucho tiempo con un sistema mal ajustado, y las deficiencias auditivas que sufre toda persona que vive en una sociedad ruidosa. Estos motivos pueden llevar a que distintas personas exijan más graves, más medios o más agudos de un sistema de sonido, según el caso. Por ejemplo, podría suceder que un músico afamado requiera siempre de sus sonidistas, tanto para sus grabaciones como para sus espectáculos en vivo, una ecualización con predominio de agudos. Sus seguidores, aún cuando sus preferencias individuales pudieran ser diferentes, estarán acostumbrados a ese sonido, y no aceptarán de buen grado ecualizaciones que lo alteren, aun cuando *objetivamente* proporcionen una respuesta más plana y natural. Este ejemplo muestra el tipo de dificultades que se encuentran al intentar definir el "sonido perfecto", dificultades inherentes a cualquier definición que involucra directa o indirectamente el arte.

11.7. Ecualizadores paramétricos

Pasemos ahora a los ecualizadores paramétricos. Estos ecualizadores se diferencian de los anteriores en que en general tienen menos bandas, pero de frecuencia ajustable. Esto implica la posibilidad de ubicar en forma precisa un defecto acústico (por ejemplo una resonancia) y corregirlo. Para lograr mayor versatilidad también es posible ajustar el ancho de banda, y, por supuesto, la ganancia (como en los ecualizadores gráficos). En la Figura 11.18 se ilustra el efecto que tiene el ajuste del ancho de banda.

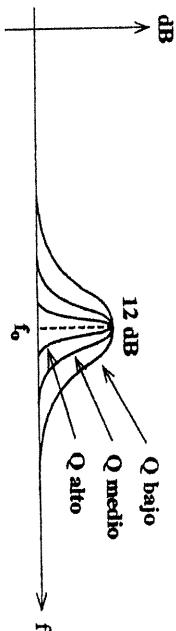


Figura 11.18. Efecto del ajuste del ancho de banda de una sección de un ecualizador paramétrico. Se muestra una única frecuencia y el control de ganancia está al máximo en todos los casos.

banda ajustable es común hablar del factor de calidad, Q , del filtro, el cual se define como

$$Q = \frac{f_0}{AB},$$

donde f_c es la frecuencia central del filtro y AB su ancho de banda. Así, cuanto más grande sea el ancho de banda, menor será Q y viceversa. Obsérvese que el factor de caidad no tiene ninguna relación con la *calidad del producto*.

Una de las aplicaciones más interesantes de los ecualizadores paramétricos es la eliminación de acoples (ver capítulo 12). Otras aplicaciones pueden ser eliminar zumbidos de línea cuyo origen es difícil de detectar, o resaltar frecuencias específicas que son excesivamente absorbidas.

Los ecualizadores paramétricos no están tan difundidos en forma de componentes separados como los ecualizadores gráficos. En cambio casi siempre se encuentra un ecualizador paramétrico o semiparamétrico (un ecualizador que permite ajustar la frecuencia pero no el Q) en cada canal de entrada de las consolas de cierta importancia. Entre los ecualizadores paramétricos externos a las consolas se encuentran dispositivos denominados **filtros notch** (o filtros muesca), en los cuales sólo es posible lograr atenuación, en lugar de atenuación y ganancia como en un ecualizador propiamente dicho. Por lo general tienen un Q bastante alto y fijo.

Las especificaciones de los ecualizadores paramétricos son similares a las de los ecualizadores gráficos, con el agregado de los rangos de ajuste de las frecuencias y del Q de cada sección.

Capítulo 12

Acoples

12.1. Introducción

Los comúnmente denominados acoples, es decir zumbidos o silbidos que suelen aparecer en los sistemas de sonido en vivo o de monitoreo, son el resultado de una **re-limentación positiva electroacústica**. Intuitivamente, son consecuencia del retardo que existe entre el instante en que el sonido abandona el altavoz y el instante en que llega al micrófono (Figura 12.1). El proceso es así: el parlante emite un sonido que demora un tiempo T en llegar al micrófono, que depende de la distancia entre el parlante y el micrófono. Al ingresar en el micrófono, es amplificado y vuelve a enviar al parlante, como un *eco* del anterior. Si la **ganancia** del amplificador no es demasiado alta, el sonido emitido por el parlante será de menor nivel que el original. Nuevamente, después de otro tiempo T , el sonido llega al micrófono y vuelve a ser amplificado y enviado al parlante, esta vez con un nivel menor todavía. El proceso se repite y el eco se atenúa cada vez más, hasta que finalmente desaparece.

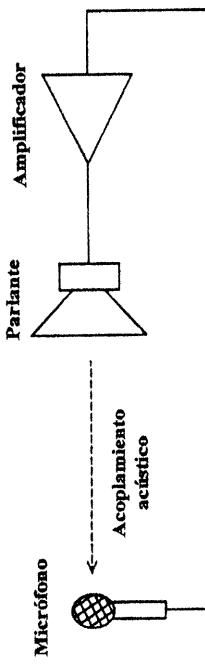


Figura 12.1. Diagrama de bloques del acoplamiento entre micrófono y parlante, causante de zumbidos o silbidos indeseados en el sistema de sonido.

Pero si la ganancia es alta, el eco será igual o mayor que el sonido original, teniendo a repetirse cada vez igual o más fuerte que el sonido original. Esto produce una **oscilación autosostenida** que se escucha como un sonido de frecuencia $f = 1/T$.

El retardo T entre la emisión del sonido y su reingreso al micrófono depende de la distancia recorrida por el sonido. Si el micrófono apunta directamente al parlante, resulta donde d es la distancia entre el micrófono y el parlante, y c es la velocidad del sonido.

Entonces la frecuencia del acople será

$$T = \frac{2d}{c},$$

Además de esta frecuencia también son posibles las frecuencias de los armónicos, es decir $2f$, $3f$, $4f$, etc. Por ejemplo, si la distancia es de 4 m, las frecuencias posibles resultan ser 43,25 Hz, 86,5 Hz, 129,75 Hz, 173 Hz, etc.

La ganancia del sistema puede variar con la frecuencia debido a la respuesta de sus componentes: el micrófono, el amplificador, o el parlante, de modo que es posible que a la frecuencia fundamental no haya ganancia suficiente para una oscilación sostenida. En ese caso, puede ocurrir que para alguno de los armónicos sí la haya, y entonces la frecuencia sea mayor que la de la fundamental.

A esto se agrega la directividad del parlante y del micrófono y la orientación relativa entre ambos, así como la presencia de superficies reflectoras cerca de cualquiera de ellos. Por ejemplo, si el micrófono es unidireccional, y su eje de máxima sensibilidad está ubicado perpendicular a la línea que lo une al parlante, la ganancia en esa dirección será muy baja, y por consiguiente no habrá acople. Pero en otra dirección, puede haber acople a través de alguna superficie reflectora (Figura 12.2), de manera que la distancia efectiva puede ser mayor. Esto puede ocurrir por ejemplo con micrófonos cercanos al suelo, o aquellos que toman una guitarra en las proximidades de la caja. Si la superficie reflectora es ligeramente cóncava, también es posible que ésta concentre las ondas sonoras sobre el micrófono, aumentando la ganancia efectiva.

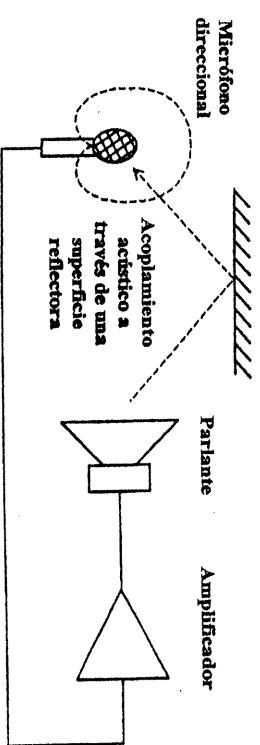


Figura 12.2. Ejemplo de un acoplamiento entre micrófono y parlante a través de una superficie reflectora cuando el micrófono es direccional (en el ejemplo, de tipo cardioide).

Por todo lo anterior, es casi imposible predecir la frecuencia de un acople antes de poner en marcha el sistema. Los enfoques más habituales para intentar resolver este problema son:

- a) Reducir la ganancia del amplificador
- b) Alejar los micrófonos de las cajas acústicas
- c) Cambiar la posición u orientación de los micrófonos en relación con el instrumento
- d) Cambiar la posición u orientación de las cajas de monitoreo
- e) Reducir la ganancia en la frecuencia específica donde aparece el problema por medio de un ecualizador, preferentemente de tipo paramétrico (sección 11.7)
- f) Cambiar el diagrama direccional del micrófono de manera de reducir la ganancia efectiva por efecto de la direccionalidad, por ejemplo mediante micrófonos cardióides o figura de ocho.

De todas maneras, ninguna de estas pautas garantiza la solución del problema, requiriéndose habitualmente cierta dosis de experimentación hasta eliminar por completo el tono espurio.

Con respecto a la utilización de ecualizadores paramétricos o filtros notch para reducir la ganancia en la frecuencia del acople, el procedimiento usual es comenzar con la máxima atenuación en el filtro, e ir ajustando la frecuencia hasta eliminar el silbido. Luego, sin modificar la frecuencia, se debe reducir la atenuación hasta 3 a 6 dB antes de que reaparezca el problema.

Podría parecer que la reducción de la ganancia que se logra con un filtro notch elimina también otras señales de la misma frecuencia pertenecientes al programa. En realidad sucede que el sistema pasa a tener una *realimentación positiva* o *regenerativa* lo cual implica un aumento excesivo de la ganancia a la frecuencia del acople, aumento que tiene lugar para *toda* señal de esa frecuencia, sea ésta el acople o la señal útil. De modo que aún si no se alcanzara a producir una oscilación autosostenida, el sistema adolecería de una ganancia muy alta a esa frecuencia. Al utilizar el ecualizador, estamos en realidad bajando esa excesiva ganancia, y lo hacemos tanto para el acople como para la señal. En una palabra, restituimos la planicidad de la respuesta que había sido perturbada por la realimentación acústica.

Comentemos, finalmente, que aunque el acoplamiento acústico no alcance a ser suficientemente intenso para provocar oscilaciones autosostenidas, puede tener otra consecuencia perniciosa para la señal, y es una tendencia a producir un sonido sibilante, una especie de campanileo, especialmente en señales que fluctúan rápidamente en el tiempo como la palabra. El ecualizador paramétrico puede ayudar a corregir este problema de la misma manera que en el caso del acople autosostenido.

Capítulo 13

Compresores y limitadores

13.1. Introducción

Nos referiremos ahora a un tipo de procesadores de señal que actúan modificando el rango dinámico de la señal. Recordemos que el rango dinámico es la diferencia en dB entre el máximo nivel y el mínimo nivel de una señal. Hay varias situaciones en las que es necesario reducir el rango dinámico, siendo probablemente la más representativa aquella en que la señal debe atravesar otro procesador cuya relación señal/ruido es menor que el rango dinámico original (recordemos los comentarios hechos al introducir el concepto de relación señal/ruido en un amplificador, sección 9.7).

Enfoquemos más de cerca las vinculaciones entre los niveles de la señal, del ruido, y el rango dinámico. Supongamos un amplificador cuya tensión de entrada máxima (tensión después de la cual comienza a saturar) es de 2 V, y cuya tensión de ruido (referida a la entrada) es de 0,1 mV. Esto implica unos niveles de tensión en dBV dados por

$$N_{\text{señal máx.}} = 20 \log_{10} \frac{2 \text{ V}}{1 \text{ V}} = 6 \text{ dBV},$$

$$N_{\text{ruido}} = 20 \log_{10} \frac{0,0001 \text{ V}}{1 \text{ V}} = -80 \text{ dBV},$$

de modo que

$$\text{S/N} = N_{\text{señal}} - N_{\text{ruido}} = 6 - (-80) = 86 \text{ dB}$$

Supongamos ahora que disponemos de una señal cuyos valores máximo y mínimo son, respectivamente, 22 V y 0,2 mV. Los niveles de tensión en dBV son

$$N_{\text{señal máx.}} = 20 \log_{10} \frac{22 \text{ V}}{1 \text{ V}} = 27 \text{ dBV},$$

$$N_{\text{señal mín.}} = 20 \log_{10} \frac{0,0002 \text{ V}}{1 \text{ V}} = -74 \text{ dBV},$$

lo cual implica un rango dinámico de $27 - (-74) = 101$ dB.

Por un lado observamos que el nivel máximo de la señal (27 dBV) supera al nivel máximo del amplificador (6 dBV). Por otro lado, el nivel mínimo de señal (-74 dBV) es algo mayor que el nivel de ruido del amplificador (6 dBV). Sin recurrir a procesadores dinámicos, la única manera medianamente aceptable de atacar el problema sería atenuar la señal en 21 dB, con lo cual el nivel máximo se acomodaría al nivel máximo del amplificador (6 dBV), y el nivel mínimo pasaría a ser -95 dBV, es decir 15 dB por debajo del nivel de ruido del amplificador. Esto implica, lisa y llanamente, que se perderían los 15 dB más débiles de la señal.

13.2. Compresores de audio

Esta situación puede manejarse mucho mejor con un **compresor de audio**, procesador capaz de reducir el rango dinámico de la señal cuyo diagrama de bloques simplificado se muestra en la Figura 13.1. La clave del funcionamiento del compresor está en un dispositivo denominado **amplificador controlado (VCA)**, que posee una entrada auxiliar por medio de la cual se le puede variar la ganancia.

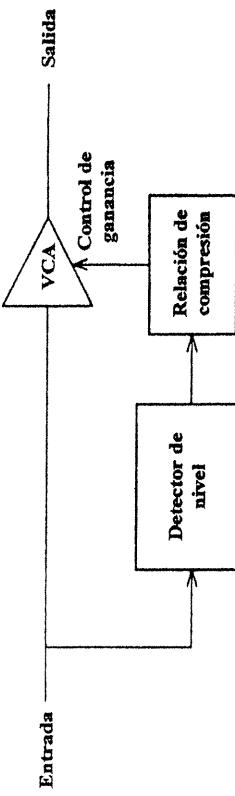


Figura 13.1. Diagrama de bloques simplificado de un compresor de audio.

El compresor opera de la siguiente forma. En primer lugar, un detector de nivel está continuamente verificando si la señal de entrada supera o no cierto nivel denominado umbral. Si el umbral no se supera, el VCA tiene ganancia 1, por lo tanto la señal no experimenta alteraciones. Si, en cambio, se supera el umbral, el VCA reducirá su ganancia de tal modo que el excedente de nivel de entrada se reduzca a la salida en una proporción llamada **relación de compresión**. Así, si la relación de compresión es 2:1, un exceso de 10 dB respecto al umbral se transformará en un exceso de sólo 5 dB. El funcionamiento es equivalente al de un operador humano que acciona el control de volumen cuando el nivel sonoro sube demasiado.



El nivel de umbral y la relación de compresión son parámetros ajustables por el usuario, y definen la forma en que actuará el compresor de acuerdo con lo indicado en la Figura 13.2.

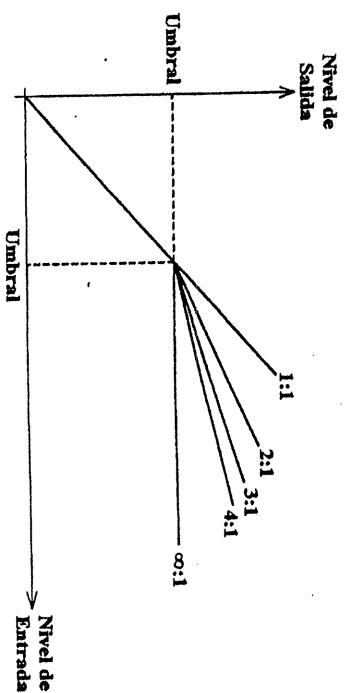


Figura 13.2. Efecto de las diversas relaciones de compresión sobre la operación del compresor.

Vamos a ilustrar la operación del compresor utilizando los datos del ejemplo anterior. Para ello supondremos primero que adoptamos un umbral de -6 dBV (es decir, $0,5 \text{ V}$) y una relación de compresión de $3:1$. Dado que el umbral es -6 dBV y el nivel máximo de la señal de entrada era 27 dBV , el exceso de nivel a la entrada resulta ser

$$27 - (-6) = 33 \text{ dB}.$$

Este exceso quedará dividido por la relación de compresión, en este caso $3:1$, por lo cual el exceso de nivel a la salida (respecto al umbral) será de sólo

$$33/3 = 11 \text{ dB}.$$

El nivel máximo a la salida será, entonces

$$N_{\max} = -6 + 11 = 5 \text{ dBV}.$$

Este valor es menor que el máximo que tolera el amplificador a la entrada sin saturar (6 dBV), por lo cual el problema ha quedado resuelto (ver Figura 13.3).

Analicemos ahora el resultado obtenido. Las señales de nivel menor que -6 dBV (el umbral) no experimentan alteración ninguna, ya que la ganancia del VCA es 0 dB (es decir, 1 , ya que $20 \log 1 = 0$). Las señales que superan dicho valor comienzan a ser atenuadas. Por ejemplo, una señal de entrada de 3 dBV , producirá a la salida una señal de

$$-6 + \frac{3 - (-6)}{3} = -3 \text{ dBV},$$

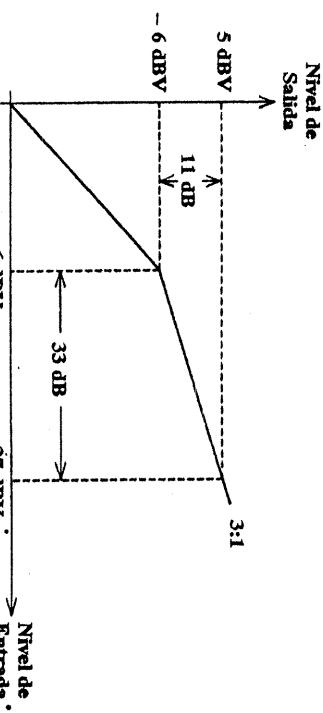


Figura 13.3. Efecto de una compresión $3:1$ realizada sobre una señal de entrada que llega como máximo a 27 dBV .

y por lo tanto la ganancia en dB será

$$N_{\text{salida}} - N_{\text{entrada}} = -3 - 3 = -6 \text{ dB},$$

que corresponde a una ganancia de $0,5$ (es decir, una atenuación). Similmente, una señal de máximo nivel de entrada (es decir de 27 dBV) producirá, como ya vimos, una salida de 5 dBV , por lo cual su ganancia en dB será $5 - 27 = -22 \text{ dB}$, correspondiente a $0,08$. Esto muestra cómo actúa el compresor: una vez superado el umbral, la ganancia se va reduciendo paulatinamente conforme aumenta la señal.

Abra bien ¿cuál es el efecto auditivo de la compresión? Evidentemente, tiende a aplandar los planos dinámicos. Así, si la señal musical original cambiaba de un *mezzoforte* a un *triple fortíssimo*, luego de la compresión el aumento de intensidad será menor, por ejemplo de un *mezzoforte* a apenas un *forte*. Esto restará interés a la interpretación de determinados tipos de música en la cual los contrastes dinámicos tienen gran importancia expresiva, como la música clásica y la música contemporánea, y en cambio tendrá un efecto menos perjudicial en aquellos tipos de música que, como el rock, no dependen esencialmente de los contrastes para la expresión.

Veamos ahora un segundo ejemplo sobre la misma señal y el mismo amplificador. Supondremos ahora que por el tipo de música una compresión $3:1$ no ha resultado satisfactoria. Nos preguntamos entonces cuál debe ser el nuevo umbral para resolver el problema utilizando una relación de compresión de sólo $2:1$. Para determinarlo, llamémoslo U. Entonces U debe satisfacer la relación siguiente:

$$\frac{27 - U}{2} + U \leq 6 \text{ dBV}$$

(ya que el máximo nivel admisible a la entrada es 6 dBV), que se resuelve como

$$U \leq 6 \cdot 2 - 27 = -15 \text{ dBV}.$$

Efectivamente, la máxima señal de entrada excede en $27 - (-15) = 42 \text{ dB}$ al umbral, por lo que la señal de salida lo excederá en $42/2 = 21 \text{ dB}$, que sumado al umbral

bral propuesto da $21 + (-15) = 6$ dBV, por lo cual la máxima entrada del amplificador no es superada.

El cálculo anterior puede generalizarse. Si se conoce el nivel máximo de entrada $N_{\max, \text{ent}}$, la relación de compresión RC , y el nivel máximo de salida del compresor $N_{\max, \text{sal}}$, entonces el umbral U puede obtenerse como

$$U = \frac{N_{\max, \text{sal}} \cdot RC - N_{\max, \text{ent}}}{RC - 1}.$$

En el análisis previo habíamos supuesto que el compresor recibía diversos niveles aislados de señal de entrada, sin preocuparnos acerca de la transición entre dichos niveles. Nos preguntaríamos ahora qué sucede si una señal comienza con un nivel N_1 menor que el umbral y en determinado instante pasa a tener un nivel N_2 mayor que el umbral. En principio podríamos pensar que el compresor reacciona instantáneamente, bajando la ganancia al nuevo valor requerido. Hay, sin embargo, dos razones por las cuales esto no sucede. En primer lugar, el detector de nivel del compresor (ver Figura 13.1) requiere al menos un ciclo para reconocer cuál es el nivel de la señal, de lo contrario la operación del VCA provocaría una distorsión de la onda. En efecto, si la ganancia varía demasiado rápido, es decir si varía dentro de un mismo ciclo, el resultado es una señal en la cual, por ejemplo, los valores más grandes son amplificados menos que los pequeños, lo cual deforma la onda (Figura 13.4) introduciendo distorsión. En segundo lugar, una variación de ganancia demasiado rápida produce un efecto auditivo claramente perceptible,

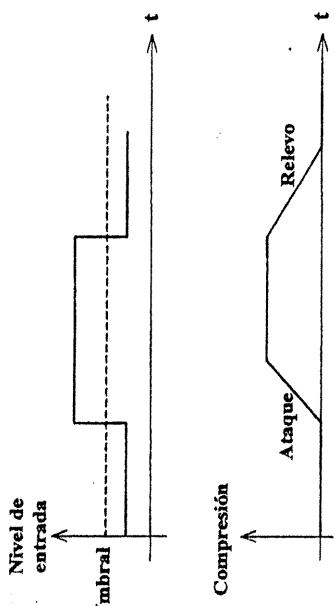


Figura 13.3. Efecto de la envolvente en un compresor de audio. La compresión correspondiente al exceso de nivel de entrada se alcanza luego de un tiempo de ataque. Analogamente, la descompresión se alcanza después de un tiempo de relevo.

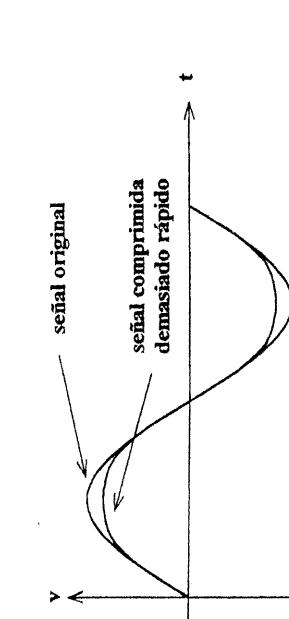
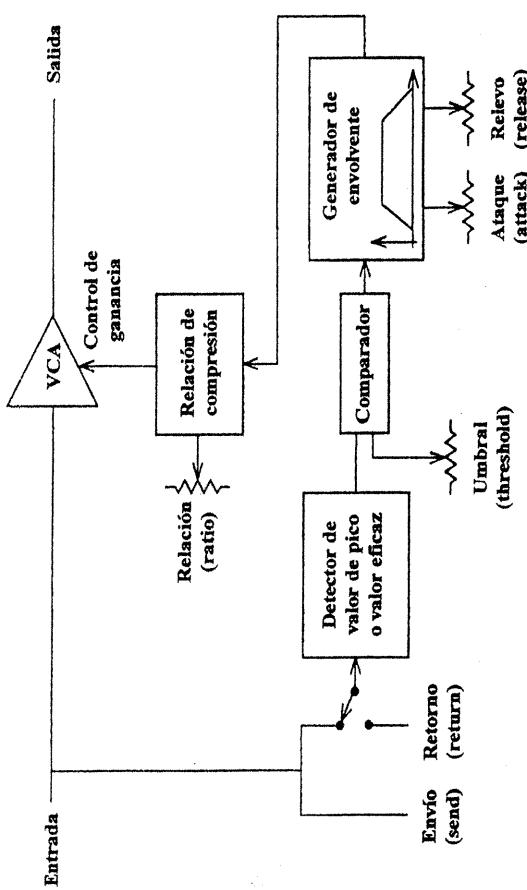


Figura 13.4. Una compresión demasiado rápida provoca una deformación que distorsiona la onda.

debido a la brusca variación del nivel de ruido de fondo. En condiciones normales dicho ruido pasa desapercibido, pero cuando su nivel cambia bruscamente se vuelve más notorio. La variación de la reverberación asociada al ambiente acústico en que se grabó el material también delata el cambio brusco de ganancia.

Por estas razones los compresores incorporan cambios graduales de la ganancia, mediante el agregado de una envolvente con dos intervalos de transición: uno inicial, denominado **ataque** (**attack**), y uno final denominado **relevo** (**release**), como se indica en la Figura 13.5. En la Figura 13.6 se muestra un diagrama de bloques más completo

Figura 13.6. Diagrama de bloques más detallado de un compresor de audio, en el cual se observan algunos de los controles accesibles al usuario.

En la Figura 13.7 se presenta un ejemplo en el cual se pone en evidencia el efecto a nivel de la forma de onda de una compresión. Cuando la señal de entrada sube por encima del umbral se desencadena la envolvente de ataque. Inicialmente la señal sube bruscamente porque la ganancia todavía no cambió. Luego la ganancia decréase hasta el valor correspondiente ya estudiado (definido por el umbral y la relación de compresión). Este proceso demora un tiempo denominado **tiempo de ataque**, T_A . Cuando la señal de entrada vuelve a su nivel original, inicialmente la ganancia sigue baja por efecto de la compresión. Luego vuelve a aumentar hasta el valor 1 correspondiente a una señal por debajo del umbral, demorando para ello un tiempo denominado **tiempo de relevo**, T_R .

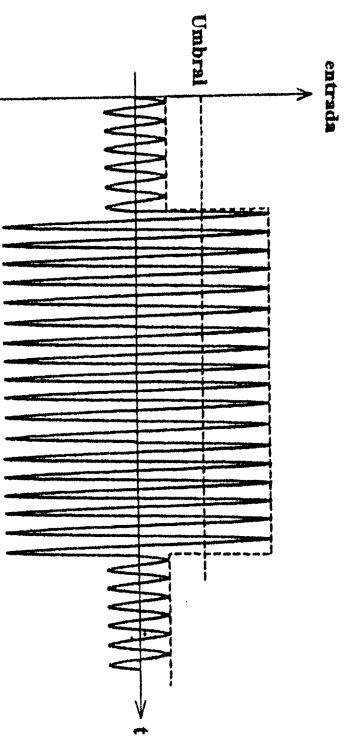


Figura 13.7. Efecto de la compresión a nivel de la forma de onda temporal.

Podría objetarse que el aumento inicial de la señal atenta contra el objeto de la compresión, ya que durante parte del tiempo de ataque el nivel de salida supera el requerido, provocando una posible distorsión. Sigue que una distorsión durante un tiempo muy corto es menos perjudicial como efecto auditivo que una compresión demasiado brusca. Tanto el tiempo de ataque como el de relevo deben ajustarse al tipo de señal. Por

ejemplo, una señal con un ataque muy corto, deberá ser comprimida rápidamente, de lo contrario la distorsión por exceso de nivel comenzaría a notarse. Sin embargo, cuando aparecen un instrumento grave y otro agudo simultáneamente de tal modo que el grave tiene un nivel importante, una compresión con tiempo de ataque demasiado corto puede hacer desaparecer virtualmente el instrumento agudo, por lo cual será conveniente aumentar algo el tiempo de ataque. El tiempo de relevación es normalmente mayor que el de ataque, debido a que en general los sonidos se extinguen más lentamente que lo que se inician, y además existe una prolongación natural debida a la reverberación. El rango normal de tiempo de ataque va de 0,1 ms a 200 ms, y el de tiempo de relevamiento de 50 ms a 2 ó 3 s. En algunos compresores existe también un **tiempo de sostén** (hold), que consiste en un retardo entre el instante en que el nivel deja de superar al umbral y el instante en que comienza el relevamiento (Figura 13.8). El objetivo de este retardo es evitar

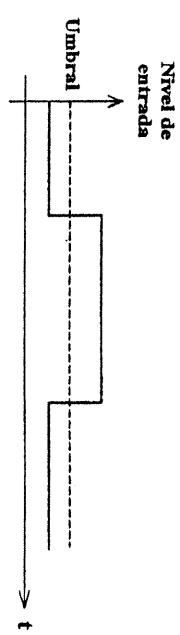


Figura 13.8. Envolvente de compresión que incluye un tiempo de sostén (T_H) entre el descenso de la señal de entrada por debajo del umbral y el comienzo del periodo de relevamiento.

distorsiones en las señales de baja frecuencia. Tomemos como ejemplo una señal de 20 Hz (cuyo período es de 50 ms). Si su nivel es mayor que el umbral, actuará el compresor, pero cuando el valor instantáneo de la señal baje por debajo del umbral, comenzará el periodo de relevamiento, en el cual la ganancia aumenta. Para señales de frecuencias más altas (período muy corto), el aumento de ganancia demorará muchos ciclos, y por lo tanto la variación de ganancia dentro de cada ciclo será imperceptible. Pero siendo en este caso el período tan largo, dentro de un mismo ciclo habrá una variación apreciable de ganancia, lo cual implica una distorsión. El tiempo de sostén impide que comience la recuperación de ganancia antes de que termine el ciclo. De esta manera se asegura que el proceso de recuperación comience cuando el **nivel** de la señal (y no su **valor instantáneo**) vuelve a estar por debajo del umbral.

En este sentido, es importante reconocer la diferencia entre **nivel** y **valor instantáneo** de una señal. El valor instantáneo es el valor que va tomando la señal en instantes sucesivos. El nivel, en cambio, es una propiedad global de la señal, no asociable a un instante sino a todo un ciclo. En realidad hay varias formas de interpretar el nivel, de las cuales dos son las más utilizadas: el **valor de pico** (peak) y el **valor eficaz** (RMS). En muchos compresores están disponibles ambas formas (seleccionables mediante una llave)

El valor de pico es el máximo valor que alcanza la señal dentro de un periodo de la señal, mientras que el valor eficaz está relacionado con la potencia que tiene la señal. No son lo mismo porque una señal que tiene un gran valor de pico pero durante un tiempo muy pequeño, tiene muy poca potencia. Y por lo tanto un valor eficaz pequeño. Por ejemplo, en una onda cuadrada, el valor eficaz es igual al valor de pico, pero en una onda senoidal el valor eficaz es sólo 0,707 veces el valor de pico. En la Tabla 13.1 se da la relación entre el valor eficaz y el valor de pico para algunas formas de onda.

Tabla 13.1. Relación entre el valor eficaz y el valor de pico de varias ondas.

Onda	Valor eficaz
Cuadrada	Valor de pico
Senoidal	$0,707 \times$ Valor de pico
Triangular	$0,557 \times$ Valor de pico
Pulsos de 1 ms cada 10 ms	$0,316 \times$ Valor de pico
Pulsos de 0,1 ms cada 10 ms	$0,100 \times$ Valor de pico

Esto es importante para determinar qué tipo de nivel (RMS o pico) conviene seleccionar en cada caso. En abstracto, es preferible controlar la compresión con el valor eficaz, ya que da resultados más naturales. Sin embargo, para algunas ondas (como las dos últimas de la Tabla 13.1) el valor de pico resulta ser mucho mayor que el valor eficaz, por lo tanto comprimir basándose en el valor eficaz puede significar una de dos cosas: que la compresión no alcance para evitar la saturación o recorte de los picos (y sea por lo tanto inefectiva), o bien que el umbral deba ubicarse demasiado abajo, aplanando severamente la dinámica de toda la señal (y no sólo de las porciones con picos altos y estrechos). En estos casos es preferible apelar a la compresión basada en el nivel de pico. En la práctica, dado que obviamente es muy difícil disponer de un osciloscopio o de un medidor de valor eficaz y otro de pico para determinar teóricamente qué es lo que más conviene, los pasos a seguir serían realizar primero varias pruebas comprimiendo sobre la base del valor eficaz, y si los resultados acusan niveles de distorsión apreciables, comprimir sobre la base del valor de pico.

Los compresores permiten acceder exteriormente a la entrada de control, denominada **cadena lateral** (traducción directa de la versión inglesa *side chain*) mediante un conector de inserción (ver conector de envío y retorno en el diagrama de bloques de la Figura 13.6). Esto permite varias aplicaciones interesantes. Por ejemplo, puede controlarse la compresión de una señal por medio de otra. Por ejemplo, podría comprimirse una banda u orquesta en el momento en que aparece un instrumento o voz solista, controlando la cadena lateral con la señal procedente del solista. Esta técnica, denominada **inglés ducking**, tendría como efecto una reducción de la sonoridad del conjunto acompañante cuando interviene el solista. También es posible intercalar otros procesadores en el camino de la señal a comprimir, comprimiendo a partir de la señal procesada en lugar de la original. Un ejemplo bastante común es utilizar un ecualizador. Supongamos por ejemplo que bajamos todos los controles por debajo de 2 kHz. Entonces ante una baja frecuencia de nivel alto no habrá compresión, pero si ante una alta frecuencia. Esta disposición se usa como dispositivo **antisibilante (de-esser)**, para reducir el exceso de eses frente al micrófono, dado que las eses contienen frecuencias superiores a los 2 kHz.

Un efecto de la misma familia se logra comprimiendo a partir del exceso de baja frecuencia, obteniéndose un **antipop** (dispositivo que elimina los soplos contra el micrófono). Además de los controles ya comentados, los compresores poseen un control de ganancia de entrada o de salida (o ambos). Esto es necesario a efectos de acomodar el nivel de señal a valores estándar y mejorar por lo tanto la relación señal/ruido. Para verlo, consideremos el caso del ejemplo anterior, en el cual el nivel máximo de la entrada era de 27 dBV, un valor que resulta demasiado alto para un compresor típico. Esto es el resultado de una ganancia excesiva a lo largo del trayecto de la señal entre la fuente y la salida de la consola. Si reducimos dicha ganancia de manera de tener, por ejemplo, una señal máxima de 4 dBV (es decir una reducción de ganancia de $27 - 4 = 23$ dB), la señal mínima resulta de $-74 - 23 = -97$ dBV, que está 17 dB por debajo de los -80 dBV del ruido del amplificador. Al aplicar el compresor con el umbral anterior (-15 dBV) no se obtendrá ninguna mejora en las señales débiles, y por lo tanto se perderán bajo el ruido del amplificador los 17 dB más débiles de la señal. Pero si en vez de utilizar un umbral de -15 dBV utilizamos uno de $-15 - 23 = -38$ dB (es decir, reducimos el umbral en la misma proporción en que habíamos reducido la ganancia), el máximo nivel a la salida del compresor será

$$N_{\max, \text{sal}} = \frac{4 - (-38)}{2} + (-38) = -17 \text{ dBV}.$$

Ahora podemos agregar, por medio del control de ganancia de salida del compresor, una ganancia de 23 dB con lo cual el máximo nivel de salida resulta

$$N_{\max, \text{sal}} \Big|_{\substack{\text{con } 23 \text{ dB} \\ \text{de ganancia}}} = -17 + 23 = 6 \text{ dBV}.$$

El resultado ha sido igual al anterior, es decir aplicamos como máximo 6 dBV al amplificador, lo cual está de acuerdo con sus especificaciones. Repasemos lo que hemos hecho: dado que la señal máxima de entrada al compresor era demasiado alta para éste (con el peligro de saturarlo), bajamos en 23 dB la ganancia de las etapas previas, y junto con ésta bajamos también en 23 dB el umbral obtenido anteriormente. Finalmente, restituimos el nivel de la señal (reducido por la compresión) agregando una ganancia de 23 dB.

Una variante del compresor analizado hasta el momento lo constituyen algunos compresores en los que la transición entre la señal no comprimida y la comprimida no se produce en forma brusca a partir del umbral, sino que la compresión varía gradualmente desde 1:1 hasta el valor seleccionado (ver Figura 13.9). Este tipo de compresión se conoce como **soft knee** (que podría traducirse en forma libre como *codazo gradual*), y provee un sonido algo más natural.

Para proporcionar al operador una mejor información sobre qué está sucediendo con la señal, los compresores suelen tener indicadores de barra (del tipo de los vñmetros a LED (diodos luminosos)) que muestran la reducción de ganancia en un determinado instante, y los niveles de entrada y salida. También se proporciona un interruptor de bypass que elimina la acción del compresor conectando en forma directa la entrada con la salida. La finalidad de esto es permitir al operador comparar la señal natural con la comprimida.

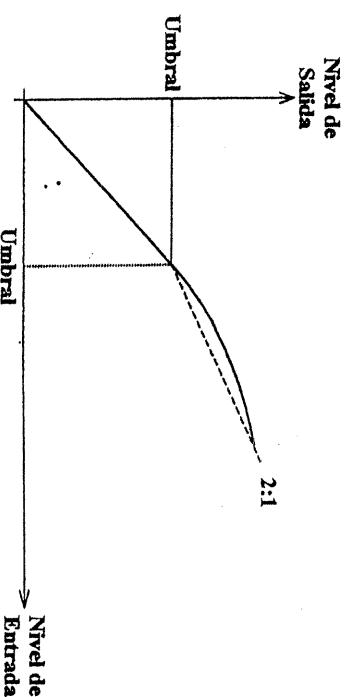


Figura 13.9. Curva de compresión de un compresor de tipo soft-knee.

Los compresores estereofónicos suelen tener dos modos de operación. En el primero, cada canal funciona independientemente del otro, en la forma ya explicada. Es ideal para comprimir señales independientes, antes de la mezcla final. En el segundo, la compresión se realiza en forma simultánea e idéntica en ambos canales, a partir de la señal más alta entre las dos entradas. Esta modalidad se utiliza para señales estéreo propiamente dichas, en las cuales la compresión independiente de ambos canales podría redundar no sólo en una alteración de la dinámica, sino también en *una severa distorsión de la imagen estereofónica*. Esto podría suceder en un caso en que hubiera dos instrumentos en escena, por ejemplo un contrabajo del lado derecho tocando *forte*, y una flauta al centro tocando *piano*. El bajo ocuparía principalmente el canal derecho, mientras que la flauta, por estar al centro, aparecería en ambos canales con nivel similar. Si se comprimieran independientemente, el canal derecho quedaría comprimido y el izquierdo no. Dado que la compresión afecta a *toda* la señal del canal derecho, la flauta se atenuaría en el canal derecho y no en el izquierdo, y aparecería por lo tanto desplazada espacialmente hacia la izquierda.

13.3. Limitadores

Hemos visto que es posible seleccionar la relación de compresión. El sonido más natural se logra con los valores más bajos. Sin embargo, los compresores permiten relaciones de compresión muy altas, por ejemplo 20:1 ó aun $\infty:1$ (el símbolo ∞ se lee "infinito", y denota un número muy grande). Un compresor que comprime con una relación $\infty:1$ se denomina *limitador*, ya que su función pasa a ser la de *limitar* el crecimiento de la señal de tal modo que no supere el umbral (ver Figura 13.2). No debe confundirse un *limitador* con un *recortador*. Un recortador recorta la onda, exactamente del mismo modo que lo haría un amplificador que saturara, provocando una severa distorsión en la señal. Un limitador, en cambio, no deforma la onda, sino que reduce la ganancia de manera de llevar el nivel de señal a un valor constante, igual al umbral. Si bien la onda no se distorsiona, si se produce una distorsión en las relaciones dinámicas de la música, restringien-

do, una vez superado el umbral, las posibilidades expresivas. Por ejemplo, puede suceder que un percusionista, al acercarse al clímax de una pieza, toque cada vez más *forte*; pero al superar el umbral, pese a sus denodados esfuerzos, el nivel no experimentará nuevos incrementos. Esto resta interés a la música, por lo cual en general la limitación no es recomendable; se utiliza como recurso de emergencia, y sólo en aquellos casos en los que no es admisible superar un determinado nivel. Un ejemplo es el de las emisoras de frecuencia modulada (FM), en las cuales por ley está prohibido enviar al aire frecuencias más allá de ± 75 kHz de la frecuencia de la emisora. Como en FM la amplitud se codifica como desviación de frecuencia, una mayor amplitud implica una mayor desviación de frecuencia, con el peligro de invadir la banda asignada a la emisora vecina en el dial. En este caso, el limitador actúa como recurso extremo para no entrar en la ilegalidad.

Capítulo 14

Compuertas y expansores

14.1. Introducción

En un sistema de audio de buena calidad, el ruido propio de los componentes electrónicos es casi siempre inaudible. Pero en las tomas con micrófono, el ruido interno del micrófono y el ruido acústico convertido en señal eléctrica son, normalmente, muy superiores al ruido del resto de los otros componentes (consolas, procesadores, amplificadores, etc.). Aún en salas de grabación muy silenciosas, el ruido de los músicos moviéndose, dando vuelta las páginas de una partitura, o simplemente respirando, puede volverse claramente audible en la toma durante los momentos de silencio. Este problema se resuelve por medio de un procesador dinámico denominado **compuerta**.

14.2. Compuertas

La compuerta es un procesador dinámico que en cierta forma realiza la función inversa de los compresores. Opera en la forma de un interruptor de señal que conecta la entrada solamente si es suficientemente alta como para que sea atribuible a la señal. En cambio, cuando la entrada es demasiado pequeña se interpreta como ruido y por lo tanto se desconecta. El resultado equivale a un mejoramiento de la relación señal/ruido, ya que mientras hay señal, ésta emascara al ruido haciendolo virtualmente inaudible, y cuando no hay señal el ruido es eliminado. En la Figura 14.1 se ilustra la operación de la compuerta. Existe un umbral, por lo general ajustable, por debajo del cual la compuerta se cierra y por encima del cual se abre. El umbral debería ajustarse apenas por encima del ruido de fondo, de manera de no recortar señales de pequeño nivel.

Según puede observarse, mientras la compuerta se cierra impidiendo el paso del ruido del micrófono, queda el ruido residual del resto de los componentes electrónicos, que como ya se ha remarcado, en general es prácticamente inaudible.

Este esquema conceptual de funcionamiento no puede aplicarse directamente en la práctica por varias razones. En primer lugar, un corte tan abrupto de la señal como el que tiene lugar cuando la compuerta se cierra casi invariablemente provoca un *click* audible, y lo mismo sucede cuando se abre. En segundo lugar, para señales muy pequeñas,

con niveles cercanos al del ruido de fondo, podría suceder una inestabilidad de la compuerta, al abrirse y cerrarse a repetición a causa del efecto combinado de la señal y el ruido (Figura 14.2). En tercer lugar, se cortaría abruptamente no solo la señal sino también la última parte de la reverberación anterior, creando un efecto antinatural. Por estas

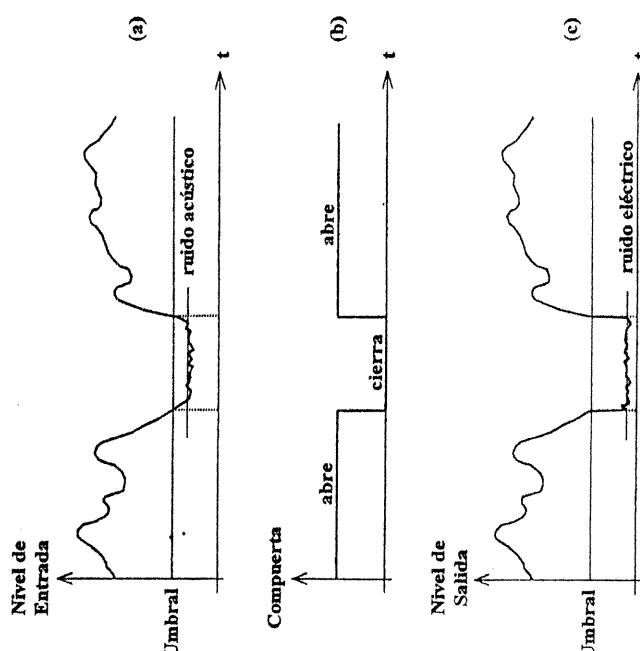


Figura 14.1. Operación conceptual de una compuerta. (a) Evolución del nivel de una señal de entrada. En el ruido acústico se ha incluido también el del micrófono. (b) Acción de la compuerta. (c) Salida. El ruido eléctrico involucra el de todos los restantes componentes (procesadores, efectos, consola, etc.), incluida la propia compuerta.

razones se agregan dos elementos nuevos a la compuerta. El primero es una **histéresis**, es decir un umbral para el cierre de la compuerta y otro diferente (mayor) para su apertura (Figura 14.3). El segundo, una **envolvente**, es decir un cierre y aperturagraduales (Figura 14.4).

14.3. Histéresis

La histéresis consiste en la existencia de dos umbrales diferentes. El umbral de cierre sólo está operativo mientras la compuerta esté abierta. Cuando la entrada disminuye

hasta hacerse menor que dicho umbral de cierre, la compuerta se cerrará y entonces pasará a estar operativo el umbral de apertura. En consecuencia, una vez cerrada la compuerta, las pequeñas fluctuaciones alrededor del umbral de cierre no tendrán ningún efecto, ya que es necesario superar el nuevo umbral (el de apertura) para reabrir la compuerta. La diferencia entre ambos umbrales se denomina **ventana de histéresis**, y debe seleccionarse algo mayor que las fluctuaciones de nivel debidas al ruido. De ese modo, el ruido no será, por si solo, capaz de provocar commutaciones de la compuerta.

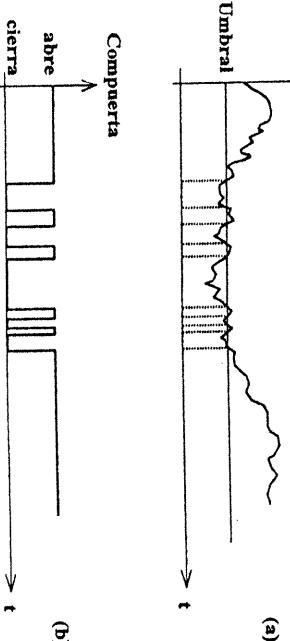


Figura 14.2. (a) Evolución del nivel de una señal de entrada. La suma de una señal pequeña y el ruido produce fluctuaciones cerca del umbral. (b) La compuerta se abre y cierra repetitivamente.

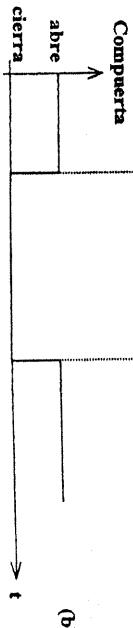
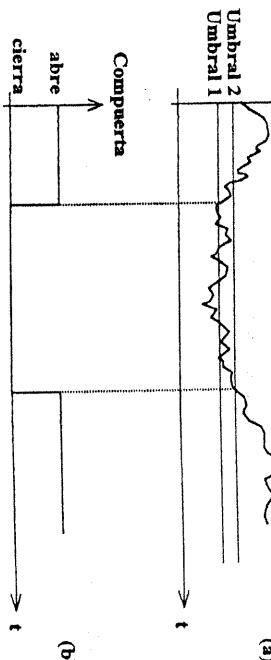


Figura 14.3. Compuerta con histéresis: umbrales diferentes para cerrar y para volver a abrir la compuerta. (a) Evolución del nivel de una señal de entrada. (b) Acción de la compuerta.

14.4. Envolvente

La envolvente controla la rapidez de la apertura y cierre de la compuerta, proporcionando un cierre y apertura graduales. Se deja de lado la idea de cortar y restituir la señal abruptamente y en su lugar se la corta reduciendo la ganancia de 1 a 0 durante un lapso de tiempo denominado **tiempo de relevo**, y se la restituye aumentando la ganancia de 0 a 1 durante un tiempo de **ataque** (ver Figura 14.4). Estas operaciones se realizan con una configuración similar a la de un compresor, ilustrada en el diagrama de bloques correspondiente (capítulo 13), con la única diferencia de que en aquel caso la envolvente representaba el grado de compresión, y en este caso representa la ganancia.

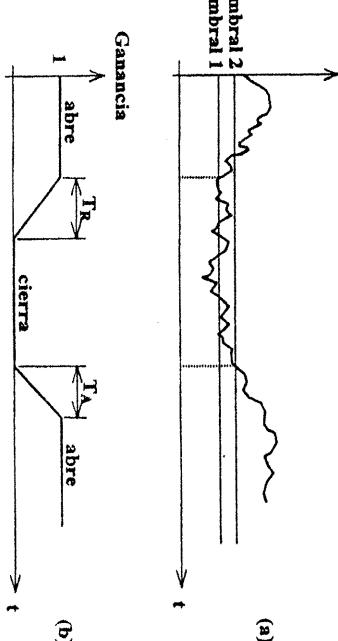


Figura 14.4. Compuerta con histéresis y tiempos de ataque y relevo. (a) Evolución de una señal de entrada. (b) Ganancia de la compuerta.

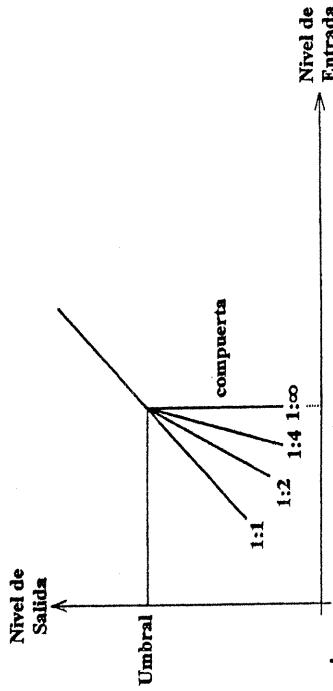
14.5. Expansores

Por último, existe una variante más en lo que respecta a compuertas, y es la posibilidad de que la "ganancia" cuando la compuerta se cierra no sea 0 sino un valor mayor, tanto más cercano a 1 cuanto más cerca esté la señal del umbral. En este caso la compuerta se denomina **expansor**, ya que convierte el rango dinámico de la parte de la señal que está por debajo del umbral en un rango dinámico mayor según una relación de expansión determinada. Por ejemplo, si fijamos la relación de expansión en 1:3, y el umbral en -50 dBV, una señal de entrada que baje hasta -56 dBV habrá bajado 6 dB, por lo cual después del expensor la salida deberá bajar $6 \times 3 = 18$ dB, y tendrá entonces un nivel $-50 - 18 = -68$ dBV. La operación es, por lo tanto, inversa a la del compresor. En la Figura 14.5 se muestra la familia de curvas para diversas relaciones de expansión. La compuerta pura se obtiene para la relación 1: ∞ .

Capítulo 15

Audio Digital

Figura 14.5. Efecto de las diversas relaciones de expansión sobre la operación de un expensor.



Los expensores pueden utilizarse no sólo como compuertas, sino también para resumir el rango dinámico de señales que han sido comprimidas, por ejemplo señales de una radio FM, o de un cassette. Sin embargo, es necesario advertir que es difícil, si no imposible, lograr una compensación total de una compresión realizada con un compresor, salvo si ex profeso se comprome utilizando un umbral muy bajo y posteriormente se expande con un umbral muy alto, y en ambos casos con relaciones complementarias (por ejemplo una compresión de 2:1 y una expansión de 1:2). Estos procedimientos aseguran que se comprime y expanda *toda* la señal y no sólo partes de ella. Una aplicación de los pares compresor-expansor complementarios es la reducción del ruido en las grabaciones en cinta magnética.

Tanto las compuertas como los expensores proveen en general acceso a la cadena lateral (*side-chain*), lo cual permite controlar la operación con una señal diferente de aquella a procesar. Así, puede habilitarse una señal recién cuando aparece otra, lo cual en ciertos casos es útil para mejorar el sincronismo entre dos instrumentos. También es posible utilizar la cadena lateral simplemente para intercalar un filtro o un ecualizador y así habilitar la apertura de la compuerta sólo cuando están presentes ciertas frecuencias. Muchos equipos vienen con filtros incorporados, con llaves para intercalarlos en la cadena lateral.

Finalmente, algunos equipos incorporan simultáneamente un compresor-limitador y una compuerta (con sus filtros), lo cual brinda mayor versatilidad, ya que en un solo procesador dinámico se incluyen las funciones básicas de compresión y expansión.

Las especificaciones de las compuertas y expansores merecen los mismos comentarios hechos oportunamente para los compresores y limitadores. En general la distorsión aumenta cuando la señal está siendo expandida, y por ello deberían especificarse cuidadosamente las condiciones en que se ha realizado la medición.

Las técnicas digitales han cobrado en las últimas décadas una importancia fundamental en el desarrollo de nuevas tecnologías para la generación, el procesamiento, el almacenamiento y el análisis del sonido. Ello ha sido posible gracias al avance vertiginoso de la microelectrónica y su aplicación a la producción de dispositivos poderosos y complejos capaces de manejar y transformar cada vez más con mayor precisión y rapidez la enorme cantidad de información contenida en el sonido.

Una de las primeras consecuencias de la aplicación de la tecnología digital al audio fue el desarrollo de sistemas de almacenamiento del sonido de gran confiabilidad,inalterabilidad y fidelidad. Otra fue el gran impulso al desarrollo de instrumentos musicales electrónicos de gran complejidad y versatilidad. La tercera consecuencia fue el desarrollo y aplicación de técnicas para el procesamiento de la señal sonora, que permitieron no sólo el mejoramiento de procesos que antes se llevaban a cabo analógicamente sino también la introducción de nuevos procesos, entre los cuales se encuentran una gran cantidad de efectos tales como retardos, modulaciones, reverberaciones y espacializaciones de gran realismo y naturalidad, cuya implementación analógica sería mucho más costosa y por lo tanto destinada a un mercado mucho más restringido.

*La idea básica detrás del audio digital es la de representar el sonido por medio de números ("digital" viene de *dígito*, es decir número).* Aun antes de profundizar el análisis, es fácil ver que esto tiene varias ventajas. En primer lugar, se elimina el problema de la alterabilidad de la información. *Es mucho más fácil guardar un número que la magnitud física que ese número representa.* Por ejemplo, si quisieramos guardar una varilla de 57,235 cm de longitud, tendríamos serias dificultades. Efectivamente, la dilatación a causa de la temperatura, o cualquier partícula de polvo que se adhiriera a sus extremos, o simplemente el desgaste, podrían ocasionar un error. Esto, que es válido para la longitud de una varilla, lo es más para el campo magnético almacenado en una cinta grabada.

En segundo lugar, existen algoritmos (métodos de cálculo) para realizar digitalmente no sólo todos los tipos de procesamiento utilizados en el audio tradicional, como la amplificación, la mezcla, la modulación, el filtrado, la compresión y expansión, etc., sino muchos otros más, entre los cuales se encuentran los retardos, los sincronismos, los desplazamientos de frecuencia, la generación de sonidos por diversos procedimientos, etc. Estos algoritmos pueden implementarse en una computadora de propósito general o bien en dispositivos específicos llamados procesadores digitales de señal (DSP).



En tercer lugar, el reemplazo de los procesadores analógicos por sus equivalentes digitales permite evitar la degradación de la señal a causa del ruido analógico, lo cual es conveniente dado que el ruido analógico es muy difícil de eliminar.

15.2. Numeración binaria

Dado que todos los sistemas digitales se basan en la numeración binaria, antes de comenzar a describir los procesos básicos de muestreo y digitalización del sonido nos referiremos brevemente a esa numeración. En la numeración decimal (el sistema que empleamos habitualmente), se utilizan diez símbolos (los dígitos 0, 1, 2, ..., 9) en un sistema posicional para representar las sucesivas cantidades. Esto significa que cada nueva cifra que se agrega tiene un peso 10 veces mayor que la que se encuentra a su derecha. Por ejemplo,

$$27 = 2 \times 10 + 7,$$

$$306 = 3 \times 10^2 + 0 \times 10 + 6.$$

En la numeración binaria, se utilizan sólo dos símbolos (los dígitos 0 y 1), también en un sistema posicional, sólo que ahora cada nueva cifra tiene un peso sólo 2 veces mayor que la anterior. Por ejemplo,

$$101 = 1 \times 2^2 + 0 \times 2 + 1 = 5,$$

$$1101 = 1 \times 2^4 + 1 \times 2^3 + 0 \times 2^2 + 1 \times 2 + 1 = 27.$$

En esta numeración, el 1 tiene características similares al 9 del sistema decimal, es decir, una vez que llegamos al 1 debemos agregar una nueva cifra 1 y cambiar la primera por 0. En la Tabla 15.1 se muestra la conversión de decimal a binario para los números del 0 al 15.

La razón por la que se utilizan los números binarios es porque eléctricamente es muy fácil codificar los 0's y los 1's Basa utilizar un nivel de tensión alto (**5 V**) para un 1 y un nivel de tensión bajo (**0 V**) para un 0. Esto hace que la representación sea extremadamente insensible al ruido. En efecto, la señal seguiría siendo recuperable aún en presencia de un ruido de **2 V**, que corresponde a una relación señal/ruido tan baja como $20 \log 5/2 = 8 \text{ dB}$ (inadmisible si el sistema fuera analógico).

15.3. Muestreo

Pasemos ahora al concepto de **muestreo (sampling)**. Las señales acústicas (y por lo tanto las señales eléctricas que las representan) varían en forma continua, lo que significa que en un intervalo de tiempo dado, por pequeño que sea, existen *infinitos* valores diferentes. Sin embargo, a los efectos del mensaje auditivo, no hace falta tanta información. Primero, porque el oído no tiene tanta *discriminación en el tiempo*, y segundo porque tampoco tiene tanta *discriminación en la amplitud* como para distinguir valores que por estar muy próximos en el tiempo difieren muy poco en amplitud. No solamente no

hace falta tanta información sino que desde el punto de vista práctico tampoco es conveniente ni posible manejarla. Entonces surge el concepto de muestreo (sampling). Muestrear una señal significa *reemplazar la señal original por una serie de muestras tomadas a intervalos regulares*. La frecuencia con la que se toman las muestras se denomina **frecuencia de muestreo, f_M** , y el tiempo entre muestras, **periodo de muestreo, T_M** . Se cumple que

$$f_M = \frac{1}{T_M}.$$

En la Figura 15.1 se ilustra el proceso de muestreo. En la gráfica superior se grafica la onda original y los instantes de muestreo, y en la figura de abajo se indican las muestras.

15.4. Frecuencia de muestreo

Es intuitivamente evidente que la frecuencia de muestreo debe ser bastante alta, ya que entonces se logra un grado de detalle mucho mayor, lo cual significa que el sonido será reproducido con mayor fidelidad al original. En realidad existe un criterio que debe cumplirse obligatoriamente en todo proceso de muestreo, y es que **la frecuencia de muestreo debe ser mayor que el doble de la máxima frecuencia presente en la señal**. Es decir

$$f_M > 2f_{\max}.$$

Decimal	Binario
0	0000
1	0001
2	0010
3	0011
4	0100
5	0101
6	0110
7	0111
8	1000
9	1001
10	1010
11	1011
12	1100
13	1101
14	1110
15	1111

Tabla 15.1. Conversión del sistema binario al decimal.
Los ceros de más a la izquierda son opcionales.

Esto es consecuencia de un teorema llamado **Teorema del muestreo**, que dice que una señal muestrada puede recuperarse totalmente sólo si fue muestrada cumpliendo con el criterio anterior. La frecuencia $f_M/2$ se denomina **frecuencia de Nyquist**.

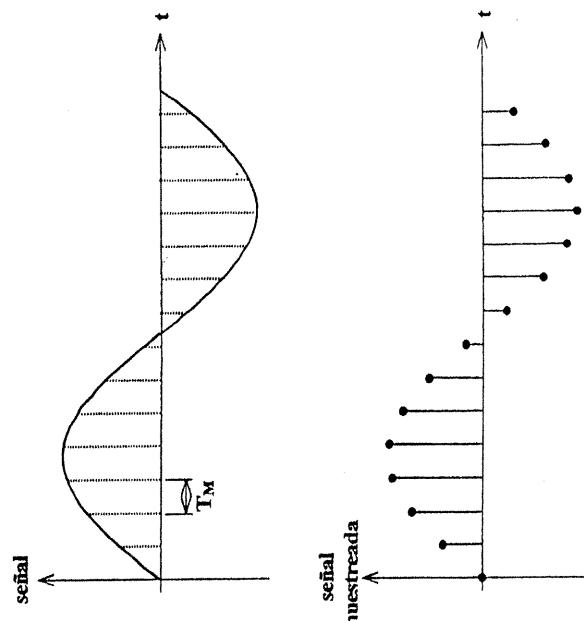


Figura 15.1. Efecto del proceso de muestreo sobre una onda senoidal. La frecuencia de muestreo es en este caso 14,7 veces mayor que la frecuencia de la onda.

Es importante comprender que la **frecuencia máxima** que aparece en la fórmula anterior no se refiere sólo a la máxima frecuencia *de interés*, sino en realidad a la máxima frecuencia que *efectivamente* aparece en la señal a muestrear, aunque dicha frecuencia provenga de un ruido de alta frecuencia que contamina la señal. En caso de no cumplirse el criterio, al intentar recuperar la señal aparecerán componentes de frecuencia en la banda útil. Para verlo, supongamos que muestreamos con una frecuencia de 40 kHz una señal de audio, y que aparece un ruido (inaudible) de 35 kHz superpuesto a la señal, situación ilustrada en la Figura 15.2. Como consecuencia del proceso de muestreo y posterior reconstrucción de la señal, aparece una frecuencia de 5 kHz que *no se encontraba presente en la señal original*. Esta frecuencia, que sustituye a la original de 35 kHz, se denomina **alias de aquella**. Obsérvese especialmente que la frecuencia original (35 kHz) no produce sensación audible, pero la nueva frecuencia, no sólo es audible sino que está cerca de la región de máxima sensibilidad del oído y por lo tanto se percibirá como un silbido notorio y molesto.

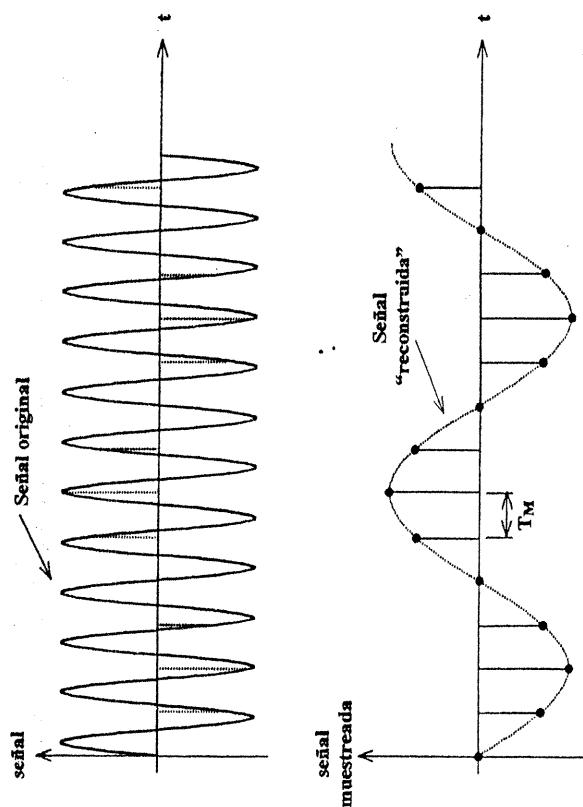


Figura 15.2. Efecto del muestreo con una frecuencia menor que el doble de la máxima frecuencia contenida en la señal. Una señal de 35 kHz se muestrea con una frecuencia de 40 kHz, al intentar reconstruirla, aparece una frecuencia alias de 5 kHz.

El ejemplo anterior nos está señalando que si pretendemos que la señal pueda reconstruirse correctamente, después del proceso de muestreo es imprescindible eliminar toda frecuencia espuria que caiga más allá del espectro de audio, es decir por encima de 20 kHz. Se utiliza para ello un filtro pasabajos de pendiente muy abrupta en la banda de corte 96 dB/octava ó más), denominado **filtro antialiasing filter**.

La elección como frecuencia de muestreo estándar de 44,1 kHz para audio digital obedece precisamente a este problema de las frecuencias alias y la consecuente necesidad de un filtro antialias. Si imponemos una frecuencia máxima de 20 kHz para el audio de alta calidad, el filtro antialias deberá tener su frecuencia de corte en 20 kHz, y como su caída es rápida pero no *inifinitamente* rápida, recién después de los 22 kHz se puede considerar que las señales espurias han quedado reducidas a niveles despreciables (Figura 15.3). Por ello se ha adoptado una frecuencia de algo más del doble, es decir 44,1 kHz (el valor *exacto* de 44,1 kHz en lugar de 44 kHz surgió en los comienzos de la grabación digital en cinta de video, para compatibilizar la norma de audio con la de video).

Un inconveniente de los filtros antialias es su gran complejidad y el hecho de que no son del todo inofensivos para la señal dentro de la banda de paso (en este caso la de audio). Aunque el filtro afecte sólo imperceptiblemente la amplitud de la señal en dicha banda, afecta de un modo apreciable la fase, lo cual puede alterar la imagen estéreo.

Además, afecta las señales rápidamente variables agregando pequeños transitorios de frecuencias próximas a la de corte. Por esa razón, otros formatos de audio digital utilizan frecuencias de muestreo más altas, como 48 kHz (el DAT, por ejemplo), que requieren filtros menos complejos. En realidad la frecuencia de 44,1 kHz obedece limitaciones tecnológicas propias de la época en que surgió el compact disc.

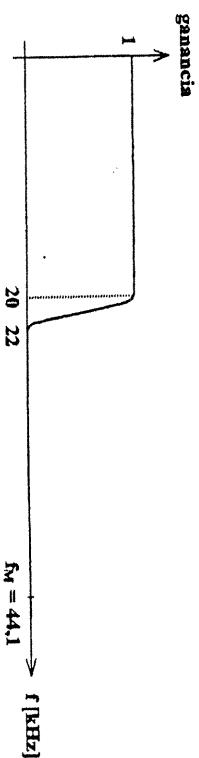


Figura 15.3. Respuesta en frecuencia de un filtro antialias utilizado para audio digital de alta calidad.

15.5. Digitalización

Una vez tomada cada muestra es necesario almacenarla, y para ello debe ser transformada en un número, más específicamente, en un número binario. Esta función la cumple un dispositivo denominado **convertidor analógico-digital (A/D)**, que convierte valores de tensión en números binarios.

Consideremos el ejemplo de la Figura 15.4, en el cual utilizamos números binarios de 3 dígitos. Dado que un dígito binario se denomina **bit** (del inglés, binary digit), estamos utilizando, por lo tanto, números de 3 bits. Es fácil ver que existen **8** ($= 2^3$) números de 3 bits: 000, 001, 010, 011, 100, 101, 110 y 111. Para representar los diversos valores de tensión que pueden tomar las muestras, dividimos el rango de variación de la señal en **8** niveles, y aproximamos cada muestra al nivel inmediato inferior.

En la parte central de la Figura 15.4 se comparan las muestras exactas (puntos vacíos), y las muestras digitalizadas (puntos llenos), aproximándolas de la manera comentada. Vemos que el error máximo que se comete es de una división, que a su vez corresponde a 1 bit. La forma de onda reconstruida difiere considerablemente de la original debido a que una resolución de 3 bits es muy pequeña.

En el ejemplo anterior adoptamos, en forma arbitraria, una resolución de 3 bits. El resultado fue, como pudo observarse, bastante deficitario, ya que la onda reconstruida estaba muy distorsionada. Sería interesante disponer de algún criterio más sistemático para seleccionar la resolución requerida.

El problema es similar al de decidir cuántos dígitos decimales se necesitan para representar una longitud dada con suficiente precisión. Por ejemplo, si quisieramos representar la longitud de objetos menores de 1 m con una precisión milimétrica, necesitaríamos 3 dígitos decimales, ya que dichos objetos podrían medir entre 0 y 999 mm. Si en cambio quisieramos una precisión de décimas de milímetro, necesitaríamos 4 dígitos, ya que los objetos podrían medir entre 0 y 9,999 décimas de m.

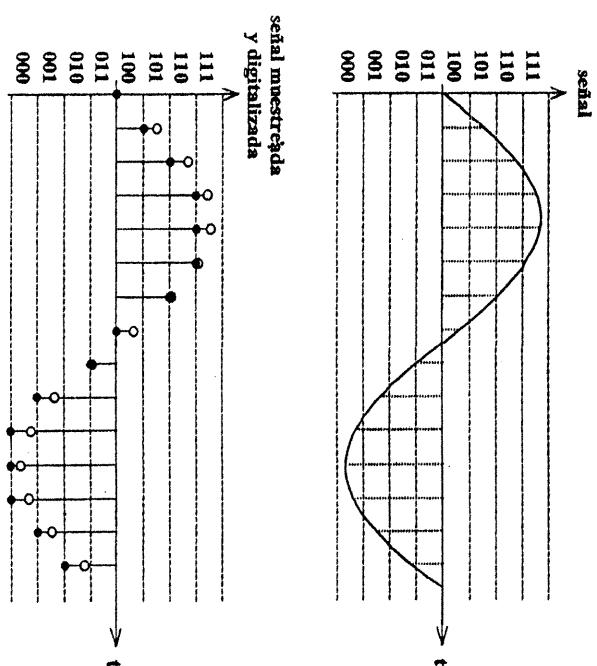


Figura 15.4. Efecto del proceso de muestreo y digitalización sobre una onda senoidal. La resolución es de 3 bits y la frecuencia de muestreo 14,7 veces mayor que la frecuencia de la onda. En la figura central los puntos vacíos representan las muestras exactas y los puntos llenos las muestras digitalizadas. Abajo se muestra la señal reconstruida.

En audio, el criterio para determinar la "precisión" es la relación señal/ruido. Analicemos desde este punto de vista el ejemplo de la Figura 15.4. Dejando de lado el ruido propio que pudiera contener la señal, un efecto colateral de la digitalización es la aparición de un error, el cual puede asimilarse a un ruido. Este ruido se conoce como ruido de digitalización. Bajo esta interpretación, el máximo valor pico a pico de la señal es proporcional a 8, y el máximo valor pico a pico de ruido es proporcional a 1. Entonces, la relación señal a ruido es $8/1 = 8$, que expresada en dB es

$$S/R = 20 \log_{10} \frac{8}{1} = 18 \text{ dB}.$$

Si tenemos en cuenta que en audio de alta fidelidad se manejan hoy en día relaciones señal/ruido mayores de 90 dB, podemos comprender por qué una resolución de 3 bits es por completo insuficiente.

Supongamos ahora que aumentamos la resolución a 4 bits. Dado que ahora hay 16 posibles valores en lugar de 8, la relación señal a ruido en dB será ahora

$$S/R = 20 \log_{10} \frac{16}{1} = 24 \text{ dB}.$$

Vemos que se ha incrementado en 6 dB. Esto puede interpretarse así: si bien la amplitud de la señal no cambió, al duplicar la cantidad de niveles, cada nivel se redujo a la mitad, por lo cual el ruido de digitalización también se redujo a la mitad. Entonces la relación señal a ruido se duplica, y una duplicación equivale a un incremento de 6 dB. Si ahora incrementáramos la resolución nuevamente en 1 bit, llevándola a 5 bits, observaríamos que nuevamente el ruido se reduciría a la mitad, por lo que la relación señal/ruido experimentaría otro incremento de 6 dB.

Podemos obtener una expresión general para la relación señal a ruido. Si adoptamos una resolución de n bits, donde n es cualquier número entero, resulta

$$S/R_{n \text{ bits}} = 6 \cdot n \text{ dB}$$

Aplicando esta fórmula a la resolución estándar de 16 bits utilizada en los formatos más populares de almacenamiento de sonido digital, resulta una relación señal/ruido de 96 dB. Esta relación señal/ruido es, en condiciones normales, suficiente para crear contrastes dinámicos imponentes. En efecto, tengamos en cuenta que muy rara vez se tiene en la música un nivel sonoro de más de 110 dB (el cual es realmente ensordecedor y para nada recomendable). Si restamos a este valor 96 dB, obtenemos 14 dB, nivel sonoro que probablemente pocas personas tengan el privilegio de haber "escuchado", ya que aún en condiciones de gran silencio durante la noche, en una habitación interior, normalmente es difícil bajar de los 20 dB de nivel de presión sonora.

Es necesario advertir que aunque un sistema funcione con formato de audio digital de 16 bits, su relación señal/ruido *no necesariamente será de 96 dB*. Esto se debe a que en los diversos componentes analógicos que forman parte de todo dispositivo se genera ruido que se agrega al ruido de digitalización. En los equipos de bajo costo, como por ejemplo los discman o los minicomponentes, la electrónica de baja costo (y baja calidad) utilizada en su fabricación es particularmente ruidosa y la relación señal/ruido real es bastante menor que 96 dB.

15.6. Reconstrucción de la señal

Vamos ahora con más detalle el proceso de reconstrucción de la señal. El procedimiento más simple consiste en obtener, mediante un conversor digital-analógico (D/A), un valor proporcional al número binario de cada muestra y mantenerlo constante hasta

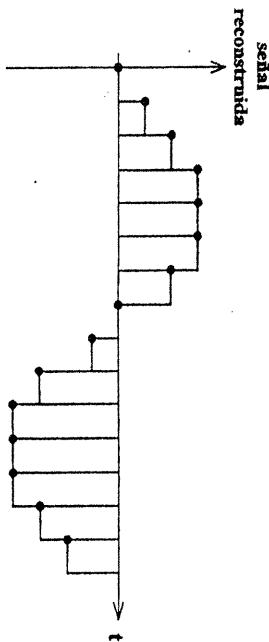


Figura 15.5. Reconstrucción de la señal digitalizada de la Figura 15.4 mediante una retención simple.

Una vez reconstruida la señal, debemos utilizar un **filtro de suavizado**, es decir un filtro pasabajos que quite la forma escalonada que resulta de la retención simple. Dicho filtro debe tener características similares a las del filtro antialias que habíamos introducido para la digitalización, es decir, debe ser bastante abrupto para eliminar casi por completo las frecuencias superiores a los 20 kHz, y en cambio permitir pasar las inferiores. Nuevamente, un filtro de ese tipo por un lado es complejo y por el otro produce distorsiones de fase. Para resolver esta situación se ha introducido el concepto de **sobre muestreo (oversampling)**.

El sobre muestreo consiste en intercalar, entre las muestras de la señal *realmente* obtenidas o almacenadas, otras "muestras" calculadas por interpolación. Así, por ejemplo, un sobre muestreo por 8 agrega 7 muestras calculadas por cada muestra real. El resultado equivale a una frecuencia de muestreo 8 veces superior a la original. Si $f_m = 44,1$ kHz, entonces la nueva frecuencia de muestreo es de 352,8 kHz, la cual puede eliminarse con filtros pasabajos muchísimo más sencillos y con menos efectos sobre la fase y sobre los transitorios de la señal. El sobre muestreo se utiliza hoy corrientemente en los reproductores de compact disc, lo cual es posible porque la velocidad de la electrónica es mucho mayor que lo que era cuando recién había surgido esta nueva tecnología.

15.7. Memorias electrónicas

Introduzcamos ahora algunos conceptos relativos a las memorias electrónicas. Existen básicamente dos tipos de memorias: las memorias RAM (random access memory), y las memorias ROM (read only memory). Las memorias RAM son memorias de *lectura y escritura*, es decir en las cuales es posible escribir (guardar) números binarios, y posteriormente leerlos. Son memorias volátiles, es decir que una vez interrumpido el suministro de energía eléctrica (al desconectar el equipo) la información se pierde. Las memorias ROM son memorias de *lectura solamente*, en las cuales no es posible escribir.

que llegue una nueva muestra, es decir durante un período de muestreo T_m . Este procedimiento se denomina **retención simple**. En la Figura 15.5 se muestra este procedimiento para la señal digitalizada de la Figura 15.4.

En ellas hay datos fijos de fábrica, que no se pierden al desenergizar el equipo. Se utilizan mucho para guardar formas de onda muestradas, como en la mayoría de los sintetizadores actuales.

En ambos tipos de memoria los datos se almacenan en posiciones sucesivas, cada una de ellas identificada con un número binario denominado dirección. En la Figura 15.6 se ilustra con un ejemplo la estructura de una memoria con datos de 4 bits y direcciones de 3 bits. Así, en la dirección 0, es decir 000, se encuentra almacenado el número binario 0110 (en decimal, 6), y en la dirección 3, es decir 011, se encuentra almacenado

000	001	010	011	100	101	110	111
0110	0001	1110	1101	0010	1000	0001	0010

Figura 15.6. Estructura de almacenamiento de una memoria digital. La memoria se organiza en posiciones identificadas con direcciones.

el número binario 1101 (en decimal, 13). En la Figura 15.7 se muestran las entradas y salidas principales de una memoria RAM. Cuando nos referimos a una entrada de datos de 4 bits, por ejemplo, en realidad está formada por 4 líneas o cables, y por eso tanto la entrada como la salida y la dirección se han dibujado como flechas gruesas. Las entradas

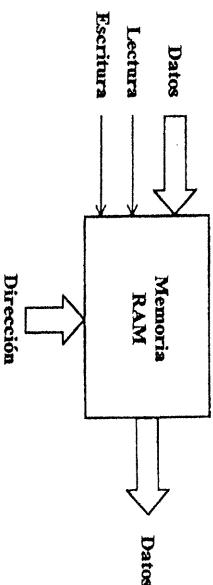


Figura 15.7. Entradas y salidas de una memoria RAM. Las flechas delgadas representan señales binarias de 1 bit de control, y las flechas gruesas son datos digitales de varios bits.

de lectura y escritura son señales binarias de 1 bit, cuya función es de control. Cuando la

entrada de escritura toma el valor 1, el dato digital X presente en ese instante en la entrada de datos se escribirá en la dirección D indicada por la entrada de direcciones. Para leer dicho valor, bastaría volver a aplicar el valor D en la entrada de direcciones y dar valor 1 a la entrada de lectura. El valor guardado aparecerá en la salida de datos.

Desde el punto de vista del conexionado, la única diferencia entre una memoria RAM y una ROM es que esta última no tiene entrada de escritura. En el caso de la RAM, después de escribir un dato en una dirección éste quedará almacenado allí hasta que se escriba un nuevo dato en el mismo lugar o hasta que se interrumpa el suministro de energía eléctrica al circuito.

Cuando se digitalizan señales de muy bajo nivel (cercano a la resolución del convertidor) el ruido de digitalización se convierte en una distorsión, cuyo efecto es más perjudicial que el de un ruido aleatorio. Por ejemplo, si se digitaliza una señal senoidal de 100 Hz y amplitud apenas menor que un escalón (Figura 15.8), se obtiene una señal

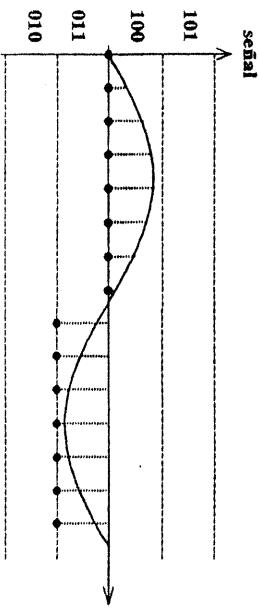


Figura 15.8. Distorsión creada al muestrear señales de bajo nivel.

que al reconstruirse será muy similar a una onda cuadrada, y por lo tanto contendrá armónicos de 300 Hz, 500 Hz, 700 Hz, etc. Si en lugar de una onda senoidal se aplicaran dos o más, aparecería, similamente, una distorsión por intermodulación sumamente deseable.

Una manera de evitar estos inconvenientes es aplicar una pequeña cantidad de ruido aleatorio antes del muestreo y posterior digitalización. Este ruido, cuyo valor eficaz es, normalmente, menor que un escalón, se denomina dither. Si bien el efecto es empeorar ligeramente la relación señal a ruido, desde el punto de vista auditivo transforma esta distorsión en un ruido aleatorio, que es mucho más aceptable, sobre todo en niveles tan bajos.

También se acostumbra a aplicar dither en los procesos de *recuamización*, es decir cuando, por ejemplo, se desea reducir la resolución de una señal grabada en 20 bits a 16 bits a fin de volcarla a un formato comercial como el compact disc. Si solamente se truncaran los datos de 20 bits eliminando los 4 bits menos significativos, se producirían inconvenientes similares al descripto. En ese caso, el ruido se genera digitalmente y se agrega antes de proceder al truncado.

Capítulo 16

Efectos I: Concepto y estructuras

16.1. Introducción

Los procesadores que hemos visto hasta el momento (por ejemplo los compresores) tienen la particularidad de que procesaban la totalidad de la señal que los atravesaba. Existe otro gran conjunto de procesadores denominados genéricamente **procesadores de efectos**, o simplemente **efectos**, que se utilizan mezclando la señal procesada (señal "húmeda") con parte de la señal sin procesar (señal "seca"). En términos generales los efectos agregan realismo, ambientación y espacialidad al sonido, o le dan extensión, o movimiento, o mayores posibilidades expresivas. También pueden alterar diversas características de los sonidos, como el contenido espectral, la frecuencia, o la envolvente.

16.2. Efectos en serie y en paralelo

En la terminología habitual se suele denominar **efectos en serie** o **efectos de inserción a los procesadores** que procesan la totalidad de la señal y **efectos en paralelo** a los procesadores de efectos propiamente dichos. En la Tabla 16.1 se incluye una lista de algunos efectos de ambos tipos, y en la Figura 16.1 se muestran las estructuras de conexión de los mismos. Las conexiones generalmente disponibles en las consolas mezcladoras están motivadas por la existencia de dichas estructuras, y son de dos tipos: de inserción y auxiliares.

16.3. Conexiones de inserción

La conexión de inserción (en inglés, *insert*), consiste simplemente en un conector tipo jack con interrupción. En vacío (es decir sin conexión externa), la entrada queda directamente puentecada hacia la salida, mientras que al insertar un **plug** la señal es devuelta a través de una conexión de envío (en inglés, *send*) hacia el procesador, después del cual, ya procesada, reingresa a través de una conexión de retorno (en inglés, *return*).

16.4. Conexión auxiliar

En la conexión auxiliar, la salida, llamada **envío auxiliar** va hacia el procesador de efecto, luego del cual la señal ya procesada vuelve y reingresa a través de una entrada denominada **retorno auxiliar**. En este caso existen normalmente dos potenciómetros

Tabla 1. Algunos efectos en serie y en paralelo de gran popularidad.

Efectos en serie	Efectos en paralelo
Ecualizador de bandas	Retardo (Delay)
Ecualizador paramétrico	Reflexiones tempranas
Compresor	Reverbación
Compuerta	Ambientia
Expansor	Coro (Chorus)
Limitador	Flanger
Vibrato	Phaser
Wah-wah	Trémolo
	Distorsión
	Resaltadores (Enhancers)
	Excitadores (Exciters)
	Desplazador de altura

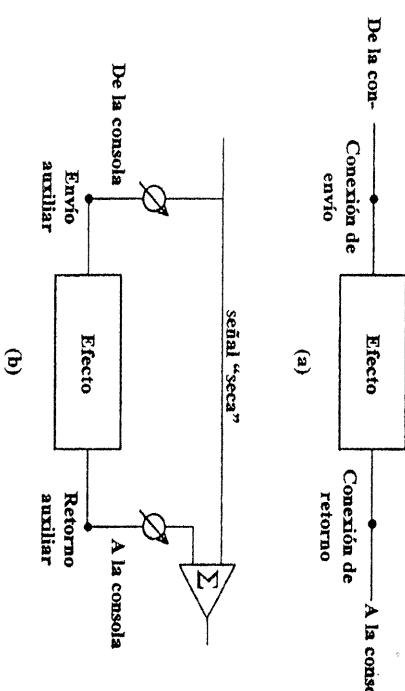


Figura 16.1. (a) Conexión de un efecto en serie en un punto de inserción. (b) Conexión de un efecto en paralelo, intercalándolo entre una salida de envío auxiliar y una entrada de retorno auxiliar (ver texto). Los círculos con flechas representan ajustes de nivel (o ganancias) y el triángulo, un sumador.

para ajustar los niveles de la señal que va hacia el efecto y de la señal que vuelve de él. La estructura se completa con un sumador o mezclador que suma las señales procesada ("humedada") y sin procesar ("seca").

El tipo de conexión de los efectos en paralelo se denomina, en electrónica, conexión feedforward (palabra inglesa de difícil traducción, que significa que se alimenta un punto posterior con la misma señal de entrada).

16.5. Realimentación de efectos

Los procesadores de efectos suelen tener, internamente, una conexión (a veces opcional), conocida como **realimentación** o **retroalimentación** (en inglés, feedback), por medio de la cual se reinyecta en la entrada, a través de un sumador, una parte de la señal de salida (Figura 16.2). El resultado de aplicar una realimentación depende mucho del tipo de efecto y del nivel de la señal reinyectada, y será estudiado en cada caso. El ejemplo, que ya hemos analizado oportunamente, es un caso de realimentación *parásita* o no

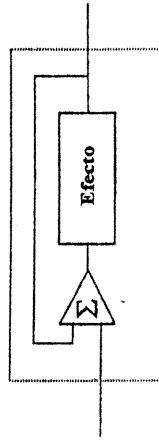


Figura 16.2. Realimentación dentro de un procesador de efectos.

deseada (en este caso una realimentación electroacústica), y muestra claramente la variedad de situaciones a que puede dar origen una realimentación según el nivel de la señal de retorno, abarcando desde un leve campanilleo hasta la inestabilidad lisa y llana del sistema.

Capítulo 17

Efectos II: Retardos, ecos y reverberación

17.1. Introducción

El **retardo** (en inglés, delay) es la piedra fundamental de un gran número de efectos. La función de este dispositivo consiste en retardar una señal un tiempo determinado T_B , que en general puede ajustarse desde una fracción de ms hasta algunos s.

17.2. Retardos analógicos

Antes del advenimiento de la era digital el retardo sólo estaba resuelto de un modo incompleto e imperfecto, o bien poco elegante. Por ejemplo, a veces se utilizaban circuitos pasivos que introducían un desfase en la señal, pero esto permitía sólo retardos muy cortos y en rangos limitados de frecuencia. También se utilizaban largos resortes con un actuador vibratorio en un extremo, que ponía a vibrar dicho extremo, y un sensor de vibraciones en el otro, que recogía la onda vibratoria un tiempo después (dependiente de la velocidad de propagación de las ondas vibratorias y de la longitud del resorte). Era muy difícil corregir la coloración metálica del sonido recibido, debido a las resonancias propias del resorte. Una técnica más perfecta pero costosa, consistía en disponer de un grabador de carretes con cabezales de grabación y monitoreo independientes. Desviando la cinta algunos cm entre ambos cabezales con una polea auxiliar, se lograba ajustar el tiempo transcurrido entre la grabación y la reproducción de lo inmediatamente grabado. El tiempo de retardo mínimo estaba limitado por la velocidad máxima de la cinta y la distancia mínima entre cabezales, y en la práctica no era fácil bajar de unos 50 ms.

17.3. Retardos digitales

La tecnología digital permitió resolver el problema de un modo sencillo y elegante, a la vez implementable a un costo muy accesible y con altas prestaciones. La idea es simple, y esencialmente es la misma que la del grabador. Consiste en grabar el sonido digitalmente en una memoria, y leer la memoria un tiempo después. La diferencia con el grabador de cinta es que el tiempo mínimo entre la grabación (escritura) de la memoria y

su lectura puede hacerse prácticamente tan pequeño como se deseé, pudiéndose llegar a retardos menores de 0,025 ms.

Consideremos ahora el diagrama de bloques de un retraso digital como el que se muestra en la Figura 17.1. Consiste de un conversor analógico-digital (A/D), un conversor digital-analógico (D/A), una memoria, y un reloj. El reloj en este caso no es un

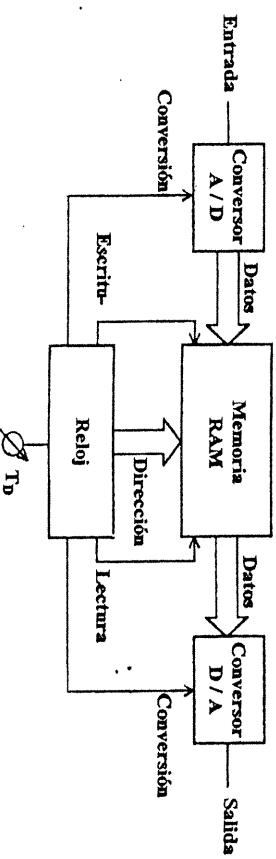


Figura 17.1. Diagrama de bloques de un retraso digital. Las líneas de entrada y salida llevan señales analógicas. Las flechas delgadas llevan señales binarias de 1 bit, utilizadas por el reloj para emitir órdenes hacia los conversores y la memoria. Las flechas gruesas, llevan información digital: la señal digitalizada y la dirección o posición en la memoria del dato a escribir o leer. El retraso T_B es, normalmente, ajustable

simple dispositivo para contabilizar el tiempo, sino que comanda las operaciones de los otros tres bloques. En la Figura 17.2 se ilustra con un ejemplo el funcionamiento de este retraso.

La operación se divide en ciclos de muestreo, en cada uno de los cuales se toma una muestra de la señal de entrada y se la almacena en la memoria. Para ello el reloj envía al conversor A/D un pulso por la línea rotulada "conversión", ordenándole tomar una muestra de la señal de audio que tiene en la entrada y convertirla en un dato binario. Luego el reloj coloca un valor de dirección en la entrada de direcciones de la memoria, y envía una señal de escritura, con lo cual dicho dato queda almacenado en esa dirección.

En el ejemplo de la Figura 17.2, en el primer ciclo se almacena la primera muestra (101) en la dirección 000, en el segundo ciclo se almacena la segunda muestra (101) en la dirección 001, y así sucesivamente hasta que transcurre una cantidad de ciclos equivalente al retraso T_B elegido (en este caso, 3 ciclos). A partir de allí, luego de almacenado un dato, el reloj vuelve a colocar la primera dirección en la entrada correspondiente de la memoria, y envía una señal de lectura, con lo cual el primer dato que se había almacenado aparece en la entrada del conversor D/A. Luego el reloj envía una señal de conversión al conversor D/A, y éste convierte el dato binario en un valor de tensión que aparece en la salida. En los ciclos subsiguientes el proceso se repite, observándose que la salida se encuentra retrasada siempre un tiempo fijo respecto a la entrada, correspondiente a 3 ciclos.

Ahora bien. La capacidad de cualquier memoria electrónica (es decir la cantidad de datos que pueden almacenarse en ella), por grande que sea, está limitada. Corresponde preguntarse qué sucede cuando se llega a ocupar toda la memoria. Aparentemente, el

señal, muestras

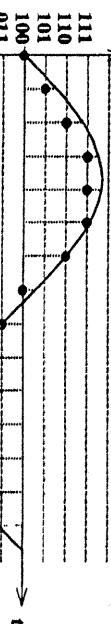
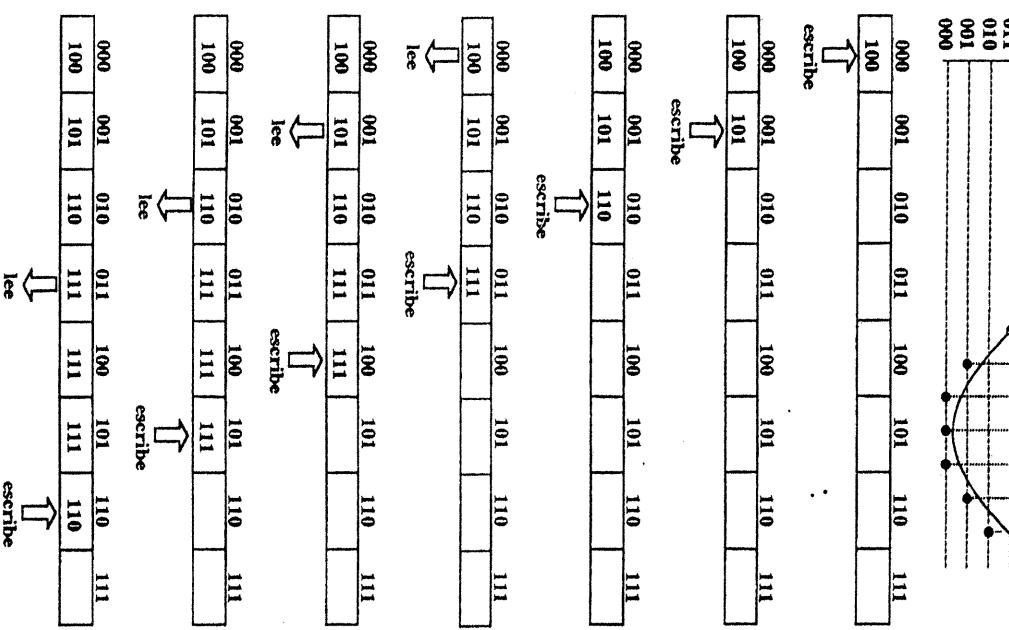


Figura 17.2. Funcionamiento de un retraso digital. Durante los tres primeros ciclos de muestreo sólo se escribe en la memoria. A partir de allí se escribe en una posición y se lee el contenido ubicado tres posiciones más atrás.



proceso anterior no podría continuar. Sin embargo, podemos simplemente volver al principio de la memoria y escribir los nuevos valores a partir de la primera posición. Evidentemente, los valores anteriormente almacenados allí se perderán, pero ello no tiene importancia dado que ya *han sido leídos*.

En lugar de 3 ciclos podríamos lograr retardos mayores, pero es necesario tomar la precaución de no exceder la capacidad de la memoria. Supongamos, por ejemplo, que queremos muestrear con la frecuencia de muestreo estándar de 44,1 kHz. Entonces cada ciclo de muestreo tendría una duración de

$$\frac{1}{44100} \text{ s} \equiv 22,7 \mu\text{s}.$$

Si quisieramos un retardo de 0,3 s, por ejemplo, requeriríamos una memoria con una capacidad mayor que

$$\frac{0,3}{0,0000227} = 0,3 \cdot 44100 = 13230$$

datos de 16 bits. Esto equivale a una capacidad mayor de 26460 bytes, donde un byte corresponde a 8 bits (y por lo tanto un dato de 16 bits ocupa 2 bytes). Por un razamiento similar, se concluye que una memoria de 1 Mbyte (un Mbyte equivale a 1.048.576 bytes, es decir aproximadamente un millón de bytes) permite un retardo estéreo de hasta unos 6 s.

17.4. Reflexiones y Ecos

Como se indicó al principio, los retardos son la base de numerosos efectos y aplicaciones. El primer ejemplo es la simulación de ecos. El eco consiste en la repetición de un sonido a causa del retardo entre la onda directa y la reflejada en alguna superficie relativamente distante (Figura 17.3). Para que dicho fenómeno se perciba propiamente como un eco, el retardo debe ser mayor que unos 100 ms. Teniendo en cuenta la velocidad del sonido, ello implica una distancia de por lo menos 17 m a la pared más próxima. La diferencia entre un simple retardo y un eco es que en el eco aparecen simultáneamente

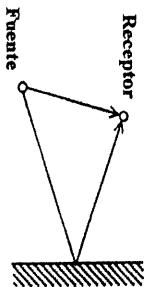


Figura 17.3. Un eco se produce cuando existe un camino directo y otro proveniente de una reflexión del sonido de modo que entre el frente de onda directo y el reflejado hay un retardo mayor de 100 ms.

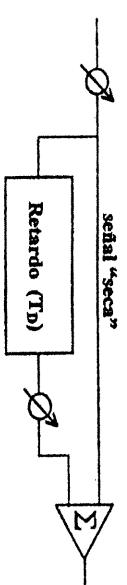


Figura 17.4. Conexión de un retraso para obtener un eco único. Los ajustes de nivel permiten regular la proporción entre el sonido directo y el reflejado.

El diagrama de la Figura 17.4 permite simular un eco único después del sonido directo. En muchos casos es necesario simular un eco múltiple o repetitivo, como el que tiene lugar entre dos paredes paralelas separadas por una distancia considerable (Figura 17.5). Este efecto se puede simular digitalmente agregando una realimentación al retraso, como se muestra en la Figura 17.6. En este caso la duración del efecto es mucho

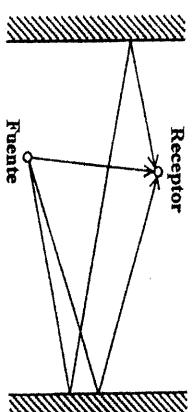


Figura 17.5. Sonido directo, primer eco y segundo eco de un eco múltiple o repetitivo.

más prolongada. En efecto, un tiempo T_B después del sonido directo, el retraso produce una versión retrasada que vuelve a entrar en el retraso. Después de un nuevo intervalo T_B aparece la reflexión de la reflexión. El esquema permite ajustar el nivel de la realimentación, lo cual determina cuántas repeticiones se producirán antes de que el sonido se vuelva inaudible.

Tanto el eco simple como el múltiple pueden adquirir mayorrealismo si se tiene en cuenta que en las reflexiones reales la energía de la onda reflejada depende de la frecuencia. Así, en la mayor parte de las superficies las bajas frecuencias son menos absorbidas que las altas frecuencias. Así, una alfombra que a una frecuencia de 100 Hz tiene un coeficiente de absorción sonora de 0,05, a 4 kHz puede tener una absorción de 0,70. Lo mismo puede decirse (aunque con menores diferencias) de los materiales típicos de acabado superficial de las paredes (revoque, pintura, yeso, etc.).

la señal original y la retardada, es decir que se trata de una conexión en paralelo (Figura 17.4). Debido a la mayor distancia recorrida por el sonido reflejado, y a la absorción en la superficie reflectora es necesario atenuar este último.

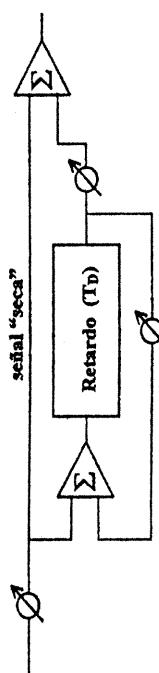


Figura 17.6. Conexión de un retardo con una realimentación para obtener un eco múltiple.

Esta variación con la frecuencia de la energía reflejada se logra en la práctica intercalando un ecualizador después del retardo, como se muestra en la Figura 17.7. De esa manera, cada retardo se verá atenuado selectivamente con la frecuencia, simulando el comportamiento de las superficies reflectoras.

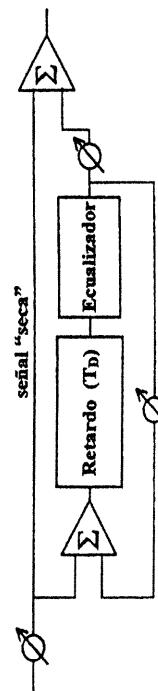


Figura 17.7. Aplicación de un ecualizador a un procesador de ecos múltiples para simular el efecto de la absorción superficial dependiente de la frecuencia.

En los procesadores digitales, no sólo los de ecos sino los de cualquier tipo, las operaciones indicadas en los diagramas de bloques se realizan siempre a nivel digital, existiendo un conversor analógico-digital a la entrada y un conversor digital-análogo a la salida. Así, las mezclas resultan ser simples sumas, y los ajustes de ganancia o atenuación, multiplicaciones.

Debido a que los procesadores más complejos requieren realizar una gran cantidad de operaciones, internamente trabajan con datos con mayor resolución en bits que la de los conversores. Por ejemplo, si el procesador es de 16 bits, es posible que internamente trabaje con 24 ó 32 bits. Esto evita la acumulación de errores de truncamiento debido a la gran cantidad de operaciones sucesivas.

Para comprender el concepto de *acumulación de errores*, supongamos que comenzando por el número 1,000, lo multiplicamos 10 veces seguidas por 0.25. Si en todas las operaciones conservamos todas las cifras significativas que permite una calculadora común, el resultado es 0,00095367431. Si, en cambio, en cada operación nos quedamos sólo con las tres cifras más significativas, el resultado es 0,000942, que comparado con el valor exacto truncado a sólo tres cifras, es decir 0,000953, implica un error considerable. Así, de tres cifras exactas que podríamos haber tenido, sólo queda *una* correcta, otra *aproximada*, y la otra *inaprovechable*. Trasladando el ejemplo a cifras binarias, sería

equivalente a perder alrededor de 4 bits, de manera que el sistema se comportaría como de 12 bits en lugar de 16 bits. Trabajar internamente con mayor resolución en bits es equivalente a trabajar con todas las cifras que permite la calculadora, y truncar recién al final.

17.5. Reverberación

En las estructuras anteriores supusimos que el retardo era considerable (más que 100 ms), lo cual permite simular las reflexiones que tienen lugar entre paredes relativamente distantes. En una habitación real, la situación es bastante más complicada. En primer lugar las dimensiones pueden ser más pequeñas, lo cual requiere retardos menores, en el orden de 10 a 40 ms. En segundo lugar no existe un único retardo, sino varios, dado que en una habitación hay varias superficies. Por ejemplo, en una habitación rectangular, que es la forma más sencilla y por consiguiente más común, existen tres pares de superficies paralelas, lo cual introduce al menos tres retardos diferentes. En tercer lugar, las ondas sonoras muy rara vez quedan reflejándose una y otra vez entre dos paredes, sino que por ser oblicuas van reflejándose en diversas paredes, experimentando de ese modo retardos igualmente diversos. Por último, existe un periodo inicial en el cual aparecen las reflexiones tempranas, es decir reflexiones aisladas que proveen claves psicoacústicas importantes en relación con la ambiciencia, es decir con las características de un ambiente en cuanto a tamaño, geometría, etc.

Para lograr reunir en un sistema digital estas características de la reverberación es necesario, por lo tanto, incluir: 1) algunos retardos sin realimentación que simulen las reflexiones tempranas; 2) por lo menos tres retardos realimentados mutuamente, es decir cuyas salidas no sólo se reinyectan a los retardos que las generaron sino también a los otros, atravesando previamente sendos ecualizadores. En la Figura 17.8 se muestra un ejemplo de diagrama de bloques de una reverberación digital sencilla. En este caso, hay cuatro reflexiones tempranas cuyos retardos (T_{ref1} a T_{ref4}) y niveles son ajustables. Esta parte del sistema crea la *ambiciencia*, que permite al oyente ubicarse espacialmente en el ambiente acústico. Del mayor de los retardos (T_{ref4}) se toma la señal que ingresa al reverberador propiamente dicho, compuesto por otros tres retardos (T_1 , T_m , T_s), cuyas salidas pasan por sendos ecualizadores (E_{c1} , E_{c2} , E_{c3}) y van a un mezclador final. Parte de cada salida es realimentada a los tres retardos, lo cual permite, por ejemplo, que la salida de uno de ellos vaya a la entrada del otro, obteniéndose una señal cuyo retardo es la suma de los dos retardos. Esto permite obtener una gran densidad de reflexiones, ya que son posibles retardos que son la suma de varios veces cada uno de ellos. Por ejemplo, es posible una señal que sea retardada un tiempo $4 T_{ref} + 5 T_m + 3 T_s$. Al mezclador final va también el sonido directo (señal "seca"), completando de esa manera el efecto. El esquema podría hacerse más complejo todavía agregando ecualizadores a las reflexiones tempranas, o aumentando la cantidad de reflexiones tempranas y retardos reverberantes, o enviando porciones distintas de cada retardo a dos canales estéreo fónicos, creando así efectos de gran sutileza, y permitiendo una enorme versatilidad yrealismo en la simulación de diversos ambientes acústicos tales como habitaciones pequeñas, grandes, salas de teatro, salas de concierto, templos, etc.

30 m de la pantalla existirán dos ondas sonoras, con una diferencia de $20/344$ s, es decir 58 ms entre sí. Esto tiene como efecto una reducción de la inteligibilidad del mensaje propagado (ya sea musical o hablado). Por otra parte, aquellos sonidos cuya semilongitud de onda sea un submúltiplo impar de 20 m, es decir 25,8 Hz, 43 Hz, 60,2 Hz, etc., experimentarán cancelaciones, reduciéndose mucho la respuesta en esas frecuencias (efecto peine). Un retardo digital de 58 ms intercalado antes del amplificador que surge a los altavoces de la mitad de la sala evitara estos inconvenientes (debido a la orientación hacia atrás de estos altavoces, su influencia en las filas de adelante será pequeña).

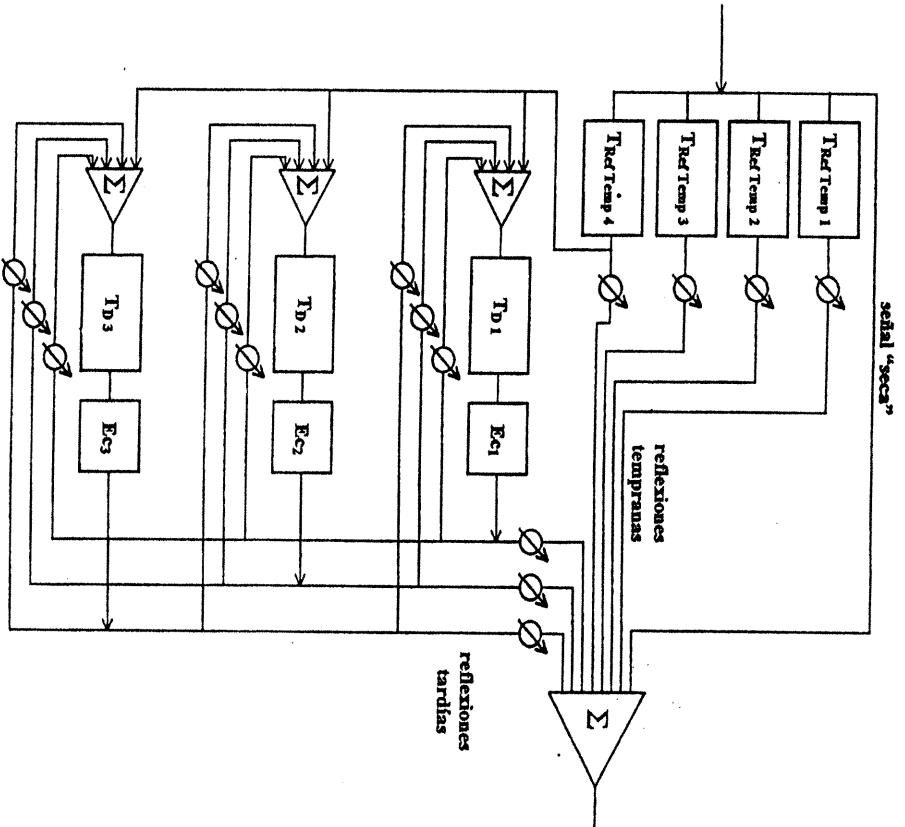


Figura 17.8. Diagrama de bloques de una reverberación digital. Está compuesto por cuatro retardos que simulan las reflexiones tempranas, y tres retardos realimentados mutuamente a través de ecualizadores que simulan las reflexiones tardías.

17.6. Otras aplicaciones de los retardos

Los retardos pueden utilizarse para compensar retardos naturales de la señal acústica. Supongamos, por ejemplo, un sistema de refuerzo sonoro de un cine, en el cual existe un juego de altavoces detrás de la pantalla y otro juego hacia la mitad de la sala. Si entre ambos sistemas acústicos hay una distancia de 20 m, para un espectador ubicado a

Capítulo 18

Efectos III: Modulación, trémolo, vibrato

18.1. Introducción

Otro concepto muy utilizado en la obtención de efectos es el de **modulación**. La modulación consiste en variar (en general cíclicamente, aunque en algunos casos en forma aleatoria) uno o más parámetros de un generador de sonido o de un procesador.

18.2. Trémolo

Uno de los primeros efectos que surgió en el audio analógico, hace ya varias décadas, es el **trémolo**, que consiste en una fluctuación periódica de la **amplitud**, o **modulación de amplitud** (Figura 18.1). Este efecto provoca una sensación de movimiento que puede utilizarse para agregar expresividad al sonido. Es interesante señalar una aplicación precursora del trémolo a un instrumento de percusión acústico: el *vibráfono*. Este instrumento está dotado de un mecanismo a motor que abre y cierra cíclicamente unos tubos resonadores, creando un efecto de trémolo, lo cual proporciona al instrumento una personalidad propia que no tiene ningún otro metalófono.

La frecuencia de la fluctuación es por lo general baja, entre 0.1 Hz (un ciclo cada 10 s) y 10 Hz, por lo cual el efecto es el de una suave variación periódica de intensidad. Si la frecuencia de la modulación se ajusta a alguna derivación del *tempo* de la pieza, pueden simularse efectos de notas repetidas. Por ejemplo, si una pieza utiliza una indicación metrómica de 60 negras por minuto (1 negra por segundo), entonces una modulación de amplitud de frecuencia 4 Hz será equivalente a una nota repetida en semicorcheas (4 semicorcheas duran lo mismo que una negra). Por esta razón, y por el hecho de que la frecuencia de la modulación no se percibe como *un tono* sino como *un movimiento*, se le suele denominar **velocidad** del trémolo en lugar de frecuencia. La proporción en que varía la amplitud se denomina, a su vez, **profundidad** del trémolo.

La implementación electrónica del trémolo se logra por medio de un oscilador de baja frecuencia (LFO, del inglés *low frequency oscillator*) cuya oscilación es inyectada en la entrada de control de un amplificador controlado por tensión (VCA, del inglés *voltage controlled amplifier*), como se muestra en la Figura 18.2. El efecto se completa mezclando la señal con modulación pura con la señal sin modular. El trémolo es uno de

los efectos más sencillos de realizar analógicamente, aunque en la actualidad se implementa digitalmente.

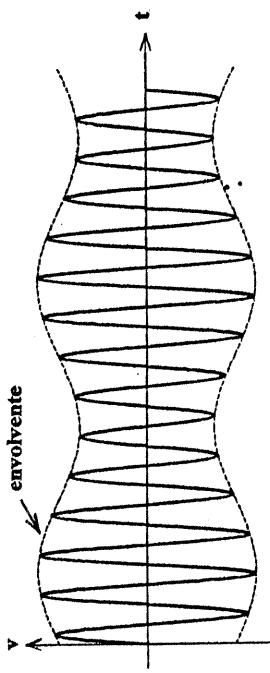


Figura 18.1. Tremolo obtenido mediante una modulación de amplitud.

Este efecto es muy utilizado en algunos sonidos sintetizados, ya que ayuda a brindar una mayor expresividad al sonido. Existe algunas variantes, como por ejemplo modular con diversas formas de onda (en la Figura 18.1 se modulaba con una onda senoidal). Algunas formas de onda típicas son la senoidal, la cuadrada, la triangular y la diente de sierra. En algunos casos hasta es posible modular con algunos tipos de ruido, lo cual provoca un efecto de batido irregulares que contrarresta la tendencia a provocar una modulación demasiado mecánica.

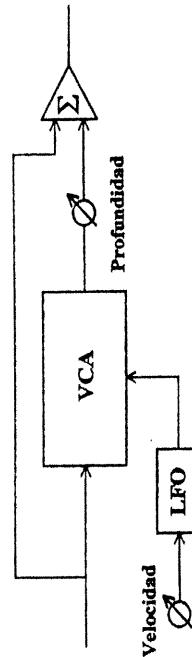


Figura 18.2. Diagrama de bloques de un modulador de amplitud para generar un trémolo.

18.3. Vibrato

Aplicando el concepto de modulación a un retardo se puede lograr una serie de interesantes efectos, de los cuales el más sencillo es el **vibrato**. Este efecto consiste en una fluctuación periódica de la frecuencia de un sonido (Figura 18.3), y es muy utilizado en casi todos los instrumentos musicales acústicos, como parte de la técnica instrumental estándar, para agregar expresión al sonido. En los instrumentos electrónicos, que utilizan osciladores de frecuencia fija, es necesario agregar vibrato artificialmente.



Vemos que la frecuencia se ha reducido. Si ahora comenzamos a disminuir el retardo desde 50 ms hasta 0 ms, y tardamos 1 s en ello, los segundos 1.000 ciclos demorarán $2\text{ s} - 1,050\text{ s} = 0,950\text{ s}$, por lo tanto

$$T = \frac{0,950}{1,000} = 0,950\text{ ms},$$

de donde

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{0,000950} = 1052,63\text{ Hz}.$$

de modo que la frecuencia es ahora mayor que la original.

En el ejemplo anterior el retardo se hacia aumentar o disminuir con "velocidad" constante, por ello el desplazamiento de frecuencia en uno y otro caso era constante. En la práctica esto no se percibiría como un vibrato sino como una alternancia entre dos notas diferentes. Es equivalente a modular en frecuencia con una onda cuadrada como señal moduladora. Para obtener un vibrato propiamente dicho, la velocidad de variación del retardo debe aumentar gradualmente. Por ejemplo, podemos hacer que en el primer ms no haya aumento del retardo, que en el segundo ms el retardo aumente 1 μs , que en el tercero ms aumente 2 μs , en el cuarto ms aumente 3 μs , y así sucesivamente. Los períodos sucesivos se irán alargando en igual cantidad de μs :

Hay dos procedimientos para generar el efecto de vibrato. El primero, sólo aplicable a generadores de sonido, consiste en utilizar un oscilador de frecuencia controlada por tensión (VCO, del inglés, voltage controlled oscillator). En estos osciladores la frecuencia es proporcional a la tensión aplicada en una entrada de control, de modo que si se aplica una tensión variable, se logra una frecuencia variable. Este procedimiento, denominado **modulación de frecuencia**, no puede utilizarse en señales provenientes de fuentes externas.

El segundo procedimiento consiste en aplicar una modulación a un retardo, modulando el tiempo T_0 de retardo. La idea es que si retrasamos cada vez más una señal, el resultado es una reducción aparente de la frecuencia; y si la retrasamos cada vez menos, el resultado es un **aumento de la frecuencia**. Para ver esto con más detalle, supongamos una señal de 1.000 Hz que inicialmente está retrasada 0 ms y que gradualmente se va retardando cada vez más hasta que al cabo de 1 s se ha retrasado un total de 50 ms. De no experimentar retardo alguno, en 1 s habría exactamente 1.000 ciclos completos. Pero dado que el retardo es ahora de 50 ms, los 1.000 ciclos se completarán recién en 1,050 s. Cada ciclo por lo tanto tendrá una duración

$$T = \frac{1,050}{1.000} = 1,050\text{ msec},$$

lo cual implica que la frecuencia aparente será

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{1,050} = 952,38\text{ Hz}.$$

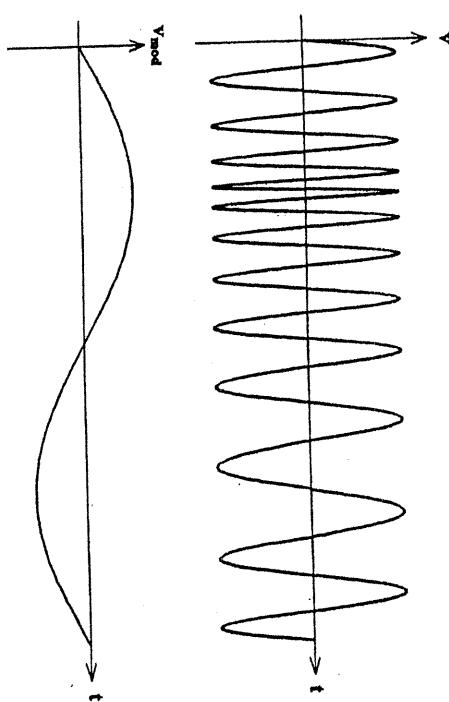


Figura 18.3. Vibrato obtenido mediante una modulación de frecuencia. En la gráfica inferior se muestra la señal modulante.

y así sucesivamente. Pero más que los períodos nos interesan las frecuencias, que pueden obtenerse dividiendo 1 por los respectivos períodos:

$$\begin{aligned} T_1 &= 1\text{ ms} \\ T_2 &= 1,001\text{ ms} \\ T_3 &= 1,002\text{ ms} \\ T_4 &= 1,003\text{ ms} \end{aligned}$$

Vemos que, ahora sí, la frecuencia disminuye gradualmente, ciclo por ciclo. El proceso se invierte luego, produciéndose un aumento también gradual. La modulación de un retardo se conoce técnicamente como **modulación de fase**, aunque el efecto es análogo al de la modulación de frecuencia. En la Figura 18.4 se muestra un diagrama de bloques del vibrato obtenido por modulación de fase. El control de "velocidad" del oscilador de baja frecuencia (LFO) regula la frecuencia de la señal moduladora generada por éste. El control de profundidad determina qué tan intenso resultará el vibrato, es decir entre qué extremos variará la frecuencia. El retardo de referencia es un pequeño retardo (del orden de 5 a 10 ms, para no alterar perceptiblemente las "simultaneidades" de la música), al cual se suman los valores positivos o negativos

que surgen de la modulación de fase.

del LFO. Este retardo es necesario porque si no existiera, al recibir un valor negativo en la entrada de control el retardo tendría que convertirse en *anticipación*, lo cual es una imposibilidad física.

Capítulo 19

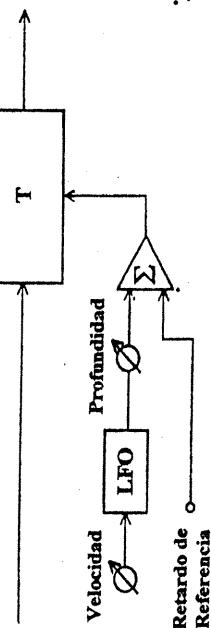


Figura 18.4. Diagrama de bloques de un modulador de fase para generar un vibrato.

Es necesario observar que el vibrato puede modificar la frecuencia hacia arriba y abajo alternativamente, pero no puede permanecer mucho tiempo en una frecuencia distinta de la real, como si lo hace el desplazador de altura (que se analizará en el capítulo 22). En efecto, bajar la frecuencia durante un tiempo prolongado implicaría que en la memoria RAM del retraso se fueran acumulando más y más valores sin leer, lo cual exigiría una memoria enormemente grande. Subir la frecuencia durante mucho tiempo, por su parte, requeriría, a partir de cierto momento, leer valores que aún no han sido escritos en la memoria, lo cual es imposible.

19.1. Introducción

En la sección anterior examinamos el vibrato puro, que permitía, por ejemplo, agregar expresividad a los sonidos de instrumentos electrónicos. También es posible mezclar una señal con vibrato con la señal sin procesar ("seca"). El resultado es similar al de un par de instrumentos que tocan al unísono (la misma frecuencia) de modo tal que uno de ellos desafine ligeramente. Aún cuando pueda parecer que una desafinación es algo *absolutamente indeseable* en música, la realidad es que en cualquier conjunto instrumental o coral en el cual varios músicos tocan o cantan al unísono es humanamente imposible lograr una afinación perfecta. Pequeñas diferencias de afinación no sólo son consideradas aceptables sino inclusive deseables. En el piano, instrumento en el que la mayoría de las teclas acciona simultáneamente dos o tres cuerdas afinadas al "unísono", es sorprendente el hecho de que la afinación ideal no es aquella en la cual las tres frecuencias son idénticas sino la que proporciona "la envolvente más cantable".

19.2. Pulsaciones

Para simplificar el análisis, supongamos dos sonidos senoidales de frecuencias 800 Hz y 700 Hz e igual amplitud, como se muestra en las dos gráficas superiores de la Figura 19.1. Al sumarlos, dado que en el instante inicial ($t = 0$) están en fase, la amplitud se duplica. A medida que transcurre el tiempo, debido a la diferencia de frecuencia, las dos senoides se van desfasando, y hacia los 5 ms, el octavo semiperiodo de la senoide de 800 Hz y el séptimo de la de 700 Hz están prácticamente en contrafase, razón por la cual el resultado es casi nulo. Hacia los 10 ms vuelven a estar en fase, y por lo tanto la amplitud vuelve a ser doble. Se obtiene así un sonido modulado por una envolvente que se repite cada 10 ms, es decir que tiene una frecuencia de 100 Hz. Obsérvese que esta frecuencia es justamente la diferencia entre las dos frecuencias superpuestas. Este fenómeno, semejante a un trémolo, se conoce como **pulsaciones, batido, o batimento**.

Podemos generalizar el resultado anterior. Si se superponen (suman) dos sonidos de frecuencias f_1 y f_2 , donde $f_1 > f_2$, entonces se producen pulsaciones de frecuencia $f_1 - f_2$. Si la diferencia de frecuencias es muy pequeña, entonces las pulsaciones serán

muy lentas, y no se percibirán como una pulsación sino como una suave envolvente. Por ejemplo, si las frecuencias son 440,1 Hz y 440 Hz, la diferencia es 0,1 Hz, es decir una pulsación cada 10 seg. En este caso, dado que la gran mayoría de las notas usadas en música son mucho más cortas que eso, no llegará a completarse una pulsación, produciéndose más bien la sensación de un sonido más cantado, más expresivo.

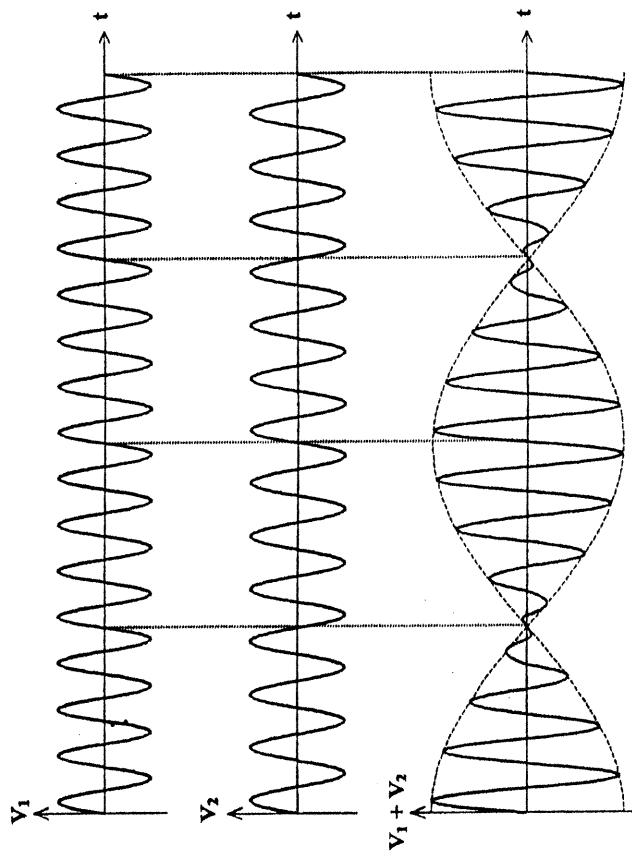


Figura 19.1. Batido entre dos tonos de frecuencia 800 Hz (arriba) y 700 Hz (al medio). Se ha representado un tiempo de 20 ms.

19.3. Coro (chorus)

La superposición de un vibrato y el sonido sin procesar permite obtener el efecto mencionado, aunque de una manera algo más compleja. Efectivamente, a diferencia del ejemplo anterior, las dos frecuencias no difieren en un valor constante, sino en una cantidad variable de Hz que depende de la profundidad de la modulación. Esto hace que la envolvente sea algo irregular, creando con mayor naturalidad la pequeña fluctuación de frecuencias de los instrumentos acústicos (o las voces) al unísono. Por esa razón este efecto se denomina coro (en inglés, chorus). En la Figura 19.2 se ilustra el diagrama de bloques de un coro.

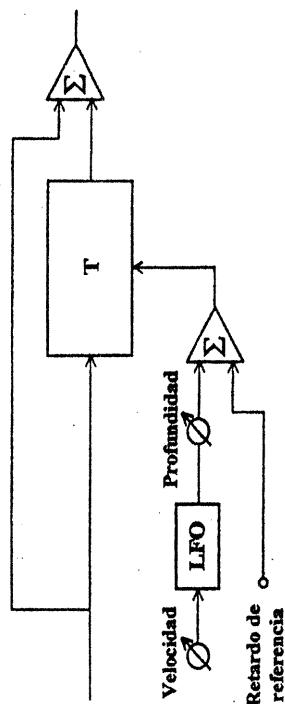


Figura 19.2. Diagrama de bloques del efecto denominado coro (chorus). Se muestra el efecto monofónico.

La superposición puede realizarse electrónicamente o acústicamente. En el primer caso las señales procesadas y sin procesar se suman electrónicamente, obteniéndose un efecto monofónico. Para la superposición acústica se puede enviar el vibrato a un canal estéreo y la señal seca al otro. También es posible enviar una parte de cada señal a cada canal, de modo que en un canal predomine una y en el otro la otra.

19.4. Flanger

El efecto denominado flanger tiene sus orígenes en las grabaciones magnetoofónicas en cinta abierta. Se obtenía grabando simultáneamente una señal en dos grabadores y luego retrasando ligeramente uno y otro en forma alternativa mediante una ligera presión con el dedo en el borde o ceja del carrete (denominado en inglés, flange; de allí el nombre del efecto). Este efecto se ha simulado analógicamente mediante filtros controlados, según veremos más adelante (ver phaser, capítulo 20). Sin embargo, recién pudo lograrse una implementación más fiel al original mediante la tecnología digital.

La idea es aplicar la misma señal a dos retardos con el mismo retraso de referencia, (es decir el mismo retraso promedio), y agregar a cada retraso una modulación en contrafase con respecto al otro, como se muestra en la Figura 19.3. Entonces con respecto a dicho retraso, una de las salidas se adelantará y la otra se retrasará. El retraso de referencia es necesario por la imposibilidad de adelantar una señal en forma absoluta.

Para ejemplificar el funcionamiento, supongamos que el retraso de referencia es de 5 ms, y que la señal moduladora hace variar ese retraso en ± 2 ms, es decir entre 3 ms y 7 ms (ver Figura 19.4). En determinado instante t_0 , por ejemplo, T_1 está 1 ms por encima, y T_2 , 1 ms por debajo de la referencia. Ello significa que una de las salidas está retrasada 2 ms con respecto a la otra. Podemos preguntarnos qué efecto produce esto en función de la frecuencia. Para las frecuencias muy bajas, por ejemplo 20 Hz, que tienen períodos largos, el efecto es una suma de dos señales casi iguales. Pero para frecuencias mayores, el efecto es una diferencia entre las señales. Al llegar a la frecuencia de la modulación, el efecto se va haciendo proporcionalmente mayor, hasta que al llegar a la frecuencia cuyo semiperíodo es precisamente 2 ms (o su período es 4 ms), es decir 250 Hz, están exactamente en contrafase. Al sumarlas en el sumador de salida, el resultado es nulo.

tado será nulo. Se puede verificar que la misma anulación se produce para los armónicos impares de dicha frecuencia, es decir 750 Hz, 1250 Hz, 1750 Hz, etc.

NOTA: No debe confundirse el hecho de que las señales *modulantes* (que provienen del LFO) estén en contrafase con que las señales *retardadas* lo estén. Lo primero es una característica estructural del flanger, mientras que lo segundo sucede para algunas frecuencias en particular.

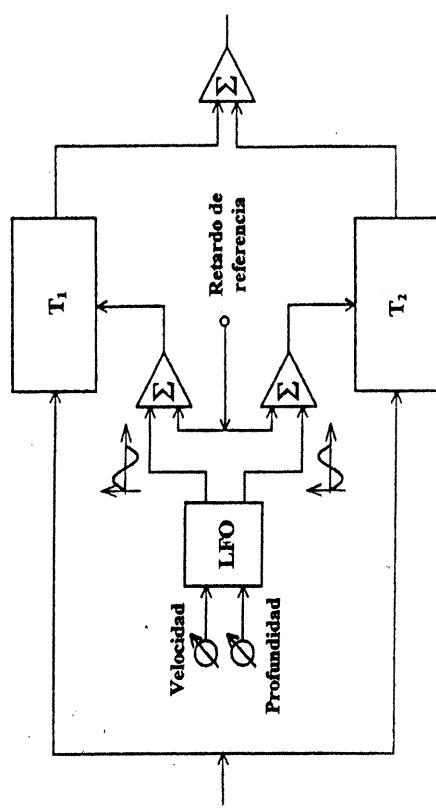


Figura 19.3. Diagrama de bloques del efecto denominado flanger.

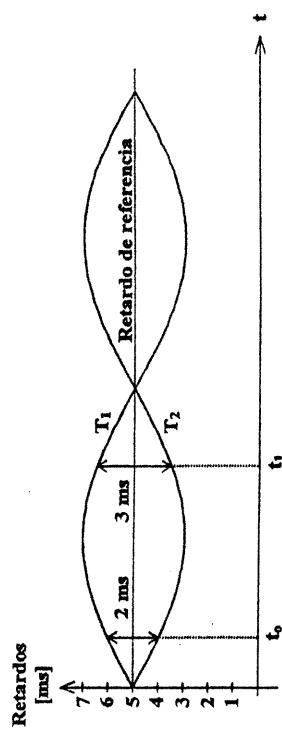


Figura 19.4. Ejemplo de operación del flanger. Ambos retardos T_1 y T_2 varían en el tiempo en contrafase con respecto al retardo de referencia. En el instante t_0 uno de ellos está 1 ms por encima y el otro 1 ms por debajo de dicho retardo de referencia, y en t_1 , 1,5 ms por encima y 1,5 ms por debajo respectivamente.

Capítulo 20

Efectos V: Wah-wah, Phaser

20.1. Introducción

Hasta ahora hemos aplicado el concepto de modulación (es decir el control de algunos parámetros con un oscilador de baja frecuencia) a la ganancia y al retardo. También es posible aplicárselo a un filtro, variando algunos de sus parámetros.

20.2. Wah-wah

Este efecto se obtiene modulando con un LFO la frecuencia de corte de un filtro pasabajos (Figura 20.1), lo cual en la práctica significa que se permite el paso de mayor o menor cantidad de armónicos según que el LFO esté pasando por un máximo o por un mínimo. El nombre wah-wah surge de transcribir literalmente (con la fonética y ortografía anglosajonas) lo que se percibe al eliminar y reponer armónicos alternativamente en un sonido, similar al de los fonemas "u" (pocos armónicos) y "a" (muchos armónicos).

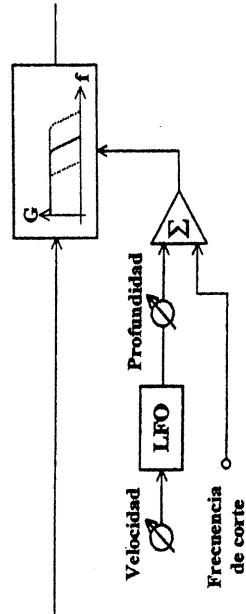


Figura 20.1. Diagrama de bloques de un wah-wah. El control de frecuencia de corte establece el valor central de la frecuencia de corte, con respecto al cual se incrementa o se reduce la frecuencia de corte efectiva a través del LFO.

Debe recordarse que a igual frecuencia, un sonido con mayor contenido armónico tiene un timbre más penetrante que uno con menos armónicos.

El wah-wah puede poseer controles de frecuencia de corte, de profundidad, y de velocidad. El control de frecuencia de corte establece en realidad el valor central de la frecuencia de corte, alrededor del cual fluctúa la verdadera frecuencia de corte. El control de profundidad determina cuánto se aleja la frecuencia de corte, en más y en menos, del valor central. Por último, el control de velocidad define la cantidad de veces por segundo que el filtro quita y repone armónicos.

En algunos casos es posible también establecer la forma de onda de la señal modulante generada por el LFO, siendo algunos ejemplos típicos las ondas senoidal, cuadrada, triangular y aleatoria. En general este tipo de efecto no es aplicable satisfactoriamente a señales muy elaboradas, como mezclas parciales o completas, sino más bien a instrumentos individuales. Por esa razón, salvo implementaciones específicas como los procesadores de efectos para guitarra eléctrica, el wah-wah aparece como una posibilidad más dentro de las posibilidades de edición del sonido en los sintetizadores. En este caso, también se provee un tiempo de retardo (ajustable) antes del comienzo del efecto. (Este retardo *no debe confundirse con un retardo de la señal*, ya que es en realidad *una posterización del efecto en sí*.) El wah-wah está comprendido dentro de los efectos que brindan expresión a los sonidos, y dado que la expresión es más apropiada para los sonidos largos que para los cortos, este retardo provee un mecanismo para evitar que las notas rápidas sean afectadas por el efecto.

20.3. Phaser

Este efecto está comprendido dentro de los que se obtienen modulando un filtro. En este caso se trata de un filtro pasabanda de alto Q (es decir, con un ancho de banda muy estrecho) cuya frecuencia central es modulada por el oscilador de baja frecuencia (LFO). La salida de este filtro es luego mezclada con la señal sin filtrar (Figura 20.2).

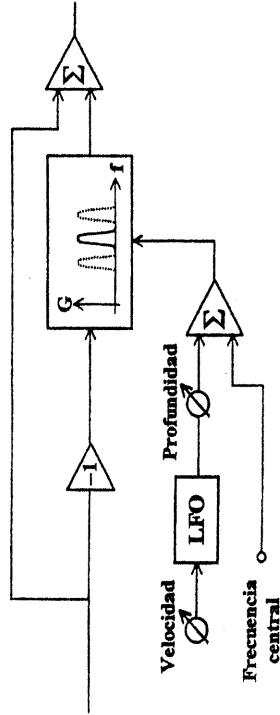


Figura 20.2. Diagrama de bloques de un phaser. El control de frecuencia central establece el valor promedio de la frecuencia central, con respecto al cual fluctúa, a través del LFO, la frecuencia central efectiva.

La operación de este efecto se basa en el hecho de que en todo filtro pasabanda el pico de ganancia en la frecuencia central va acompañado de una rápida variación de fase, desde un adelanto hasta un retraso, pasando por un defasaje nulo en la frecuencia central. Dado que la señal que llega al filtro está invertida respecto a la señal sin procesar, en la frecuencia central se producirá una cancelación semejante a la que tenía lugar en el caso del flanger. Si ahora variamos la posición del filtro (mediante la modulación), estará variando la frecuencia suprimida, comportamiento parecido al del flanger. En muchos aspectos ambos efectos son similares, y de hecho el phaser es una manera de simular un flanger. Una diferencia, sin embargo, es que el flanger provoca la supresión no sólo de una frecuencia sino también de sus armónicos impares, cosa que no sucede en el phaser. Es de notar que debido al gran desplazamiento de fase que tiene un filtro pasabanda de gran Q, es posible que se produzcan más de una inversión de fase en las proximidades de la frecuencia central, lo cual en la práctica significa que pueden suprimirse varias frecuencias próximas a la frecuencia central, pero son todas frecuencias muy cercanas entre sí, a diferencia del flanger, que afecta una región más extensa del espectro.

Capítulo 21

Efectos VI: Distorcionador, realzadores (enhancers)

21.1. Introducción

Los efectos anteriores trataban el sonido en forma lineal, es decir que el efecto aplicado a una suma de señales es igual a la suma del efecto aplicado individualmente a cada señal. Veremos ahora dos efectos de tipo no lineal, o alineal, en los cuales el comportamiento depende de la amplitud de la señal. Esto significa que si se aplica el efecto a dos señales pequeñas y luego se mezclan no se obtiene el mismo resultado que si se mezclan primero y después se aplica el efecto.

21.2. Distorsionador

El distorsionador es básicamente un preamplificador que saturá, lo cual según vimos implica dos tipos de distorsión: *armónica* y por *intermodulación*. La distorsión armónica aparece cuando se aplica una saturación a un único tono, y su efecto es agregarle armónicos sin alterar el carácter tonal. En otras palabras, se enriquece el espectro sin cambiar la frecuencia. El resultado es un timbre más punzante, más marcado. Otra consecuencia es que se produce una acusada diferencia en la calidad timbrica para bajas y altas intensidades, lo cual bien aprovechado puede tener aplicaciones expresivas interesantes.

La distorsión por intermodulación, en cambio, se produce cuando hay más de un tono presente, por ejemplo en un acorde o en una composición a varias voces. En este caso, como ya se señaló en capítulos anteriores, se generan no sólo los armónicos de los tonos presentes sino además los que podrían llamarse "armónicos cruzados", que son las sumas y diferencias de las frecuencias de los armónicos de ambos, denominados técnicamente *productos de intermodulación*. Por desgracia, muchos de estos productos de intermodulación resultan francamente disonantes, por lo cual este efecto es más adecuado para melodías de cualquier tipo, en las cuales hay un solo sonido por vez. Esto no

que la melodía pueda estar acompañada por otros instrumentos o voces que no pasen por el distorsionador.

Antes de la distorsión puede intercalarse un filtro o bloque equalizador, y puede también mezclarse la señal distorsionada con la señal pura (ver Figura 21.1).

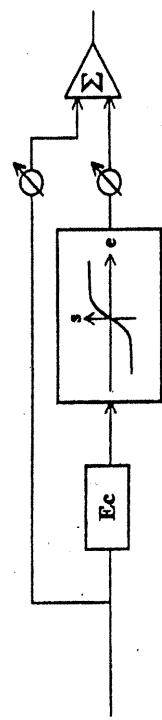


Figura 21.1. Diagrama de bloques de un distorsionador.

El distorsionador ha surgido originalmente para obtener mayor variedad tímbrica en la guitarra eléctrica, por lo tanto es un efecto que en principio encuentra su mayor rango de aplicación en este tipo de instrumentos.

21.3. Realzadores (enhancers, excitors)

El principio de funcionamiento de este tipo de efectos (aural exciter, enhancers, etc.) es similar al del distorsionador, pero su fundamento psicoacústico es bastante diferente. El diagrama de bloques (Figura 21.2) muestra que la señal primero es filtrada por un filtro pasaaltos de frecuencia de corte ajustable entre alrededor de 1 kHz y 6 kHz. Luego se hace pasar por un circuito no lineal que agrega armónicos a las componentes de alta frecuencia, y posteriormente se mezcla con la señal sin procesar. El generador de armónicos es, en realidad, una forma de distorsionador. Las únicas diferencias con el

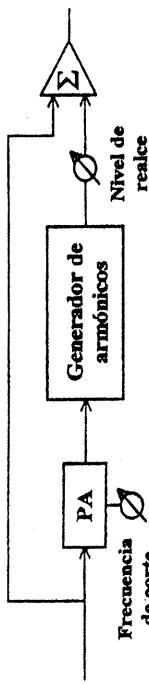


Figura 21.2. Diagrama de bloques de un realzador.

distorcionador analizado previamente son que recibe sólo las componentes de alta frecuencia de la señal, y que se mezcla en pequeña proporción con la señal sin procesar (10 a 20 dB por debajo). Esto elimina en gran medida los problemas con los productos de intermodulación, que en general causan dificultades con los armónicos más bajos (los responsables del carácter tonal del sonido). Las frecuencias así generadas, están en un rango tan agudo que interfieren poco con las componentes de los sonidos importantes

para la inteligibilidad del mensaje musical, y en cambio agregan mayor brillo y definición al sonido. Por otra parte, al agregar armónicos en una banda de frecuencia en la cual el oído es muy sensible, se incrementa la sensación de sonoridad en varios dB, sin aumentar apreciablemente ni el nivel de presión sonora ni, en consecuencia, el nivel de la señal eléctrica. Por ejemplo, si a una señal sonora de 500 Hz y 80 dB se le agrega una de 4.000 Hz y 70 dB, la sonoridad percibida aumenta en un 75%, mientras que el nivel de la señal sube en menos de 1 dB.

Lo anterior tiene interesantes aplicaciones. Por ejemplo, permite sacar mejor partido de la capacidad de los amplificadores y las cajas acústicas, o compensar la monotonía dinámica que surge de usar una fuerte compresión, como en el caso de la señal a introducir en un transmisor de FM. Dado que el efecto del realzador se manifiesta más en los niveles más altos, éste actuará cuando el comprresor esté comprimiendo, cambiando rango dinámico por un sonido más brillante y por lo tanto aparentemente más sonoro. También es posible intercalar una compuerta o un expander antes del realzador, haciéndolo aparecer cuando el comprresor está comprimiendo.

El empleo de este procesador en las transmisiones de FM permite además crear la sensación de mayor sonoridad sin exceder la banda de frecuencias asignada legalmente a cada emisora.

Capítulo 22

Efectos VII: Transpositores de altura (pitch shifters)

22.1. Introducción

Un clásico efecto en los grabadores de cinta consistía en realizar un ajuste de la velocidad de reproducción de una cinta previamente grabada (ya sea grueso, entre dos o tres velocidades muy diferentes, o fino). Esto tenía dos consecuencias: un desplazamiento de la frecuencia de todos los sonidos reproducidos, con la correspondiente transposición de altura, y una contracción o estiramiento del tiempo total de reproducción (Figura 22.1). Así, un incremento de velocidad de aproximadamente un 5,9 % traía apartado que todas las notas subieran 1 semitono, pero al mismo tiempo implicaba un acortamiento de la duración de 3'22" por cada hora de duración original, con la consecuente aceleración de la música (o la palabra). Este efecto se ha utilizado hasta el hartazgo en cinematografía, casi siempre para lograr resultados cómicos.

Lo verdaderamente difícil es conseguir el efecto de transposición de altura, sin el efecto colateral del cambio de velocidad o tempo de la música (o la cadencia de la palabra). El problema no está aún perfectamente resuelto, a nivel de productos comerciales, para señales cualesquiera (por ejemplo una compleja textura orquestal), pero sí en el caso de señales más sencillas como la voz o los sonidos de instrumentos solistas, para los que hay equipos comerciales cuyos resultados son excelentes. Estos procesadores, denominados transpositores de altura (en inglés, pitch shifters) tienen varias aplicaciones. La primera de ellas es la generación de un coro (chorus) con más realismo que el obtenido modulando un retardo, ya que se logra una diferencia de afinaciones muy sutil que no fluctúa en el tiempo, como en el caso del coro convencional, y por lo tanto no provoca las rápidas pulsaciones características de aquél. Otra aplicación, en conjunción con un detector de afinación (que viene incluido como acceso-bando, tanto para subsanar pequeñas desafinaciones como para lograr poner al mismo tono instrumentos afinados con diferente patrón (por ejemplo LA 442 y LA 440). Una tercera aplicación es la utilización en tiempo real del timbre de una voz o instrumento para realizar armonizaciones corales o instrumentales ingresadas en tiempo real, desde un

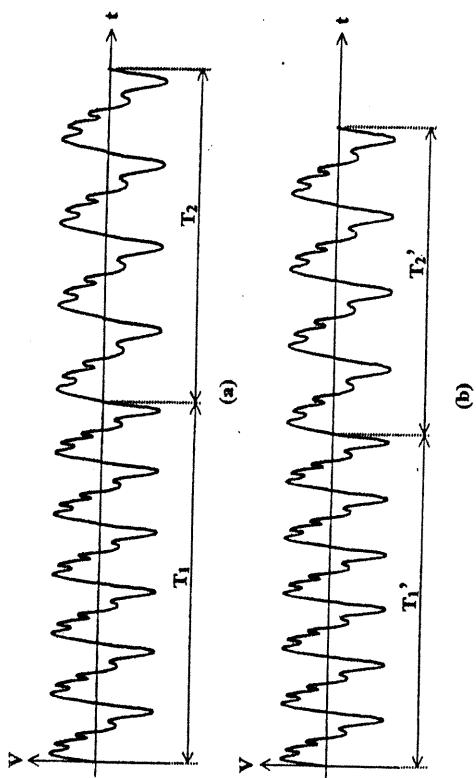


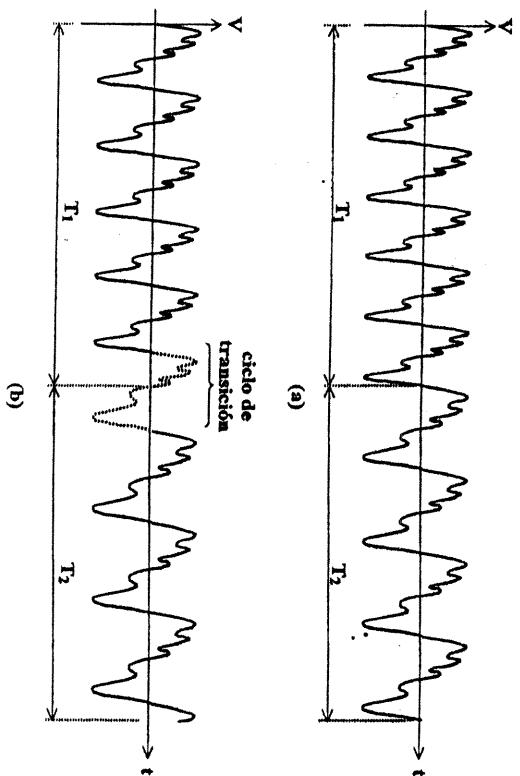
Figura 22.1. Efecto obtenido al reproducir una cinta a mayor velocidad que la que se usó para grabarla. (a) Dos notas sucesivas, de duraciones respectivas T_1 y T_2 . (b) Al acelerar la reproducción, ambas frecuencias se incrementan en la misma proporción en que se acortan las duraciones (T_1' y T_2').

El funcionamiento de los transpositores se basa en algoritmos muy refinados que detectan indirectamente aspectos repetitivos de la forma de onda. La primera operación consiste en subdividir la señal en sucesivos fragmentos de corta duración (por ejemplo, 10 ms), los cuales son muestrados y guardados transitoriamente en una memoria. En el caso en que se deseé una transposición hacia las bajas frecuencias (ver Figura 22.2), será necesario leer las muestras más lentamente que lo que fueron escritas en la memoria, lo cual implica que antes de terminar de leer el primer fragmento, ya comienza el segundo. Así, si cada fragmento dura 10 ms y la frecuencia de muestreo inicial era de 44,1 kHz, habrá 441 muestras en cada fragmento. Si ahora queremos bajar un semitono, la frecuencia de lectura deberá ser 41,625 kHz, por lo cual habrá sólo 416 muestras en los 10 ms de duración del fragmento. Las $441 - 416 = 25$ muestras restantes deben descartarse.

Podría parecer que para el segundo fragmento bastaría con empezar de nuevo desde la primera de sus muestras, sólo que leyendo las muestras subsiguientes con más lentitud. Sin embargo, ello no sería correcto, porque seguramente se produciría una discontinuidad entre el final del primer fragmento y el principio del segundo. Por ello es necesario realizar una adaptación, por ejemplo comenzar con una muestra del segundo fragmento que coincida con el final del primero, o fundir (cross-fade) el final del primer

801

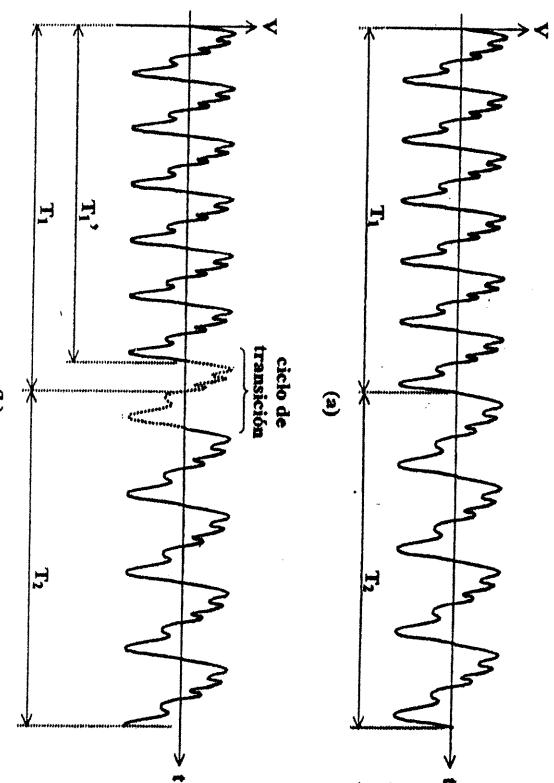
fragmento con el principio del segundo, etc. El efecto resulta más convincente cuando el procesador puede discriminar los períodos sucesivos de la onda, y entonces puede regular la duración de los fragmentos de manera de abarcar siempre un número entero de períodos.



El caso en que se desea trasponer hacia arriba es algo más complicado. Dado que las muestras correspondientes al primer fragmento deben leerse más rápido, es evidente que se agotarán antes de concluir el tiempo correspondiente. Para subir la altura en un semitono, por ejemplo, habrá que leer la memoria con una frecuencia de lectura de 46.722 Hz. Entonces, para completar un fragmento de 10 ms deben leerse 467 muestras,

pero resulta que tenemos sólo 441. Las 26 muestras que faltan se obtienen repitiendo algunas muestras ya leídas, cuya selección debe ser realizada cuidadosamente. Por ejemplo, podría identificarse el último período completo y repetirlo hasta que se termine el tiempo a llenar. Finalmente, la transición entre dos fragmentos sucesivos se lleva a cabo en forma semejante al caso de la transposición hacia abajo (Figura 22.3).

Un enfoque alternativo consiste en obtener el espectro de cada fragmento, contrairlo o expandirlo según se deba reducir o aumentar la frecuencia, y a partir de él obtener la onda correspondiente. Luego se deben fundir los finales y los comienzos de fragmentos sucesivos. Para lograr mejores efectos, se utiliza la técnica del *soltado*, es decir que el comienzo del nuevo fragmento se produce antes de terminar el anterior.



El caso en que se desea trasponer hacia arriba es algo más complicado. Dado que las muestras correspondientes al primer fragmento deben leerse más rápido, es evidente que se agotarán antes de concluir el tiempo correspondiente. Para subir la altura en un semitono, por ejemplo, habrá que leer la memoria con una frecuencia de lectura de 46.722 Hz. Entonces, para completar un fragmento de 10 ms deben leerse 467 muestras, pero resulta que tenemos sólo 441. Las 26 muestras que faltan se obtienen repitiendo algunas muestras ya leídas, cuya selección debe ser realizada cuidadosamente. Por ejemplo, podría identificarse el último período completo y repetirlo hasta que se termine el tiempo a llenar. Finalmente, la transición entre dos fragmentos sucesivos se lleva a cabo en forma semejante al caso de la transposición hacia abajo (Figura 22.3).

Un enfoque alternativo consiste en obtener el espectro de cada fragmento, contrairlo o expandirlo según se deba reducir o aumentar la frecuencia, y a partir de él obtener la onda correspondiente. Luego se deben fundir los finales y los comienzos de fragmentos sucesivos. Para lograr mejores efectos, se utiliza la técnica del *soltado*, es decir que el comienzo del nuevo fragmento se produce antes de terminar el anterior.

Capítulo 23

Registro magnético

23.1. Introducción

Cuando se habla de registro magnético, se hace referencia al registro de señales o información en cualquier tipo de soporte basado en la magnetización. Así, en los principios de la magnetofonía se utilizaban alambres y cintas de acero, y posteriormente durante algún tiempo se utilizaron cintas de papel recubiertas con materiales magnéticos. En la actualidad se utilizan cintas plásticas (por ejemplo de poliéster, o mylar) recubiertas por una emulsión con partículas ferromagnéticas, discos flexibles (diskettes o floppy disks), y discos rígidos (hard disks). Estos dos últimos se utilizan para almacenar información y/o señales digitales, mientras que las cintas permiten almacenar señales analógicas y digitales, así como información digital no temporal (por ejemplo el tape back up).

Aún cuando a mediano plazo el soporte magnético dejó de tener la prevalencia de que goza hoy en día (1997) para ser reemplazado por la memoria digital integrada y los diversos tipos de tecnología óptica, por bastante tiempo va a continuar siendo una opción económica para el registro de la señal de audio, tanto en su forma analógica (cinta, cassette) como en su forma digital (DAT, 8mm, SVHS), y por ello es importante conocer sus principios, así como sus posibilidades y sus limitaciones.

23.2. Magnetismo y electromagnetismo

Probablemente la mayoría de las personas esté familiarizada con algunos fenómenos magnéticos básicos, como la atracción que producen los imanes sobre el hierro, o la atracción o repulsión que tiene lugar entre dos imanes según la orientación relativa de sus polos. Sin embargo, no todos conocen la importante interacción que existe entre los fenómenos eléctricos y los magnéticos.

23.2.1. Campo magnético y fuerza sobre cargas móviles

El fenómeno más elemental es el que permite definir el campo magnético. Se dice que en un determinado punto hay presente un campo magnético cuando una carga eléctrica móvil que pasa por ese punto experimenta una fuerza que tiende a desviar su movimiento. El ejemplo más conocido de cargas en movimiento es la corriente eléctrica, de manera que un cable que transporta corriente eléctrica experimenta una fuerza cuando se encuentra en un campo magnético.

Los imanes son objetos capaces de provocar espontáneamente un campo magnético a su alrededor, de modo que si acercamos un imán a un cable por el que circula corriente eléctrica, se producirá una fuerza sobre el cable. De hecho este es el principio de operación no solo del motor sino de los altavoces de bobina móvil, ya vistos en el capítulo 10. También se ha utilizado este principio en los instrumentos de medición analógicos (por ejemplo el téster o multímetro y los volímetros de algunos amplificadores, consolas, etc.). En estos casos, dado que la fuerza sobre un solo conductor es relativamente pequeña, se utilizan varios conductores transportando la misma corriente, y para ello simplemente se arrolla el conductor en forma de bobina. Así, si la bobina tiene 50 espiras, a pesar de que se trata de la misma corriente que pasa por todas las espiras, desde el punto de vista de la interacción electromagnética, es como si hubiera 50 cables independientes, o un solo cable con una corriente 50 veces mayor. Qualquier sea la interpretación, el resultado concreto es que la fuerza es 50 veces más alta.

23.2.2. Campo magnético creado por cargas móviles

El segundo fenómeno importante de interacción eléctrica y magnética es el hecho de que una carga móvil crea a su alrededor un campo magnético. Dado que una corriente eléctrica son cargas en movimiento, resulta que una corriente genera un campo magnético. Igual que en el caso anterior, cuanto mayor sea la corriente circulando en un mismo sentido, mayor será el campo magnético generado, y por lo tanto también es válido el recurso de arrollar un mismo cable formando una bobina con varias espiras. En la sección siguiente veremos que también es posible aumentar el campo magnético producido utilizando un núcleo de hierro dentro de la bobina.

23.2.3. Fuerza electromotriz inducida

El tercer fenómeno de interacción *electromagnética* es, quizás, el más sorprendente. Cuando se tiene un circuito cerrado atravesado por un campo magnético *variable* aparece una fuerza electromotriz inducida en el circuito, que equivale a insertar una fuente de tensión en el circuito. Dicha tensión inducida es tanto mayor cuanto más rápido esté cambiando el campo magnético. Si el circuito (o parte de él) se arrolla en forma de bobina, el campo magnético induce en cada espira la misma tensión, con lo cual la tensión total inducida se multiplica por el número de espiras.

Hay dos formas sencillas en que se puede obtener un campo variable en el tiempo. La primera es moviendo el circuito cerca de un imán, alejándolo y acercándolo (el campo magnético es mayor cerca de los polos). Esto es lo que sucede en el micrófono dinámico. La bobina se desplaza impulsada por las variaciones de presión sonora. También sucede en las dinámicos. En este caso la bobina gira a causa de un movimiento impuesto externamente, pasando alternativamente frente a un imán. El campo magnético que atraviesa la bobina varía, y ésta genera tensión. La otra forma de obtener un campo magnético variable es la que se usa en los transformadores: el campo magnético es generado por otra bobina (denominada *arrollamiento primario*) por la cual circula una corriente variable en el tiempo, es decir alterna.

23.2.4. Líneas de fuerza

Una forma útil para visualizar un campo magnético son las llamadas *líneas de campo* o *líneas de flujo*, o también *líneas de fuerza*. Son siempre curvas cerradas, y en las zonas donde el campo magnético es más intenso tienden a estar más próximas unas de otras. Esto permite, de un simple golpe de vista, tener idea de cómo está distribuido

el campo, como se puede ver en el ejemplo de la Figura 23.1a. En algunos casos es posible poner de manifiesto experimentalmente las líneas de campo. El ejemplo más conocido consiste en colocar un imán debajo de una cartulina y espolvorear limaduras de hierro sobre la cartulina. Las limaduras se acomodan creando un diseño muy similar a las líneas de campo Figura 23.1b.

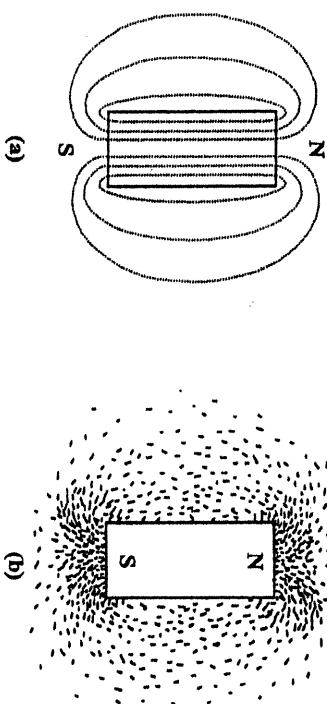


Figura 23.1. (a) Líneas de campo trazadas gráficamente en el caso de un imán. (b) Las líneas de campo puestas en evidencia experimentalmente mediante limaduras de hierro.

23.3. Ferromagnetismo

Antes de enfocar el problema específico del registro magnético es preciso incursionar brevemente en los aspectos básicos del ferromagnetismo. Los materiales ferromagnéticos, como el hierro, el cobalto, el cromo, el níquel, el gadolinio, el neodimio, y algunos compuestos y aleaciones de éstos, tienen la particularidad de que al ser inmersos en un campo magnetizante suficientemente intenso, luego de interrumpido éste conservan un magnetismo remanente, es decir que crean por sus propios medios un campo magnético en sus proximidades.

La explicación física de la aparición de magnetismo espontáneo sin corrientes aparentes está en el movimiento de los electrones dentro del átomo, tanto alrededor del núcleo atómico (orbital) como alrededor de sí mismos (spin). Estos movimientos giratorios constituyen minuscúlas corrientes que producen pequeños campos magnéticos (Figura 23.2). En los materiales no ferromagnéticos (llamados paramagnéticos o diamagnéticos), estos campos magnéticos están orientados al azar, por lo cual sus efectos se cancelan, dando origen a campos magnéticos despreciables. En los materiales ferromagnéticos, en cambio, existen pequeñas regiones (de dimensiones normalmente de algunas centésimas de nm o menos) con la propiedad de que los campos magnéticos de todos sus átomos tienen la misma orientación, y por lo tanto se suman. Estas regiones se denominan dominios magnéticos, y son comparables a pequeños pero poderosos imanes (Figura 23.3).

En 1 cm³ de hierro virgen, es decir no magnetizado, puede haber miles de millones de estos dominios, y si bien dentro de cada dominio los campos magnéticos atómicos o moleculares están alineados, los campos resultantes de dominios diferentes están orientados al azar, de manera que se tiende a producir una cancelación de dichos campos. El resultado es que no existe campo magnético a nivel global.

Pero si se aplica un campo magnético externo, se producen dos fenómenos: a) los dominios cuya orientación coincide con la orientación del campo magnético aplicado aumentan de tamaño en detrimento de los restantes, y b) se produce una reorientación del campo magnético de los dominios. El fenómeno a) ocurre cuando el campo aplicado es débil o medianamente intenso, y el b) cuando es muy intenso (Figura 23.4). Debe aclararse que la reorientación del campo no implica movimiento *mecánico* de los dominios.

Una primera consecuencia es que el campo magnético se multiplica enormemente, tanto más cuanto más fácilmente se produzcan los fenómenos mencionados, es decir cuanto mayor sea la Permeabilidad magnética del material. En el hierro puro, por ejemplo, la reorientación se logra fácilmente, es decir que es suficiente un campo magnético externo pequeño. El acero, por el contrario, requiere campos más intensos. Un ejemplo de esta multiplicación del campo lo constituye el electrolimán. Si tomamos un alambre de cobre esmaltado (como el que se usa para bobinar transformadores) y lo arrullamos formando una bobina alrededor de un carrete vacío de hilo de coser, y conectamos los extremos (raspados para eliminar el esmalte) a una pila, circulará una co-

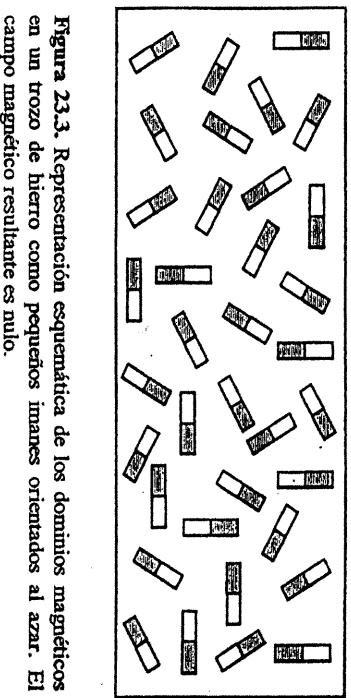
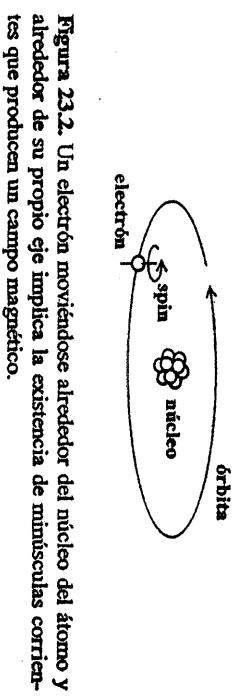


Figura 23.3. Representación esquemática de los dominios magnéticos en un trozo de hierro como pequeños imanes orientados al azar. El campo magnético resultante es nulo.

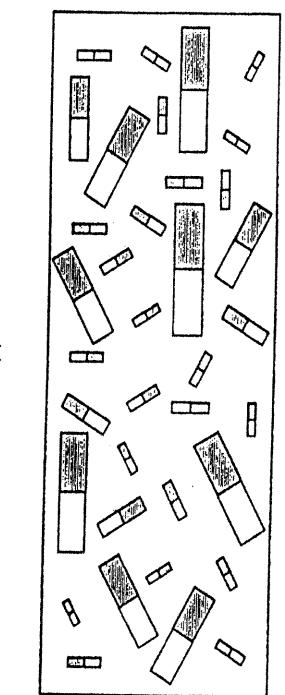
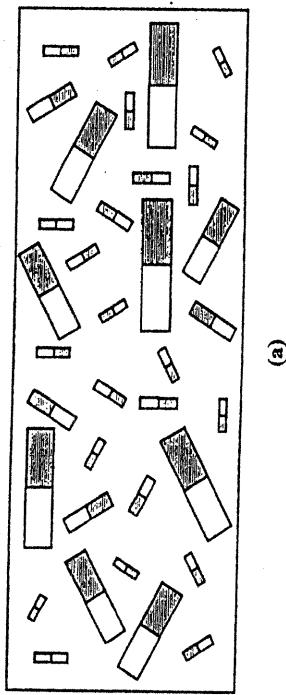


Figura 23.4. (a) En un campo magnético débil los dominios mejor orientados aumentan de tamaño, a costa de los otros. (b) Si el campo aplicado es más intenso, además se reorientan los dominios, de modo que la mayoría están en direcciones próximas a la del campo aplicado.

rriente por el arrollamiento, generando un campo magnético bastante débil en su interior, de hecho insuficiente para atraer trozos de hierro. Pero si ahora introducimos una barra de hierro en el orificio del carrete, el campo magnético se incrementará, obteniendo el equivalente de un pequeño imán, que podrá atraer ahora alfileres y otros objetos de hierro (Figura 23.5).

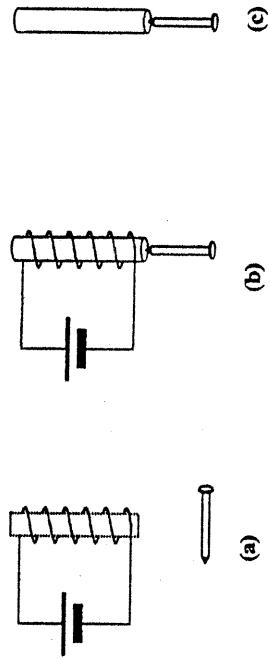


Figura 23.5. (a) Una bobina sin núcleo por la que circula una corriente genera un campo magnético muy débil para atraer objetos. (b) Al agregar un núcleo ferromagnético, se transforma en un electroimán. (c) Al retirar la bobina, el núcleo conserva un magnetismo remanente, comportándose ahora como un imán.

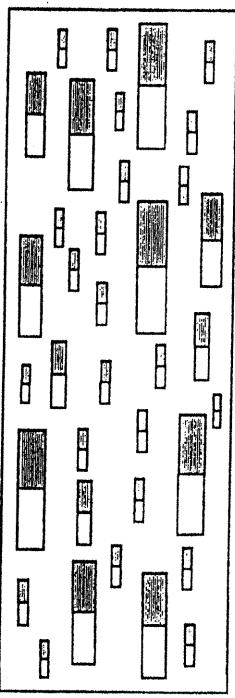


Figura 23.6. Cuando el campo aplicado es demasiado intenso, todos los dominios se orientan en la dirección del campo aplicado y el material entra en saturación magnética.

Todo lo anterior puede resumirse en la curva de la Figura 23.7. En lugar del campo magnetizante se utiliza la fuerza magnetizante, H , que difiere sólo en una constante de aquél (lo cual equivale a un simple cambio de escala). Vemos que cuando H es pequeño, el campo magnético resultante del cambio de tamaño de los dominios crece lentamente. Cuando H es más intensa, el campo comienza a crecer más rápidamente, hasta que se alcanza el nivel en el que se reorientan los dominios, donde sobreviene la saturación. Al disminuir nuevamente H , el campo magnético no disminuye tan rápido como había aumentado, de suerte que al llegar a $H = 0$ el campo B no se reduce a 0 sino que queda en un valor residual, el magnetismo remanente, B_R .

La vuelta por una curva diferente de la de ida se denomina **histeresis**, y puede interpretarse como que el material ferromagnético tiene "memoria" de su historia magnética. Esta histeresis es la base de la grabación magnética, tanto analógica como digital. Nos preguntamos ahora qué sucede si en lugar de aplicar una fuerza magnetizante que lleva al material a la saturación aplicamos diferentes valores menores. Resulta que el

magnetismo remanente depende del valor de la fuerza magnetizante aplicada (Figura 23.8). Podemos trazar una curva de transferencia, graficando el valor del magnetismo remanente B_r en función de la fuerza magnetizante máxima aplicada en cada caso. La gráfica, presentada en la Figura 23.9 para fuerzas magnetizantes positivas y negativas, resulta bastante alineal.

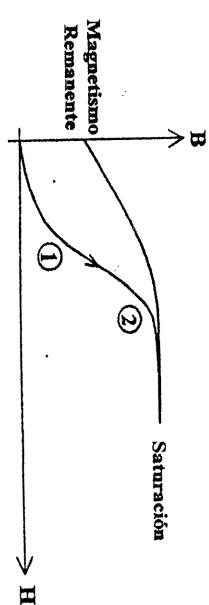


Figura 23.7. Curva que da la relación entre la fuerza magnetizante H y el campo magnético B . A partir de 1 el aumento de tamaño de los dominios se hace irreversible. A partir de 2 comienza la reorientación de los dominios. El descenso por un camino diferente del ascenso se conoce como histéresis.

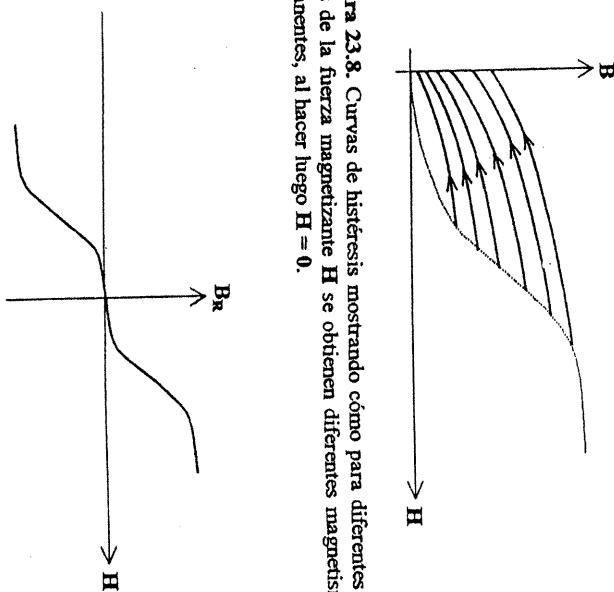


Figura 23.8. Curvas de histéresis mostrando cómo para diferentes valores de la fuerza magnetizante H se obtienen diferentes magnetismos remanentes, al hacer luego $H = 0$.

La idea subyacente en la grabación magnética es la de generar una fuerza magnetizante proporcional a la señal a grabar, y aplicarla mediante el cabezal de grabación en una pequeña región de una cinta recubierta con partículas ferromagnéticas. Estas partículas reaccionan produciendo un campo magnético determinado mientras se encuentra presente la fuerza magnetizante. Al desplazarse la cinta, la región afectada deja de ser alcanzada por la fuerza magnetizante y su campo magnético disminuye hasta llegar al magnetismo remanente (Figura 23.10). Dado que este magnetismo remanente depende del valor de la fuerza magnetizante, y ésta a su vez dependía de la señal, resulta que el magnetismo remanente varía con la señal.

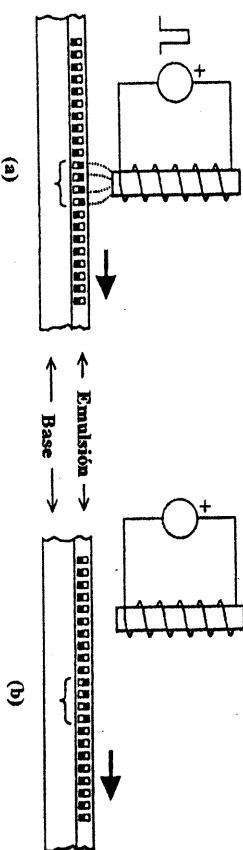


Figura 23.10. Proceso simplificado de grabación en una cinta recubierta con partículas ferromagnéticas. En (a) se aplica un pulso de corriente a la bobina. En (b) la cinta se ha desplazado, y la zona previamente sometida a una fuerza magnetizante permanece magnetizada.

23.5. Principios de la reproducción magnética

Una vez grabada la señal en una cinta, es necesario disponer de un método para reproducirla. La idea consiste en volver a pasar la cinta frente al núcleo de una bobina, que funcionará ahora como fuente generadora de señal bajo el principio de la fuerza electromotriz inducida. Al pasar la región magnetizada frente al núcleo de la bobina, el campo magnético que la atraviesa va variando, lo cual hace aparecer una fuerza electromotriz que puede aplicarse a la entrada de un preamplificador (Figura 23.11). Lamentablemente, la respuesta en frecuencia obtenida mediante este proceso de reproducción no es plana, sino que corresponde a un filtro pasabajos. En efecto, dado que la bobina genera tensión sólo cuando el campo varía, cuanto más rápidamente varíe éste, es decir cuanto mayor sea su frecuencia, mayor será la fuerza electromotriz inducida. Este inconveniente se soluciona por medio de una ecualización, que ordinariamente se encuentra en el mismo preamplificador. Como ecualizador se utiliza un filtro pasabajos de un tipo particular llamado integrador. La salida de este ecualizador provee una respuesta razonablemente plana, al menos dentro de los límites que se comentarán más adelante.

Figura 23.9. Curva de transferencia entre la fuerza magnetizante y el magnetismo remanente.

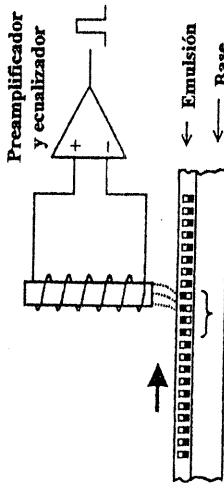


Figura 23.11. Proceso simplificado de reproducción de la cinta magnética de la Figura 23.10

23.6. Estructura del cabezal de grabación/reproducción

En el diagrama de la Figura 23.10 se dibujó el elemento transductor entre la señal eléctrica y la señal magnética como un simple electroimán enfriado a la cinta. Este esquema tiene dos inconvenientes serios: a) Hay una gran dispersión del campo magnético, es decir una imprecisión en la localización del mismo, que entre otras cosas reduce enormemente la respuesta en frecuencia del sistema, y b) si bien una fuerza magnetizante produce un campo magnético muy intenso *dentro* del núcleo, fuera de él el campo se atenúa debido a que hay demasiado aire entre uno y otro extremo del núcleo, y las líneas de campo tienden a separarse en el aire mucho más que en el hierro (recordemos que el campo magnético es mayor donde hay gran concentración de líneas de campo).

Estas dificultades pueden subsanarse adoptando un diseño semicerrado para el núcleo de la bobina, como se ilustra en la Figura 23.12. Si el núcleo estuviera completamente cerrado, el campo magnético quedaría prácticamente confinado a él sin posibilidad de afectar a la cinta (ya que las líneas de campo no tendrían por dónde salir). Por esa razón, existe una pequeña abertura, denominada *entrehierro*, que es precisamente donde

el núcleo toma contacto con la cinta. Para minimizar los problemas anteriores, el entrehierro se hace muy pequeño, del orden de $2 \mu\text{m}$ (unas 50 veces más delgado que una hoja de papel). De ese modo, la dispersión se reduce mucho, lo cual implica a su vez que las líneas de campo no se separan tanto (Figura 23.13). Por otra parte, cuando se apoya la cinta en el entrehierro, dado que se sustituye parte del aire por un material magnético (las partículas de la cinta), el campo creado será mayor. El entrehierro no puede hacerse mucho menor que eso, ya que el campo de dispersión en la parte expuesta comenzaría a reducirse ya excesivamente, produciendo una magnetización muy pobre de la cinta. Normalmente el entrehierro se rellena con un material no magnético, que puede ser un aislante o un metal como el oro, el bronce fosforoso o el aluminio. En cada instante, cada extremo del entrehierro adquiere una polaridad magnética (que se invierte cuando la señal cambia de signo).

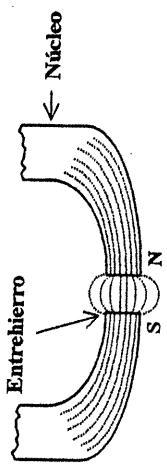


Figura 23.13. Las líneas de campo se dispersan algo en el entrehierro, pero mucho menos que en el caso de una barra.

En los grabadores profesionales se utilizan dos bobinas en paralelo en lugar de una sola (Figura 23.14), ya que de esa forma se consigue reducir los campos magnéticos externos, particularmente los provenientes de transformadores, motores, etc. El concepto es similar al de las líneas balanceadas. Un campo magnético externo tiende a atravesar todo el núcleo en la misma dirección, mientras que el campo creado por los arrollamientos es opuesto en cada lateral. El campo externo inducirá (al variar) tensiones opuestas en los dos arrollamientos. Como éstos están en paralelo, tenderá a circular una corriente, la cual generará un campo magnético opuesto al externo, contrarrestándolo. Otra ventaja de las bobinas en paralelo es que permiten circular mayor corriente, con lo cual la fuerza magnetizante será mayor.

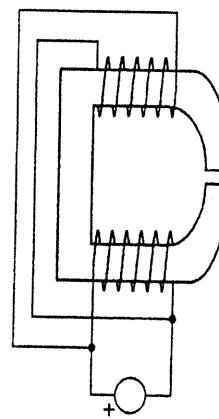


Figura 23.14. Cabezal de grabación con dos bobinas para contrarrestar el efecto de los campos magnéticos externos.

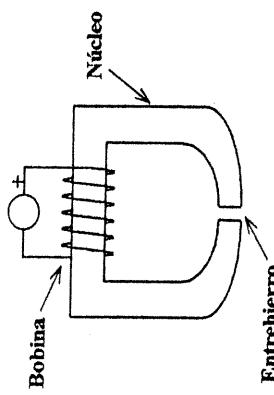


Figura 23.12. Estructura de un cabezal de grabación. El núcleo se ha cerrado sobre sí mismo, dejando sólo una pequeña abertura: el entrehierro.

Los campos magnéticos externos también pueden contrarrestarse mediante adquidos blindajes magnéticos. Se consigue un blindaje magnético rodeando cualquier bobina con una cubierta de material ferromagnético. En el caso del cabezal, salvo la abertura del entrehierro, se lo recubre completamente con una funda de materiales como el mumetal (Muntz metal, aleación de níquel, hierro y cobre de alta permeabilidad).

Normalmente, el núcleo se fabrica laminado (igual que el núcleo de un transformador), lo cual significa que se utilizan delgadas láminas con la forma mostrada en la Figura 23.12 superpuestas hasta obtener el espesor requerido (Figura 23.15). Esto es para evitar la generación de las llamadas corrientes de Foucault, que son corrientes inducidas en el propio núcleo. Estas corrientes aparecen porque al ser el núcleo conductor eléctrico, se forman miles de pequeños circuitos que son atravesados por un campo magnético variable. Entonces en cada uno se genera una fuerza electromotriz que hace circular corriente. Las corrientes de Foucault tienen dos inconvenientes: crean campos magnéticos que se oponen al que se quiere producir, y generan potencia que se disipa en forma de calor. El resultado es una disminución del campo efectivo y un calentamiento del núcleo. Al dividir el núcleo en láminas, los circuitos se reducen, por lo cual el campo magnético que abarcan es menor, haciendo disminuir estas corrientes parásitas.

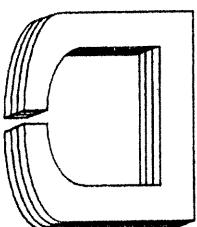


Figura 23.15. Núcleo laminado para reducir las corrientes de Foucault (por simplicidad se muestran sólo tres láminas).

La estructura del cabezal de reproducción es muy similar, y de hecho en la mayoría de los grabadores de cassette se utiliza un solo cabezal que cumple alternativamente una y otra función. Cuando se utilizan cabezales separados, como en los grabadores profesionales, la diferencia es que el cabezal de reproducción puede tener un entrehierro más pequeño, lo cual favorece, según veremos, la respuesta en frecuencia (sección 23.8).

Otra diferencia estriba en la forma de conexión de las bobinas. Para la reproducción se conectan en serie y no en paralelo, porque así se obtiene mayor salida de señal, y en cambio se cancelan las tensiones opuestas, debidas a campos parásitos externos.

23.7. Polarización con corriente continua y alterna

La curva de la Figura 23.9 muestra que la relación entre la señal aplicada al cabezal (que es proporcional a la fuerza magnetizante H) no es lineal, lo cual implica que la señal se grabará con grandes distorsiones, como se muestra en la Figura 23.16, a menos que hagamos algo al respecto. La primera idea es sumar a la señal una componente

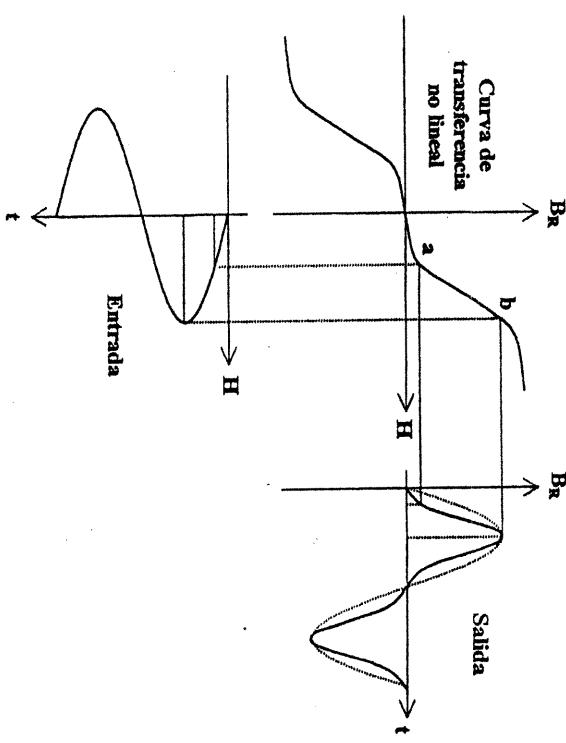


Figura 23.16. Distorsión producida sobre una onda senoidal por la curva de transferencia no lineal entre la fuerza magnetizante y el campo magnético remanente. Para referencia se ha incluido en línea de puntos la onda que se obtendría si no hubiera distorsión.

constante de modo de llevar la operación a la zona entre los puntos **a** y **b**, que es bastante lineal, lo cual se muestra en la Figura 23.17. Según se puede observar, previamente es preciso reducir el nivel de la señal, lo cual repercute negativamente en la relación señal/ruido (disminuye la señal pero no el ruido). Este tipo de acción por la cual se desplaza el punto de operación de un sistema para obtener alguna mejora en su comportamiento se denomina polarización. En este caso se trata de una polarización con corriente continua, dado que se está sumando una corriente continua.

La señal grabada posee una componente constante, ya que está desplazada en su totalidad hacia las magnetizaciones positivas. Esto carece de importancia, dado que el cabezal de reproducción es sensible solo a las variaciones de campo, como ya se ha señalado, por lo tanto es lo mismo que las variaciones se produzcan entre un valor negativo y otro positivo que entre dos valores positivos, en tanto la velocidad de variación sea la misma.

La polarización de corriente continua, si bien permite resolver el problema de la linearidad, adolece del problema ya comentado de una pobre relación señal/ruido. Esto se debe a que de toda la curva de magnetización se está utilizando una zona muy restringida, y dado que la cinta es un medio inherentemente ruidoso (ver la sección 23.10), en la práctica es muy difícil lograr una relación señal/ruido mayor de 30 dB, lo cual para los estándares de audio de buena calidad es inadmisiblemente bajo.

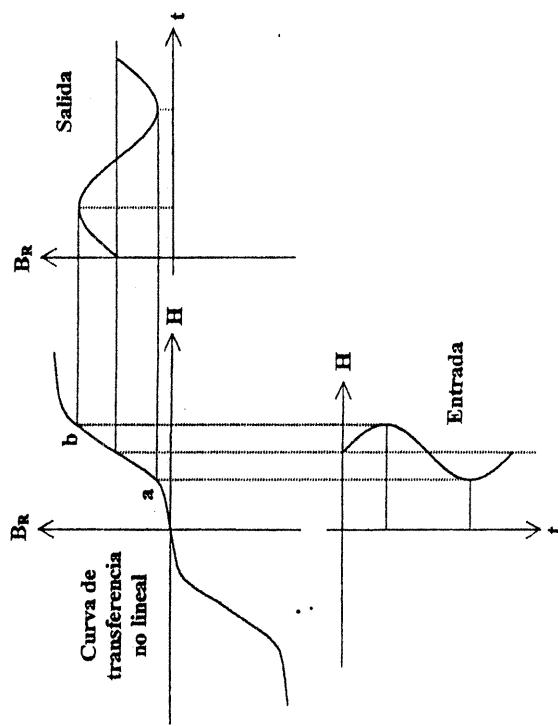


Figura 23.17. Efecto de linearización de una polarización de corriente continua.

Afortunadamente, todavía en los albores de la grabación (1927), Carlson y Carpenter propusieron un método de polarización por corriente alterna que mejoró notablemente las posibilidades de la grabación en cinta magnética. Esta polarización consiste en superponer a la señal una seínoide de alta frecuencia (típicamente mayor de 70 kHz, llegando inclusive a más de 250 kHz) de amplitud entre 5 y 25 veces mayor que el nivel máximo de grabación (Figura 23.18).

Aunque las razones por las cuales este tipo de polarización funciona no son tan sencillas de explicar como en el caso de la polarización con corriente continua, la idea es la siguiente. El nivel de polarización aplicado es tan grande, que el material ferromagnético de la cinta es obligado, mientras la cinta está pasando frente al cabezal de grabación, a ir una y otra vez entre la saturación en un sentido y la saturación en el otro sentido. Esto hace que se describa un ciclo de histéresis completo una y otra vez, como se muestra en la Figura 23.19. Cuando la cinta está abandonando el entrehierto, la fuerza magnetizante efectiva que recibe la cinta se va haciendo cada vez menor, y entonces el ciclo de histéresis se reemplaza por una espiral de histéresis que tiende a un valor límite de magnetismo remanente (Figura 23.20). Resulta que ese valor límite está relacionado mucho más linealmente con la señal que sin polarización, con la ventaja con respecto a la polarización con corriente continua de que se aprovecha casi todo el rango magnético del material de la cinta.

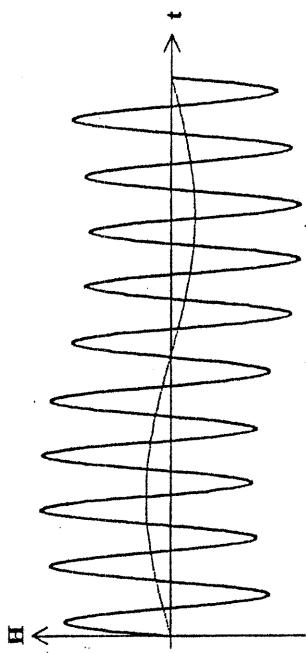


Figura 23.18. Forma de onda de una polarización con corriente alterna. En línea de puntos, la señal. En línea llena, la señal más la polarización (en este ejemplo de frecuencia 5 veces mayor que la señal).

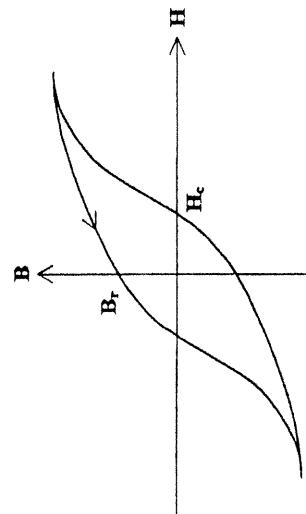


Figura 23.19. Ciclo o lazo de histéresis, formado al llevar las partículas ferromagnéticas hasta saturación en uno y otro sentido repetitivamente. H_c es la denominada fuerza coercitiva, y B_s , la remanencia.

23.8. Borrado

Para el borrado de la cinta se utiliza un principio similar al de la grabación, sólo que en este caso se "graba" una señal nula, pero con una polarización de corriente alterna de nivel mucho más alto. En general se utiliza el mismo oscilador de la polarización del cabezal de grabación, pero más amplificado. La idea es que la cinta experimente una serie de ciclos de histéresis como los de la Figura 23.20 pero que la lleven a un valor nulo. Este proceso se conoce como desmagnetización de la cinta.



Antes de obtener relaciones entre los parámetros mencionados y la respuesta en frecuencia, tengamos en cuenta que si grabamos una senoide de frecuencia f en una cinta que se mueve a una velocidad v , dado que un ciclo demora un tiempo $T = 1/f$, la distancia recorrida por la cinta durante un ciclo será

$$d = v \cdot T = \frac{v}{f}$$

Esto significa que cada ciclo ocupará sobre la cinta una longitud igual a d . Por ejemplo, si la cinta se mueve a una velocidad de $7,5 \text{ mm/s}$, es decir $190,5 \text{ mm/s}$, un ciclo de frecuencia 20 kHz ocupará

$$d = 190,5 = 0,00952 \text{ mm} = 9,52 \mu\text{m}$$

Por cada ciclo grabado habrá sobre la cinta un polo norte y un polo sur, correspondientes al máximo y al mínimo de la senoide. La distancia entre estos polos será $d/2$, que en nuestro ejemplo corresponde a $4,75 \mu\text{m}$.

Ahora bien, dado que en el entrehielro sólo hay dos polos, el entrehielro del cabezal reproductor deberá abarcar como máximo una distancia $d/2$ para obtener una respuesta aceptable de la bobina. Para comprender mejor esto, supongamos que el entrehielro ocupa una distancia igual a d , como se muestra en la Figura 23.21. En este caso ambos lados del entrehielro están siempre sometidos al mismo valor de magnetización, ya sea positivo (polo norte), negativo (polo sur) o cero, de manera que la diferencia es siempre cero. Al no haber variación del campo magnético dentro del núcleo, no puede haber tensión inducida en las bobinas del cabezal, por lo que la respuesta es nula.

En la Figura 23.19 se introduce el concepto de fuerza coercitiva, H_c , que corresponde al valor de fuerza magnetizante opuesta a una magnetización dada para llevar el campo magnético a 0 . Si bien esto no es equivalente a borrar la cinta (dado que al eliminar la fuerza magnetizante externa el magnetismo vuelve a aumentar), el valor de la fuerza coercitiva influye en la facilidad o dificultad de borrado. Así, un material con pequeña fuerza coercitiva se desmagnetizará fácilmente, en tanto que uno con alta fuerza coercitiva lo hará con dificultad.

23.9. Respuesta en frecuencia

Una consideración muy importante en el proceso de grabación es la respuesta en frecuencia del sistema. Veremos que depende del ancho del entrehielro del cabezal de reproducción y de la velocidad de la cinta. También depende del espesor de la emulsión ferromagnética sobre la cinta y de su composición.

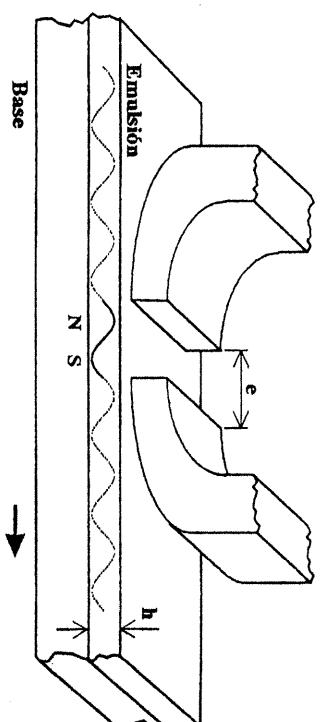


Figura 23.21. Si el entrehielro es demasiado ancho, ambos lados están sometidos siempre al mismo campo magnético, por lo tanto no hay variaciones de campo y no se induce tensión en los bobinados.

Si, en cambio, se cumple la condición de que el entrehielro tenga un ancho e menor que $d/2$, el resultado es que siempre serán captadas correctamente las diferencias de magnetización, obteniéndose una respuesta aceptable.

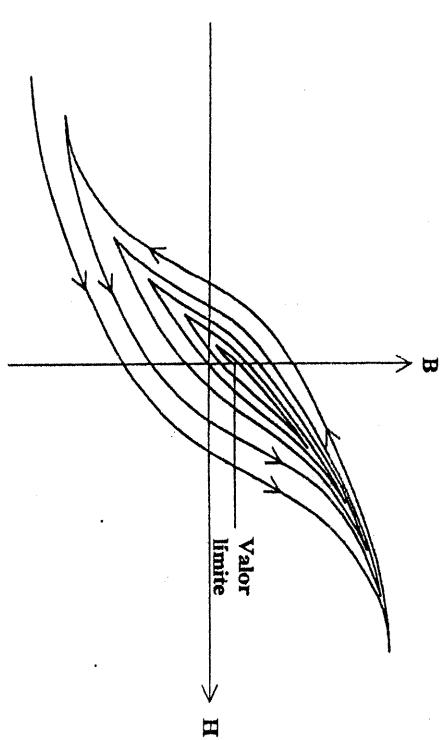


Figura 23.20. Proceso de grabación con polarización de alta frecuencia. Se ha supuesto un valor positivo de señal. Cuando la cinta va abandonando el entrehielro del cabezal, se produce una *espiral de histeresis* que tiende a un valor límite de magnetización remanente.

En la práctica existen otros factores que hacen que la longitud efectiva del entrehierro sea mayor que la real, como el hecho de que en presencia de la cinta el campo magnético se dispersa un poco a ambos lados del entrehierro, por lo que es recomendable que el ancho físico del entrehierro cumpla en realidad

$$e < \frac{d}{5} = \frac{v}{5f}.$$

En nuestro ejemplo anterior, resultará necesario un ancho de aproximadamente unos $2 \mu\text{m}$ para asegurar la reproducción satisfactoria de los 20 kHz.

Despejando f de la desigualdad anterior, se puede obtener la frecuencia máxima que será reproducida si se conoce la velocidad de la cinta y el entrehierro:

$$f_{\max} = \frac{v}{5e}.$$

Esta fórmula es interesante porque indica que la respuesta en frecuencia aumenta al aumentar la velocidad de la cinta y al reducir el entrehierro.

El tercer parámetro que afecta la respuesta en frecuencia está dado por el espesor h de la emulsión ferromagnética de la cinta, ya que las altas frecuencias sólo utilizan la parte más superficial de la emulsión. Si la emulsión es gruesa, se verán favorecidas las bajas frecuencias, pero no las altas. Esto es equivalente a un filtro pasabajos con una frecuencia de corte dada por

$$f_c = \frac{v}{2\pi h},$$

donde v es, nuevamente, la velocidad de tracción de la cinta, y h es el espesor de la emulsión. Este valor suele ser demasiado bajo para ser admisible. Por ejemplo, para un espesor típico de 440 micropulgadas, es decir $11.2 \mu\text{m}$, resulta una frecuencia de corte de

$$f_c = \frac{190.5}{2 \times \pi \times 0.0112} = 2.707 \text{ Hz}.$$

Esto se soluciona por medio de un ecualizador en el circuito de grabación que aumenta la respuesta en alta frecuencia (por encima de la frecuencia de corte), compensando esta caída. Es habitual especificar este valor como una constante de tiempo, T :

$$T = \frac{h}{v},$$

lo cual permite seleccionar la red de ecualización para cada tipo de cinta. En las cintas de los cassettes, por ejemplo, estas constantes suelen ser de $120 \mu\text{s}$ para cintas normales y $70 \mu\text{s}$ para cintas de crono o de metal.

Es conveniente aclarar que a la ecualización llevada a cabo en el grabador se agregan otras cuatro componentes de ecualización en el sistema:

- a) Una compensación de las pérdidas en el cabezal de grabación.
- b) Una compensación de las pérdidas en el cabezal de reproducción.
- c) Una caída en alta frecuencia incluida en el preamplificador de reproducción, denominada integración, necesaria para compensar la mayor respuesta de una bobina a campos magnéticos de alta frecuencia.
- d) Un par de curvas de ecualización complementarias (una en el grabador y la otra en el reproductor), normalizadas por la NAB (National Association of Broadcasters) para las cintas abiertas y por DIN (Deutsche Industrie Norm) para los cassettes.

Estas ecualizaciones son "transparentes" al usuario, es decir que el usuario no advierte su presencia ni tiene control sobre ellas.

Otro elemento que influye en la respuesta en alta frecuencia de la cinta es el borrador residual que produce la propia polarización con corriente alterna, el cual se manifiesta más en alta frecuencia, quedando la señal de alta frecuencia registrada con menor nivel. Podemos concluir, entonces, que las cintas con una gran fuerza coercitiva, y que por lo tanto resisten más la desmagnetización, poseerán mejor respuesta en alta frecuencia.

El último factor que incide en la respuesta en frecuencia de un sistema de grabación en cinta es el azimut del entrehierro, es decir el ángulo que forma éste respecto a su posición normal (perpendicular a la dirección de movimiento de la cinta; ver Figura 23.22). En general siempre hay un pequeño ángulo de azimut, debido a imprecisiones en los ajustes o al desgaste o aflojamiento de los tornillos de sujeción. La respuesta en baja frecuencia se ve poco afectada por el azimut, pero la respuesta en alta frecuencia es sumamente sensible a dicha inclinación, reduciéndose considerablemente.

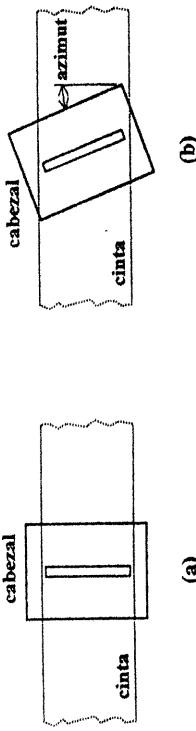


Figura 23.22. (a) Posición normal del entrehierro, perpendicular a la dirección de movimiento de la cinta. (b) Entrehierro inclinado un cierto ángulo, denominado azimut.

23.10. La cinta magnética

La cinta magnética está formada, como ya se indicó, por una base plástica, generalmente de mylar (terefthalato de polietileno), y una emulsión o revestimiento magnético.

La base debe poseer una gran resistencia a la tensión, y una muy baja deformación por estiramiento, para evitar fluctuaciones de la frecuencia grabada, conocidas como flutter (flameo). Estas fluctuaciones se deben a estiramientos desparejos, que hacen que ciclos originalmente iguales queden registrados ocupando longitudes diferentes, por lo cual se reproducen con duraciones diferentes. También es preciso que la base no experi-

mente dilataciones con la temperatura, que conducirían a un desplazamiento de la frecuencia reproducida y un consecuente cambio en la duración del registro.

Respecto al espesor de la base, por un lado conviene que sea pequeño, para permitir una mayor cantidad de cinta por carrete, lo cual posibilita mayor tiempo de grabación o mayor velocidad (con la consecuente mejora en la respuesta en alta frecuencia). Por otro lado, un espesor demasiado pequeño implica la posibilidad de que el magnetismo remanente de una capa de cinta afecte a la capa vecina, produciendo una filtración de señal (en inglés, *print-through*). En algunos casos esto puede producir lo que se denomina **preecho**, es decir una anticipación de la señal durante un pasaje en silencio. Otro inconveniente de las cintas delgadas es la tendencia a vibrar, produciendo pequeños silbidos que pueden ser audibles y pueden incluso quedar grabados.

La emulsión debe estar formada por partículas ferromagnéticas de pequeño tamaño (menor de 1 μm), con forma *acicular* (de aguja), distribuidas uniformemente sin defectos como grumos (acumulaciones), burbujas o zonas no cubiertas. La razón para el reducido tamaño es que se pretende que en cada ciclo de la máxima frecuencia a registrar (20 kHz) haya por lo menos 10 partículas, y la forma de aguja es para lograr que cada partícula se comporte como dominio simple, lo cual requiere que estén separadas entre sí. Otra ventaja del tamaño reducido de las partículas está en la reducción del ruido de fondo de la cinta.

Para mejorar aún más la respuesta de la cinta, dado que los materiales utilizados son fuertemente anisotrópicos (es decir que las propiedades magnéticas dependen de la orientación), se somete a la cinta durante el proceso de secado de la emulsión a un fuerte campo magnético que reorienta físicamente las partículas en la dirección longitudinal de la cinta.

La respuesta en alta frecuencia de la cinta depende entre otras cosas del espesor de la emulsión y de su fuerza coercitiva (ver Figura 23.19), según ya se comentó.

Un factor de gran importancia en la selección de cintas es el máximo nivel de magnetización con respuesta lineal (se sobreentiende que se utiliza polarización de corriente alterna). Este parámetro depende muchísimo de cómo está formulada la emulsión. Así, tenemos tres composiciones básicas. La de óxido férreo gama rojo (Fe_2O_3) es la más común. A partir de 1960 comenzaron a introducirse las cintas de dióxido de cromo (CrO_2), que tienen una fuerza coercitiva más alta, lo cual permite obtener mejor respuesta en frecuencia. El nivel máximo de magnetización también es mayor mejorando la relación señal a ruido. En 1972 se introdujeron las cintas de metal, que contienen partículas de hierro o hierro y cobalto en estado metálico. Logran una mayor coercitividad (y por lo tanto mayor respuesta en frecuencia) y un mayor nivel de magnetización que las de dióxido de cromo.

El nivel de grabación se define como el nivel de magnetización aplicado a la cinta, y se lo expresa en dB respecto a cierto valor estándar, que corresponde a 0 dB (*no debe confundirse este valor con un nivel de tensión, ni mucho menos con un nivel de presión sonora*). En las cintas resulta importante el máximo nivel de grabación sin distorsión, es decir sin que la cinta llegue a su saturación magnética. Dicho nivel depende fuertemente de la composición de la cinta. Así, las cintas normales (óxido férreo) admiten un nivel de hasta 3 dB sin distorsión apreciable, mientras que las de cromo permiten 6 dB y las de metal, 10 dB. En general el mayor nivel de grabación repercute favorablemente en la relación señal/ruido, por lo cual las cintas de cromo y las de metal posibilitan registros más limpios de ruido.

Técnicamente se define un parámetro denominado **máximo nivel de salida (maximum output level, MOL)** para las cintas magnéticas. Este valor es bastante mayor que los mencionados anteriormente, ya que en su medición se admite un 3% de distorsión de tercer armónico (es decir que si se graba una senoide pura, aparece un tercer armónico cuya amplitud es un 3% de la amplitud de la senoide, es decir unos 30 dB menor). Esta distorsión es apreciable, y normalmente debería evitarse, considerándose el MOL como un parámetro de la cinta, no como una condición satisfactoria de operación.

23.11. Especificaciones de los grabadores de cinta

Las especificaciones de un grabador incluyen algunos parámetros generales comunes a otros equipos, como la respuesta en frecuencia y la distorsión, y otros parámetros específicos, como el número de pistas, los tamaños y tipos de cinta soportados, etc.

23.11.1. Parámetros generales

La respuesta en frecuencia de un grabador depende del tipo y composición de la cinta, de la velocidad de arrastre en caso de tener más de una velocidad, y del nivel de grabación. Así, siempre que se haga la comparación sobre cintas de igual calidad de fabricación, las cintas de cromo ofrecen una mayor respuesta en frecuencia que las normales (de óxido férreo), y las cintas metálicas mayor que las de cromo. Ya se comentó la relación bastante directa entre la velocidad de la cinta y la respuesta en frecuencia. Sin embargo, debe tenerse en cuenta que una duplicación de la velocidad no necesariamente duplica la máxima frecuencia. Por último, la respuesta en frecuencia empeora (se reduce) cuando se incrementa el nivel de grabación. Generalmente se especifica la respuesta en frecuencia para dos o más niveles. En la Figura 23.23 se muestra un ejemplo.

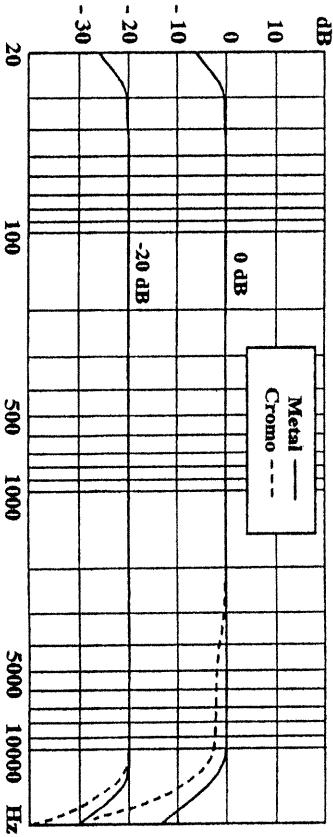


Figura 23.23. Ejemplo de la variación de la respuesta en frecuencia de un grabador con el tipo de cinta (cromo y metal) y el nivel de grabación (0 dB y -20 dB respecto al nivel estándar de grabación).

Con respecto a la distorsión, también se especifica indicando el tipo de cinta utilizado, la frecuencia (en general 1 kHz), y el nivel de grabación (generalmente, 0 dB). Se

puede especificar la distorsión total armónica, THD, o la distorsión de tercer armónico, K3. Esta última es la relación porcentual entre el tercer armónico generado por la distorsión y la fundamental (primer armónico). Por supuesto, siempre se da que $\text{THD} > \text{K3}$.

La relación señal/ruido, S/R, se especifica en general filtrando previamente el ruido con un filtro denominado CCIR/ARM (introducido por el International Radio Consultive Committee, Comité Internacional Consultivo de Radio). Dicho filtro enfatiza las frecuencias entre 2 kHz y 10 kHz, atenuando las restantes, y su propósito es medir no la magnitud eléctrica del ruido, sino el efecto perceptivo de la molestia que ocasiona durante la escucha de música. Se especifica a frecuencias determinadas, por ejemplo a 1 kHz y a 5 kHz, indicando el tipo de cinta utilizado, y si se usó algún reductor de ruido.

En el caso de grabadores multicanal, se especifica la separación de canales, o diafonía, debiendo indicarse si se trata de canales contiguos o no, así como las condiciones de medición (frecuencia, nivel de grabación, presencia o no de reductor de ruido). Por último existen especificaciones de carácter administrativo, como el tipo de conectores, las impedancias de entrada y salida, consumo de energía eléctrica, peso, dimensiones, etc.

23.11.2. Parámetros específicos de los sistemas de grabación

Los grabadores pueden tener pequeñas fluctuaciones de velocidad, que se manifiestan occasionando fluctuaciones lentas de la frecuencia de un tono grabado, o variaciones más rápidas que producen una especie de vibrato parásito. Estos fenómenos se denominan Wow y Flutter respectivamente, y pueden especificarse como variación porcentual. Por lo general no se discriminan, brindándose un dato único que representa los dos fenómenos conjuntamente. Ese dato puede suministrarse como porcentaje en valor eficaz (RMS) o en valor de pico (peak), o ambos valores.

También se especifican la polarización y la ecualización de los cabezales, especialmente cuando se provee al usuario la posibilidad de ajustarlas.

Otros datos se refieren a las velocidades disponibles, tiempo de retroceso o avance rápido, y rango de los ajustes finos de velocidad en caso de haberlos.

También se especifica el nivel de borrado, es decir el nivel de ruido residual por debajo del nivel estándar de grabación, en dB. Por último, puede haber especificaciones como la vida útil de los cabezales en horas de uso continuo, tiempo recomendado entre operaciones de limpieza y desmagnetización de los cabezales, etc.

23.12. Reductores de ruido

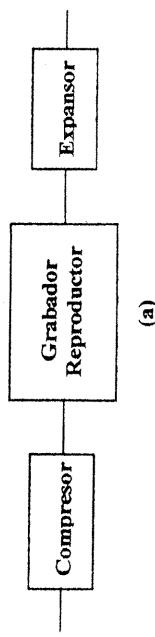
La grabación analógica en cinta magnética adolece de un serio inconveniente: el excesivo ruido originado, entre otras causas, por la granularidad del material magnético de la emulsión y por la polarización de corriente alterna. Debido a este ruido, el rango dinámico que puede obtenerse resulta demasiado bajo para aplicaciones de un mínimo de calidad. De hecho, es difícil obtener una relación señal a ruido mayor de 55 a 60 dB. Esto implica que el registro en cinta magnética sería inviable para aplicaciones serias si no existieran dispositivos reductores de ruido.

Existen dos tipos de reductores de ruido: los reductores complementarios, y los reductores no complementarios. Los reductores complementarios procesan la señal

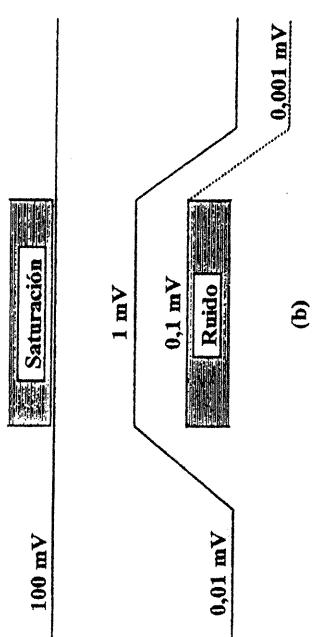
antes de grabarla, de manera de hacerla más inmune o insensible al ruido del proceso de grabación/reproducción, y luego aplican el procesamiento inverso para devolver a la señal sus características originales, pero con menos ruido. Los reductores no complementarios, en cambio, toman la señal ya grabada y la procesan (durante la reproducción) de manera de reducir el ruido, o bien su efecto perceptivo, en general por medio de técnicas basadas en el emmascaramiento. Según veremos a continuación, ambos tipos de reductores de ruido responden a principios que hemos estudiado anteriormente.

23.12.1. Reductores de ruido complementarios

Los reductores complementarios se basan en el concepto de la compresión y expansión. Ya vimos oportunamente cómo la compresión puede ayudar a que la señal resulte más inmune al ruido. Simplemente, las señales de alto nivel, que por su propio nivel emmascaran al ruido, no se modifican, y en cambio las de bajo nivel, que caerían por debajo del "piso" de ruido, son amplificadas, incrementando su nivel convenientemente por encima del ruido. La señal así tratada se graba en la cinta. Al reproducirla la grabación, interviene un expansor que restituye el rango dinámico primitivo de la señal, para lo cual deja intactas las señales de alto nivel y atenúa las de bajo nivel. Como el ruido es un componente de bajo nivel, resulta atenuado, lo cual incrementa la relación señal/ruido del sistema. El compresor actúa como un codificador, y el expansor como un decodificador.



(a)



(b)

Figura 23.24. (a) Diagrama de bloques de un sistema de reducción de ruido complementario (b) Ejemplo de su operación.

Para ilustrar esta operación, consideremos una señal que varía entre 0,01 mV y 100 mV (Figura 23.24), es decir cuyo rango dinámico es de

$$20 \log_{10} \frac{100 \text{ mV}}{0,01 \text{ mV}} = 20 \log_{10} 10.000 = 80 \text{ dB} .$$

Supongamos que la saturación del sistema está precisamente en 100 mV, y que su ruido es de 0,1 mV, lo cual significa que su relación señal/ruido es

$$S/R = 20 \log_{10} \frac{100 \text{ mV}}{0,1 \text{ mV}} = 20 \log_{10} 1.000 = 60 \text{ dB} .$$

Evidentemente, las porciones de la señal que se encuentren entre 0,01 mV y 0,1 mV se perderán si no se utiliza alguna estrategia de reducción de ruido. Para ello, comprimimos aplicando una ganancia 1 a las señales intensas y 100 a las señales débiles. Ahora, toda la señal variará entre $100 \times 0,01 \text{ mV} = 1 \text{ mV}$ y $1 \times 100 \text{ mV} = 100 \text{ mV}$.

Durante el proceso de grabación y reproducción se agrega un ruido de 0,1 mV, que estará muy por debajo del valor mínimo de la señal (que ahora es 1 mV en lugar de 0,01 mV). Para reponer el rango dinámico original, las señales intensas se mantienen, mientras que las débiles se atenían en 100 veces. En otras palabras, el nivel máximo continuará siendo 100 mV, y el mínimo pasará a valer $1 \text{ mV} / 100 = 0,01 \text{ mV}$, que es su valor primitivo. Pero dado que el ruido es una señal pequeña, también se reducirá 100 veces, llegando a un valor de $0,1 \text{ mV} / 100 = 0,001 \text{ mV}$.

Como resultado del sistema de compresión y posterior expansión complementaria se obtiene una relación señal/ruido

$$S/R = 20 \log_{10} \frac{100 \text{ mV}}{0,001 \text{ mV}} = 20 \log_{10} 100.000 = 100 \text{ dB} ,$$

valor mucho más alto que el original de 60 dB, lo cual muestra la eficacia del sistema de reducción. Dentro de los reductores de ruido complementarios, los más célebres son el sistema Dolby, en sus diversas variantes, y el dbx. El primero ha tenido difusión masiva en los sistemas de grabación profesionales y de cassette compacto, y el segundo en los sistemas profesionales de grabación multicanal (multipista) analógicos.

En la Figura 23.25 se muestra el diagrama de bloques simplificado de la sección compresora (codificador) del sistema Dolby B. El objetivo de esta sección es *comprimir solamente las señales de alta frecuencia*, bajo la hipótesis de que el ruido de cinta es un ruido de alta frecuencia. Dado que este dispositivo trabaja en función del contenido de alta frecuencia de la señal, es importante eliminar el ruido de frecuencias ultrasónicas que ésta pudiera contener. Ese objetivo lo cumple el filtro pasaaltos de entrada. El preamplificador que sigue eleva el nivel de la señal, reduciendo así el efecto del ruido eléctrico generado en el propio circuito. Luego la señal es enviada simultáneamente a una de las entradas de un sumador, y a un filtro pasaaltos controlado por una cadena lateral.

Cuando la señal tiene poco contenido de alta frecuencia, la cadena lateral tiene un nivel bajo, lo cual implica que la frecuencia de corte del filtro es baja (cerca de 1 kHz), y entonces el filtro *deja pasar todas las componentes de alta frecuencia de la señal*. Estas se sumarán, amplificadas, a la señal directa, por lo cual el nivel de las altas frecuencias se verá incrementado.

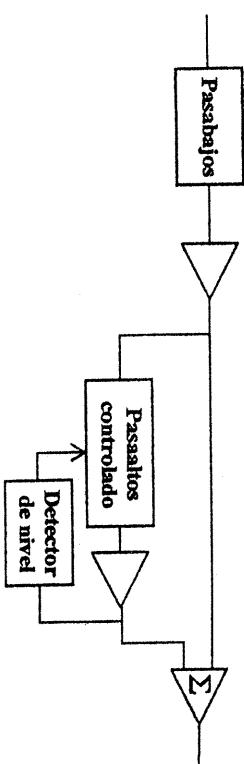


Figura 23.25. Diagrama de bloques simplificado de la sección de compresión (codificador) de un sistema Dolby B.

Cuando, en cambio, la señal tenga un alto contenido de alta frecuencia, la cadena lateral recibirá un nivel alto. Esto implica que la frecuencia de corte del filtro pasaaltos aumentará, dejando pasar sólo las frecuencias muy altas (de hecho, sólo las frecuencias fuera del espectro audible, que ya habían sido eliminadas por el pasabajos). Entonces la señal de salida del sumador será prácticamente la señal directa sin alteración.

En resumen, las altas frecuencias de bajo nivel resultan amplificadas, y en cambio las de alto nivel atraviesan el sistema sin modificaciones. Las bajas frecuencias (por debajo de 1 kHz), no se modifican en ningún caso.

La sección expansora (decodificador) del sistema Dolby B se ilustra en la Figura 23.26. La diferencia estriba en que la señal que va al filtro pasaaltos no es la de entrada sino *la de salida, previamente invertida*.

Cuando la señal original tenga un gran contenido de alta frecuencia, y por lo tanto el codificador no haya actuado, la salida de este expander contendrá también abundante alta frecuencia, la cual se reinyecta (invertida) a la entrada del filtro pasaaltos controlado. Debido a su alto nivel, el filtro se cierra (aumenta su límite inferior de frecuencia), y por lo tanto prácticamente no deja pasar ninguna señal al sumador. La salida del decodificador sigue siendo igual a su entrada.

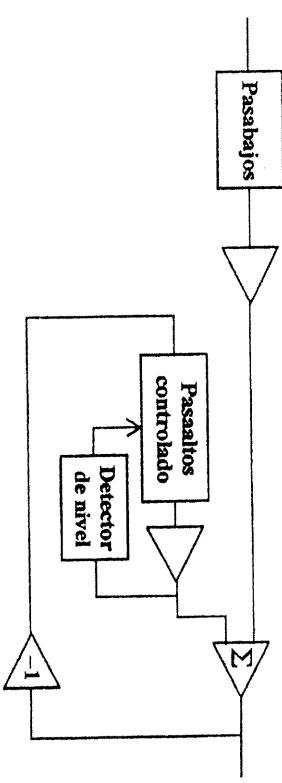


Figura 23.26. Diagrama de bloques simplificado de la sección expansora (decodificador) del sistema Dolby B.

Cuando, en cambio, la señal original sea débil (y por lo tanto su nivel haya sido incrementado por el compresor), tendremos a la salida de este expensor un menor nivel. Esta señal, invertida, se reinyectará a la entrada del pasajalito. Debido a su nivel moderado, el filtro se abre (baja su límite inferior de frecuencia) dejando pasar sus componentes de alta frecuencia. Dado que estaba invertida, se restará ahora de la señal directa, reduciendo la salida de alta frecuencia hasta su nivel previo a la compresión.

El sistema Dolby B logra un incremento de más de 10 dB para las señales mayores de 5 kHz de bajo nivel (-40 dB respecto al nivel de grabación estándar). Las señales de alto nivel (0 dB), cualquiera sea su frecuencia, permanecen casi inalteradas (ver Figura 23.27). Esto significa que en alta frecuencia la mejoría de la relación señal/ruido supera los 10 dB.

Aún cuando estos resultados puedan parecer sólo una mejora modesta, permiten alcanzar relaciones señal/ruido cercanas a los 70 dB, lo cual se considera ya como alta fidelidad para equipos de consumo masivo. La incorporación del sistema Dolby B condujo a la difusión masiva del cassette compacto, compitiendo con el disco de vinilo hasta la aparición y posterior popularización del disco compacto.

El sistema Dolby C, aplicado en equipos de grabación de cassette más sofisticados, equivale esencialmente a un doble sistema Dolby B, por lo cual consiguen mejoras de hasta 20 dB en la relación señal/ruido a 5 kHz. El Dolby A, para uso profesional, subdivide la señal en 4 bandas de frecuencia, optimizando la compresión y la descompresión en cada una de ellas.

El otro sistema de reducción de ruido que ha alcanzado gran popularidad es el denominado dbx. A diferencia del sistema Dolby, se trata de un compresor/expansor de banda ancha, es decir que la compresión se realiza en todas las *frecuencias de audio*, no solamente en las altas. Este sistema comprime el nivel de la señal en dB (relativo al

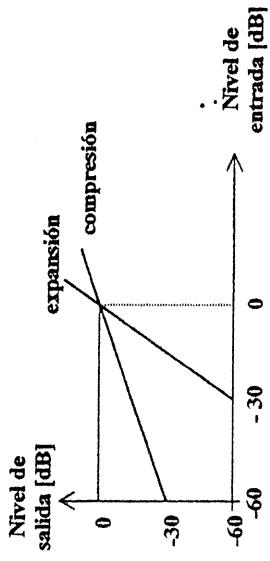
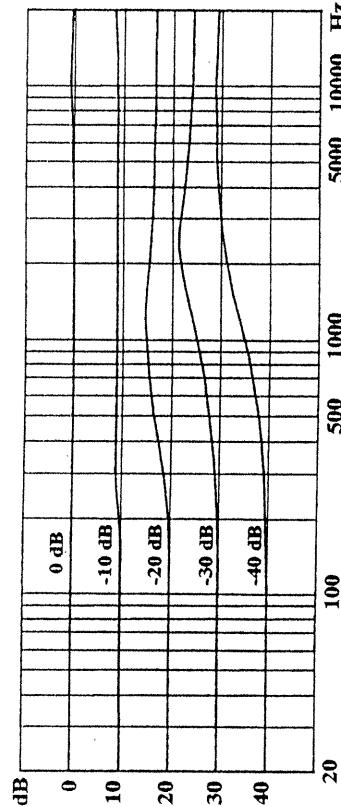


Figura 23.28. Curvas complementarias de compresión y expansión de un redactor de ruido dbx.

La sección expansora, por su parte, expande el nivel en dB de la señal que recibe en un factor 2, de manera que las señales que estén por encima del nivel estándar serán amplificadas y las que estén por debajo serán atenuadas, restituyendo la señal a su dinámica original.

Como ejemplo de operación, consideremos una señal que varía su nivel entre -60 dB y +10 dB. Como resultado de la compresión, la señal codificada variará entre -30 dB y +5 dB. Esta señal es registrada en la cinta, agregándose un ruido de, por ejemplo, -50 dB. Si no se utilizará un sistema de reducción de ruido, las partes más débiles de la señal quedarían inmersas en el ruido de cinta. Al utilizar dbx, las señales más débiles tienen ahora un nivel de -30 dB, es decir que están *muy por encima* del ruido de cinta. Al *decodificar* la señal mediante la sección expansora, la señal de -30 dB es atenuada hasta su valor original de -60 dB. El ruido, por su parte, de -50 dB será atenuado hasta -100 dB, con lo cual el nivel de ruido resulta muy bajo (en la práctica no se obtienen niveles tan bajos debido al propio ruido del decodificador, y al hecho de que la expansión no puede mantenerse lineal en un rango de niveles tan amplio).

Figura 23.27. Curvas que muestran el comportamiento de la sección de compresión del sistema Dolby B. Los niveles de grabación altos (0 dB) permanecen prácticamente inalterados, mientras que los niveles bajos (-40 dB) experimentan refuerzos de más de 10 dB en alta frecuencia, particularmente arriba de 5 kHz.



23.12.2. Uso parcial de reductores de ruido complementarios
Es importante hacer algunas observaciones sobre el uso *parcial* de los sistemas complementarios, como podría ser grabar sin Dolby y reproducir con él, o viceversa. Dado que los sistemas complementarios son, precisamente, *complementarios*, sólo puede esperarse que brinden resultados satisfactorios si se los utiliza tal como fueron concebidos. Por ese motivo, la utilización parcial puede tener peores consecuencias sobre la señal que si no se utilizara ningún sistema reductor de ruido.

Analicemos ahora algunos ejemplos. El primer caso se da al reproducir sin Dolby una grabación hecha con Dolby. Las señales débiles tendrán, en general, un exceso de agudos, sin que por ello se reduzca el ruido durante la reproducción. Las señales intensas no experimentarán modificaciones importantes. La "solución" que a veces se propone de

bajar el control de agudos, puede funcionar para el caso de señales pobres en agudos, pero no para señales con gran contenido de altas frecuencias, que perderán buena parte de su brillo. El caso reciproco, grabar sin Dolby y reproducir con Dolby, en la esperanza de reducir el ruido, implica que las señales pobres en altas frecuencias terminarán perdiendo el escaso brillo que tenían. Es cierto que el ruido se reduce, pero con él también la fidelidad de lo grabado. Cuando la señal es rica en agudos, la presencia del decodificador Dolby es irrelevante, ya que no produce ningún cambio.

El caso del dbx difiere en que su efecto no varía con la frecuencia. Si se utiliza sólo el codificador dbx, es decir se comprime la señal, el rango dinámico se reducirá, con consecuencias similares a las discutidas en el caso de los compresores. Si se utiliza, en cambio, sólo el decodificador, las señales débiles terminarán por volverse inaudibles.

23.12.3. Reductores de ruido no complementarios

Los reductores de ruido no complementarios se apoyan en el mismo principio de las compuertas, estudiado oportunamente. Cuando existe una señal importante, se supone que en general ésta enmascara al ruido, haciéndolo casi imperceptible. Cuando no hay señal, se reduce la ganancia del sistema de reproducción, reduciéndose por consiguiente el ruido agregado. La mayor dificultad consiste en discriminar de un modo confiable cuándo hay y cuándo no hay señal.

En la figura 23.29 se muestra el diagrama de bloques de un reductor de ruido no complementario, el DNR (dynamic noise reduction system) de National Semiconductor.

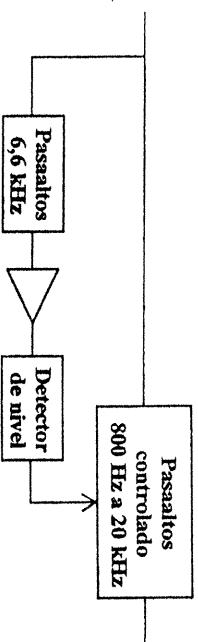


Figura 23.29. Diagrama de bloques simplificado del DNR, un reductor de ruido no complementario.

El bloque central del sistema es un pasabajos controlado por tensión. Cuando en su entrada de control (cadena lateral) se aplica una tensión pequeña, el filtro se cierra, dejando pasar solamente las frecuencias menores de 800 Hz. Si dicha tensión de control comienza a aumentar, el filtro se va abriendo paulatinamente (aumenta su frecuencia de corte) hasta que finalmente deja pasar toda la señal de audio.

La señal de control del filtro se obtiene del nivel de las componentes de alta frecuencia de la señal. Así, si la señal tiene poco contenido de alta frecuencia, el filtro se cierra, impidiendo el paso del ruido. Si, en cambio, tiene gran contenido de alta frecuencia, el filtro se abre permitiendo el paso de la señal, que ahora está en condiciones de enmascarar al ruido. Podría pensarse que en el primer caso se está adulterando la señal, al quitarle sus componentes de alta frecuencia. Sucede que dichas componentes son comparables al ruido, por lo cual no se obtendría ningún beneficio conservándolas.

Capítulo 24

Registro digital

Una de las primeras ventajas del audio digital es la de proveer una forma de codificar la información incorruptible mientras el canal de transmisión (es decir cualquier dispositivo a través del cual pasa la información) no sea excesivamente ruidoso. Esta característica es particularmente interesante a la hora de *almacenar* dicha información, ya que en general los medios de almacenamiento o registro agregan ruido y distorsionan la señal, lo cual para una señal analógica es particularmente destructivo (aún para distorsiones o niveles de ruido moderados).

Existen en la actualidad diversos medios o soportes físicos para almacenar audio digital, algunos de los cuales se detallan en la Tabla 24.1.

Tabla 24.1. Medios disponibles para el almacenamiento de señales de audio digital, con sus características y aplicaciones.

Medio	Características y aplicaciones
Memoria RAM	Almacenamiento temporal ('volatile') de señales. Se utiliza en los procesadores de efectos digitales.
Memoria ROM	Almacenamiento permanente y definitivo de señales. Se utiliza en los bancos de sonidos de los sintetizadores.
Diskettes	Almacenamiento permanente, grabable y borrable, de sonidos para samplers y fragmentos cortos
Discos rígidos	Almacenamiento permanente grabable y borrable de tonas completas para su procesamiento y masterizado
Cinta magnética (DAT)	Almacenamiento permanente grabable y borrable de tonas completas para su procesamiento y masterizado
Disco óptico de solo lectura (CD)	Almacenamiento de música de alta calidad sonora para el consumo
Disco óptico de una sola escritura	Duplicación o copiado de audio digital almacenado en otros medios (disco rígido, cinta, disco óptico)
Disco óptico de lectura y escritura	Almacenamiento permanente y editable del sonido. Permite su procesamiento
Tarjetas ROM	Almacenamiento definitivo de señales. Puede utilizarse para bancos de sonidos o de efectos

24.2. Clasificación de los sistemas de grabación digital

Existen varias clasificaciones. En primer lugar pueden clasificarse según el tipo de principio o fenómeno físico involucrado. Desde este punto de vista tenemos sistemas **electrónicos** (memorias RAM y ROM, cartuchos o tarjetas), **magnéticos** (cintas, diskettes, discos rígidos) y **ópticos** (discos compactos, minidisc). Actualmente, los sistemas electrónicos se utilizan como medio de transición y no definitivo, salvo aplicaciones para el consumo como juguetes o aparatos que "hablan". Los sistemas magnéticos (DAT) no son de difusión masiva para el consumo, pero sí para la producción y edición de música grabada. Los medios ópticos, particularmente los discos compactos (CD), han alcanzado una amplia difusión como soporte para el consumo.

En segundo lugar podemos dividir los sistemas en temporarios (memorias RAM), editables (cintas y discos magnéticos) y definitivos (memorias ROM, discos ópticos de sólo lectura). Los medios temporarios se utilizan como complemento de sistemas como los procesadores de efectos que requieren almacenar intervalos cortos de tiempo. Los medios editables son de preferencia en los estudios de grabación, ya que permiten guardar grandes cantidades de información, posibilitando su procesamiento hasta llegar al master final (es decir la versión definitiva lista para su duplicación industrial). Los medios definitivos son los preferentemente utilizados para la circulación comercial del producto terminado.

Por último, los sistemas pueden también clasificarse en **móviles** (cintas, discos de diversas naturalezas) y **estáticos** (memorias electrónicas, tarjetas). En la actualidad, los sistemas estáticos se utilizan para almacenamiento temporal o de cantidades moderadas de información definitiva, generalmente intercambiable (por ejemplo bancos de sonidos de sintetizadores, muestras para samplers, etc.). Es posible vaticinar que a mediano plazo los sistemas estáticos reemplazarán a los móviles, conforme siga evolucionando la miniaturización. Otro posible desarrollo es a través de la **mecatrónica**, es decir la miniaturización de mecanismos por medio de tecnologías derivadas de la microelectrónica.

24.3. Principios de la grabación digital

La primera idea en grabación digital es la de registrar en orden sucesivo los datos binarios correspondientes a cada muestra. En audio digital de alta calidad cada muestra de sonido estereofónico requiere 32 bits de información, ya que por cada canal se utilizan 16 bits (lo cual permite lograr una máxima relación señal/ruido de 96 dB). En el caso de las memorias electrónicas, estos datos se descomponen en 4 datos de 8 bits, denominados **bytes** (dado que las memorias están organizadas por bytes, es decir, a cada dirección le corresponde un byte), y se almacenan en un orden pre establecido, por ejemplo primero el byte menos significativo y después el más significativo, y primero el canal derecho y después el izquierdo.

En el caso de otros medios, como el magnético o el óptico, dado que el almacenamiento está organizado por bits individuales sucesivos, es necesario grabar las 32 señales binarias sucesivamente. Para ello se utiliza una transformación que convierte los bits en paralelo (es decir simultáneos) en bits en serie (es decir sucesivos). Esta transformación se denomina **modulación de código de pulsos, PCM** (en inglés, pulse code modulation). Para ello, a cada bit simplemente se le asigna una posición sucesiva en el tiempo, y

se lo representa con una tensión que puede tomar dos valores posibles: un valor alto (por ejemplo 5 V) para representar un 1, y un valor bajo (0 V) para representar un 0. En la Figura 24.1 se muestra un ejemplo de PCM para datos de 8 bits.

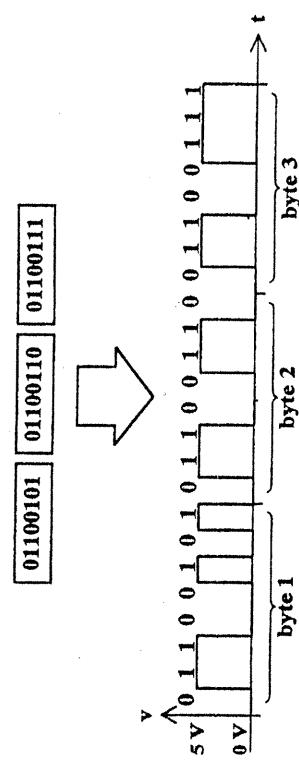


Figura 24.1. Un ejemplo de modulación de código de pulso (PCM) de 8 bits. Una tensión baja representa un 0 binario y una tensión alta representa un 1 binario.

24.3.1. Sincronismo

Un problema del almacenamiento digital en medios móviles es la necesidad de una adecuada técnica o estrategia de sincronismo entre la grabación y la reproducción. En efecto, consideremos un ejemplo simplificado en el cual grabamos la información digital a razón de 1.000 bits por segundo (en el caso real será necesario grabar $2 \times 16 \times 44.100 = 1.411.200$ bits por segundo). Supongamos que en la reproducción cometemos un error de + 0,1 % en la frecuencia, es decir que en lugar de leer 1.000 bits por segundo leemos 1.001 bits por segundo. Entonces cuando al cabo de un segundo creamos estar leyendo el bit número 1.001 en realidad estaremos leyendo el bit número 1.000, lo cual implica un corrimiento de un bit. Este tipo de corrimiento es absolutamente destructivo para la señal, ya que los números leídos estarán completamente cambiados. El resultado puede ser cualquier cosa desde una distorsión hasta ruido blanco.

Un análisis del problema revela que éste aparece porque el error en tiempo es acumulativo. Si dejamos pasar 1 s, el error será de 1 ms, que corresponde a un corrimiento de 1 bit; si dejamos transcurrir 10 s, el error será de 10 ms, lo que implica un corrimiento de 10 bits. Pero si dejamos transcurrir sólo 0,1 s, el error será de sólo 0,1 ms, lo cual no es suficiente para que se produzca un corrimiento. Esta situación es similar a la de un reloj que adelanta 1 s por día. En un día adelanta 1 s, pero si lo dejamos funcionando 1 año, adelantará 365 s, es decir más de 7 min.

Esto sugiere una posible solución al problema, que equivale sencillamente a "poner en hora" el reloj interno del reproductor, es decir, periódicamente reiniciar la contabilización de los bits. Para implementar esta idea es habitual incluir un **código de sincronismo** que es reconocido por el reproductor, y que se repite cada cierta cantidad de bits. Se trata de una combinación de bits única, que nunca pueda producirse dentro de la señal. En el momento en que dicha combinación de bits aparece, el procesador interno del sistema reinicializa el reloj, que comienza a contar nuevamente hasta que aparece un nuevo

código de sincronismo. Dicha combinación de bits aparecerá con suficiente frecuencia para evitar un corrimiento significativo.

24.3.2. Deteción y corrección de errores

Otro problema característico del almacenamiento de grandes cantidades de información digital es el de la presencia, de tanto en tanto, de algunos errores, es decir bits cambiados, por ejemplo un bit que debió valer 1 y sin embargo quedó grabado (o se lee) como 0. Existen dos tipos de errores: los errores aleatorios (random errors), es decir errores que abarcan un solo bit equivocado, y los errores de salva (burst errors), es decir errores en un gran número de bits consecutivos (físicamente próximos), por ejemplo una raspadura de un disco compacto, o una deficiencia o imperfección en una cinta magnética. Para ser *confiable*, un sistema de almacenamiento digital debe utilizar técnicas de detección y corrección de errores, tanto los aleatorios como los de salva. La detección de errores consiste en reconocer la presencia de un error, mientras que la corrección de errores permite restituir el valor correcto.

En general, la detección y la corrección de errores se basan en la redundancia, o información repetida. El caso más simple es el de los errores aislados, vale decir, errores de un bit en una palabra de varios bits. Por ejemplo, si queremos representar 4 niveles diferentes, la forma más económica consiste en utilizar 2 bits:

$$\underline{00} \quad \underline{01} \quad \underline{10} \quad \underline{11}.$$

Pero si cambia un bit, no hay forma de reconocer que se produjo un error. Si agregamos un bit de paridad, es decir un bit cuyo valor se elige de manera que en total haya un número par de 1's, tendremos

$$\underline{000} \quad \underline{011} \quad \underline{110} \quad \underline{011}.$$

Ahora, al cambiar un bit se tiene la certeza de que *hay un error*, pero no se sabe dónde está (inclusive podría ser en el propio bit de paridad). Para lograr un código capaz de autocorregir errores de un bit (aún entre los bits agregados) es necesario agregar tres bits a los dos originales:

$$\underline{00000} \quad \underline{01101} \quad \underline{10110} \quad \underline{11011}.$$

Con este código, cualquier cambio en un solo bit es reparable. Por ejemplo, el valor 10010 corresponde al tercer código con el segundo 1 transformado en 0. No puede corresponder a ninguno de los otros tres porque para ello deberían haber cambiado dos o más bits.

Existen técnicas más avanzadas que permiten corregir errores en *varios bits* consecutivos, aunque requieren mayor redundancia. En el caso del disco compacto, por ejemplo, es posible corregir gran cantidad y variedad de errores, al costo de utilizar tres veces más bits que lo estrictamente necesario para representar digitalmente la información de audio. El resultado es que pueden corregirse errores de salva de hasta 4000 bits consecutivos (que corresponden a unas 42 muestras estereofónicas, es decir alrededor de 1 ms). Cuando se pierde mayor cantidad de bits ya no será posible restaurar los valores perdidos en forma exacta, pero al menos se los puede sustituir por valores aproximados obtenidos por *interpolación*. Esta técnica consiste en obtener los valores intermedios faltantes promediando los valores disponibles más próximos. Por ejemplo, si en un ins-

tante dado la señal es de 1 mV y 0,2 ms después es de 1,2 mV, entonces el valor intermedio, es decir a los 0,1 ms, será aproximadamente el promedio, es decir

$$\frac{1 \text{ mV}}{2} + \frac{1,2 \text{ mV}}{2} = 1,1 \text{ mV}.$$

De esta forma es posible corregir de modo casi imperceptible una salva de hasta 12.300 bits consecutivos errados, equivalente, por ejemplo, a una raspadura de 7,5 mm en un disco compacto.

24.3.3. Ancho de banda

Una consideración importante para el registro de señales de cualquier tipo es el ancho de banda requerido. En el caso del audio analógico, el ancho de banda es de 20 kHz, que coincide con el ancho de banda de la propia señal. En el caso del audio digital, el ancho de banda es mucho mayor. Para calcularlo, tengamos en cuenta que en una grabación estereofónica digital de buena calidad se requieren 2 datos (uno por cada canal) de 16 bits por muestra (en los primeros sistemas de cinta magnética se utilizaban 13 bits). Dado que a su vez debe haber 44.100 muestras por segundo, resulta que el número de bits/s es

$$2 \times 16 \times 44.100 = 1.411.200 \text{ bits/s.}$$

El cálculo anterior se refiere exclusivamente a los bits de audio, pero según hemos visto se agregan bits de corrección de errores, de sincronismo, y otros que veremos en las secciones que siguen, lo cual incrementa el ancho de banda hasta en un factor de 3.

24.4. El disco compacto (compact disc, CD)

Estudiaremos ahora con mayor detallamiento el formato digital de mayor popularidad actualmente para el almacenamiento definitivo de señales de audio: el **disco compacto** (compact disc). Este formato utiliza tecnología óptica basada en el empleo de un láser.

El soporte consiste en un disco de policarbonato transparente de 120 mm de diámetro y 1,2 mm de espesor (Figura 24.2). El disco se coloca en el reproductor introduciendo el orificio central en el eje de tracción, operación que en la mayoría de los reproducidores se lleva a cabo automáticamente. La lectura se realiza por medio de un diodo láser, el cual emite un haz de luz que es reflejado en mayor o menor grado, indicando la presencia de un 1 ó un 0. El diodo no entra en contacto con la superficie del disco por lo cual no existe desgaste ni en el elemento captor ni en la superficie del disco, permitiendo una alta durabilidad.

Contrariamente a lo que sucedía en los discos analógicos de vinilo, la lectura se realiza desde adentro hacia afuera, y la velocidad de giro no es constante, sino que se va reduciendo. Otra diferencia es que la velocidad de giro difiere de un disco compacto a otro. Esto es debido a que la velocidad se utiliza como variable de ajuste para que el área disponible se llene casi totalmente, sin importar la duración del material grabado (que puede llegar a un máximo de 74' 33"). Para un disco compacto dado, lo que se mantiene constante es la **velocidad lineal** (constant linear velocity, CLV), y no la velocidad de

rotación. Es una situación semejante a la de una cinta magnética, en la cual por ser la velocidad lineal constante, la velocidad de rotación del carrete va variando desde un mínimo cuando el carrete está lleno hasta un máximo cuando está vacío.

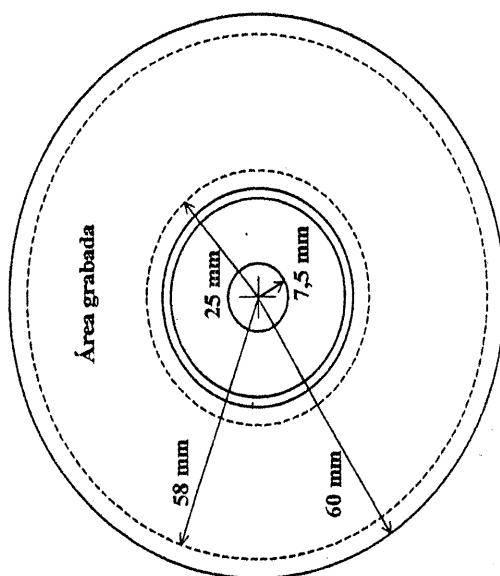


Figura 24.2. Dimensiones de un disco compacto. Las circunferencias punteadas delimitan el área grabada. Las circunferencias próximas al orificio proporcionan un cambio de nivel para separar el área grabada del lector.

La velocidad lineal en los discos compactos más cortos es mayor (cerca de 1,4 m/s, es decir 55,1 "s) y en los más largos es menor (alrededor de 1,2 m/s, es decir 42,7 "s). La relación entre la velocidad lineal v en m/s y la de rotación ω en rpm puede obtenerse del siguiente modo. Para un radio dado r , cada vuelta tendrá una longitud

$L = 2\pi r$,
por lo cual la cantidad de vueltas por segundo será v/L , y la cantidad de vueltas (o revoluciones) por minuto, 60 veces mayor. Entonces

$$\omega = 60 \frac{v}{L} = \frac{60 v}{2\pi r}$$

Si tomamos un disco promedio, en el cual la velocidad lineal sea de 1,3 m/s, la velocidad de rotación al comienzo del disco (es decir en su vuelta interna, de radio 25 mm) será igual a

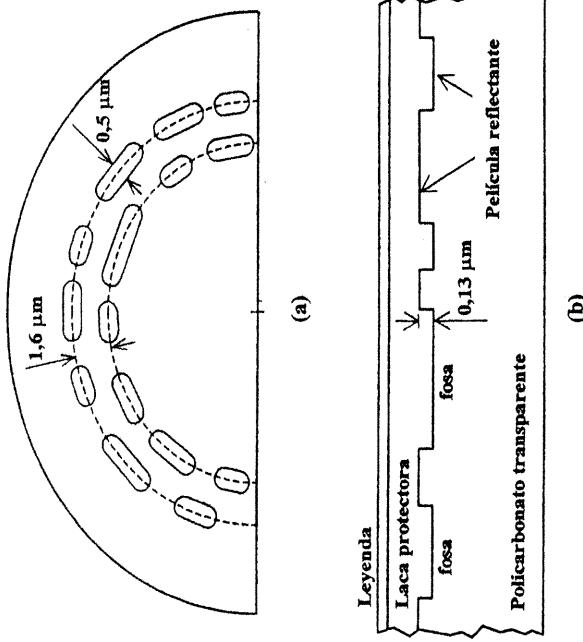
$$\omega = \frac{60 \cdot 1,3}{2 \cdot 3,14 \cdot 0,025} = 497 \text{ rpm},$$

mientras que al terminar (en su vuelta externa, de radio 58 mm), será

$$\omega = \frac{60 \cdot 1,3}{2 \cdot 3,14 \cdot 0,058} = 214 \text{ rpm}.$$

Se observa que las velocidades de giro son mucho más altas que para el tradicional disco de vinilo (33 rpm ó 45 rpm).

Véamnos ahora cómo se codifica la información digital en un disco compacto. Se utiliza una estructura de fosas de forma ovoidal (ver Figura 24.3a) estampadas sobre la superficie superior del disco. Dicha superficie es luego metalizada con aluminio, con el propósito de obtener un acabado reflectante, y posteriormente recubierta por una laca protectora, sobre la cual se imprimen las leyendas que identifican al disco (Figura 24.3b). La exploración del disco por medio del láser se efectúa desde la cara inferior, es decir la cara sin leyendas. La profundidad de las fosas está ajustada a un valor de 0,11 μm a 0,13 μm , seleccionado de modo que la onda luminosa reflejada sobre una fosa se desfase con respecto a la onda reflejada fuera de ella. Esto hace que cuando se



(a)



Figura 24.3. Estructura de fosas de un disco compacto. (a) Disco visto desde abajo. (b) Corte transversal de una pequeña porción del disco a lo largo de una hilera de fosas. (Diagramas fuera de escala.)

proyecta un haz de luz justo sobre el borde de una fosa, dado que parte de la luz se refleja dentro y parte fuera de la fosa, existirá una interferencia destructiva (Figura 24.4).

En consecuencia, cada vez que el fotosensor pase frente al borde de una fosa, éste recibirá luz atenuada, y en cambio cada vez que esté frente al interior o frente al exterior de una fosa recibirá luz intensa. Convencionalmente se interpreta cada borde de una fosa como un 1 y el resto como 0. Esto obligará a utilizar un código en el cual no pueda haber dos 1's seguidos (ver *modulación 8 a 14*).

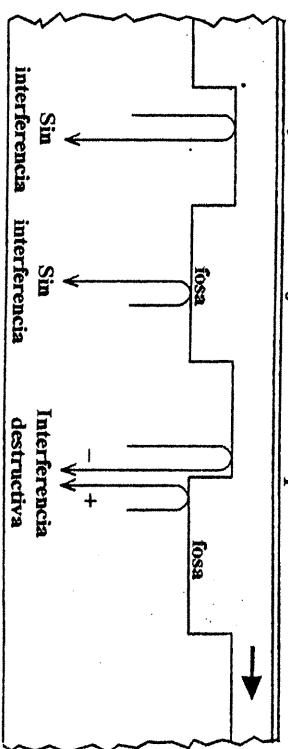


Figura 24.4. Mecanismo de lectura de la información digital contenida en un disco compacto.

En lo que sigue, estudiaremos más detalladamente los procesos mencionados en la sección 24.3, aplicados al caso particular del disco compacto.

24.4.1. Código Reed - Solomon

Después de obtenida la información digital por medio del conversor analógico/digital, es preciso *recodificarla*, agregando la necesaria redundancia, a fin de posibilitar la detección y corrección de errores. El código que se utiliza se denomina *cross-interleaved Reed-Solomon Code, CIRC* (código de intercalación cruzada de Reed-Solomon).

Hemos visto anteriormente que con suficiente redundancia resulta relativamente sencillo corregir errores aislados, vale decir, errores de un bit en una palabra de varios bits. Aunque sería posible, en teoría, generalizar esto desarrollando códigos tan redundantes que permitieran corregir errores dobles, y luego errores triples, cuádruples, etc., existe un enfoque más ingenioso que es, precisamente, el código CIRC.

La idea básica consiste en tomar un grupo de varias muestras sucesivas, denominado cuadro (frame) (en el caso del CD, 6 muestras estereofónicas $= 6 \times 2 \times 16 = 192$ bits), y entremezclar sus bits de una forma conocida, de manera que los bits que originalmente formaban parte de un mismo byte ahora estén distribuidos en *varios bytes*, y viceversa, cada byte contenga bits provenientes de diferentes bytes originales. Cuando a causa de una salva de errores se pierda totalmente un byte, en realidad se estará perdiendo un bit de cada byte original, lo cual puede corregirse con técnicas de corrección de errores de un bit. El código CIRC contiene, por consiguiente, los bits originales entremezclados más los bits adicionales para la autocorrección de errores. El resultado de

esta codificación es que el cuadro, que en PCM requería 192 bits, estará ahora representado por 256 bits (una relación 4:3).

Como la forma en que se reordenan o entremezclan los bits es conocida, durante la reproducción será posible realizar el reordenamiento inverso de manera de recuperar la información PCM original, cuyos errores serán ahora aislados, y por lo tanto reparables.

24.4.2. Subcódigo (subcode)

Una característica muy interesante de la codificación digital es la posibilidad de agregar información suplementaria no relacionada con los datos de la señal de audio sino con aspectos administrativos, como por ejemplo una tabla de contenido (TOC), la posición del inicio de cada pieza de música y su duración, información sobre Copyright e identificación internacional de la grabación (ISRC), así como indicaciones referidas a las vueltas inicial y final, que permiten informar al reproductor sobre dichas posiciones dentro del disco.

Esta información se agrega mediante un byte denominado **subcódigo** por cada cuadro, pero dado que un solo byte permite almacenar poca información, se provee un ciclo de 98 cuadros consecutivos. Como la duración de un cuadro es

$$\frac{6}{44100} = 0,136 \text{ ms}$$

resulta que la información se completa al cabo de $98 \times 0,136 \text{ ms} = 13,3 \text{ ms}$. La información contenida en los subcódigos puede ir cambiando a lo largo del tiempo, actualizándose cada 13,3 ms.

24.4.3. Modulación 8 a 14

La señal de audio codificada por CIRC (más el subcódigo) podría contener varios 1's consecutivos, y según vimos, dado que los 1's corresponden en el disco a los bordes de las fosas, es preciso que no haya 1's consecutivos. En realidad, también es necesario que las fosas sean lo bastante largas como para que no se produzcan errores durante el estampado del disco ni ambigüedades debidas a la presencia de bordes muy próximos. Esto lleva a que una fosa deba tener como mínimo dos 0's y esté separada de la fosa vecina también por dos 0's. Pero si hay demasiados 0's seguidos, se corre el riesgo de que el servomecanismo que controla la velocidad de giro del disco se desestabilice, perdiéndose el sincronismo. Esta situación se evita restringiendo los 0's consecutivos a no más de diez.

Esto implica que la señal registrada deberá tener 1's separados entre sí como mínimo por dos 0's y como máximo por diez 0's, lo cual se denomina regla 2 a 10. El sistema contiene un bloque, denominado **modulador 8 a 14**, que se encarga de convertir grupos de 8 bits (bytes) en grupos de 14 bits (palabras) que satisfacen la condición anterior. Dado que algunas de esas palabras de 14 bits terminan con un 1 y otras comienzan con un 1, la yuxtaposición de dichas palabras violaría la separación mínima de dos 0's. Por este motivo se agregan otros 3 bits de ajuste al final de cada palabra de 14 bits, cuyos valores se adoptan de manera de mejorar la estabilidad del control de velocidad.

Una ventaja adicional de esta modulación 8 a 14 es que provee un recurso suplementario de detección de errores. En efecto, existen 16384 combinaciones posibles con 14 bits, de las cuales sólo hay 256 válidas. Ello hace muy improbable que ante un error

se obtenga otra combinación válida, por lo cual los errores serán, en su mayoría, detectables.

24.4.4. Sincronización

Por último, se utiliza la siguiente palabra de sincronismo formada por 24 bits, con una distribución de 0's y 1's que satisface la regla 2 a 10:

10000000001000000000010.

Esta palabra se ha elegido de tal manera que no pueda aparecer en ninguna otra situación, por lo que cuando el reproductor se encuentra con ella, la reconoce como tal y procede a ajustar el sincronismo. Dado que cada cuadro dura 0,136 ms, el sincronismo se actualiza cada 0,136 ms.

24.4.5. Resumen del código

La tecnología del disco compacto cuenta con sofisticados recursos de corrección de errores, que hacen que aún frente a las pequeñas alteraciones o el desgaste que pueda experimentar el soporte (principalmente debido a descuidos en su manipulación) el efecto sobre la señal finalmente reproducida sea despreciable. Ello se logra agregando bits redundantes, que llevan que un cuadro de 192 bits se transforme en uno de 588 bits. Dicha redundancia permite recursos de corrección de errores sumamente confiables, que permiten la pérdida de porciones considerables de información sin afectar en forma audible la señal reproducida. En caso en que la pérdida sea mayor que cierto límite, es posible la corrección aproximada por interpolación. Superado otro límite mayor aún, el sistema silencia en forma suave la salida, de modo que no se produzcan clics u otros ruidos molestos que eran característicos de los discos tradicionales.

24.4.6. Especificaciones de los reproductores de discos compactos

La primera especificación es el tipo de conversión digital/análogica empleada. Sólo comentaremos superficialmente dos muy importantes: la conversión tipo PCM y la sigma-delta (o delta-sigma).

La conversión PCM utiliza directamente el formato en que el decodificador del sistema de corrección de errores entrega la información (información que coincide, salvo errores insalvables, con la información original). Este tipo de conversión PCM se utiliza cada vez menos, por lo complicado de los filtros de suavizado requeridos. Esta complicación trae aparejados efectos colaterales indeseables, como por ejemplo distorsiones de fase. Cuando se utiliza, se aplica sobre muestreo, es decir se intercalan muestras obtenidas por cálculo entre dos muestras provenientes del disco.

La conversión sigma-delta también recurre a un sobre muestreo considerable, por ejemplo por 64, es decir que se insertan 63 muestras interpoladas entre cada par de muestras originales. A partir de esto, se calcula una versión codificada en sigma-delta, cuya descripción técnica nos llevaría fuera de los objetivos de este texto. Las ventajas de este tipo de codificación es que utiliza sólo 1 bit (se troca resolución por frecuencia de muestreo), y que el decodificador es extremadamente simple, requiriendo sólo un filtro pasabajos sencillo. Con esto se eliminan problemas como las distorsiones de fase y el ruido de cuantización.

Una especificación complementaria de la anterior es la tasa de sobre muestreo, así como la resolución en bits del conversor digital/análogico. No debe confundirse la re-

solución en bits, que normalmente es 16 ó más, con el hecho de que la representación utilice sólo 1 bit. La diferencia se aclara si tenemos en cuenta qué representa ese bit. Si el bit implica un salto igual al máximo valor pico a pico de la señal, la resolución es, efectivamente, de 1 bit (situación que obviamente no se da en audio digital por la enorme distorsión que acarrearía). En cambio, si ese bit implica un salto de $1/2^{16}$ de dicho valor pico a pico, entonces la resolución es de 16 bits.

Aún cuando la información registrada en los discos compactos tenga una resolución de sólo 16 bits, el conversor digital/análogico utilizado en los reproductores de mayor jerarquía puede llegar a 20 bits, lo cual combinado con el sobre muestreo proporciona ventajas en cuanto a ruido y distorsión.

Las siguientes especificaciones son las tradicionales en todo tipo de equipamiento: (a) Respuesta en frecuencia: A pesar de que por norma los discos compactos se encuentran limitados en banda a 20 kHz, en algunos casos de conversión sigma-delta la respuesta en alta frecuencia de la sección del conversor digital-análogico puede llegar hasta los 22 kHz. Dejando de lado estos casos, la respuesta en frecuencia estándar de estos equipos va desde 10 Hz hasta 20 kHz, con variaciones de $\pm 0,5$ dB.

(b) Relación señal/ruido: En general es del orden de 90 a 95 dB, ascendiendo a más de 100 dB para los equipos con conversores de mayor resolución.

(c) Rango dinámico: Aun cuando el rango dinámico es una propiedad de las señales y no de los equipos de audio, su especificación se refiere al rango dinámico máximo de la señal producida. En general es menor que la relación señal/ruido, pero en el caso de algunos reproductores de alta jerarquía puede ser mayor, debido a que en ausencia de señal el equipo silencia su salida de audio al nivel de su propio ruido eléctrico, que es menor que el de cuantización o digitalización.

(d) Distorsión: Se especifica la distorsión total armónica, generalmente menor que 0,02%. Los mejores reproductores pueden alcanzar cifras menores aún, como 0,002%.

(e) Separación de canales: Normalmente es mayor de 80 dB.

(f) Wow y Flutter: En general es menor del 0,001 %, debido a que la velocidad de giro es servocontrolada a partir de la propia información digital del disco.

(g) Conexiones: puede haber salidas analógicas y digitales. En ambos casos por lo general se encuentran disponibles conectores balanceados y no balanceados de los tipos XLR y RCA, respectivamente. En el caso de las conexiones digitales se utiliza la interfaz AES/EBU, un protocolo de comunicación digital en dos canales (conector XLR). Las conexiones digitales se pueden efectuar también por fibra óptica, según la norma EIAJ. Finalmente, se especifican las impedancias y los niveles de las salidas analógicas, la alimentación requerida, etc.

24.5. Cinta de audio digital (digital audio tape, DAT)

La cinta magnética fue el primer medio utilizado para almacenar audio digital en cantidad suficiente para las duraciones habituales en música. La mayor dificultad en la grabación magnética está en el gran ancho de banda necesario, lo cual implica una velocidad de la cinta muy alta, según vimos en 24.3.3 que se requiere almacenar 1.411.200 bits de audio por segundo, cifra a la cual hay que agregar los bits de corrección de errores, de subcódigo, y de sincronismo, además de los bits de la modulación 8 a 14. Esto implica

12A

La cinta magnética fue el primer medio utilizado para almacenar audio digital en cantidad suficiente para las duraciones habituales en música. La mayor dificultad en la grabación magnética está en el gran ancho de banda necesario, lo cual implica una velocidad de la cinta muy alta, según vimos en el capítulo anterior.

En efecto, hablamos visto en 24.3.3 que se requiere almacenar 1.411.200 bits de audio por segundo, cifra a la cual hay que agregar los bits de corrección de errores, de subcódigo, y de sincronismo, además de los bits de la modulación 8 a 14. Esto implica

4.321.800 bits/s. Si suponemos un entrehierto de $1 \mu\text{m}$, y admitimos que por cada bit se requiere al menos una longitud igual al entrehierto, resultaría que se necesita una velocidad de cinta

$$v = 4.321.800 \text{ bits/s} \times 1 \mu\text{m/bit} = 4,32 \text{ m/s}$$

Esta velocidad es inaceptable por dos razones: 1) el mecanismo de transporte de la cinta no puede tener una velocidad tan alta y a la vez mantener precisiones del orden del μm , y 2) la cantidad de cinta requerida para una duración dada de material grabado sería demasiado grande (por ejemplo, 7.800 m de cinta para una grabación de $30'$, contra los $85,7 \text{ m}$ de un cassette analógico).

Una situación como ésta ya se había presentado al intentar realizar los primeros registradores magnéticos de señales analógicas de video, ya que estas señales requieren también anchos de banda muy grandes. Por este motivo, no resulta extraño que las primeras grabaciones de audio digital se hayan realizado utilizando grabadores de cinta de video (video tape recorder, VTR). La solución al problema del ancho de banda en los grabadores de video (que aún hoy se sigue utilizando en los grabadores hogareños en formato VHS) consiste en utilizar un cabezal móvil en lugar de uno fijo. Este cabezal se encuentra montado sobre un tambor rotativo, que forma cierto ángulo con respecto a la cinta, y que gira a alta velocidad (Figura 24.5a). Se tiene así la denominada exploración helicoidal de la cinta, que consiste en que la pista sobre la cual se graba no es paralela a la cinta sino que *forma un ángulo* con ésta. Después de que una pista llega al borde de la cinta, comienza otra nueva pista (Figura 24.6).

La misma idea se utiliza en la mayoría de los grabadores digitales de audio (una notable excepción es el cassette compacto digital, es decir el DCC). Entre los diversos formatos, el más difundido para grabación en dos canales (estereofónica) es el DAT, muy utilizado en los estudios como soporte para el master final del proceso de mezcla. En la Figura 24.5b se muestra el mecanismo de transporte de la cinta de un DAT. Veamos que es un sistema bastante más complejo que el del cassette analógico tradicional, ya que debe cumplir la función de inclinar la cinta para que pueda tomar contacto con el tambor giratorio sin someterla a tensiones ni permitir que se arrugue. La zona de contacto abarca un ángulo de 90° alrededor del tambor.

En el caso del DAT, la velocidad de la cinta es sorprendentemente pequeña: $8,15 \text{ mm/s}$, lo cual es posible porque lo que importa en este caso es la velocidad de los cabezales y no la de la cinta. Dado que el tambor gira a 2000 rpm (es decir $33,33 \text{ vueltas/s}$) y tiene un diámetro de 30 mm , la velocidad lineal de los cabezales resulta ser

$$v = \pi \times 30 \times 33,33 = 3141 \text{ mm/s} = 3,141 \text{ m/s}.$$

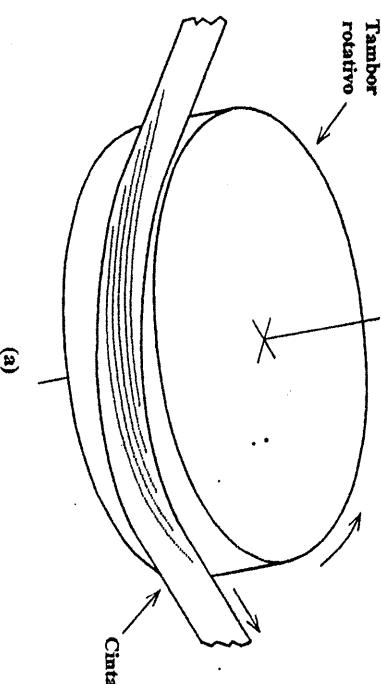
Este valor debe ser corregido para tener en cuenta que la cinta también se mueve. La velocidad nominal de desplazamiento del cabezal *respecto a la cinta* es

$$v_{\text{nom}} = 3,133 \text{ m/s},$$

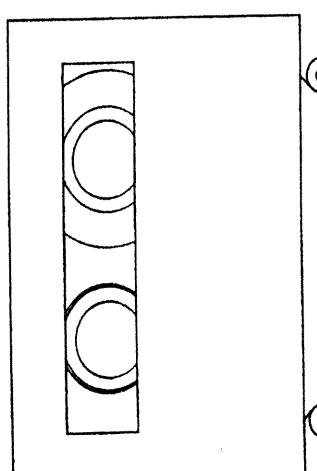
que es mucho más alta que la que sería posible aplicar a la cinta. Con este procedimiento se consigue, por lo tanto, resolver el problema del ancho de banda.

El tambor contiene dos cabezales de grabación a 180° entre sí, por lo cual en cada vuelta se graban dos pistas (no confundir estas pistas con *canales* de audio; aquí las pistas corresponden a segmentos temporales del total de la información). Esto implica que

las pistas se encuentran espaciadas $122,25 \mu\text{m}$ en la dirección longitudinal, pero como las pistas están muy poco inclinadas con respecto a la cinta (sólo $6^\circ 22' 59,5''$), resulta que la separación entre pistas es de sólo $13,591 \mu\text{m}$ (ver Figura 24.6). Las pistas resultan, por lo tanto, muy angostas.



(a)



(b)

Figura 24.5. (a) Tambor rotativo para la exploración helicoidal de una cinta de video o de audio digital. Las líneas de puntos indican las trayectorias de las pistas. (b) Sistema de transporte de la cinta DAT (fue-
ra de escala).

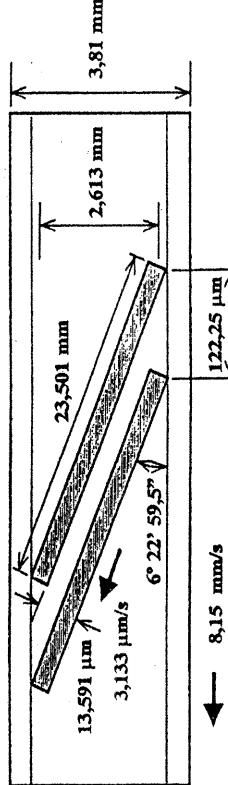


Figura 24.6. Distribución de pistas en una cinta con formato DAT (fuera de escala lineal y angular).

Para evitar que el cabezal de lectura capte información de pistas vecinas a la que está leyendo, se utiliza el artificio de inclinar su entrehielro en un ángulo denominado azimut con respecto a la pista (de modo que no sea perpendicular a ella). Dado que los azimuts de ambos cabezales se adoptan opuestos (en general $\pm 20^\circ$), la pista grabada por un cabezal no podrá ser leída por el otro (ya que el azimut implica una gran reducción de las altas frecuencias; ver capítulo 23).

Al igual que en el CD, se utiliza el código de corrección de errores de Reed-Solomon y se agregan subcódigos con información administrativa. Además se agrega información que permite el seguimiento automático de la pista (automatic track following, ATF). En el formato DAT se utiliza modulación 8 a 10 en lugar de 8 a 14.

24.5.1. DAT multicanal

Existen diversos sistemas de grabación multipista que utilizan cintas magnéticas, por ejemplo el ADAT (Alesis), el RD-8 (Fostex), el DA-88 (Tascam) y el PCM-800 (Sony), entre otros. Por lo general utilizan cintas de mayor tamaño que el DAT estéreo-fónico; por ejemplo el formato SVHS (Super Video Home System), original de la tecnología de video o el formato DTRS (Digital Tape Recording System) para cinta Hi-8 mm, también original del video. No abordaremos en detalles acerca de la estructura de estos formatos, tamaño e inclinación de las pistas, etc.

Este tipo de sistemas permite en general sincronizar (con dispositivos auxiliares opcionales) más de una máquina, lo cual permite incrementar el número de pistas a una cantidad tan grande como 128 pistas simultáneas.

24.5.2. Especificaciones de los sistemas DAT

Las especificaciones de los sistemas de grabación y reproducción de cassettes DAT no difieren en lo esencial de las de los reproductores de discos compactos. Una diferencia es que se pueden seleccionar en general tres frecuencias de muestreo: 32 kHz, 44,1 kHz y 48 kHz, con la posibilidad de variar la velocidad en un estrecho margen especificado alrededor de estas frecuencias. La frecuencia de 32 kHz está prevista para compatibilidad con las transmisiones de radio digitales, la de 44,1 kHz para compatibilidad con los discos compactos, y la de 48 kHz para lograr una mejor respuesta de fase, al no requerir filtros antialias tan abruptos.

Un detalle interesante se refiere a la especificación del nivel de referencia estándar de grabación. A diferencia de los grabadores analógicos, en los que el nivel es de 0 dB,

pudiéndose según el tipo de cinta exceder en mayor o menor grado dicho nivel, en los DAT el nivel de 0 dB corresponde en realidad al máximo nivel representable con los 16 bits de resolución. Por consiguiente, el nivel de referencia se ubica en un valor menor, por ejemplo -15 dB con respecto a dicho máximo.

En muchos casos existe la posibilidad de controlar en forma remota la operación de estos equipos, en cuyo caso se especifican los detalles respectivos.

24.6. Cassette compacto digital (DCC)

El cassette compacto digital (digital compact cassette, DCC), introducido por Philips en 1991, es un formato digital en cinta magnética que difiere del DAT en que tiene cabezales estáticos en lugar de rotativos.

Para lograr vencer este desafío tecnológico fue necesario utilizar tres conceptos nuevos:

- 1) La utilización de un **cabezal de grabación múltiple de película fina**, obtenido mediante la tecnología de los circuitos integrados (chips),
- 2) El empleo de una técnica avanzada de **compresión de datos** denominada PASC (Precision Adaptive Sub-band Coding), y
- 3) La utilización de un **cabezal de reproducción magnetorresistivo**.

Al comentar el formato DAT, se vio que el ancho de una pista generada por el cabezal rotativo era realmente pequeño ($13,591 \mu\text{m}$). Esto era necesario para acomodar mayor cantidad de información sobre un mismo espacio de cinta. En el caso del DCC, se utiliza un cabezal de grabación *multiple*, que crea 9 pistas digitales paralelas a lo largo de la dirección de movimiento, 8 para la señal digital de audio y 1 para los subcódigos (información complementaria). Aunque esto reduce en un factor 8 el ancho de banda necesario para cada pista de audio, no alcanza para hacer lugar a la gran cantidad de información requerida (es decir $2 \times 16 \times 44.100 = 1.411.200$ bits de audio PCM por segundo, sin contar la redundancia propia del código corrector de errores), y allí es donde se hace necesario incorporar el concepto de **compresión de datos**.

24.6.1. Compresión de datos - PASC

La **compresión de datos** consiste en aprovechar ciertas características de la señal a codificar de modo que se requiera *una menor cantidad de símbolos* para representarla. En computación, por ejemplo, se sabe que los archivos frecuentemente contienen ráfagas de varios bytes seguidos idénticos. Entonces, si en lugar de almacenarlos a todos se almacena sólo el valor del primer byte y luego la cantidad de bytes iguales a aquél que lo siguen, se obtendrá un primer ejemplo de compresión de datos.

En el caso de las señales de audio no es común que se repitan datos (salvo quizás en los pasajes de silencio, en los cuales las muestras deberían ser todas 0), de modo que ese tipo de algoritmo de **compresión** no sería aplicable en este caso. Sin embargo se da otro hecho muy interesante, y es que debido al fenómeno de enmascaramiento la señal de audio suele contener más frecuencias que las que en efecto puede llegar a escuchar el oído humano.

La codificación PASC (codificación de precisión adaptable por subbandas, del inglés "Precision Adaptive Sub-band Coding") se propone descartar dicha información inaudible, y aprovechar el espacio ganado para incorporar otra información más pertinente.

nente. Para ello se divide primero todo el rango de frecuencias audibles en 32 subbandas de igual extensión, para lo cual se utiliza un **banco de filtros digitales de reconstrucción perfecta**, vale decir que por medio de un banco de filtros complementario se obtiene una reproducción exacta de la señal original. A continuación, se toma cada subbanda y se determina si, en función del nivel de las componentes sonoras en las subbandas vecinas, la señal presente en la misma se percibirá o no. Para ello se recurre a las curvas de **enmascaramiento** (ver capítulo 2). Así, por ejemplo, si en la subbanda 19 hay un tono débil, dependiendo de qué haya en las subbandas 18 y 20 (y otras más alejadas), dicho tono podrá o no percibirse. Si en alguna de dichas subbandas hay un tono de gran amplitud, el tono de la subbanda 19 *no se percibirá, y por lo tanto puede eliminarse del código permitiendo ahorrar espacio.*

La codificación PASC posee otra propiedad interesante, y es el hecho de que su precisión es *adaptable*. Esto significa que la precisión con que se representan las muestras dentro de cada subbanda (es decir el número de bits) se va *ajustando* según los niveles de la señal y del umbral que en ese momento hay en la subbanda.

Para comprender mejor este concepto veamos unos ejemplos. Supongamos que en cierta subbanda el umbral absoluto (en ausencia de otros sonidos enmascarantes) es de 20 dB, lo cual significa que cualquier ruido de menos de 20 dB dentro de esa subbanda será inaudible. Si ahora aparece en la subbanda una señal de 70 dB, dado que puede tolerarse sin inconvenientes un ruido de hasta 20 dB, resulta que se puede admitir una relación señal/ruido tan baja como

$$70 \text{ dB} - 20 \text{ dB} = 50 \text{ dB},$$

Una señal con esta relación señal/ruido puede representarse perfectamente con 9 bits, ya que, como se recordará del capítulo 15, la relación señal/ruido de una señal digitalizada aumenta 6 dB por cada bit, de donde

$$S/R \text{ 9 bits} = 9 \times 6 = 54 \text{ dB},$$

que es mayor que el mínimo de 50 dB. Cualquier bit adicional proporcionará información que no puede escucharse debido a que cae por debajo del umbral.

Abora, si como consecuencia de la aparición de sonidos en *otras bandas vecinas* el umbral se incrementa a 40 dB, la nueva relación señal/ruido admisible es

$$70 \text{ dB} - 40 \text{ dB} = 30 \text{ dB},$$

que puede representarse con sólo 6 bits, ya que

$$S/R \text{ 6 bits} = 6 \times 6 = 36 \text{ dB}.$$

Si en estas nuevas condiciones (umbral de 40 dB) la señal se reduce a sólo 60 dB, un cálculo similar muestra que son suficientes **sólo 4 bits** para su correcta representación.

El ejemplo anterior muestra que la precisión requerida en cada banda puede ir variando a lo largo del tiempo a medida que varía la relación entre el nivel de la señal y el umbral. Sin embargo, esta variación implica también que va variando el *peso* que se le asigna a un bit, por lo tanto hace falta acompañar los 4, 6 ó 9 bits de la representación anterior con algunos bits adicionales que permitan representar dicho peso. En apariencia,

esto contrarresta el ahorro de bits, ya que si se utilizan menos bits para representar una misma señal (porque el umbral ha aumentado), cada bit debe tener mayor peso y por lo tanto se requieren *más bits* para representar ese peso. Para solucionar este inconveniente se recurre al hecho de que el umbral no varía tan rápido como la señal, lo cual permite actualizar el valor del peso recién cada 12 muestras.

Esta forma de representación se conoce como representación con coma flotante (floating point), y permite abarcar un mayor rango dinámico con menor cantidad de bits. La cifra binaria que representa a la muestra, con una longitud de entre 0 y 15 bits, se denomina **mantis**, y la que representa el peso (6 bits), **factor de escala** (también llamado exponente).

El resultado de combinar la representación de coma flotante con el análisis de enmascaramiento es que para cada subbanda se requiere apenas la cuarta parte de los bits necesarios si no hubiera compresión.

A esta altura cabe preguntarse cómo es que todo esto permite ahorrar bits en la representación total; porque si bien cada subbanda requiere, en promedio, la cuarta parte de los bits que requeriría sin tener en cuenta el enmascaramiento, de hecho tenemos... ¡32 bandas! Parecería que la cantidad total de bits es $\frac{3}{4} = 8$ veces mayor. Sin embargo, hay otro hecho que permite contrarrestar esto, y es que como cada banda tiene un ancho de banda 32 veces menor, *requiere 32 veces menos muestras por segundo* para satisfacer los requisitos del teorema de muestreo.

Resumiendo, la codificación PASC consigue una reducción en un factor 4 de la cantidad de bits requeridos para almacenar información de audio digital basándose en tres elementos:

- 1) Dividir en subbandas que requieren *menor frecuencia de muestra*,
- 2) Aprovechar el hecho de que la precisión requerida para representar una muestra dentro de una subbanda se *reduce cuando el umbral dentro de la subbanda aumenta por enmascaramiento*, y
- 3) Utilizar una representación de coma flotante que permite *un mayor rango dinámico con menor cantidad de bits*.

2.4.6.2. Corrección de errores, datos auxiliares y modulación

La información previamente codificada por el procesador PASC, es sometida posteriormente a una recodificación CIRC (Cross-interleaved Reed-Solomon Code) similar a la del disco compacto y el DAT. Dicha información es complementada con una serie de datos auxiliares, equivalentes a los subcódigos, que permiten incluir información sobre las piezas grabadas, autores, intérpretes, e inclusive el texto de la música cantada a visualizar en un visor (display) en sincronismo con la música. Finalmente, se utiliza una modulación 8 a 10, similar a la que se utiliza en las cintas DAT, cuya finalidad fue aplicada al discutir la modulación 8 a 14 de los discos compactos.

La información se graba en 9 pistas de 0,185 mm, siendo la más externa destinada a los datos auxiliares, y las 8 internas a la información principal (señal de audio con los códigos PASC y CIRC). Los datos se organizan en cuadros (frames), cada uno de los cuales contiene 12288 bits, agrupándose 1520 en cada una de las 8 pistas principales y 128 en la pista auxiliar. Esos 1520 bits están constituidos por 1024 bits de datos PASC y 496 bits redundantes del código de corrección de errores. Entre dos cuadros sucesivos existe un espacio vacío, llamado **espacio intercuadro (inter-frame gap, IFG)** cuya finalidad es compensar pequeñas variaciones de velocidad durante la grabación (ver Figura 24.7).

Cada cuadro mide aproximadamente 1 mm, y contiene información correspondiente a 21,33 ms de programa. La velocidad de almacenamiento de información PASC del sistema DCC es de 384000 bits/s, y la de información total considerando los códigos de corrección de errores, la modulación y los subcódigos, de 780000 bits/s. Esto es alrededor de 5 veces menos que la cifra correspondiente a un disco compacto.

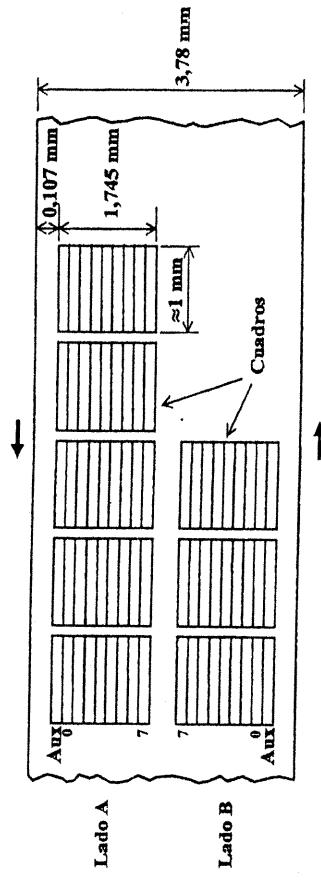


Figura 24.7. Estructura de cuadros de una cinta DCC (fuera de escala). Los cuadros de arriba corresponden al sentido de movimiento hacia la izquierda, y los de abajo hacia la derecha (ver flechas). No se indican las pistas para el caso de cassettes compactos analógicos.

24.6.3. Cabezales de grabación y reproducción

El cabezal de grabación de un sistema DCC utiliza una tecnología propia de los circuitos integrados (chips), denominada integración de película fina, que ya se había empleado en los grabadores analógicos multipista. Esta tecnología permite obtener la parte eléctrica de los cabezales, que luego es complementada mediante delgadas láminas ferromagnéticas que cumplen la función de concentradores de flujo, es decir entrehierros. De esta manera se consiguen entrehierros lo suficientemente pequeños como para la alta velocidad de transferencia de información requerida, que asciende a 2016 bits/mm por pista.

El cabezal de reproducción utiliza como transductor un elemento magnetoresistivo, formado por un material que varía su resistencia eléctrica en función del campo magnético que lo atraviesa. Este es un concepto totalmente diferente del utilizado en los cabezales reproductores tradicionales de bobina. En este caso se hace circular un corriente constante por el elemento magnetoresistivo, y al variar el campo magnético (debido a la información previamente grabada en la cinta) varía su resistencia y por consiguiente su tensión.

El conjunto de cabezales incluye también un cabezal de reproducción analógico que permite reproducir cassettes compactos tradicionales estereofónicos (pero no grabarlos). Este conjunto contiene el cabezal digital en una mitad y el analógico en la otra. Dado que la cinta tiene dos lados (como en el cassette tradicional), pero el cassette no se

extrae para cambiar de lado, el cabezal completo gira en forma automática al llegar al final de la cinta.

24.6.4. Especificaciones de los grabadores de DCC

Las especificaciones son similares a las de los grabadores de DAT, destacándose que el rango dinámico, debido a la codificación con coma flotante, puede alcanzar fácilmente los 105 dB en los equipos de mayor calidad.

24.6.5. Aplicaciones del sistema DCC

De acuerdo a lo analizado anteriormente, el sistema DCC es capaz de reproducir una señal eléctricamente –y también acústicamente– diferente de la señal original, pero de una manera lo suficientemente ingeniosa como para que *auditivamente* no sea posible distinguir la diferencia. Sin embargo, *hay diferencias*, que podrían ponerse en evidencia si uno intentara aplicar procesamientos sofisticados a la señal grabada en el formato DCC.

Consideremos el ejemplo de un tono de 400 Hz y 80 dB de nivel de presión sonora, y otro de 1000 Hz y 30 dB sonando simultáneamente. De acuerdo con la Figura 2.10 (capítulo 2), se requieren 36 dB para que un tono de 1000 Hz comience a ser audible en presencia de otro de 400 Hz y 80 dB, por lo cual la codificación PASC desechará el tono de 1000 Hz dedicando todo el espacio disponible a almacenar el de 400 Hz con máxima precisión. El resultado es que la señal reproducida contendrá sólo este último, lo cual *auditivamente* será indistinguible del original. Si después de la grabación quisieramos recuperar el tono de 1000 Hz por medio de un ecualizador, ya no podríamos, porque ha sido removido irreversiblemente.

En un sistema basado en la codificación PCM en lugar de la PASC, como el disco compacto o el DAT, el tono más débil habría quedado grabado y podría recuperarse con el ecualizador.

Resulta entonces que los sistemas DCC de buena calidad pueden utilizarse con ventaja para grabar señales de audio definitivas, dado que proveen grabaciones que no se diferencian auditivamente de la señal original pero tienen un rango dinámico algo mayor que los sistemas PCM. No son, en cambio, recomendables para señales que requieran procesamiento posterior.

24.7. Minidisc (MD)

El minidisc es otro medio que utiliza compresión de datos (similar a la del DCC), siendo el objetivo en este caso disponer de la misma cantidad de audio que en un CD en un área menor. Una diferencia con el CD normal es que es un soporte regrabable. Para ello se utiliza una tecnología óptico-magnética, u óptico-termomagnética. La escritura se realiza calentando una delgada película magnética hasta desmagnetizarla, y aplicando un campo magnético apropiado. Al enfriarse, la película queda magnetizada según el campo aplicado. La lectura utiliza el denominado efecto Kerr, por el cual un campo magnético introduce una rotación en la polarización del haz láser. Este cambio de polarización se convierte en un cambio de intensidad que es detectado en forma análoga a la del CD.

Capítulo 25

Consolas de mezcla

25.1. Introducción

En los capítulos anteriores habíamos examinado una serie de dispositivos que cumplían funciones puntuales de procesamiento de señal dentro de un sistema de sonido. En un sistema práctico, es frecuente que intervengan varios de estos dispositivos a la vez. Por ejemplo, podría haber fuentes de señal tales como micrófonos, sintetizadores o reproductores de discos compactos; procesadores, tales como compresores, ecualizadores y reverberadores; sistemas de monitoreo o de refuerzo sonoro, formados por amplificadores y altavoces; y, por último, equipos de grabación tales como un grabador multipista analógico o un DAT.

El último dispositivo que estudiaremos es la **consola de mezcla**, también llamada **mesa de mezcla o mezcladora**. Este equipo, que puede ser desde una sencilla mezcladora de 4 canales hasta una compleja consola digital de 48 ó 56 canales, tiene por finalidad mezclar o combinar las señales provenientes de algunos de los bloques anteriores y crear nuevas señales que servirán como señales de entrada para otros bloques (Figura 25.1).

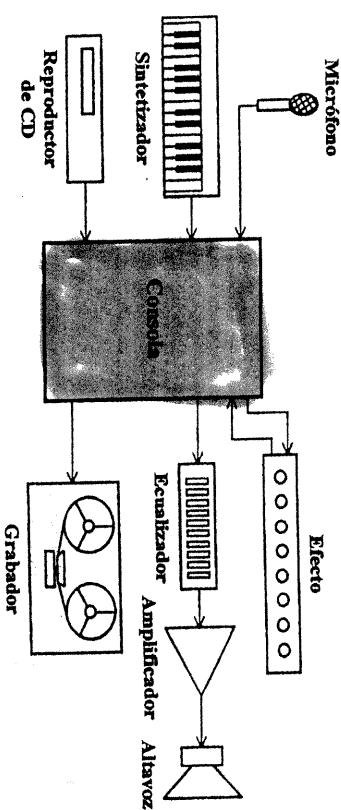


Figura 25.1. Ejemplo esquemático que ilustra el papel que juega la consola de mezcla como ente centralizador y administrador de las señales de un sistema de sonido.

25.2. Funciones específicas de una consola

La función principal de una consola de mezcla es proporcionar la suma de diversas señales eléctricas, cada una de ellas atenuada o amplificada con respecto a su nivel original en un factor ajustable por el operador. Dicha suma es el análogo de la superposición o suma acústica que tendría lugar si las fuentes sonoras originales radiaran sonido simultáneamente.

Hay varias razones por las que *en general* es preferible realizar la suma de señales eléctrica y no acústicamente:

1) El ajuste eléctrico de los niveles de las diversas señales es mucho más simple, ya que se realiza por medio de potenciómetros deslizantes. Un ajuste acústico implicaría una gran ductilidad de los mismos para alcanzar un cuidadoso balance dinámico entre las diversas partes, lo cual puede ser una exigencia muy grande (especialmente en la música pop; no así en la música clásica o erudita).

2) El ajuste acústico involucraría la toma estereofónica con un par de micrófonos distantes, los cuales captan menos señal pero igual o más ruido ambiente, empeorando la relación señal/ruido. En este sentido conviene tener en cuenta que hoy en día es mucho más fácil combatir el ruido eléctrico que el ruido acústico.

3) El ajuste eléctrico puede realizarse sobre señales provenientes de una grabación multicanal, siendo posible realizar ajustes posteriores a la grabación. Si el balance dinámico se hiciera acústicamente y el resultado se grabara en estéreo, ya no sería posible modificar o corregir dicho balance.

4) Si alguna de las fuentes sonoras es un sintetizador u otro instrumento electrónico, es preferible procesar *directamente* la señal eléctrica que éste genera. Si se la transformara primero en sonido (por medio de un sistema de monitoreo) para luego volver a la señal eléctrica mediante un micrófono, se estaría empeorando la relación señal/ruido. 5) La mezcla eléctrica permite la posibilidad de grabar en play back, es decir agregar a posteriori otro instrumento (o voz) sobre una base constituida por varios instrumentos grabados con antelación.

Las grandes consolas suelen tener un número considerable de canales de entrada (por ejemplo 24), algunos de los cuales son monofónicos y otros estereofónicos, y una cantidad menor de canales de salida (por ejemplo 6). Cada canal de salida es la superposición de algunos canales de entrada con los correspondientes ajustes de nivel. Los canales de salida se suelen denominar **grupos**, o también **submasters**. En general existe un canal de salida estereofónico sobre el cual pueden mezclarse todas las señales, incluidas las de los submasters. Se denomina **master**, o **mezcla principal**.

Las señales de entrada pueden ser de bajo nivel (entradas de micrófono) o de nivel de línea. Para el primer caso, los canales de entrada poseen preamplificadores incorporados. La selección del tipo de entrada suele hacerse por medio de pulsadores. Las señales de salida son de nivel de línea, aptas para excitar un amplificador, ecualizador, etc. Otra función de las consolas es la de possibilitar la incorporación de efectos a las señales (ver capítulos 16 al 22). Según se comentó oportunamente, algunos efectos se conectan *en serie*, es decir que toda la señal pasa por ellos. Las consolas proveen para ello conexiones denominadas **conexiones de inserción** (*inserts*) en cada canal de entrada. Otros efectos se conectan *en paralelo*, de manera que una parte de la señal sea procesada y otra parte no. Para esto se proporcionan los **envíos auxiliares (send)** y los **retornos auxiliares (return)**.

Por último, la gran mayoría de las consolas permite una equalización (en general sencilla, es decir de dos o tres bandas) en cada canal de entrada, y a veces también en la salida (en este caso suele haber 7 ó más bandas).

Además de las funciones anteriores, existen otras de carácter administrativo, que facilitan el trabajo del operador en cuanto a ajustes de nivel, localización de errores, flexibilidad de conexión, versatilidad, etc. Estas funciones se realizan por medio de los siguientes elementos, entre otros:

1) **Vómetros**, es decir indicadores de nivel *analógicos* (mediante instrumentos de aguja móvil) o *cuasi analógicos*, mediante barras de **LEDs** (diodos emisores de luz) o **LCD** (display de cristal líquido). En general se provee un solo vómetro estereofónico, comutable por medio de botones entre varias fuentes (entradas individuales, salida). En las consolas más completas puede haber un vómetro por cada canal, además de uno para cada salida.

2) **Salidas de monitoreo para la sala de control**, que conectadas a un amplificador (precedido por un equalizador de ser necesario) permiten excitar los monitores (altavoces de mediana potencia para uso en escenario o sala de control).

3) **Pulsadores de sordina (mute)**, que permiten silenciar uno o más canales a elección del operador.

4) **Pulsadores de solo**, que permiten escuchar, también a elección, un canal por vez (o más de uno, si se oprimen varios pulsadores).

En la Figura 25.2 se muestra esquemáticamente el panel de control y el panel de conexiones de una consola de 8 canales de entrada y 4 canales de salida.

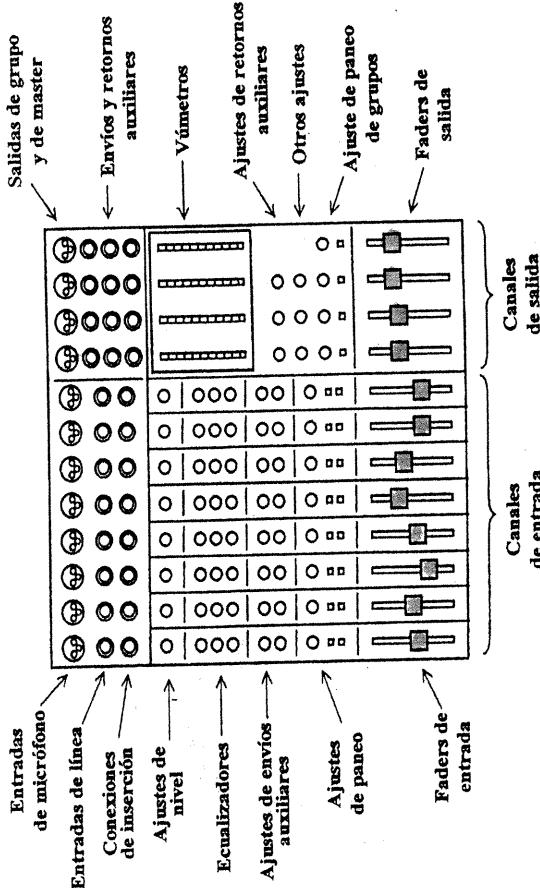


Figura 25.2. Aspecto esquemático de una consola de 8 canales de entrada y 4 canales de salida de un master estereofónico.

25.3. Estructura de una consola de mezcla

Las funciones principales de una consola se basan en unos pocos conceptos básicos que ya hemos descrito detalladamente en capítulos anteriores: la amplificación, atenuación, filtrado y superposición de señales eléctricas de audio. Sin embargo, la complejidad de su **topología** (es decir la estructura interna de conexiones), así como la gran cantidad de variantes que se presentan en las consolas disponibles comercialmente dificultan su comprensión. Por este motivo es conveniente comenzar describiendo algunos diagramas de bloques sencillos, a los cuales iremos agregando sucesivamente más elementos.

El primer ejemplo (Figura 25.3) corresponde a la función fundamental de las consolas: la mezcla. En este ejemplo se trata de una consola de 4 canales de entrada y 2 canales de salida (derecho e izquierdo). Cada canal de entrada posee una entrada de línea

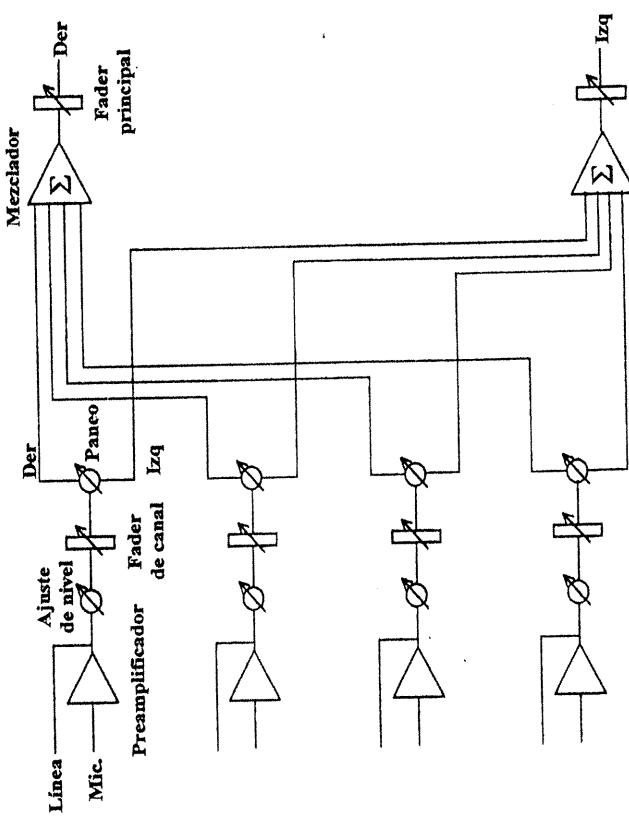


Figura 25.3. Esquema básico de una consola mezcladora de cuatro canales de entrada y salida estereofónica. Cada canal tiene un preamplificador con ajuste de nivel que lleva el nivel de la señal de entrada al nivel de línea. Luego hay un fader de canal, que define la proporción en que dicho canal se agregará a la mezcla. Luego hay un control de paneo, que reparte la señal hacia ambos canales estereofónicos, luego de lo cual la señal se mezcla en los mezcladores principales. Los faders principales actúan como ajustes globales de volumen.

y una entrada de micrófono. En general se utilizan conectores diferentes, por ejemplo TRS para la entrada de línea y XLR para la de micrófono, en ambos casos con conexión balanceada para reducir el ruido. En algunas consolas pueden coexistir ambas señales. En otras, se puede seleccionar mediante un pulsador cuál de las dos entradas está activa.

La entrada de línea va directamente a un ajuste de nivel (trim), mientras que la entrada de micrófono pasa primero por un preamplificador, debido a que la señal de los micrófonos es en general de muy bajo nivel. El propósito del ajuste de nivel es dar uniformidad al nivel medio de las diversas señales de entrada. Este ajuste provee normalmente una ganancia de hasta 60 dB para la entrada de micrófono y hasta 40 dB para la entrada de línea.

Luego del ajuste de nivel aparece en cada canal un potenciómetro deslizante denominado fader (pronunciado *féider*, en castellano, atenuador), con el cual se ajusta la proporción en que se mezclará dicho canal con los otros. Normalmente el fader provee una ganancia entre $-\infty$ dB y 10 dB, que corresponden a una ganancia numérica entre 0 y 3.16. La ganancia 0 dB corresponde a una ganancia numérica 1 (es decir sin cambio de nivel).

Es importante destacar la diferencia entre el ajuste del nivel de entrada y el fader. El ajuste de nivel permite trabajar con un nivel de señal apropiado para el resto del circuito, esto es, ni demasiado pequeño como para tener una relación señal/ruido pobre, ni tan alto como para que alguna parte del circuito entre en saturación. Veámos con un ejemplo que sucedería si sólo se utilizaran los faders para obtener el nivel apropiado.

Supongamos que al canal 1 ingresa una señal de línea de 245 mV ($= 0,245$ V) y al canal 2 una de 7,75 V, y supongamos que se requiere mezclarlas de manera que ambas tengan igual nivel. La señal del canal 1 es demasiado baja (de hecho está en el límite inferior de lo que se admite como nivel de línea; ver Tabla 9.2), por lo cual sería necesario llevar el fader a su posición máxima de 10 dB. Esto implica multiplicar por 3.16, obteniéndose una señal de

$$0,245 \text{ V} \times 3,16 = 0,775 \text{ V}.$$

Si pretendemos que la señal del canal 2 tenga este nivel debaremos atenuarla 10 veces, ya que

$$\frac{7,75}{0,775} = 10.$$

En otras palabras, deberá atenuarse en 20 dB, con lo cual se reduce la relación señal/ruido. Evidentemente hubiera sido preferible aplicar ganancia a la señal más débil por medio del ajuste de nivel, ya que cuanto mayor sea una señal, más immune resulta frente al ruido.

Continuando con el recorrido de la señal, se llega al **ajuste de pano** (pan pot = panoramic potentiometer = potenciómetro panorámico). Este ajuste desdobra la señal en dos partes: una va hacia el canal derecho y la otra hacia el canal izquierdo. En el extremo izquierdo de su recorrido, toda la señal va hacia el canal izquierdo, y en el extremo derecho, va toda hacia el canal derecho. Cuando el ajuste se encuentra en la posición central, la señal va en partes iguales a ambos canales. La finalidad de este control es ubicar virtualmente en el espacio la fuente que corresponde a cada canal. Así, por ejemplo, con el potenciómetro en el extremo izquierdo la fuente parecerá estar totalmente

hacia la izquierda, mientras que en la posición central dicha fuente parecerá estar al frente. En la práctica, sin embargo, para lograr efectos espaciales de gran realismo el pano debe complementarse con el agregado de un retardo en el canal más débil (ver efecto Haas, capítulo 2).

Las señales del canal derecho del ajuste de pano se dirigen hacia el mezclador derecho y las del canal izquierdo hacia el mezclador izquierdo. Un mezclador es simplemente un *sumador de señales*, que suma *todas las señales en igual proporción*. Si se desea que una señal aparezca en la mezcla final con mayor nivel que otra, el correspondiente ajuste deberá efectuarse mediante los faders de los respectivos canales de entrada.

Finalmente, la salida de cada mezclador pasa por un fader principal, que permite a su vez ajustar el nivel en forma independiente en cada canal de salida. Si los canales de salida designados como *derecho e izquierdo* realmente se utilizan para obtener sonido estereofónico, ambos faders principales deberían ajustarse en forma pareja para no distorsionar la imagen estereofónica que se asigna a cada señal mediante el pano correspondiente.

El conjunto de señales que llegan a un sumador se denomina **línea ómnibus**, o simplemente bus. En el ejemplo de la Figura 25.3 cada bus está integrado por 4 líneas simples, provenientes de los canales de entrada. En los diagramas de bloques de las consolas que se proporcionan en los respectivos manuales del usuario es común utilizar una única línea para representar un bus, evitando así complicar el diagrama. Para hacer las cosas más claras, es conveniente representar los buses con líneas más gruesas, y así se ha hecho en la Figura 25.4, aunque en general no se tiene en cuenta esta convención.

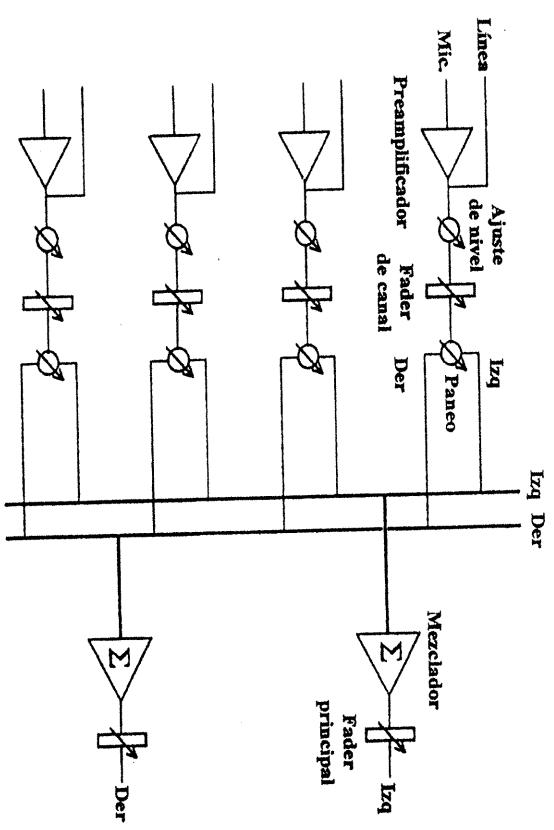


Figura 25.4. Diagrama de bloques de la consola de la figura anterior en el cual los buses, formados por 4 líneas, se han representado con líneas de trazo grueso.

25.3.1. Equalizadores

El siguiente elemento a agregar a la consola de las Figuras 25.3 y 25.4 es un equalizador. La versión más rudimentaria consiste en un control de tonos de graves y agudos, pero la mayoría de las consolas poseen al menos tres bandas: graves, medios y agudos. La banda central suele ser semiparamétrica, permitiendo ajustar la frecuencia central entre dos extremos, o paramétrica, permitiendo también ajustar el ancho de banda o el factor de calidad Q. En algunas consolas más complejas se proporcionan dos bandas centrales paramétricas, así como de-eessers, antipop, etc. También existen consolas en donde la sección de ecualización es un completo equalizador gráfico por octavas.

El equalizador se inserta entre el ajuste de nivel y el fader de canal. En la Figura 25.5 se ha modificado la consola de la Figura 25.4 para incluir la sección ecualizadora. Las frecuencias de las diferentes bandas no están normalizadas (excepto en los casos en que se incluyen equalizadores gráficos), aunque es frecuente encontrar ciertos juegos de frecuencias. Por ejemplo, 100 Hz para los graves, 1 kHz para los medios y 10 kHz para los agudos, o bien 80 Hz para los graves, 2,5 kHz para los medios y 12 kHz para los agudos. En el caso de los medios paramétricos o semiparamétricos, el rango de frecuencias suele estar comprendido entre 100 Hz y 10 kHz. En los medios paramétricos, el valor de Q puede llegar a variar entre 0,5 y 10 ó más, aunque en general conviene restringir el ajuste a un máximo de 3 para evitar los campanilleos y los sonidos sibilantes que acompañan a los filtros de ancho de banda muy estrecho (o Q muy alto).

Además del equalizador, las consolas suelen tener filtros de baja frecuencia (40 a 100 Hz), que se insertan opcionalmente antes del equalizador, mediante un selector, para eliminar ruidos de muy baja frecuencia (zumbidos, ruidos de motores, pisadas, etc.) en señales sin contenido en baja frecuencia (por ejemplo una flauta). También puede haber un pasabajos, de frecuencia de corte elevada, para reducir ruidos de alta frecuencia en señales que no contienen tales frecuencias (un bombo a pedal, por ejemplo).

25.3.2. Conexiones de inserción (inserts)

Una de las características que dan poder y versatilidad a las consolas es la posibilidad de agregar procesamiento, por medio de equipos externos, a las señales que reciben. Las conexiones de inserción (Figura 25.6) proveen el medio para intercalar efectos y otros procesadores en serie.

Se utilizan cables de inserción en Y, terminados en un extremo en un conector de tipo plug TRS y en el otro en dos conectores plug TS (Figura 25.7). Al introducir el plug TRS en el conector de inserción de la consola, se interrumpe la conexión interna entre la salida del ajuste de nivel y la entrada del equalizador, y dichos puntos se derivan hacia afuera por medio de los conectores TS, dirigiéndose respectivamente a la entrada y la salida del procesador externo.

Estas conexiones de inserción permiten, por ejemplo, utilizar compresores o compuertas en canales específicos, así como de-eessers, antipop, etc. También pueden canalizarse a través de ellas algunos efectos, como el vibrato.

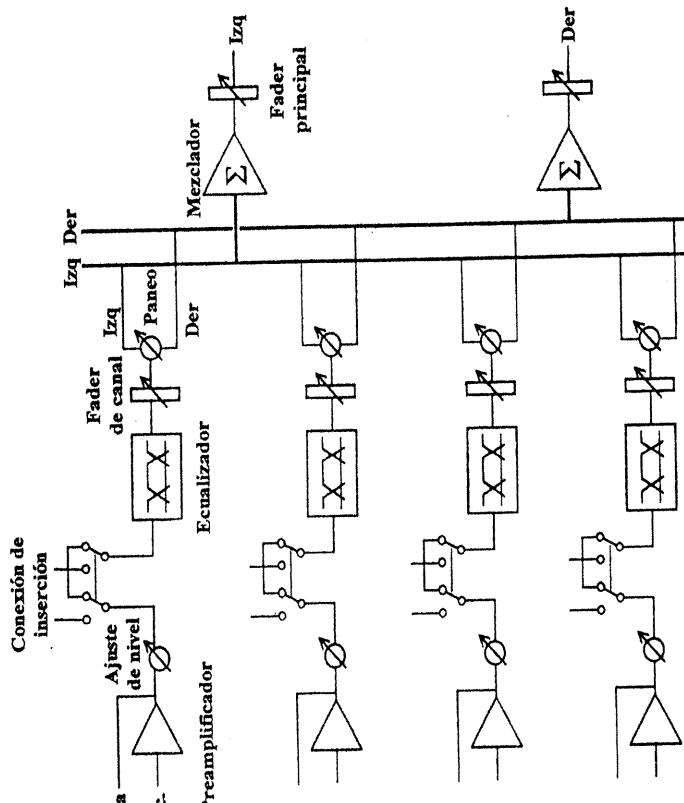


Figura 25.6. Diagrama de bloques de la consola de las figuras anteriores, a la cual se le han agregado conexiones de inserción para intercalar procesadores y/o efectos en serie. Las llaves comutadoras representan en realidad contactos dentro del conector de la consola, que se separan al introducir un plug TRS.

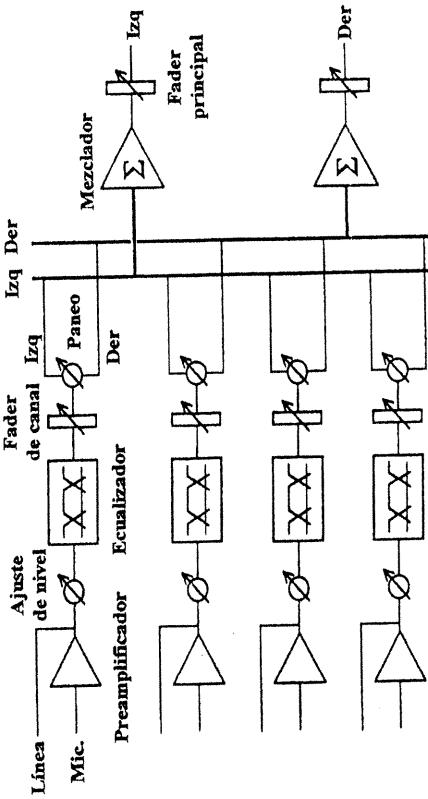


Figura 25.5. Diagrama de bloques de una consola de cuatro canales de entrada y salida estéreo con equalizadores de canal de tres bandas.

Las conexiones de inserción vistas hasta aquí estaban ubicadas prácticamente a la entrada, apenas después del ajuste de nivel. Es posible incorporar este tipo de conexiones en otros puntos del trayecto de la señal, inclusive después de la mezcla (lo cual podría ser útil para agregar un compresor-límitador que afecte a la totalidad de la señal de salida).

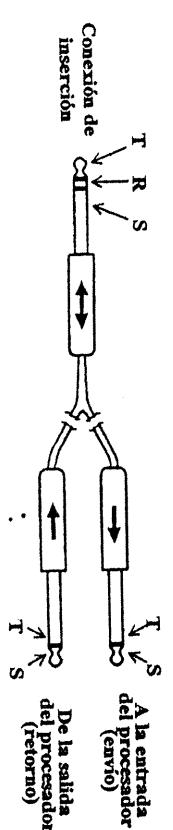


Figura 25.7. Cable de inserción en Y, utilizado para incorporar procesadores o efectos en serie por medio de la conexión de inserción (insert) de una consola. Los conectores son de tipo TIRS y TS, es decir plug de $\frac{1}{4}$ " estéreo y mono respectivamente.

25.3.3. Conexiones auxiliares

Habíamos visto en el capítulo 16 que los efectos en paralelo requieren que una parte de la señal pase por el procesador, y otra parte pase directamente, sumándose luego ambas. Una posibilidad sería agregar en cada canal, antes de su salida al bus, un sumador. Esto obligaría, sin embargo, a agregar tantos sumadores como canales de entrada. Esto encarecería la consola e incrementaría el ruido. Por otra parte, a diferencia de los efectos en serie, los efectos en paralelo suelen aplicarse a varias señales a la vez, es decir son efectos globales (por ejemplo, la reverberación), por lo cual las consolas poseen conexiones auxiliares que involucran a varios canales de entrada o a todos ellos.

Las conexiones auxiliares se dividen en conexiones de envío (send) y de retorno (return). Un envío auxiliar es una salida obtenida sumando, en un mezclador auxiliar, las señales procedentes de los canales de entrada. Dichas señales pasan primero por sendos ajustes de ganancia que permiten mezclarlas en proporciones diferentes a las usadas para la mezcla principal (Figura 25.8). Un retorno auxiliar es una entrada, normalmente estereofónica, que despiés de un ajuste de ganancia ingresa al bus principal.

25.3.4. Envíos auxiliares

Con respecto a los envíos auxiliares, hay dos posibilidades: 1) que las señales a mezclar se tomen *antes* del fader de canal, y 2) que se tomen *después*. En el primer caso se tiene el auxiliar *pre fader*, y en el otro el auxiliar *post fader*. Desde el punto de vista conceptual, no hay diferencias importantes, ya que con cualquiera de los dos procedimientos podría obtenerse el mismo resultado final. Es en el aspecto práctico donde difieren ambas conexiones. Así, dado que el auxiliar *pre fader* toma las señales *antes* de los respectivos faders, no es afectado por los ajustes realizados en los canales con miras a la mezcla principal. Esto permite obtener una mezcla *ad hoc* que puede utilizarse, por ejemplo, en los monitores de los músicos. Por diversas razones, la mejor mezcla principal desde el punto de vista del oyente no necesariamente es la mejor o la más *funcional* para los intérpretes. Por ejemplo, puede suceder que en un pasaje vocal a varias voces con

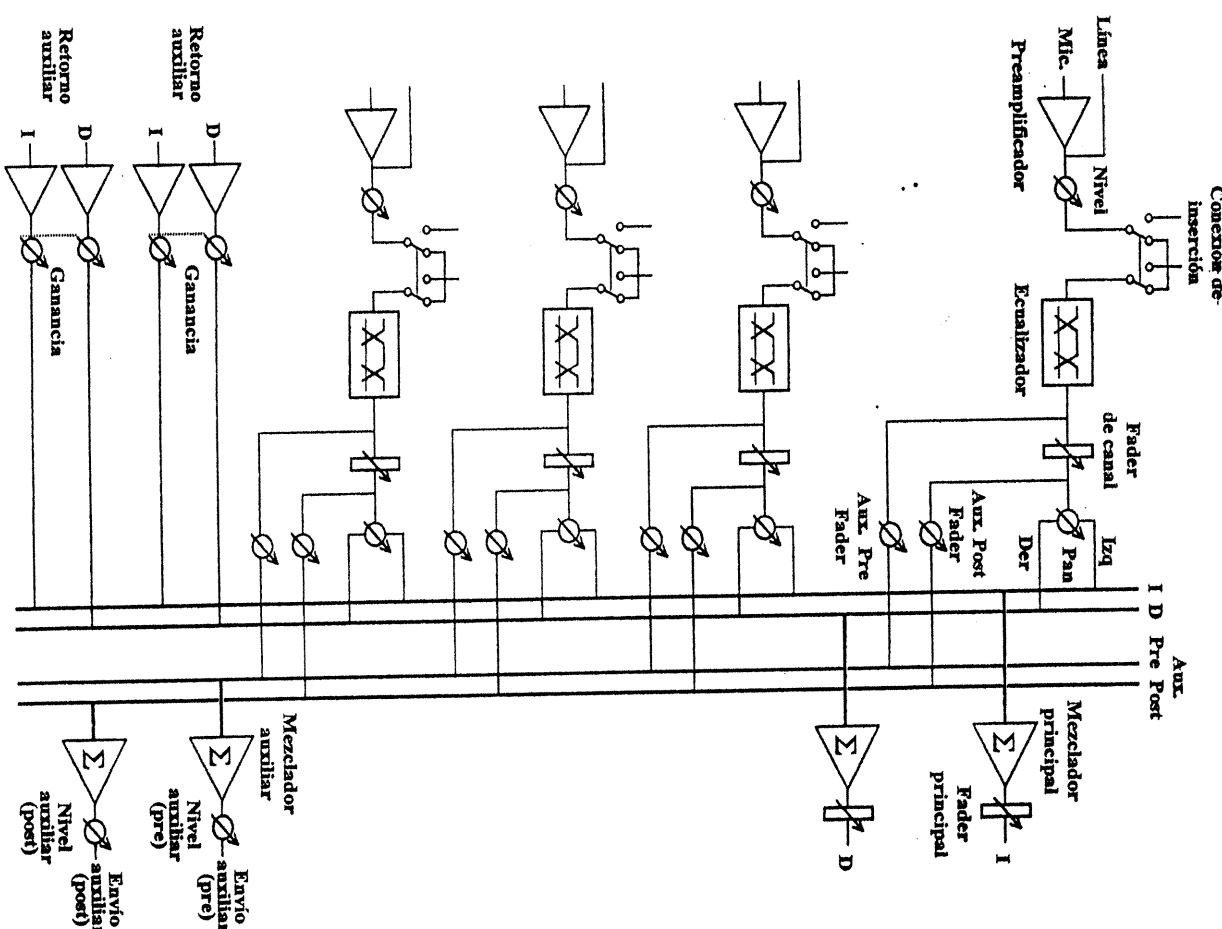


Figura 25.8. Diagrama de bloques de la consola de la figura anterior a la cual se le han agregado envíos y retornos auxiliares.

mucho percusión los cantantes tengan dificultades para mantener la afinación si la percusión sobresale. En ese caso, bastará reducir el nivel de la percusión en el monitor, sin que ello repercuta en la mezcla final a grabar.

El auxiliar *post fader* se utiliza específicamente para los efectos en paralelo. La señal enviada hacia el procesador de efectos (a través del bus auxiliar y su mezclador) queda en este caso afectada por el fader, de modo que la señal procesada (señal "humeda") aumentará o disminuirá junto con la señal sin procesar (señal "seca").

Tomemos como ejemplo un reverberador digital. Al subir el *fader* de algún canal en 10 dB, no sólo sube 10 dB el nivel de la señal sino también el nivel de la reverberación. Si utilizamos, en cambio, un auxiliar *pre fader* como envío hacia el reverberador, un aumento de 10 dB en la señal no se verá acompañado por un aumento similar en la señal procesada, y la señal final resultará demasiado seca.

En muchas consolas los envíos auxiliares pueden commutarse entre *post fader* y *pre fader*. Esto permite mayor versatilidad, dado que deja al operador la elección entre una y otra posibilidad.

25.3.5. Retornos auxiliares

Normalmente, los retornos auxiliares reciben la señal que vuelve de un procesador de efectos, y la vuelcan al bus principal. Dado que muchos efectos tienen salida estereofónica (aún cuando tengan entrada monofónica), los retornos auxiliares son, por lo general, estéreo (Figura 25.8). Para ajustar apropiadamente la relación entre el efecto y el sonido directo se provee un control de ganancia *estéreo* (es decir cuyo ajuste es el mismo para ambos canales).

25.3.6. Grupos o submasters

Las consolas grandes suelen tener varias salidas denominadas grupos (a veces, también *subgrupos*, o *submasters*). Conceptualmente, en un grupo se mezclan las señales presentes en el correspondiente bus de grupo, las cuales provienen de los canales de entrada y de los retornos auxiliares, obteniéndose así *mezclas parciales* (Figura 25.9).

En realidad, cuando hay varios grupos, en cada canal de entrada existen selectores de direccionamiento (routing), que permiten determinar hacia qué grupo o grupos (no son exclusivos) se dirigirá la señal de dicho canal. Dichos selectores se encuentran después del ajuste de paneo del canal, y seleccionan *pares* de grupos, por ejemplo 1-2, 3-4, de manera que las mezclas parciales resulten estereofónicas. Del mismo modo, cada retorno auxiliar posee selectores de direccionamiento con idéntica función.

Después de la mezcla correspondiente a un grupo puede encontrarse una conexión de inserción similar a las que había a la entrada. El objetivo de la misma es permitir agregar un efecto o procesamiento en serie a *todo* el grupo, es decir simultáneamente a todas las señales que intervienen en él. De allí la señal del grupo pasa a un fader de grupo (que es un control de volumen global del grupo), de donde se obtiene la salida del grupo. Esta salida puede utilizarse para grabar una pista en un grabador multipista, o puede agregarse a la mezcla principal, pasando previamente por un ajuste de paneo de grupo. Este paneo se provee para mayor versatilidad, pero a veces conviene llevarlo a uno u otro extremo.

Supongamos, por ejemplo, que con el selector de direccionamiento enviamos varias señales de entrada a los grupos 1 y 2, cada una con un adecuado paneo. Entonces, si se desea llevar dichos grupos a la mezcla principal preservando la imagen estereofónica, convendrá llevar el grupo 1 enteramente al canal izquierdo y el 2 al derecho.

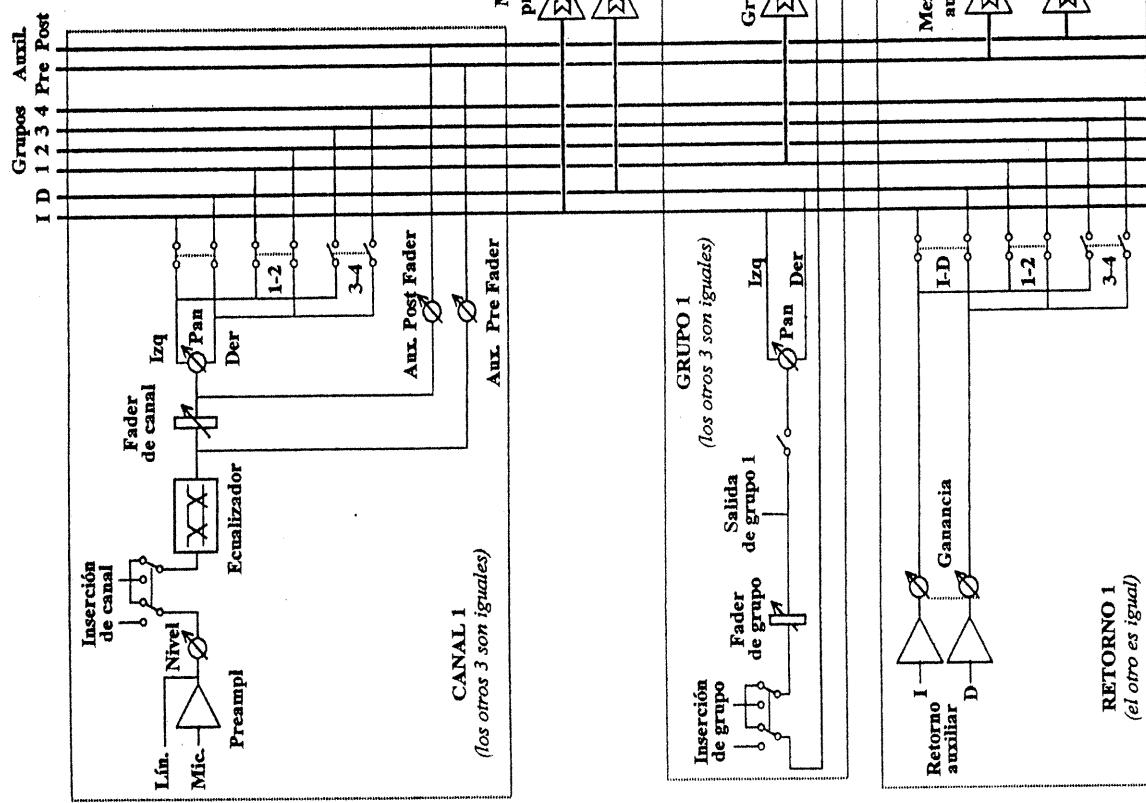


Figura 25.9. Diagrama de bloques de una consola de 4 canales de entrada, 4 grupos de salida, una salida principal estéreo y 2 conexiones auxiliares, una *pre fader* y la otra *post fader*. Por razones de claridad se muestra sólo un canal, un grupo y un retorno auxiliar.

25.3.7. Fuente fantasma

La mayoría de las consolas actuales proveen una fuente fantasma de 48 V en sus entradas balanceadas XLR de micrófono, para polarizar los micrófonos capacitivos. Esta fuente en general puede conectarse o desconectarse globalmente mediante un interruptor, aunque en las consolas más completas la conexión es independiente en cada canal.

Si bien los micrófonos dinámicos no requieren alimentación, es posible utilizarlos sin peligro con la fuente fantasma conectada siempre que sean balanceados. Si no lo son (aunque posean una ficha XLR), pueden destruirse fácilmente.

25.3.8. Monitoreo

El monitoreo consiste en la propagación de la señal resultante de una mezcla para su escucha, ya sea por el operador o por los músicos. Existen dos tipos de monitores: el monitoreo para el operador, que debe sonar exactamente como la mezcla principal (o submezclas, según el caso), y el monitoreo para el intérprete, que difiere del anterior en que normalmente enfatiza algunas partes que facilitan su ejecución o interpretación. En este último caso se toman las señales de los envíos auxiliares pre fader.

El monitoreo para el operador se proporciona normalmente en dos formas: una salida para la sala de control, que mediante un amplificador externo de mediana potencia excita los altavoces monitores, y una salida amplificada para auriculares. Se provee un control de volumen para estas señales. En general es posible seleccionar qué mezcla está accesible en la salida para sala de control (por ejemplo, la mezcla principal o un grupo determinado).

25.3.9. Selectores de SORDINA (mute)

Además de los controles ya discutidos, existen otros selectores que cumplen funciones administrativas dentro del trabajo de mezcla. El primero es el selector de sordina (mute), que se utiliza para silenciar la señal seleccionada sin alterar las restantes. Este silenciamiento se consigue simplemente desconectando dicha señal del bus principal y del que contiene las señales de monitoreo. Puede aplicarse la sordina a más de un canal.

La sordina puede utilizarse en varias situaciones. Por ejemplo, para detectar entre un grupo de músicos cuál está desafinando, o para eliminar un canal que contiene indicaciones para los músicos (como avisos de entradas), o una señal de metrónomo, o simplemente una guía grabada por el operador o el ingeniero de sonido describiendo brevemente el título de las piezas, autores, etc.

25.3.10. Selectores de SOLO

Otro control habitual en las consolas es el solo, que permite silenciar todos los canales excepto aquellos en que se haya presionado el correspondiente botón selector. En cierto sentido cumple la función inversa de la sordina, debiendo advertirse que la selección de solo prevalece sobre la de sordina en el mismo canal.

Esta función se logra desconectando, por medio de un relé (llave comandada eléctricamente por una señal de control), la señal de monitoreo en la sala de control y reemplazándola por una mezcla de un bus de solos, que contiene todas las señales de los canales seleccionados como solo.

Hay dos tipos de solo: el solo pre fader (pre fader listen, PFL, o también cue), que toma la señal del canal antes de pasar por el fader, y el solo post fader (solo in place, SIP), que toma la señal tal como va a ser volcada al bus principal para su mezcla. El

solo pre fader se utiliza como guía durante el ajuste de nivel de la señal de entrada del canal. El solo post fader, para aislar un determinado canal tal como aparecerá en la mezcla. Es posible seleccionar más de un solo, permitiendo así comparar niveles relativos o ubicaciones en el espacio de dos o más fuentes sonoras virtuales.

25.3.11. Vómetros

A efectos de realizar los ajustes de nivel requeridos, las consolas tienen un instrumento de medición denominado vímetro. El nombre proviene de las siglas de Volume Units, es decir unidades de volumen (utilizada históricamente para medir el volumen sonoro entregado). Es una escala logarítmica que coincide con el nivel de potencia en dBm. Hoy en día se utilizan más las referencias de consolas, que consisten en escalas para los vímetros en uso por los diversos fabricantes de consolas, que consisten en llamar 0 VU a los niveles -10 dBV, +4 dBu, y a 0 dBu respectivamente. En todos los casos deberá verificarse en el manual del usuario cuál es la referencia utilizada.

25.4. Presentación de los canales de entrada

Los canales de entrada poseen una presentación bastante característica, en la cual se integran varios de los elementos que hemos descripto hasta ahora. Aunque existen muchas variantes según el fabricante y el modelo, el aspecto general es el que se muestra en la Figura 25.10.

Como puede apreciarse, el ordenamiento vertical de los controles, ajustes y selectores sigue aproximadamente la sucesión de bloques por los cuales va pasando la señal. Así, en la parte superior encontramos el potenciómetro de ajuste de nivel de la señal de entrada. Luego se encuentra un botón de selección con el cual puede optarse por intercalar o no un filtro pasaaltos de baja frecuencia (en el ejemplo, de 50 Hz) para eliminar o reducir componentes de muy baja frecuencia o inclusive subsónicas, que pese a ser inaudibles pueden restar rango dinámico a la señal.

Debajo de la sección anterior se tiene la sección ecualizadora. En este ejemplo se muestra un ecualizador paramétrico en el cual la frecuencia de corte de los graves es de 100 Hz, la frecuencia de corte de los agudos de 10 kHz y la frecuencia de los medios es ajustable, así como su factor de calidad Q.

Más abajo aparece la sección de control de nivel de las salidas auxiliares, que en este ejemplo son 4. Junto a cada ajuste de nivel hay un botón que permite commutar entre conexiones post fader (la normal) y pre fader. No siempre se tiene esta disposición. A veces algunos auxiliares son pre fader y otros post fader, otras veces algunos son comutables y otros no, y en otros casos se pueden commutar por grupos (por ejemplo, los auxiliares 1 y 2 son post fader y los 3 y 4 se commután juntos entre pre y post fader). Otra variante en el caso de los auxiliares es que existe algún botón de selección que permite que un mismo potenciómetro de ajuste pueda, optativamente, referirse por ejemplo al auxiliar 4 ó al 5. Este tipo de presentaciones obedece más que a compromisos de diseño, en donde se procura minimizar el número de componentes (y en consecuencia abaratar el producto) preservando la máxima versatilidad posible.

Luego nos encontramos con la sección de Paneo, con algunos selectores de direccionamiento. Estos selectores permiten dirigir la señal paneada a los canales izquierdo y derecho de la mezcla principal, a los grupos de salida (o submezclas) 1 y 2, o a los

grupos 3 y 4, no exclusivamente. También se encuentran aquí los botones de solo y sordina. Esta última directamente elimina de la mezcla la señal proveniente del canal correspondiente. El selector de solo, en cambio, afecta principalmente al bus de losos y a la señal de monitor para la sala de control, de modo que no afecta la mezcla principal. En algunos casos puede afectar la salida de los grupos.

Finalmente, se tiene el fader de canal, es decir un potenciómetro deslizante que permite ajustar el nivel de la señal correspondiente a dicho canal a los efectos de la mezcla principal o de las mezclas de los grupos. El fader está graduado en dB referidos a ganancia 1, es decir que una ganancia de tensión de 2, por ejemplo, corresponderá a

$$20 \log_{10} \frac{2}{1} = 6 \text{ dB}.$$

Muchas fabricantes prefieren graduar los faders de sus consolas de 0 a 10, sin que tal escala represente ningún tipo de medida estándar. La misma observación vale para el resto de los controles o ajustes de ganancia (excepto en los ecualizadores, en los que se ha impuesto la graduación en dB).

25.5. Sección de salida

También la sección de salida tiene una presentación característica en las consolas, aunque existen más variantes que en los canales de entrada. Esta sección incluye los faders de los grupos, el fader principal, los ajustes de nivel de los envíos y retornos auxiliares, los vúmetros, el ajuste de volumen del monitoreo de la sala de control, y una serie de selectores de direcciónamiento vinculados con los grupos, los retornos auxiliares y el monitoreo. En la Figura 25.11 se muestra un ejemplo.

En la parte superior de esta sección suelen encontrarse los vúmetros. En general existe por lo menos un vúmetro por cada grupo, y un par estéreo para la mezcla principal, aunque en

las consolas más económicas se suele utilizar un solo par estéreo asignable a diversas salidas por medio de botones selectores (similares a los de direccionamiento del paneo).

En la parte inferior, paralelamente a los canales de entrada, se encuentran ubicados los faders de los grupos y de la mezcla principal.

Los ajustes de nivel y los botones de direccionamiento se ubican normalmente en la zona central de la sección de salida, existiendo aquí casi tantas variantes posibles como modelos de consolas existen. Esto suele ser fuente de confusión para el usuario, especialmente cuando se trata de adquirir una nueva unidad. Siempre es recomendable examinar con detenimiento el diagrama de bloques interno y relacionarlo con las perillas de

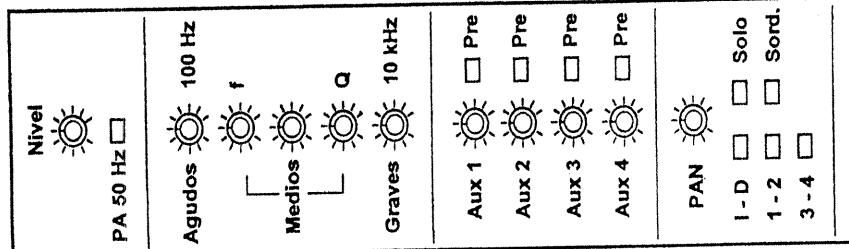


Figura 25.10. Ejemplo de canal de entrada de una consola con 4 grupos y 4 salidas auxiliares seleccionables como pre o post fader.

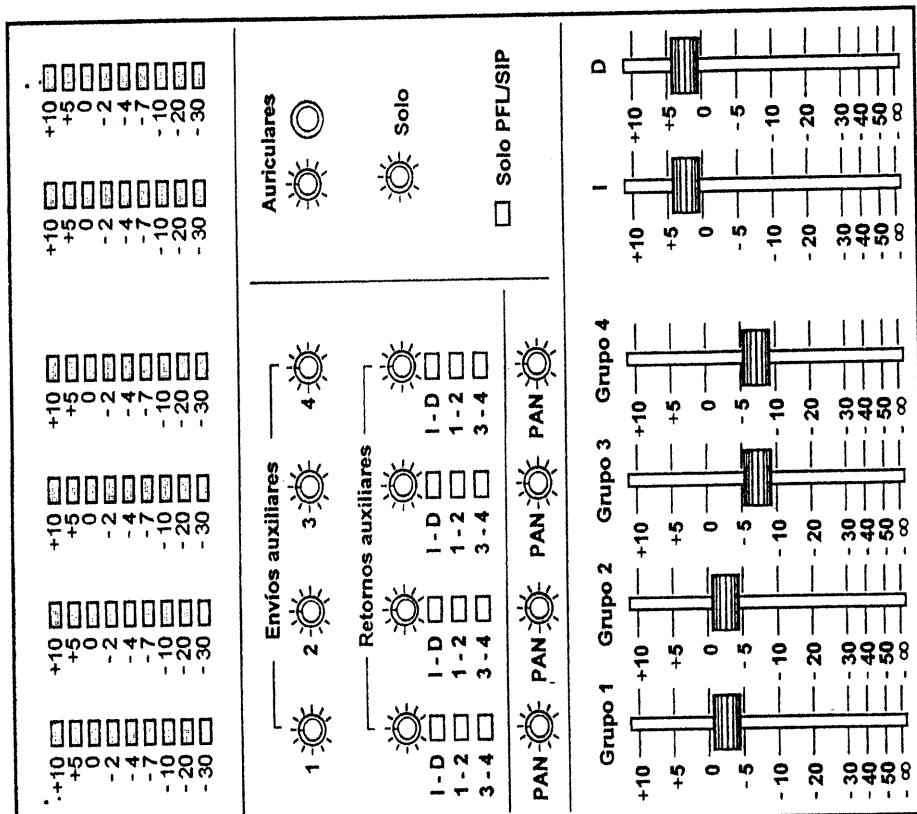


Figura 25.11. Aspecto de la sección de salida de una consola con 4 grupos de salida y una salida principal.

ajuste y los selectores disponibles en el panel de control. Además es útil imaginar varias situaciones complejas de mezcla y verificar si la consola ofrece posibilidades suficientes para llevarlas a cabo.

En el ejemplo de la Figura 25.11 cada grupo posee un ajuste de paneo, que determina en qué proporción se mezcla cada uno de ellos en cada canal de la salida principal. Además, cada retorno auxiliar tiene selectores que permiten ingresar la correspondiente señal estereofónica al bus principal y/o a pares de buses de grupo.

También se ubica en esta parte de la consola la conexión de auriculares, que va acompañada de un control de volumen que afecta a ambos canales por igual.

Finalmente, se ha incluido un selector que establece si el modo del solo es PFL (pre fader) o SIP (post fader). También se ha incorporado un control de volumen propio para el solo, lo cual permite no alterar el nivel de monitoreo general cada vez que se desea escuchar un canal individual.

25.6. Conexiones para grabador de cinta

Muchas consolas tienen conexiones de entrada y de salida para grabadores de cinta, de cassette o de DAT. En general se trata de conexiones para grabadores estereofónicos y no multipista. Las entradas (tape in), provenientes de las salidas de reproducción (play) del grabador, en algunos casos actúan como canales de entrada suplementarios, y en otros casos simplemente como entradas para el sistema de monitoreo de la sala de control. Las salidas para grabador (tape out) por lo general repiten las salidas principales, lo cual posibilita registrar en DAT el resultado de una mezcla completa.

Cuando se desea grabar en multipista se recurre a los envíos de inserción de los canales, intercalando si es necesario algunos procesadores, como ecualizadores externos, compresores o compuertas. También pueden grabarse las submezclas de los grupos aprovechando las salidas de grupo.

Algunas consolas poseen salidas directas post fader de los canales de entrada, que permiten grabar en multipista las señales después de pasar por los filtros, el ecualizador y el fader de canal. Si bien esto da mayor flexibilidad, a veces puede ser más conveniente grabar y reproducir por medio de la conexión de inserción, ya que de ese modo no hace falta un reconocionado, pudiendo enviarse las salidas del grabador multipista a través del retorno de inserción, procediéndose con la mezcla del material grabado exactamente como si fueran las señales originales en vivo.

25.7. Estructura de ganancia

En una consola de mezcla existe una cantidad comparativamente grande de amplificadores y atenuadores en el camino de la señal, desde la entrada de línea o de microfono hasta la mezcla principal. La descripción de las distintas etapas de ganancia se denomina estructura de ganancia de la consola. A pesar de que la misma ganancia final puede obtenerse de varios modos diferentes, razones de orden práctico y consideraciones sobre el rango dinámico y la relación señal a ruido hacen preferible respetar algunas normas de fijación de los diversos ajustes.

La estructura de ganancia se representa como un diagrama en el cual se muestran los rangos de ganancia de cada una de las etapas sucesivas (Figura 25.12). En el caso

del ecualizador, aunque por claridad del dibujo las bandas están representadas en sucesión, en realidad la señal correspondiente a cada banda es afectada sólo por la sección ecualizadora respectiva.

Si seguimos el recorrido de una señal de entrada, veremos que la ganancia total puede llegar a ser tan alta como

$$40 \text{ dB} + 12 \text{ dB} + 10 \text{ dB} + 10 \text{ dB} = 72 \text{ dB}.$$

Este valor no es conveniente, ya que puede conducir fácilmente a la saturación de una o más etapas de la consola. Por ejemplo, una señal de línea -10 dBu (245 mV), amplificada con esta ganancia implicaría una salida de 62 dBu , es decir 1975 V . Evidentemente, mucho antes se llega a la saturación y por lo tanto a la distorsión. La razón de la alta ganancia en el ajuste de nivel de entrada (máximo de 40 dB) es para dar mayor flexibilidad en relación con el nivel de entrada, permitiendo manejar señales de nivel intermedio, como la que generan algunos instrumentos electroacústicos.

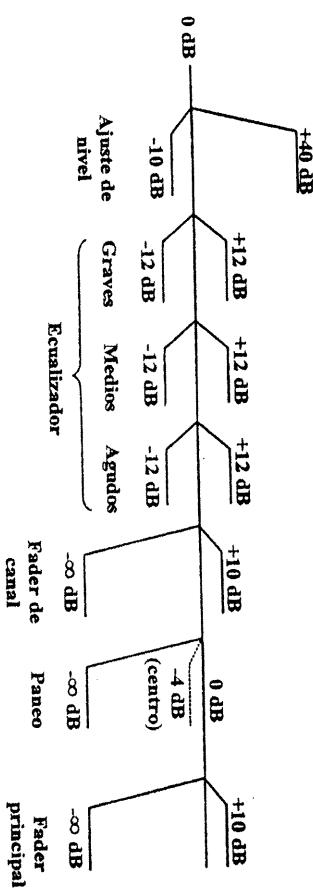


Figura 25.12. Estructura de ganancia para las entradas de línea de la consola de la figura 25.9. Las entradas de micrófono tienen ganancias adicionales por medio del preamplificador de entrada.

La norma general para los ajustes de ganancia es procurar mantener el nivel de la señal cercano a 0 dBu en todos los puntos del circuito. Niveles mucho menores componen la relación señal/ruido, ya que los ajustes de ganancia afectan a la señal y al ruido generado *antes* del ajuste, pero no al ruido generado *deshues* (recordemos que, en mayor o menor medida, todos los componentes de un circuito generan ruido). Niveles mucho mayores, por otra parte, son susceptibles de producir saturación, especialmente en la etapas de mezcla (principal, de grupo o auxiliar).

25.8. Margen de sobrecarga (headroom)

Un parámetro de gran importancia en la mayoría de los equipos de audio profesionales, y muy especialmente en las consolas, es el margen de sobrecarga (headroom),

Se define como el exceso de nivel que puede manejar la salida respecto al nivel medio nominal de la señal antes de llegar a la saturación (recorte). Por ejemplo, si el nivel nominal de señal para determinado equipo es de 4 dBu (1,23 V) y éste puede funcionar sin saturarse con señales de hasta 24 dBu (12,3 V), entonces su margen de sobrecarga MS (en inglés, HR) será

$$MS = 24 \text{ dBu} - 4 \text{ dBu} = 20 \text{ dB}.$$

En las consolas la mayor dificultad aparece en los mezcladores, ya que reciben multitud de señales (provenientes de los canales de entrada, de los grupos y de los retornos auxiliares) que se suman elevando el nivel de la salida.

Supongamos, por ejemplo, una consola de 24 canales, con 4 grupos y 6 retornos auxiliares, y que cada uno de ellos vuela sobre el bus principal una señal cuyo nivel se ha ajustado a su valor nominal de 4 dBu. Eso significa que existen sobre el bus principal 34 señales de valor eficaz 1,23 V. Esto implica que a la salida del sumador habrá 1,23 V debidos a cada una de estas señales. Una característica importante de los niveles es que no se suman directamente, sino que hay que expresarlos primero en términos de potencia. Si la resistencia de carga es, por ejemplo, de 10 KΩ, entonces la potencia entregada por cada señal es

$$Pot_{1\text{ señal}} = \frac{1,23^2}{10000} = 0,15 \text{ mW}.$$

Entonces la potencia de las 34 fuentes es

$$Pot_{34\text{ señales}} = 34 \times 0,15 \text{ mW} = 5,1 \text{ mW},$$

de donde la tensión *eficaz* equivalente resulta ser (ver sección 7.6)

$$V_{34\text{ señales}} = \sqrt{10.000 \times 0,0051} = 7,15 \text{ V},$$

que corresponde a un nivel de tensión en dBu de

$$N_{\text{dBu}} = 20 \log_{10} \frac{7,15}{0,775} = 19,3 \text{ dBu}.$$

En este caso se necesitará, por lo menos, un margen de sobrecarga

$$MS = 19,3 \text{ dBu} - 4 \text{ dBu} = 15,3 \text{ dB},$$

por lo cual una consola como la anterior (MS = 20 dB) puede utilizarse satisfactoriamente para *esta* mezcla.

Se puede demostrar que cada vez que se duplica la cantidad de señales de una mezcla el nivel de tensión de salida aumenta 3 dB, lo cual implica que *en las consolas con gran número de canales se requiere un margen de sobrecarga muy grande*.

En los casos en que el margen de sobrecarga no alcance para cubrir las necesidades de una mezcla determinada, se hace necesario reducir (mediante el ajuste de nivel) el

nivel de señal de las entradas. Dado que esta reducción afecta sólo a la señal y no al ruido generado por el resto del circuito, se destina mejor la relación señal / ruido. Esto es todavía más problemático cuando hay un gran número de canales, ya que el nivel de ruido también aumenta 3 dB cada vez que se duplica el número de canales efectivamente utilizados. Por esta razón es recomendable llevar al mínimo ($-\infty$) el fader de todo canal que no se esté utilizando.

En general conviene que las entradas tengan el máximo nivel que resulte compatible con el margen de sobrecarga disponible. Cuando se utilizan todos los canales, dicho nivel está cerca del nivel nominal. Cuando se utilizan sólo unos pocos canales, es posible trabajar con niveles algo mayores que el nominal, mejorándose así la relación señal/ruido.

25.9. Especificaciones de las consolas

Hemos insistido en los capítulos anteriores sobre la necesidad de prestar gran atención a las especificaciones de los diversos componentes de un sistema de sonido. En el caso de las consolas dicha atención debe redoblarla, porque es muy sencillo proporcionar datos falsos, o que se prestan a interpretaciones equivocadas sobre la capacidad real de las mismas (lo cual sucede con demasiada frecuencia).

Hay algunas especificaciones obvias, como el número de canales de entrada, la cantidad de conexiones auxiliares y de grupos. Inclusive el diagrama de bloques del conexiónado interno, que no es en sí una especificación, nos puede informar sobre la aptitud *desde el punto de vista de la conectividad* de determinado modelo para el tipo de trabajo que se va a realizar con la consola.

Otras especificaciones que en principio parecerían similares a las correspondientes a otros equipos (distorsión, ruido, separación de canales) ofrecen, en cambio, algunas dificultades. En estos casos es sumamente importante que la especificación se brinde adjuntando las condiciones bajo las cuales se mide o determina. Hay que tener en cuenta que muchas consolas disponibles comercialmente carecen por completo de esta información, y por lo tanto o bien están proporcionando datos intencionalmente engañosos, o bien las mediciones no se han realizado con un mínimo de seriedad que garantice que los valores sean confiables.

25.9.1. Distorsión

La primera especificación es la **distorsión**. En general se da la distorsión total armónica, THD, y en algunos casos la distorsión por intermodulación, IMD. Los datos mínimos requeridos son los siguientes:

- 1) La frecuencia de la señal senoidal de prueba. Normalmente es 1 kHz, pero sería deseable también disponer de los valores de distorsión a otras frecuencias, por ejemplo 100 Hz y 10 kHz.
- 2) El punto donde se inyecta la señal. En general es la entrada de línea de un canal, pero podría ser un retorno auxiliar o una conexión de inserción.
- 3) La ubicación de los **faders**. Normalmente en su punto nominal (0 dB), aunque a veces se estipula que se ubican en "posiciones típicas", lo cual es ambiguo.
- 4) El nivel de entrada y salida. Debería ser un valor elevado (especialmente a la salida), como 15 ó 20 dBu. En muchos casos se indica la distorsión para una salida de níquel.

vel nominal, por ejemplo 4 dBu. Esto no es demasiado útil, ya que la distorsión es un problema para niveles *altos*, y no bajos.

5) Si se incluye el ruido en la medición o si se tomaron recaudos para medir solamente (y en forma precisa) los armónicos generados por la distorsión no lineal. Esta información está relacionada con la forma más común de medir la distorsión total armónica, que consiste en filtrar la componente fundamental y medir el resto. El problema es que si la distorsión es muy baja, el ruido puede modificar el resultado, a menos que se utilice un analizador de espectro para medir los armónicos individuales.

25.9.2. Ruido

La segunda especificación, de importancia fundamental en una consola, es el ruido. Al igual que en otros equipos, puede especificarse en una multitud de formas: como nivel de tensión del ruido a la salida en dBu, como relación señal/ruido, como nivel referido al nivel nominal, como ruido equivalente a la entrada en dBu o dBm, etc. Dado que una consola tiene diversas salidas, la especificación puede variar según a qué salida se refiera. Las condiciones de medición que es necesario conocer son, como mínimo, las siguientes:

- 1) Salida sobre la cual se mide el ruido (puede ser una salida principal, de grupo, una salida directa de canal (*post fader*), un envío auxiliar, un envío de inserción, etc.).
- 2) Posición de los faders de canal y de la salida que corresponda. Aquí es importante resaltar que el ruido cuando todos los faders de canal están al mínimo es siempre menor que cuando están todos en la posición nominal, o, peor aún en su punto máximo. Por esa razón, hay que cuidarse de las especificaciones que carecen de este dato, así como de aquellas que dan el ruido con todos los faders al mínimo o bien con todos menos uno al mínimo.

3) Posición de los controles del ecualizador (deberían ser las posiciones centrales, ya que en caso contrario podría estar acentuándose el ruido en determinada banda, o bien reduciéndose).

- 4) Banda de frecuencias del filtro utilizado para medir el ruido. Normalmente, debería cubrir el rango de 20 Hz a 20 kHz.
- 5) En caso en que se suministre la relación señal/ruido, el nivel de señal utilizado (normalmente 4 dBu).

6) En caso en que se indique el ruido equivalente de entrada (lo cual es habitual en las entradas de micrófono), la resistencia equivalente de la fuente de señal (típicamente, 150 Ω). Esto es debido a que las resistencias tienen ruido propio, denominado ruido térmico, y es necesario poder discriminar qué parte del ruido se debe a la resistencia y qué parte al circuito de entrada. Por ejemplo, una resistencia de 150 Ω produce un ruido propio de 0,22 µV, equivalente a un nivel de tensión de -131 dBu. Si el preamplificador a su vez tiene un ruido de igual valor, al conectárselo un micrófono de 150 Ω el ruido se incrementaría hasta -128 dBu. Vemos que si sólo se especificara el ruido del preamplificador, la especificación sería 3 dB mejor que lo que realmente es posible obtener en la práctica (dado que los micrófonos siempre tienen alguna resistencia). NOTA: Esta discusión deja de lado el ruido acústico y el ruido eléctrico no térmico del micrófono.

25.9.3. Margen de sobrecarga

La siguiente especificación es el margen de sobrecarga (*headroom*). A veces no se lo especifica como tal sino que se da el máximo nivel de tensión de salida (indicándose

aparte el nivel nominal de señal). Este dato se proporciona con respecto a las diversas salidas de la consola. Es importante que se detalle la resistencia de carga con la cual se realiza la medición, siendo típicamente de 10 kΩ. En general el mayor margen de sobrecarga lo tienen las salidas principales. Una especificación típica podría ser de 27 dBu de nivel máximo en la salida principal. En este caso, si suponemos un nivel nominal de 4 dBu, el margen de sobrecarga resulta de 23 dB.

25.9.4. Separación de canales

Otra especificación de las consolas es la separación de canales (*crosstalk*) o diafonía, definida como *la diferencia de nivel entre las señales de dos canales de salida ante una señal de entrada dirigida enteramente a uno de ellos*. En la práctica, se suele determinar aplicando señal a un canal de entrada "cerrado" (es decir cuyo fader está al mínimo) y midiendo la señal a la salida con los otros canales "abiertos" (faders en 0 dB, es decir ganancia 1). De esta manera se asegura que la señal que se "filtró" del canal excitado hacia los otros canales llegue a la salida por múltiples caminos, obteniéndose así el peor caso. Otra posibilidad sería "abrir" uno solo de los canales restantes, en cuyo caso se obtendría un valor más engañosamente promisorio, ya que la señal que se "filtró" tendría sólo una vía hacia la salida.

Para que la especificación de separación de canales no resulte ambigua es necesaria la siguiente información complementaria:

- 1) La frecuencia del tono senoidal aplicado. Normalmente se utiliza 1 kHz, pero dado que la separación de canales depende de la frecuencia, sería interesante también tener información relativa a otras frecuencias.
- 2) La banda de frecuencia en la cual se hizo la medición. Normalmente, dicha banda es la de 20 Hz a 20 kHz, lo cual no ofrece dificultades cuando la separación de canales no es muy alta. En las consolas con gran separación de canales, el ruido eléctrico puede ser comparable a la señal que se filtra de un canal a otro, y entonces es necesario restringir la medición a una banda angosta abrededor de la frecuencia de excitación.
- 3) Un detalle de las posiciones de los controles y ajustes involucrados. Por ejemplo, podría ocurrir que la medición se efectúe con todos los faders de canal al mínimo excepto uno físicamente distante del canal excitado. Dado que el pasaje de señal parásita de un canal al otro depende de fenómenos de acoplamiento magnético (efecto transformador) y electrostático (efecto capacitivo), a mayor separación física, menor interacción. Esto significa que el valor medido parecerá mejor que si el canal abierto fuera adyacente al excitado.
- Conviene señalar que, lamentablemente, existen dos convenciones opuestas para la separación de canales. Una la expresa con un número positivo de dB, por ejemplo 83 dB, y la otra con un número negativo de igual valor absoluto, por ejemplo -83 dB. En el primer caso se está restando el nivel de la señal directa menos el nivel de la señal filtrada, y en el otro, exactamente al revés. Esta aclaración permite comparar dos consolas de diferentes marcas, aunque una declare una separación de canales de -75 dB y la otra de 81 dB.

25.9.5. Respuesta en frecuencia

La respuesta en frecuencia se define del mismo modo que para otros equipos. Dentro de las condiciones de medición es importante indicar:

- 1) En qué posición se ubican los controles de los ecualizadores. Normalmente, deberían estar planos (0 dB).

- 2) Si se han intercalado o no los filtros pasaalto y pasabajo.
 3) El nivel de señal para el cual se ha realizado la medición. Esto es importante, ya que para señales de alta frecuencia y alto nivel aparece una distorsión debida a que el amplificador mezclador tiene un límite en cuanto a la velocidad con que puede variar su salida (dicho límite se denomina *slew rate*). Esto implica que para señales de gran nivel la frecuencia superior de corte se reduce.

- 4) El tipo de entrada (por ejemplo entrada de línea, entrada de micrófono, retorno auxiliar, etc.) y de salida (envío auxiliar, salida principal, etc.) para los cuales vale el dato suministrado.

Sin intercalar los filtros, la respuesta en frecuencia debería cubrir de la manera más plana posible (es decir, con fluctuaciones de ganancia menores de 1 dB) el rango entre 20 Hz y 20 kHz. Muchas consolas extienden la respuesta en alta frecuencia hasta 50 kHz o aun 100 kHz. Una de las razones que se argumentan para ello, es que de esa manera se logra una menor variación de fase en la región más alta del espectro audible, es decir entre 16 kHz y 20 kHz (debido a que cerca de la frecuencia de corte la fase varía considerablemente). Sin embargo, la longitud de onda de un sonido de 16 kHz es de sólo 2 cm, por lo tanto un error de fase tan alto como un cuarto del período (como el que se tiene generalmente en la frecuencia de corte) causaría un error de localización de apenas 0,5 cm, ¡mucho menor que los movimientos habituales de la cabeza! Otra razón esgrimida en favor de una respuesta en frecuencia muy amplia es que de esa forma se reproducen mejor los transitorios muy bruscos, como un golpe de la percusión. Sin embargo, el propio oído no es capaz de reaccionar ante dichos transitorios, por lo cual es irrelevante, desde el punto de vista auditivo, si se los reproduce o no con extrema fidelidad. Hay una tercera razón, más atendible que las anteriores, y es que en general las señales que maneja una consola no van a ser escuchadas directamente, sino después de atravesar diversos procesadores, algunos de los cuales podrían utilizar ciertas características de alta frecuencia de la señal que podrían estar ausentes si la respuesta se limita a 20 kHz.

La principal desventaja de una respuesta frecuencial excesiva es que podrían agregarse a los buses de mezcla señales espurias o ruidos que a pesar de estar fuera del rango audible, incrementarían innecesariamente el nivel general de la mezcla, consumiendo parte del margen de sobrecarga que podría aprovecharse para obtener una mejor relación señal/ruido.

25.9.6. Impedancias de entrada y salida

Es importante conocer las impedancias de entrada y salida porque ellas condicionan fuertemente el tipo de dispositivos que pueden conectarse a la consola. En general las impedancias de entrada de línea están en el orden de 10 kΩ, mientras que las de salida se aproximan a los 100 Ω. Las entradas de micrófono son del orden de 1 kΩ, de manera de no cargar excesivamente al micrófono, pero al mismo tiempo no incrementar el ruido.

25.9.7. Indicadores

Se suelen detallar los diversos señalizadores luminosos, como por ejemplo LEDs indicadores de solo y sordina, de sobrecarga (recorte o saturación), de encendido, de conexión de la fuente fantasma, de tipo de envío auxiliar, etc.

25.9.8. Otras especificaciones

Las restantes especificaciones son de carácter administrativo, como por ejemplo las dimensiones, peso, tipo de montaje (rack, mesa), condiciones ambientales de operación y almacenamiento (rango de temperatura y humedad), tipo de alimentación y consumo de energía eléctrica, etc. Estos datos no aportan nada nuevo desde el punto de vista funcional, aunque pueden constituir importantes elementos de decisión a la hora de adquirir una consola.

25.10. Conexionado

El correcto conexionado y cableado de los equipos de sonido es muy importante, ya que es lo que garantizará que la captación de ruidos por efecto antena resulte lo menos posible.

25.10.1. Blindaje

Todo cable se comporta como una antena capaz de emitir y captar ondas electromagnéticas de diversas frecuencias. Si bien las ondas captadas son en general de bajo nivel, hay que tener en cuenta que las señales útiles que transporta un cable pueden tener un nivel tanto o más bajo, por lo cual se hace necesario tomar medidas para reducir lo más posible tanto la energía radiada como la captada. Un recurso relativamente simple para ello es utilizar cables blindados. Dichos cables contienen una funda metálica (blindaje) alrededor del o los conductores que llevan la señal propiamente dicha.

La acción del blindaje se basa en dos principios físicos:
 1) Dentro de un espacio rodeado por una cubierta metálica (llamada jaula de Faraday en honor a Michael Faraday, físico inglés que descubrió este hecho) no hay campos eléctricos provenientes del exterior.

2) Las corrientes inducidas en un conductor (en este caso el blindaje) tienden a canalizarse predominantemente por los circuitos de menor impedancia a los que esté conectado. Conectando el blindaje a masa, se consigue que toda corriente inducida por ruido vaya a masa.

El blindaje puede ser mediante un malla do, que deja ciertos intersticios por los cuales podrían ingresar radiofrecuencias, o por medio de una funda eléctricamente hermética que se logra arrollando una cinta metálica alrededor de los conductores principales.

Es importante que el blindaje no sólo esté presente en el cable, sino también en los conectores. Por este motivo son preferibles los conectores con cubierta metálica, que aseguran el blindaje en todo el trayecto de señal. Los conectores XLR poseen siempre ese tipo de cubierta, y esa es una de las razones para su amplia aceptación para conexión de micrófonos.

25.10.2. Conexiones balanceadas

Ya hablamos visto en el capítulo 8 el principio sobre el que se basan las conexiones balanceadas. Sintéticamente, dado que no es posible eliminar del todo las tensiones y corrientes de ruido captados por un cable, se reparte la señal en dos mitades, una positiva y la otra negativa respecto al blindaje, y se envía cada una por un conductor. Entonces, al estar los dos conductores físicamente muy próximos, captan casi el mismo ruido, y dado

que la consola tiene un amplificador diferencial a su entrada que resta las señales en los dos conductores, el ruido tiende a cancelarse.

Este tipo de conexión se implementa tanto con conectores XLR como TRS, y se utiliza para las señales de micrófono y las de línea.

25.10.3. Panel de conexiones (patch bay)

El panel de conexiones (patch bay) de una consola está formado por la totalidad de las entradas y salidas, es decir, entradas de línea y de micrófono, envíos y retornos auxiliares y de inserción, salidas, salidas principales, de grupo y directas, etc. Suele estar en la parte frontal de la consola, antes de los ajustes de nivel de entrada de los canales (Figura 25.2), o bien directamente sobre la parte posterior del gabinete, o bien repartido entre ambas partes.

En muchos casos es conveniente o aun necesario suplementar este panel con uno externo, montado en un rack (armazón metálico modular de ancho estándar de 19", es decir 48.26 cm, sobre el cual se atornillan los diferentes procesadores, efectos, etc.). Al frente de este panel externo hay multitud de tomas identificadas con letras, que ponen a disposición del operador una copia bien organizada de las conexiones de la consola y de los procesadores que se utilizan más frecuentemente. Esto facilita mucho el conexionado, además de permitir el uso de cables cortos, reduciendo la posible captación de ruidos por efecto antena. Las conexiones permanentes entre el resto de los equipos y el panel de conexiones exterior se realizan por la parte posterior del mismo.

Hay que destacar que cada operador organiza sus paneles de conexión de acuerdo a su conveniencia y según los equipos que posea. Una distribución pensada cuidadosamente permite ahorrar mucho tiempo y evitar errores.

25.10.4. Puesta a tierra

Una cuestión importante en un sistema de sonido es la puesta a tierra. La puesta a tierra cumple básicamente dos objetivos: 1) aumentar las condiciones de seguridad con que se trabaja, y 2) reducir lo más posible las interferencias y los ruidos.

Antes de proseguir, es conveniente distinguir tres conceptos diferentes de "tierra" que a veces se confunden.

El primero es la tierra física que constituye el suelo. Este material, debido a la humedad y al gran contenido de sales, es un buen conductor de la electricidad, y debido a su gran sección, tiene muy baja resistencia. En las usinas eléctricas, uno de los dos conductores provenientes de los generadores (Figura 25.13), denominado neutro, se conecta efectivamente a tierra por medio de grandes barras o caños metálicos. El otro,

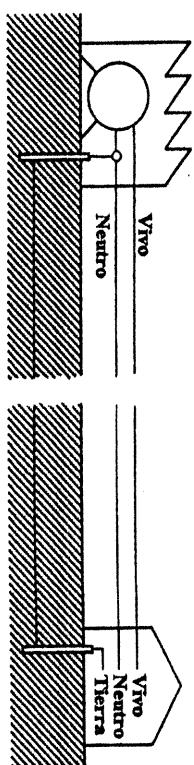


Figura 25.13. Concepto de tierra en una instalación de distribución de energía eléctrica. A la izquierda, la usina; a la derecha, el usuario.

El tercer concepto es el de masa circuitual o referencia de tensión, es decir un punto del circuito al cual se le asigna convencionalmente un valor de tensión de 0 V, y respecto al cual se miden todas las otras tensiones del circuito. En general, corresponde a las pistas más gruesas de los circuitos impresos, y en el caso de las señales no balanceadas, corresponde al blindaje de los cables correspondientes. En este sentido, se trata de una masa local para la circuitería electrónica, en contraposición con la masa global de un artefacto completo.

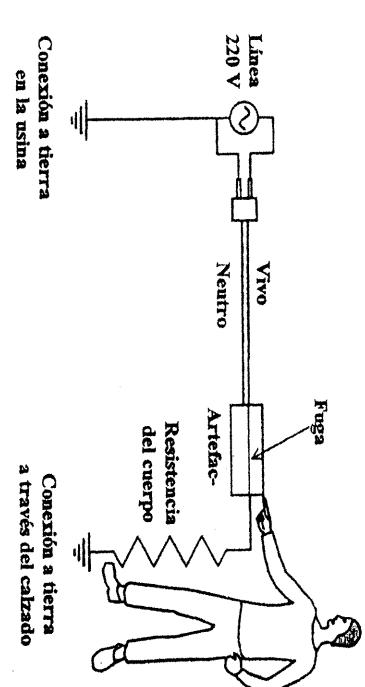


Figura 25.14. Circulación de corriente a través del cuerpo a causa de un artefacto sin conexión a tierra.

denominado vivo, se envía directamente a la distribución. El vivo y el neutro llegan a los terminales de los tomacorrientes, donde se enchufan los artefactos. La conexión a tierra consiste en agregar un tercer conductor conectado a tierra por medio de una jaula, que es normalmente un caño galvanizado enterrado hasta uno o dos metros bajo tierra. Idealmente, no debería haber tensión entre el neutro y la conexión a tierra, pero debido a la resistencia de los cables, existen pequeñas caídas de tensión en el cable de neutro que hacen que entre el neutro y la tierra aparezca una pequeña tensión.

El segundo concepto es el de masa, que consiste en un cable conectado al chasis y a las partes metálicas del gabinete y de un artefacto. Como norma general, la masa debe conectarse a tierra, ya que de esa forma se evitan riesgos de shock eléctrico. En efecto, el shock eléctrico se produce cuando por alguna razón existe una fuga del vivo hacia el chasis de un equipo. Al tocar partes metálicas del gabinete, se cierra un circuito entre el vivo y la tierra a través del cuerpo, que actúa como conductor eléctrico (Figura 25.14). Si se conecta la masa a tierra, en caso de haber fugas las corrientes circularán directamente a tierra sin pasar por el cuerpo, debido a que dicha conexión tiene una resistencia mucho menor que el cuerpo. Es importante tener en cuenta que una fuga puede producirse por múltiples razones: acumulación de polvo, humedad, desgaste de la cubierta aislante de un cable, aflojamiento de alguna parte del equipo y consecuente contacto con un punto con tensión, objetos metálicos que penetran a través de las ranuras de ventilación, etc. Aún cuando en un equipo nuevo sea poco probable este tipo de fallas, el uso continuo puede conducir a que se produzcan.

No sólo son estas tierras diferentes, sino que también lo son, en general, sus tensiones. En algunos equipos la masa global y la masa circuital están eléctricamente aisladas, pero dado que dichas masas son accesibles exteriormente (a través del terminal de conexión a tierra y del terminal común de los conectores de señal), es posible unirlas externamente. Otros equipos tienen la masa global y la masa circuital unidas internamente.

En condiciones ideales, las tres tierras deberían unirse, ya que teóricamente de esa forma se reduce el ruido de modo común captado por el propio blindaje de los cables blindados. Sin embargo, cuando hay varios equipos interconectados, es preciso proceder con cautela para evitar los denominados bucles de tierra. Para comprender este concepto, consideremos el ejemplo de la Figura 25.15. Se trata de dos equipos conectados a través de un cable con blindaje para señal balanceada. Ambos tienen conexión a tierra, y ambos tienen su masa circuital conectada a la masa global (chasis). Resulta que a través del blindaje se cierra un bucle o lazo cerrado con la tierra, como se aprecia en la Figura 25.15. Dicho bucle se comporta como una antena de cuadro (similar a las de televisión), captando con gran efectividad los ruidos de baja frecuencia provenientes de ondas electromagnéticas presentes en la zona. La razón física para ello es que opera como una

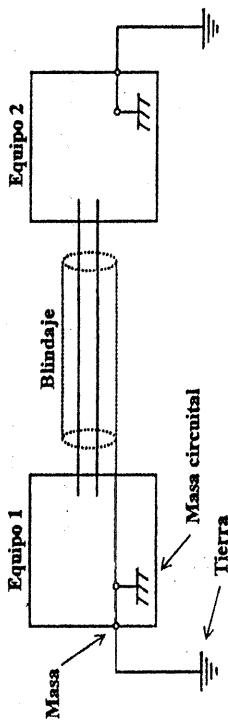


Figura 25.15. Ejemplo de cómo se crea un bucle de tierra cuando se interconectan dos equipos con conexión a tierra.

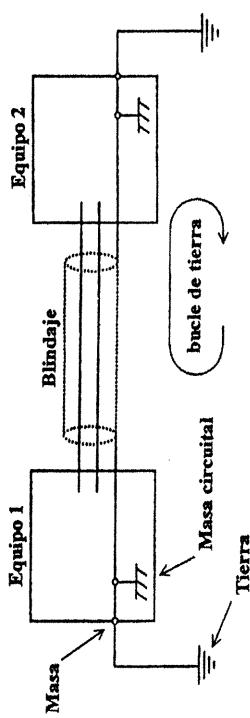


Figura 25.16. Modificación del conexionado de la figura anterior para eliminar el bucle de tierra. Obsérvese que el blindaje está conectado de un solo lado. Esta conexión utiliza el denominado blindaje telescopico.

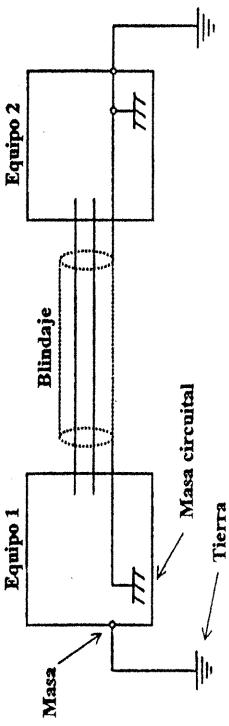


Figura 25.17. Conexión de las masas en estrella para evitar el bucle de tierra.

25.10.5. Cajas directas

Las cajas directas resuelven el problema de la desadaptación de impedancia entre determinados dispositivos y la entrada de micrófono de una consola. El ejemplo típico es el captor (pick up) de una guitarra eléctrica. Normalmente éste proporciona una señal de nivel un poco mayor que un micrófono profesional típico, no balanceada y con una alta impedancia interna, mientras que las entradas de micrófono son balanceadas y de baja impedancia (del orden de $1\text{ k}\Omega$). Si se conecta directamente el captor a esta entrada, existirán serios problemas de ruido, además de una caída y degradación considerable de la señal. Esto no sucede al intercalar una caja directa.

Las cajas directas contienen un transformador de alta calidad que aumenta la impedancia vista del lado de la fuente, reduciendo en menor medida la tensión.

25.11. Conclusión

La consola de mezcla es, conceptualmente, un sistema sencillo, ya que se limita a amplificar y sumar señales. Sin embargo, la gran diversidad de posibilidades y la alta complejidad que exhibe la transformación en un artefacto de considerable complejidad, que

gran espira atravesada por campos magnéticos variables, particularmente de la frecuencia de la línea de alimentación (50 Hz ó 60 Hz) y sus armónicos, induciéndose tensiones y por lo tanto corrientes que a su vez introducen ruido en el circuito de la señal. Hay varias formas de eliminar los bucles de tierra. La idea general es no permitir que las tres tierras se conecten entre sí en más de un punto. En la Figura 25.16 se muestra una primera solución: el blindaje telescopico, que consiste en conectar el blindaje a masa en *un solo extremo*. Esta conexión sólo es posible cuando la señal es balizada, por dos razones: 1) no puede interrumpirse el retorno de corriente, y 2) se generarian bucles de tierra en el camino de la señal, lo cual sería muchísimo más grave.

Otra solución es la conexión de las masas circuitales en estrella (Figura 25.16). Esta solución, que puede aplicarse con equipos cuya masa circuital está desvinculada de la masa global (chasis), consiste en conectar todas las masas circuitales entre sí, y luego conectar el conjunto así formado a un solo chasis. Finalmente, por razones de seguridad se conectarán todos los chasis a tierra, incluido el que se conecte a las masas circuitales.

obliga a un conocimiento detallado de todas sus características si se desea sacarle el máximo provecho.

Por otra parte, dado que todas las señales presentes en un sistema de sonido tarde o temprano pasan por la consola, sus especificaciones influyen de manera determinante sobre el producto final: *la mezcla*. Por ese motivo, debe prestarse especial atención a estas especificaciones, que en muchos aspectos deben superar a las de otros componentes del sistema. Por ejemplo, si el ruido de un procesador en serie es de -75 dBu, el de una consola de 24 canales debe ser 14 dB menor (es decir -89 dBu) para no degradar la mezcla final más que lo que lo hacen los procesadores (suponiendo que los 24 canales van a ser tratados por procesadores similares).

Estas consideraciones muestran por qué es tan difícil proyectar una consola de gran cantidad de canales compatible con las exigencias actuales en cuanto a ruido y distorsión, y también por qué es frecuente encontrar especificaciones de consolas sumamente incompletas que intencionalmente o no pasan por alto deficiencias insalvables a la hora de realizar trabajos de mezcla de gran complejidad.

Finalmente, tanto para sonido en vivo (refuerzo sonoro) como en estudio (grabación, transmisión de radio o televisión), debe cuidarse a la interconexión de todos los componentes del sistema, ya que es demasiado sencillo cometer errores que degraden considerablemente el rendimiento global del sistema.

CG &C

Glosario¹

A

A: Abreviatura de Amper.

Absorción sonora: (sound absorption) Acción que lleva a cabo toda superficie en mayor o menor grado, absorbiendo y eliminando parte de la energía sonora que incide sobre ella.

Acople: (feedback) Fenómeno de realimentación electroacústica entre un altavoz y un micrófono que da origen a silbidos o zumbidos autosostenidos.

Acorde: (chord) En música, cualquier superposición de dos o más sonidos de características de un ambiente que determinan cómo se comporta en él el sonido.

Adaptación de impedancia: (impedance matching) 1. En términos generales, cualquier relación entre las impedancias de una fuente y una carga que maximiza la magnitud de la señal que resulte más importante para una aplicación. Por ejemplo, si lo que se desea es máxima *ínsersion*, la adaptación implica que la impedancia de carga sea alta con respecto a la de la fuente. 2. Específicamente, relación entre las impedancias de una fuente y de la carga que hacen máxima la transferencia de potencia.

AES/EBU: Protocolo de comunicación digital en dos canales, utilizando conectores XLR.

Aislación acústica: (acoustical insulation) Acción que lleva a cabo cualquier tabique divisorio entre dos ambientes impidiendo en mayor o menor medida el paso de energía acústica de uno a otro lado (puede incluir ondas inaudibles, ultrasónicas y subsónicas).

Aislación sonora: (sound insulation, soundproofing) Acción que lleva a cabo cualquier tabique divisorio entre dos ambientes impidiendo en mayor o menor medida el paso de energía sonora de uno a otro lado.

α : Abreviatura de coeficiente de absorción sonora.

Algoritmo: (algorithm) 1. Procedimiento de cálculo (utilizado especialmente en el procesamiento digital de señales) para realizar una función específica (filtrar, agregar efectos, retardar, etc.). 2. En síntesis de sonidos por modulación de frecuencia, una determinada estructura de interconexión de moduladores.

Alias: (alias) Ver frecuencias alias.

Aliasing: Un tipo de distorsión que se produce cuando no se cumple el teorema de muestreo (es decir, cuando en una señal a muestrear existen frecuencias más allá de la mitad de la frecuencia de muestreo). Consiste en la aparición de frecuencias alias, es decir, frecuencias inexistentes en la señal original.

Altavoz: (loudspeaker) Transductor que convierte señales eléctricas (en general de potencia) en sonido.

Altavoz de radiación directa: (direct radiator) Altavoz cuyo diafragma se encuentra directamente expuesto sin mediar una bocina u otro acoplador.

Altura: (pitch) Sensación de mayor o menor gravedad o agudeza del sonido.

Ambienta: (ambience) Sensación auditiva por la cual es posible tener una idea de las características de un ambiente: tamaño, posición de las paredes, etc.

amper: Unidad de corriente eléctrica. Se abrevia A.

Amplicificador: (amplifier) Dispositivo para aumentar el nivel de una señal eléctrica.

¹ Este glosario contiene palabras en castellano y en inglés. No obstante, sólo se han incluido palabras inglesas en aquellos casos en que se utilizan con más frecuencia que sus equivalentes en castellano, o cuando no existe una traducción elegante. Las palabras inglesas que no figuran aquí pueden hallarse en el apéndice titulado "Terminología en inglés". Para las palabras en castellano se indica entre paréntesis su equivalencia en inglés, salvo cuando la ortografía es idéntica.

Amplificador controlado: (controlled amplifier) Amplificador cuya ganancia se puede controlar con una variable eléctrica (por ejemplo una tensión).

Amplitud: (amplitude) Valor máximo o de pico de una señal.

Análisis de espectro: (spectrum analysis) Medición cuyo objeto es determinar el espectro de un sonido o señal, es decir, las frecuencias que contiene y sus respectivas amplitudes.

Analizador de espectro: (spectrum analyzer) Dispositivo para realizar un análisis de espectro.

Análogo: (analog) Se dice de cualquier dispositivo que procesa una magnitud física haciendo uso de una analogía que utiliza otra magnitud física. Por ejemplo, procesa el sonido manejando para ello señales eléctricas *análogas* al sonido a procesar.

Análogo/a: (analog) 1. Cualidad de una variable física de evolución temporal es igual a otra. 2. Sistema, dispositivo o señal cuya operación o evolución temporal es igual a la de otro/a.

Ancho de banda: (bandwidth) Diferencia entre las frecuencias máxima y mínima que permite pasar un filtro pasabanda o un dispositivo cualquiera.

Anisotropia: (anisotropy) Cualidad de determinados materiales (particularmente magnéticos) de tener diferentes propiedades en diferentes direcciones.

Armonico: (harmonic) Sonido armónico.

Ataque: (attack) 1. En un sonido, etapa inicial durante la cual la amplitud del sonido se incrementa hasta llegar a un valor máximo. 2. En un procesador dinámico, procesador de efectos, etc., etapa durante la cual se pasa de la situación no activa a la situación activa.

ATRAC: Sistema de compresión psicoacústica del minidisc. 1. Rango de frecuencias audibles. 2. Técnicas y tecnologías aplicadas al procesamiento y la reproducción del sonido.

Audio digital: (digital audio) Serie de técnicas y tecnologías para el procesamiento, almacenamiento y reproducción de señales de audio basadas en la conversión de la señal eléctrica en números.

Audiofrecuencias: (audio frequencies) Frecuencias audibles (entre 20 Hz y 20 kHz).

Azimut: (azimuth) Ángulo que forma el entrehierro de un cabezal de grabación o reproducción con respecto a la perpendicular a la pista.

B

Baffle: Caja acústica.

Baffle cerrado: (closed baffle) Caja acústica hermética.

Baffle ventilado: (open baffle) Caja acústica con un orificio o tubo que comunica su interior con el ambiente.

Banco de filtros: (filter bank) Conjunto de filtros (por lo general digitales) que subdividen todo un rango de frecuencias en subbandas.

Banda: (band) Un intervalo de frecuencias.

Banda de audio: (audio frequency band) Intervalo de frecuencias entre 20 Hz y 20 kHz.

Batido: (beat) Variación de la amplitud de la onda resultante de superponer dos señales de frecuencias parecidas.

Battimento: (beat) Palabra italiana que significa batido o pulsación.

Biamplificación: (biampification) Técnica por la cual se divide la señal en sus componentes de baja y alta frecuencia *antes* de ser amplificada por *dos* amplificadores que alimentan los altavoces de baja y alta frecuencia respectivamente.

Binario: (binary) Se dice de toda magnitud que asume sólo dos valores posibles. Un tipo de conector típicamente utilizado en conexiones de salida de amplificadores, consistente en unos prensacables que ajustan por presión.

Bit: Dígito binario.

Blindaje (shielding, screening) Elemento utilizado para impedir la salida (entrada) de campos eléctricos o magnéticos de (a) un dispositivo, cable, etc.

Blindaje electrostático: (electrostatic shielding) Blindaje que evita la emisión de campos eléctricos provenientes de un cable, o bien el ingreso de éstos al cable. Normalmente es una malla que recubre o envuelve al conductor aislado que lleva la señal, energía eléctrica, etc. A veces es una cinta metálica (por ejemplo de aluminio) arrollada alrededor.

Blindaje magnético: (magnetic shielding): Blindaje que evita que trasciendan campos magnéticos de un transformador, motor, etc. En general es una cubierta de material ferromagnético.

Blindaje telescopico: (telescopic shield) En una línea balanceada, blindaje conectado a la masa circuitual solo de un lado. Se utiliza para evitar bucles de tierra.

Bobina: (coil) Arrollamiento de alambre esmaltado en general alrededor de un núcleo de material ferromagnético. Al ser recorrida por una corriente eléctrica crea un campo magnético.

Boquilla: (horn) Dispositivo acústico para adaptar la alta impedancia acústica de un excitador de compresión a la baja impedancia acústica del aire, y así mejorar el rendimiento.

Bucle de tierra: (ground loop) Camino cerrado que se genera entre un conductor conectado en más de un punto a la tierra física, y la propia tierra. Se comporta como una antena, captando ruidos especialmente de baja frecuencia que producen zumbidos en el sistema.

Bus: Línea omnibus. En una consola, conjunto de líneas que transportan diversas señales hacia las entradas de un sunnado o mezclador. En un sistema digital, conjunto de líneas cada una de las cuales contiene un bit.

C

C: Abreviatura de capacidad.

Cabezal: (head) Dispositivo que contiene los transductores electromagnéticos que permiten grabar, reproducir o borrar una cinta magnética.

Cabezal de borrado: (erasing head) Cabezal por medio del cual se procura eliminar todo vestigio de una señal previamente grabada en una cinta magnética.

Cabezal de grabación: (recording head) Cabezal por medio del cual se registra en cinta una señal.

Cabezal de reproducción: (playing head) Cabezal por medio del cual se reproduce una señal previamente registrada en cinta magnética.

Cabezal rotativo: (rotary head) Cabezal montado sobre un tambor rotativo que se utiliza en cintas de video y audio digital para aumentar la velocidad relativa entre el cabezal y la cinta, extendiendo el ancho de banda de la señal a registrar.

Cable: Conductor eléctrico aislado por una cubierta plástica, en general formado internamente por finas hebras de cobre.

Cable blindado: (shielded cable) Cable que se encuentra en el interior de un mallado de cobre o sobre estañado que lo recubre totalmente (o de una cinta metálica arrollada), aislando de interferencias eléctricas y electromagnéticas. Externamente, la malla se encuentra recubierta por una envoltura plástica.

Cable coaxial: (coaxial cable) Cable blindado formado por un tubo conductor aislado dentro del cual hay otro conductor aislado.

Caja acústica: (baffle) Recinto para evitar la interferencia entre la onda de compresión (delantera) y la de descompresión (trasera) de un altavoz de radiación directa.

Caja directa: (direct box) Dispositivo que utiliza un adaptador de impedancia y un balanceador para permitir la conexión de ciertas fuentes de señal no balanceadas y de alta impedancia (guitarra eléctrica, por ejemplo) a una entrada de micrófono.

Campo sonoro: (sound field) Forma en que varía o se distribuye el sonido en el tiempo y en el espacio.

Campo cercano: (near field) Campo directo.

Campo directo: (direct field) Parte del campo sonoro formada por todas aquellas ondas o frentes de onda que aún no han experimentado ninguna reflexión.

Campo eléctrico: (electric field) Acción a distancia de una carga eléctrica, consistente en la atracción de las cargas de diferente signo o la repulsión de las de igual signo.

Campo lejano: (far field) Campo reverberante.

Campo libre: (free field) Campo sonoro en el cual no existen obstáculos para las ondas sonoras o poros.

Campo magnético: (magnetic field) Acción a distancia creada por una corriente eléctrica o por un material magnetizado consistente en la aparición de fuerzas sobre cargas móviles o sobre otros materiales ferromagnéticos.

Campo reverberante: (reverberant field) Parte del campo sonoro formada por aquellas ondas que han sufrido al menos una reflexión.

Canal: (channel) 1. En una consola, cada uno de los subsistemas que procesan señales independientes. 2. En un sistema MIDI, cada una de las partes que reciben mensajes independientes.

Cannon: Un tipo de conector balanceado normalmente utilizado para micrófonos o señales de nivel de línea. También denominado XLR.

Capacidad: (capacity) Magnitud C asociada a un capacitor igual a la carga eléctrica acumulada dividida por la tensión aplicada: $C = Q/V$. Se mide en faradios, F.

Capacitor: (capacitor) Componente eléctrico formado por dos placas conductoras enfrentadas y separadas por aire u otro material aislante. Cada placa está conectada a un terminal. Al aplicarse una tensión entre sus terminales acumula cargas opuestas entre sus plazas.

Cardiode: (cardioid) Tipo de micrófono cuyo diagrama direccional tiene forma similar a un corazón, con máxima sensibilidad hacia adelante y mínima hacia atrás.

Carga: 1. (load) Cuálquier componente, dispositivo, equipo, etc. que se conecte a una fuente, sea ésta de señal o de alimentación. 2. (charge) Carga eléctrica.

Carga eléctrica: (electric charge) Magnitud física básica de la electricidad,abbreviada Q. Puede ser positiva o negativa. Dos cuerpos con cargas opuestas se atraen, y con cargas iguales se repelen.

CD: Disco compacto (siglas en inglés). Disco de tecnología óptica (laser) para reproducción de audio digital de alta calidad.

CD-ROM: Memoria ROM que utiliza un disco compacto como soporte. Se utiliza en computación para almacenar programas o datos, entre ellos, archivos de sonido en formatos .WAV, .VOC, MP3, etc.

Chorus: Coro. Efecto que consiste en un vibrato superpuesto a la señal seca.

Ciclo: (cycle) Referido a una onda periódica o cuasiperiódica, cada porción que se repite.

Ciclo de histeresis: (hysteresis cycle) Lazo cerrado que ilustra la relación entre la fuerza magnetizante y el campo magnético cuando la primera varía alternativamente entre un máximo y un mínimo.

CIRC: (cross-interleaved Reed-Solomon code) Código de intercalación cruzada de Reed-Solomon (siglas en inglés) (ver Reed-Solomon).

Círcuito eléctrico: (electric circuit) Interconexión de componentes eléctricos formando uno o más lazos cerrados.

Cobertura de una fuente: (coverage) Ángulo que abarca a uno y otro lado de su eje de simetría una fuente sonora, como un altavoz, una bocina, etc.

Coeficiente de absorción sonora: (sound absorption coefficient) Fracción de la energía sonora que incide sobre un material o estructura superficial que resulta absorbida (a veces se expresa como porcentaje).

Coma flotante: (floating point) Sistema de representación de un número en el cual se utiliza una mantisa y un factor de escala o exponente. Se utiliza en la codificación PASC.

Compresión: (compression) Acción de reducir el rango dinámico de una señal.

Compresión de datos: (data compression) Reducción de la información digital que es necesario almacenar respecto a su versión original, de manera de ahorrar espacio de almacenamiento.

En general se basa en aprovechar algunas características de la señal a almacenar (por ejemplo, eliminar componentes inaudibles del sonido).

Compresión psicoacústica: (psychoacoustic compression) Compresión de datos de audio digital que aprovecha el efecto de enmascaramiento para reducir la información requerida.

Compresor: (compressor) Equipo que recibe una señal y reduce su rango dinámico en función de parámetros ajustados por el usuario.

Compuerta: (gate) Dispositivo que cierra la entrada cuando ésta no alcanza a tener un nivel comparable al mínimo conocido de la señal, y por lo tanto se presume que es ruido. Mejora el rango dinámico aparente de la señal, "limpiando" los silencios.

Condensador: (condenser) Capacitor.

Conductor: (conductor) Cualquier material que permite fácilmente la circulación de la corriente eléctrica. Los metales son en general buenos conductores, especialmente la plata, el cobre y el oro.

Conectividad: (connectivity) Calidad de un sistema de permitir variedad y flexibilidad en las conexiones entre las partes que lo constituyen.

Conector: (connector) Dispositivo que permite una conexión segura y confiable entre dos conductores. Algunos tipos de conectores de gran popularidad en Audio son los RCA, TRS, TS, XLR.

Conexión a masa: (ground) Conexión entre la referencia o tierra circuital y la masa o chasis metálico de un equipo.

Conexión a tierra: (safety ground) Conexión entre la masa o chasis metálico de un equipo y la tierra física. Se utiliza por razones de seguridad, y en una instalación bien hecha se realiza a través de la pata central de un enchufe de tres patas.

Conexión balanceada: (balanced connection) Tipo de conexión de tres conductores, uno de ellos conectado a masa y los otros con tensiones opuestas. Se utiliza para aumentar la inmunidad a ruidos de las señales de bajo nivel, como las de los micrófonos.

Conexión de inserción: (insert) En una consola, conexión para intercalar un procesador en serie.

Consola: (mixing console) Nombre genérico de un dispositivo con varios canales de entrada y de salida en los que se lleva a cabo la mezcla en distintas proporciones, y después de pasar por diversos procesadores, de varias señales provenientes de micrófonos, sintetizadores, etc.

Conversor analógico/digital: (analog to digital converter) Dispositivo que convierte valores de una señal eléctrica en números, en general binarios.

Conversor digital/analográfico: (digital to analog converter) Dispositivo que convierte números, en general binarios, en valores de tensión o corriente eléctrica.

Consonancia: (consonance) Sensación auditiva evocada por dos sonidos superpuestos que no provocan pulsaciones.

Coro: (chorus) Efecto que consiste en un vibrato superpuesto a la señal seca.

Corrección de errores: (error correction) Operación llevada a cabo en los sistemas de registro o transmisión digital por la cual se corrigen algunos tipos de errores.

Corriente: (current) Corriente eléctrica.

Corriente eléctrica: (electric current) 1. Circulación de cargas eléctricas por un conductor. 2. Por abuso de lenguaje, intensidad de corriente eléctrica.

Corrientes de Foucault: (Foucault currents) Corrientes arremolinadas que se producen en un material ferromagnético conductor en presencia de un campo magnético variable. Disipan potencia y reducen el campo magnético efectivo en alta frecuencia.

Cross-over: Filtro divisor de frecuencia.

Cross-over pasivo: (passive cross-over) Divisor de frecuencia en incluido en las cajas acústicas multivía (dos o tres altavoces) que utiliza filtros de bobinas y capacitores.

Cross-over activo: (active cross-over) Divisor de frecuencia activo (los filtros contienen amplificadores de bajo nivel y capacitores, pero no inductancias) para bi o multiamplificación.

Cuadro: (frame) En audio digital, paquete de bits que es tomado por los codificadores de los sistemas de corrección de errores.

Cuasiperiodico/a: (quasi periodic) Se dice de un fenómeno, señal, etc. que se repite cada cierto tiempo T con pequeñas variantes, por ejemplo el sonido de un piano, que de un ciclo al siguiente cambia muy poco.

Cunas acústicas; (anechoic wedges) Terminación superficial en forma de cunas de un material absorbente acústico a fin de aumentar la superficie efectiva y por lo tanto su coeficiente de absorción.

Curva de transferencia; (transfer graph) Representación gráfica de la relación entre la entrada y la salida de un sistema, dispositivo, etc.

Curvas de Fletcher y Munson; (Fletcher and Munson graphs) Representación gráfica de las combinaciones de frecuencia y nivel de presión sonora que producen la misma sensación de sonoridad entre sí (ver nivel de sonoridad).

D

DAT: (digital audio tape) Cinta para audio digital (siglas en inglés). Formato de cinta algo más pequeño que el cassette tradicional para grabar audio digital de alta calidad. Es apto para la realización de masters.

dB: Abreviatura de decibel.

dBA: Unidad de nivel sonoro, es decir el nivel de presión sonora equivalente después de aplicar un filtro que se comporta en forma similar al oído.

dBm: Unidad de nivel de potencia referido a 1 mW.

dBu: Unidad de nivel de tensión referido a 1 V.

dBV: Unidad de nivel de tensión complementario para uso en grabación magnética. Actúa comprimiendo linealmente en un factor 2 en decibels durante la grabación, y luego expandiendo en el mismo factor durante la reproducción.

DCC: (digital compact cassette) Cassette digital compacto (siglas en inglés). Formato de cinta similar al cassette tradicional que permite grabar y reproducir audio digital y también reproducir cassettes analógicos tradicionales.

Decibel: Unidad convencional asignada a la expresión logarítmica de una magnitud o relación de magnitudes.

Decibelmetro: (sound level meter) Medidor de nivel sonoro.

Defasaje: (phase shift) Diferencia de fase entre dos señales.

Densidad espectral; (spectral density) Magnitud utilizada para los espectros continuos, en lugar de la amplitud de las componentes individuales, que serían demasiado pequeñas. Es proporcional a la potencia por unidad de ancho de banda.

Desmagnetización; (demagnetization) Proceso cíclico decreciente en el cual finalmente se reduce a 0 el magnetismo remanente.

Detección de errores; (error detection) Operación llevada a cabo en los sistemas de registro o transmisión digital por la cual se reconoce la presencia de un error, aún cuando no pueda subsanárselo.

Diapontia; (crostalik) Separación de canales.

Diaphragma; (diaphragm) 1. En un micrófono, lámina delgada que vibra en concordancia con la onda sonora. 2. En un altavoz, pistón cónico o en forma de domo que puesto a vibrar por acción del excitador (porción motriz) genera sonido.

Diagrama de bloques; (block diagram) Esquema simplificado para representar las partes constitutivas de un sistema y sus interconexiones.

Diagrama direccional; (directional pattern) Diagrama que representa las características direccionales de un dispositivo (micrófono, altavoz, antena, etc.).

Diagrama polar; (polar pattern) Tipo de diagrama utilizado para trazar el diagrama direccional, formado por círculos concéntricos graduados en dB y segmentos de recta radiales.

Digital: Se dice de cualquier sistema o dispositivo que opera procesando números, que pueden o no representar magnitudes físicas concretas. Por ejemplo, una computadora procesa números que en algunos casos representan símbolos (procesador de texto) y en otros señales (placa de sonido).

Directional; (directional) Característica de algunos dispositivos (micrófonos, bocinas) de presentar una direccionalidad marcada.

Direccionalidad; (directionality) Características del sonido en cuanto a la dirección de la cual procede o hacia la cual se encuentra su fuente.

Dirigimiento; (routing) En una consola, selección (mediante una botonera) de el o los buses donde se dirigirá la señal de un canal de entrada o un retorno auxiliar.

Disco compacto; Ver CD.

Disco rígido; (hard disk) Disco de computadora con una gran capacidad de almacenamiento de información digital. Se utiliza también para registrar audio digital.

Disonancia; (dissonance) Sensación auditiva evocada por dos sonidos superpuestos que provocan pulsaciones.

Distorsión; (distortion) Alteración de la forma de onda de una señal.

Distorsión armónica; (harmonic distortion) Distorsión que se produce sobre una señal senoidal, consistente en la aparición de armónicos.

Distorsionador; (distortion, overdrive) Un efecto, usualmente para guitarra eléctrica, que distorsiona la señal por recorte.

Distorsión de fase; (phase distortion) Modificación de las relaciones de fase entre los armónicos o parciales de una señal. En señales de audio monofónicas, la distorsión de fase no es importante, porque el oído es insensible a la fase absoluta. En señales estereofónicas, las distorsiones de fase no idénticas en ambos canales pueden alterar la imagen espacial.

Distorsión por intermodulación; (intermodulation distortion) Distorsión que se produce cuando en la entrada de un dispositivo se aplica la suma de dos señales senoidales de diferentes frecuencias, consistente en la aparición en mayor o menor medida de todas las sumas y restas entre los armónicos (múltiplos) de ambas frecuencias.

Divisor de frecuencias; (cross-over) Filtro que separa las componentes de bajas frecuencias y altas frecuencias para enviarlas respectivamente a altavoces de bajas y altas frecuencias, o a amplificadores que entregarán potencia a altavoces de bajas y altas frecuencias.

Distorsión de tercer armónico; (third harmonic distortion, K3) Porcentaje de tercer armónico respecto a la fundamental de la salida de un dispositivo cualquiera cuando la entrada es señaloidal.

Dither: Ruido de bajo nivel (tipicamente equivalente a un error menor que un bit) agregado a una señal analógica previamente a su muestreo y digitalización. Mejora cualitativamente el ruido de digitalización, eliminando componentes similares a la distorsión que se producen en señales de bajo nivel.

Divisor de tensión; (voltage divider) Conexión que resulta de aplicar una fuente de tensión real (es decir, que tiene cierta resistencia interna no nula) a una carga, cuya consecuencia es que se reduce la tensión realmente aplicada en la carga.

DNR: (abbreviatura en inglés de Dynamic Noise Reduction System) Sistema de reducción de ruido no complementario. Opera durante la reproducción reduciendo el ancho de banda de un filtro pasabajos cuando no hay señal de alta frecuencia, impidiendo el paso de ruido de cinta de alta frecuencia no enmascarable.

Dolby; Sistema de reducción de ruido complementario utilizado en el registro magnético. Actúa comprimiendo los agudos durante la grabación, y expandiéndolo durante la reproducción. Existen tres variantes: Dolby A (profesional), Dolby B (consumo) y Dolby C (intermedio).

Dominio magnético; (magnetic domain) Pequeña región de un material ferromagnético fuertemente magnetizada.

Driver: Excitador de un altavoz.

149

Echo: (echo) Reflexión del sonido que demora más de 100 msec en volver a la fuente.

Equalización: (equalization) Acción de corregir o compensar la respuesta en frecuencia de un sistema para hacerla más plana.

Equalizador: (equalizer) Filtro complejo formado por varias secciones o bandas, en cada una de las cuales puede ajustarse, según se requiera, la ganancia o la atenuación dentro de determinados márgenes.

Equalizador de bandas: (band equalizer) Un equalizador que divide el espectro de frecuencias en bandas logarítmicamente iguales (por ejemplo octavas o tercios de octava).

Equalizador gráfico: (graphic equalizer) Un tipo particular de equalizador de bandas en el cual los controles son verticales (deslizantes) y paralelos, de modo que la posición de los mismos da una clara idea gráfica de la respuesta en frecuencia del equalizador.

Equalizador parágrafico: (paragraphic equalizer) Un equalizador sofisticado que combina la multiplicidad de bandas de los gráficos con la versatilidad de ajuste de cada una de ellas de los parámetros.

Equalizador paramétrico: (parametric equalizer) Un equalizador en general de pocas bandas en el cual además de la ganancia o atenuación se puede ajustar en forma continua la frecuencia central de cada banda y su ancho de banda o, equivalentemente, su Q.

Equalizador semiparamétrico: (semiparametric equalizer) Un equalizador en el cual es posible variar en forma continua la frecuencia central de la banda pero no su Q.

Efecto: (effect) El resultado de cualquier procesamiento de una señal de audio diferente de la transducción, la amplificación, la compresión y el filtrado con fines correctivos (equalización).

Efecto antena: (electrostatic pickup) Captación de ruido eléctrico por un cable, por acoplamiento capacitivo o electromagnético.

Efecto de precedencia: (precedence effect) Efecto Haas.

Efecto Doppler: (Doppler effect) Aumento aparente de la frecuencia de una fuente sonora que se acerca o disminución aparente de frecuencia de una fuente que se aleja.

Efecto Haas: (Haas effect) Efecto que se obtiene al aplicar dos pulsos cortos a sendos oídos mediante auriculares, con un retraso entre uno y otro que se va incrementando gradualmente. Por debajo de los 0,6 ms, la imagen sonora corresponde a una única fuente que se desplaza hacia el oído excitado primero. Luego la fuente permanece cerca de dicho oído pero se ensancha. Por encima de los 35 ms la imagen sonora corresponde a dos fuentes.

ETM: Modulación 8 a 14 (siglas en inglés).

EIAJ: Norma de interconexión para la transmisión de datos digitales por fibra óptica.

Electret: Un tipo de micrófono capacitivo prepolarizado, es decir que no requiere alimentación entre sus placas. Usualmente sí requieren alimentación para el amplificador de reducción de impedancia.

Energía: (energy) La magnitud física más importante. Es una magnitud asociada a diversos fenómenos que tiene la particularidad de conservarse y transformarse. Asume diversas formas. Por ejemplo, en una resistencia la energía eléctrica se transforma en una cantidad equivalente de energía térmica (calor); en un altavoz, un 1% a 15% de la energía eléctrica se transforma en energía sonora y el resto en calor, etc.

Energía acústica: (acoustic energy) Una forma de energía mecánica relacionada con las vibraciones del aire u otros medios.

Energía cinética: (kinetic energy) Energía asociada al movimiento y a la elasticidad.

Energía eléctrica: (electric energy) Energía acumulada o transportada mediante cargas eléctricas.

Energía potencial: (potential energy) Energía capaz de transformarse en movimiento, por ejemplo la energía que se acumula al comprimir un resorte o el aire.

E

Energía sonora: (sound energy) Energía acústica relativa a señales de frecuencias entre 20 Hz y 20 kHz.

Energía térmica: (thermal energy) Energía relacionada con el calor. Al calentar un objeto, éste gana energía térmica.

Enmascaramiento: (masking) Fenómeno psicoacústico por el cual un tono débil se vuelve inaudible en presencia de otro más intenso cercano en frecuencia.

Entrehielro: (gap) Pequeña ranura que separa dos polos de un dispositivo magnético como un cabezal de grabación.

Envío: (send) Cualquier línea de señal que sale de una consola hacia un dispositivo externo.

Envío auxiliar: (auxiliary send) En una consola, salida de señal procedente de uno de los mezcladores auxiliares. Se utiliza como señal para monitoreo o para los efectos en paralelo.

Envolvente: (envelope) Evolución relativamente lenta de algún parámetro de un sonido, típicamente su amplitud o nivel.

Error aleatorio: (random error) Un tipo de error en los sistemas de transmisión o registro digital consistente en el cambio de valor, de tanto en tanto, de algún bit aislado.

Errores de salva: (burst error) Un tipo de error en los sistemas de transmisión o registro digital consistente en la alteración de varios bits consecutivos.

Espacialidad: (spatiality) Características del sonido relativas a su interacción con el espacio en el que se halla confinado.

Especificación: (specification) Valor de determinado parámetro de un equipo relacionado con las características de su operación o funcionamiento.

Especificaciones: (specifications) Conjunto de datos técnicos sobre el funcionamiento y otras características de los equipos.

Especro: (spectrum) Amplitudes de las diversas componentes senoidales de un sonido (y en algunas aplicaciones, también las fases).

Especro armónico: (harmonic spectrum) Un espectro discreto en el cual todas las frecuencias son múltiplos de una fundamental. Corresponde a señales periódicas.

Especro continuo: (continuous spectrum) Un espectro en el cual las componentes frecuenciales están tan próximas entre sí que no es posible discriminártelas.

Especro discreto: (discrete spectrum) Un espectro en el cual las frecuencias presentes en la señal son claramente distinguibles.

Especrograma: (spectrogram) 1. Gráfica con la frecuencia en el eje horizontal y los valores del espectro en el eje vertical. 2. Gráfica con la frecuencia en el eje vertical, el tiempo en el eje horizontal y la intensidad representada por diversos colores o diversos tonos de gris.

Especro inarmónico: (inharmonic spectrum) Un espectro discreto cuyas frecuencias no están relacionadas entre sí armónicamente (es decir, no son múltiplos de ninguna frecuencia fundamental).

Especro mixto: (mixed spectrum) Un espectro en el cual existen todas las frecuencias, pero algunas sobresalen notoriamente.

Estructura: (structure) En relación con cualquier dispositivo, equipo o sistema, forma en que están organizadas internamente las distintas partes que lo forman.

Estructura de ganancia: (gain structure) En una consola, descripción, en general gráfica, de los rangos de ajuste de la ganancia de las diferentes etapas que la constituyen.

Etapa: (stage) En un procesador electrónico de señal, cada una de las partes por las que pasa sucesivamente la señal entre la entrada y la salida.

ETM: Modulación 8 a 10 (siglas en inglés)

Excitador: (driver) 1. En un altavoz, la unidad motriz, que puede ser electrodinámica, electrotáctica o piezoceléctrica. 2. En un amplificador, la etapa anterior a la etapa de potencia.

Excitador de compresión: (compression driver) Excitador de los tweeters que genera una presión sonora muy elevada, la cual se reduce mediante el uso de adaptadores en forma de bocina.

Expansor: (expander) Dispositivo que aumenta el rango dinámico de la señal que recibe.

Exploración helicoidal: (helical sweep) Procedimiento de lectura en las cintas de video o de audio digital utilizando un cabezal rotativo.

F

Factor de amortiguación: (damping factor) Cociente entre la impedancia de carga de un amplificador y su impedancia interna.

Fader: (fadíbra inglesa, promiscuity fader) Atenuador. Se utiliza en las consolas como ajuste del nivel que se le asigna a una señal en una mezcla.

Fase: (phase) Ángulo entre los picos de dos señales periódicas de igual frecuencia, tomando la equivalencia 1 período $\equiv 360^\circ$.

Ferromagnetismo: (ferromagnetism) Rama del magnetismo que estudia las propiedades magnéticas de algunos materiales.

Ferromagnético: (ferromagnetic) Propiedad de ciertos materiales, como el hierro, el neodimio, etc. de presentar propiedades magnéticas muy marcadas.

Fibra óptica: (optical fiber) Fibra de vidrio (recubierta con una funda opaca) a través de la cual se transmite información digital por medio de pulsos luminosos. Es extremadamente inmune a ruido y permite altas frecuencias de commutación y por consiguiente de transmisión. Se aplica para interconectar equipos de audio digital.

Figura de ocho: (figure of eight) Tipo de micrófono bidireccional que hacia adelante y hacia atrás tiene máxima sensibilidad y hacia los costados, nula.

Filtro: (filter) Dispositivo capaz de seleccionar partes de una señal en función de sus frecuencias.

Filtro antialias: (antialiasing filter) Filtro pasabajos que elimina todas las frecuencias de una señal a muestrear que no cumplen con el teorema de muestreo.

Filtro de suavizado: (smoothing filter) Filtro utilizado en la reconstrucción de una señal digitalizada para reducir el ruido de digitalización.

Filtro digital: (digital filter) Filtro obtenido realizando operaciones numéricas sobre las muestras previas de una señal digital, pudiendo obtenerse una respuesta en frecuencia similar a la de cualquier filtro analógico. Tienen la ventaja de que es posible reducir notablemente la distorsión.

Filtro "notch": (notch filter) Filtro que bloques el paso de determinada frecuencia. Se utiliza, por ejemplo, para eliminar zumbidos de la frecuencia de la línea de 220 V.

Filtro pasadobos: (highpass filter) Filtro que permite pasar las frecuencias mayores que una frecuencia de corte e impide pasar las menores.

Filtro pasabajos: (lowpass filter) Filtro que permite pasar las frecuencias menores que una frecuencia de corte e impide pasar las mayores.

Filtro pasabanda: (bandpass filter) Filtro que permite pasar las frecuencias comprendidas entre una frecuencia inferior de corte y una frecuencia superior de corte, e impide pasar las restantes.

Filtro peine: (comb filter) Filtro que elimina todas las frecuencias múltiplos de otra frecuencia.

Flanger: Efecto consistente en sumar dos señales con retardos modulados por señales en contrafase, caracterizado por la supresión de algunas frecuencias que varían periódicamente con la frecuencia de la modulación.

Flutter: Fluctuaciones rápidas de la frecuencia grabada a causa de fluctuaciones en la velocidad de arrastre de la cinta, a su estiramiento desparejo, etc.

fon: (phon) Unidad de medición del nivel de sonoridad.

Fonema: (phoneme) Mínima porción acústica del lenguaje hablado con identidad propia. Por ejemplo, las vocales y las consonantes.

Forma de onda: (waveform) Forma del oscilograma de una señal.

Formantes: (formants) Resonancias características de una voz o instrumento, que determinan su timbre.

Fórmula de Sabine: (Sabine's equation) Ecuación que permite calcular el tiempo de reverberación de un recinto: $T = 0.161 \frac{V}{cS}$, donde c es el coeficiente de absorción sonora, V el volumen de la habitación y S el área total de sus superficies interiores.

Frecuencia: (frequency) En una señal periódica, cantidad de ciclos o períodos por unidad de tiempo.

Frecuencias alias: (alias frequency) Frecuencias que aparecen cuando no se cumple el teorema de muestreo (ver aliasing, teorema del muestreo).

Frecuencia central: (center frequency) Media geométrica entre las frecuencias superior e inferior de corte de un filtro pasabanda (es decir la raíz cuadrada del producto de ambas).

Frecuencia de corte: (cutoff frequency) En un filtro, frecuencia límite entre una banda de paso y otra de corte.

Frecuencia de muestreo: (sampling frequency) Frecuencia con que se toman las muestras en un proceso de muestreo. También llamada *tasa de muestreo*.

Frecuencia de Nyquist: (Nyquist frequency) La máxima frecuencia que puede contener una señal a muestrear para que la señal pueda reconstruirse sin distorsiones. Es igual a la mitad de la frecuencia de muestreo.

Frecuencia fundamental: (fundamental frequency) En una señal periódica, simplemente su frecuencia, es decir la frecuencia de su primer armónico.

Frente de onda: (wavefront) Parte de la onda en la cual la presión es máxima.

Fuente de alimentación: (power source) Fuente de tensión encargada de proporcionar la energía eléctrica que requiere un circuito para funcionar.

Fuente de tensión: (voltage generator) Dispositivo eléctrico que mantiene una tensión independiente de la carga que se conecte entre sus dos terminales.

Fuente de tensión real: (real voltage generator) Fuente de tensión que posee una resistencia o impedancia interna, y que por consiguiente varía su tensión al variar la resistencia de carga.

Fuente de señal: (signal generator) Cualquier generador de señal o dispositivo capaz de entregar una señal a otros dispositivos.

Fuente fantasma: (phantom power) Fuente de tensión que se utiliza para alimentar la cápsula y el amplificador de reducción de impedancia de los micrófonos capacitivos a través de los mismos cables que llevan la señal.

Fuente sonora: (sound source) Dispositivo, objeto, persona, etc. que genera sonido.

Fuente virtual: (virtual source) Fuente sonora aparente que se crea como consecuencia de una reflexión, y que parece estar ubicada del otro lado de la pared.

Fundamental: (fundamental) En una señal periódica, su primer armónico.

Fuerza coercitiva: (coercive force) Fuerza magnetizante opuesta a un estado de magnetización dado requerida para llevar el campo magnético a 0.

Fuerza electromotriz: (electromotive force) Tensión que aparece en un circuito al variar el campo magnético que atraviesa dicho circuito.

Fuerza magnetizante: (magnetizing field) Magnitud proporcional al campo magnético en el aire creado por una corriente o un polo magnético.

Fuga: (leakage) Camino espurio para la circulación de corrientes eléctricas generado por alguna falla en la aislación, suciedad, humedad, etc.

G

Gama dinámica: (dynamic range) Rango dinámico.

Ganancia: (gain) Relación entre la señal de salida y la de entrada en un amplificador, a menudo expresada en dB. En este caso es la diferencia entre los niveles de salida y entrada.

Garganta: (throat) Salida de un excitador de compresión, donde se aplica la bocina.

Grupo: (group) En una consola, un subconjunto de los canales de entrada, seleccionado para obtener una submezcla.

H

Headroom: Margen de sobrecarga.

Hertz: Unidad de frecuencia, igual a un ciclo por segundo.

Histeresis: (hysteresis) 1. Fenómeno magnético que implica un retraso entre la señal magnética y el campo magnético en un material ferromagnético. 2. En una compuerta, diferencia entre los umbrales de cierre y apertura, cuya finalidad es impedir el cierre y apertura repetitivos cuando la señal está muy cerca del nivel de ruido.

Hz: Abreviatura de Hertz.

K

kHz: Abreviatura de kilohertz.

kilo: Prefijo que antepuesto al nombre de una unidad la multiplica por 1000.

kilohertz: Unidad de frecuencia igual a 1000 ciclos por segundo.

kilohm: Unidad igual a 1000 Ω .

k Ω : Abreviatura de kiloohm.

K3: Distorsión de tercer armónico. Simbología utilizada en cintas magnéticas.

I

IDMD: (intermodulation distortion) Distorsión por intermodulación (siglas en inglés); una especificación de dicha distorsión, obtenida excitando el sistema con un tono de 60 Hz superpuesto a otro de 7 kHz de amplitud 4 veces menor y expresando el valor eficaz de los parciales generados como porcentaje del valor eficaz de los tonos originales.

Impedancia: (impedance) Concepto similar a la resistencia, con la diferencia de que varía con la frecuencia, y además introduce un desfase entre la tensión y la corriente.

Impedancia acústica: (acoustic impedance) Cociente entre la presión sonora y la velocidad con que vibran las partículas de aire (no confundir con la velocidad de las ondas sonoras).

Impedancia de entrada: (input impedance) Impedancia "vista" por una fuente entre los terminales de entrada de un dispositivo.

Impedancia de salida: (output) Impedancia interna de la salida de un dispositivo cuando actúa como fuente de señal para un dispositivo posterior.

Impedancia interna: (internal impedance) Impedancia equivalente de una fuente real de tensión.

Insertión: (insert) 1. Acción de intercalar un procesador en una línea de señal. 2. Conexión de inserción.

Intensidad de canal: (channel insert) Conexión de inserción que puede realizarse en cada canal después del ajuste de nivel correspondiente.

Insertión de grupo: (group insert) Conexión de inserción en la señal de un grupo antes de volcarla al bus de la mezcla principal.

Insert: Conexión de inserción (palabra inglesa).

Intensidad de corriente eléctrica: (electric current intensity) Cantidad de carga que atraviesa un conductor por segundo.

Intensidad sonora: (sound intensity) Energía sonora que atraviesa una superficie por unidad de tiempo y por unidad de área.

Intermodulación: (intermodulation) Modulación mutua entre dos tonos senoidales.

Internet: Red mundial de computadoras que permite la transferencia de información de todo tipo (científica, académica, cultural, comercial, etc.).

Interpolación: (interpolation) 1. En general, obtención de un valor intermedio de una variable conociendo dos valores próximos. 2. En un sistema digital, obtención de un nuevo valor entre dos muestras sucesivas como promedio de esas muestras. Se utiliza para obtener sobre-muestreo y para corregir errores irrecuperables en un disco compacto o cinta digital.

Intervalo: (interval) En música, diferencia de altura entre dos notas. Se expresa como la cantidad de notas de la escala que hay entre ambas, incluidas ellas.

Jabalina: (grounding rod) Barra o caño conductor que se entierra un par de metros en la tierra física para obtener una efectiva conexión a tierra.

Jaula de Faraday: (Faraday's cage) Cubierta metálica alrededor de un cable, conector, dispositivo, etc. que evita que de él emanen campos eléctricos, o que los reciba desde afuera.

Jitter: Inestabilidad de la frecuencia de reloj durante el muestreo de una señal. Produce errores que se traducen en la aparición de un ruido adicional.

M

mA: Abreviatura de miliamper.

Magnético: (magnetic) Se dice de los materiales con propiedades magnéticas.

Magnetismo: (magnetism) Rama de la Física que estudia los campos magnéticos.

Magnetismo remanente: (remanent magnetism) Campo magnético residual de un material ferromagnético después de excitarlo magnéticamente y retirar la excitación.

Magnetoresistivo: (magnetoo-resistive) Se dice de un material cuya resistencia varía con el campo magnético al que se lo somete. Se utiliza en los cabezales reproductores de los DCC.

Maníssima: (maníssima) Parte numérica de una representación en coma flotante.

Margen de sobrecarga: (headroom) En un amplificador, consola, etc., diferencia en decibeles entre el máximo nivel de salida antes de la saturación y el nivel nominal o medio.

Margen dinámico: (dynamic range) Rango dinámico.

Masa: (chassis ground) 1. Un punto del chasis metálico de un dispositivo del cual se toma un conductor que se conecta a tierra. 2. Por abuso de lenguaje, referencia de tensión de un circuito, igual a 0 V.

Master: Serial (generalmente estereofónica) resultado de la mezcla principal en una consola.

MD: Abreviatura de minidisc.

Medidor de nivel sonoro: (sound level meter) Instrumento que mide el nivel sonoro.

Mezcla: (mix) Suma de las señales presentes en una línea ómnibus (bus).

Mezclador: (mixer) Un tipo especial de amplificador con varias entradas que suma las señales presentes en dichas entradas.

Mezclador auxiliar: (auxiliary mixer) Mezclador al cual llegan señales procedentes de un bus auxiliar.

Micrófono: (microphone) Dispositivo transductor que transforma señal sonora en señal eléctrica.

Micrófono capacitivo: (condenser microphone) Micrófono basado en la variación de capacidad de un condensador formado por una placa fija y un diafragma que reacciona ante las ondas sonoras.

Micrófono dinámico: (dynamic microphone) Micrófono de bobina móvil, basado en la generación de tensión eléctrica por una bobina que se mueve en un campo magnético.

micro: prefijo que antepuesto al nombre de una unidad la divide por 1000000.

microvolt: Milionésima parte de un volt.

microamper: Millonésima parte de un amper.

milli: Prefijo que antepuesto al nombre de una unidad la divide por 1000.

milliamper: Milésima parte de un amper.

millivolt: Milésima parte de un volt.

Minidisc: Formato de grabación y reproducción digital basado en tecnología óptica o magnetoóptica. Utiliza compresión psicoacústica.

Modo común: (common mode) En una línea balanceada o en un amplificador diferencial, tensiones iguales que aparecen en ambos conductores superponiéndose a la señal.

Modos normales: (normal modes) Frecuencias de resonancia de un recinto, habitación, sala, local, etc.)

Modulación: (modulation) Variación relativamente lenta de cualquier parámetro de un sistema eléctrónico.

Modulación de amplitud: (amplitude modulation) Variación periódica de la amplitud de una señal.

Modulación de código de pulsos: (pulse code modulation, PCM) Representación de una señal digital como sucesión de valores altos y bajos de tensión, ordenados de tal manera que n de ellos representen una muestra en un sistema digital de n bits.

Modulación de fase: (phase modulation) Variación periódica del retraso de una señal.

Modulación de frecuencia: (frequency modulation) Variación periódica de la frecuencia de una señal.

Modulación 8 a 14: (eight to fourteen modulation, EFM) Método de modulación utilizado en la etapa final de codificación de la señal que se almacena en los discos compactos. Convierte

símbolos de 8 bits en símbolos de 14 bits en los cuales no hay menos de 2 ni más de 10 ceros seguidos.

Modulación 8 a 10: (eight to ten modulation, ETM) Método de modulación utilizado en la etapa final de codificación de la señal que se almacena en las cintas DAT y DCC. Convierte símbolos de 8 bits en símbolos de 10 bits, y se utiliza para evitar transiciones demasiado seguidas o demasiado distantes.

MOL: (abbreviatura en inglés de "maximum output level") Nivel máximo de salida, parámetro de una cinta magnética que representa el nivel máximo de señal a grabar con una distorsión de tercer armónico (K3) menor del 3%.

Monitor: Altavoz utilizado para la escucha de una mezcla por parte del ingeniero de sonido en la sala de control o del músico en el escenario o sala de grabación (en este último caso se emplean preferentemente auriculares).

Monitoreo: (monitoring) Audición de una mezcla con fines de verificación, ajuste o apoyo para la interpretación musical.

MP3: Abreviatura de *Motion Picture Expert Group*. Una serie de normas desarrolladas por dicho grupo, tal como la MP3, para la compresión psicoacústica de audio digital. Se utiliza para transferir audio digital por Internet y también para almacenar grandes cantidades de música en un formato como el CD-ROM. Permite una compresión hasta en 12 veces (con alguna degradación de la señal original).

MS: Abreviatura de *milisegundo*.

Muestreo: (sampling) acción de tomar muestras de una señal a intervalos regulares.

Multiamplificación: (multiamplification) Similar a la biamplificación pero con tres o más bandas.

Multímetro: (multimeter) Instrumento para medir tensión, corriente, resistencia y opcionalmente otros parámetros eléctricos.

mV: Abreviatura de milivolt.

mW: Abreviatura de miliwatt.

μ: Abreviatura de *micro*.

Neutral: (neutral) En la línea de distribución domiciliaria de energía eléctrica, conductor conectado a tierra en la usina.

Nivel: (level) En relación con una magnitud cualquiera, expresión logarítmica de su valor M referido a un valor de referencia M_{ref} ($N_M = 20 \log(M/M_{ref})$).

Nivel de línea: (line level) Nivel medio de señal, compartido por las entradas y salidas de la mayoría de los dispositivos de uso en sonido. Corresponde a valores medios de señal entre 245 mV y 24,5 V.

Nivel de presión sonora: (sound pressure level) 20 veces el logaritmo decimal de la presión sonora dividida por la presión de referencia, es decir $20 \mu\text{Pa}$. Se expresa en dB.

Nivel de potencia: (power level) 10 veces el logaritmo decimal de la potencia dividida por una potencia de referencia que debe ser especificada en cada caso (ver dBm).

Nivel de sonoridad: (loudness level) Magnitud psicofísica que compara la sonoridad de los tonos senoidales con la de un tono senoidal de 1 kHz igualmente sonoro (fuerte). Se expresa en fon. Por ejemplo, un tono tiene 60 fon si es igualmente sonoro que un tono de 1 kHz de 60 dB de nivel de presión sonora.

Nivel de tensión: (voltage level) 20 veces el logaritmo decimal de la tensión dividida por una tensión de referencia que debe ser especificada (ver dBu y dBV).

Nivel sonoro: (sound level) Nivel de presión sonora medido interponiendo el filtro A, que tiene una respuesta similar a la del oído. Se expresa en dB.A.

NPS: (SPL) Abreviatura de nivel de presión sonora.

Núcleo: (core) Material ferromagnético introducido dentro de una bobina para aumentar el campo magnético provocado por la corriente que circula por ella.

Núcleo laminado: (laminated core) Núcleo dividido en delgadas láminas para reducir las corrientes de Foucault.

O

Octava: (octave) Intervalo musical correspondiente a multiplicar la frecuencia por 2.

Octava central: (central octave) Octava que incluye todos los sonidos de la escala cromática entre el DO de frecuencia 261,63 Hz (DO central) y el SI de frecuencia 349,38 Hz.

Ohm: Unidad de resistencia, igual a un volt dividido un amper. Se abrevia Ω .

Omnidireccional: (omnidirectional) Tipo de micrófono que es igualmente sensible en todas las direcciones.

Onda sonora: (sound wave) Perturbación de la presión de equilibrio del aire, que se propaga alejándose de la fuente que la origina.

Onda: (wave) 1. Perturbación que se propaga en un medio. 2. Por abuso de lenguaje, forma de onda.

Onda cuadrada: (square wave) Onda cuya forma de onda toma alternativamente dos valores, en general opuestos, permaneciendo tiempos iguales en cada valor.

Onda cuasisimétrica: (quasi symmetrical wave) Onda que en cada ciclo tiene dos partes de forma y duración parecidas pero de signo opuesto.

Onda diente de sierra: (sawtooth wave) Onda triangular en la cual la subida es mucho más rápida que la bajada o viceversa.

Onda senoidal: (sine wave) Onda cuya forma de onda es una senoide.

Onda simétrica: (symmetrical wave) Forma de onda que en cada ciclo tiene dos partes de igual forma y duración pero de signo opuesto.

Onda estacionaria: (stationary wave) Onda en un recinto o una habitación entre dos paredes paralelas, que va y viene, reflejándose una y otra vez.

Onda triangular: (triangle wave) Forma de onda en la cual el valor aumenta linealmente desde un valor negativo hasta un valor positivo, y luego vuelve a bajar linealmente hasta el valor original, repitiéndose este ciclo periódicamente.

Oscilador de baja frecuencia: (low frequency oscillator, LFO) Oscilador utilizado habitualmente para modulaciones, estando por lo general su frecuencia en el rango de 0,1 Hz a 30 Hz.

Oscilograma: (oscilogram) Gráfico en un sistema de ejes con el tiempo en el eje horizontal y la magnitud de una señal en el eje vertical. Representa la evolución temporal de la señal.

Osciloscopio: (oscilloscope) Instrumento de medición que permite visualizar el oscilograma de una señal de tensión en una pantalla.

P

Pa: Abreviatura de Pascal

Pan: Contracción de "panorámico". Potenciómetro utilizado para el pano.

Panel de conexiones: (patch bay, patch panel) Tablero con múltiples conectores organizados en forma de matriz, en cuya parte posterior hay conexiones semipermanentes con los diversos componentes de un sistema de sonido, y en cuya parte frontal se realizan las conexiones específicas. Permite simplificar el trabajo de conexiónado en el trabajo diario de un estudio.

Paneo: (panning) Acción de enviar una misma señal en diversas proporciones a dos canales estéreo, estimulando la sensación de direccionalidad del sonido. Se suele complementar con retardos para lograr efectos de mayor realismo.

Panpot: Contracción de "potenciómetro panorámico"

Parámetro: (parameter) Cualquier variable numérica que puede asumir diversos valores obteniendo en correspondencia comportamientos diferentes de un dispositivo, equipo o sistema.

Partiales: (partials) Sonidos parciales.

Parlante: (speaker, loudspeaker) Altavoz.

PASC: Código de precisión adaptable por subbandas, usado en los DCC (abreviatura en inglés de *Precision-Adaptive Sub-band Coding*). Sistema de compresión de datos en el cual se divide la banda de audio en 32 subbandas, codificándose cada una con una cantidad de bits

apenas suficiente para que el ruido de digitalización caiga debajo del umbral modificado por el enmascaramiento. La frecuencia de muestreo de las bandas es 32 veces menor que la original.

Pascal: Unidad de presión adoptada internacionalmente, equivalente aproximadamente a la milésima parte de la presión atmosférica.

Patrón polar: (polar pattern) Diagrama direccional (traducción poco correcta).

PCM: Modulación de código de pulsos (siglas en inglés).

Pérdida de transmisión: (transmission loss) Diferencia, en condiciones ideales, entre el nivel de potencia sonora incidente en un tabique y el que llega al otro lado, menor debido a su aislación sonora. No permite calcular directamente la diferencia entre los niveles de presión sonora a uno y otro lado del tabique.

Periódico/a: (periodic) Se dice de un fenómeno, señal, etc. que se repite sin variantes cada cierto tiempo T.

Periodo: (period) 1. Tiempo T que demora en completarse un ciclo en una señal periódica. 2. Por abuso de lenguaje, ciclo.

Permeabilidad magnética: (magnetic permeability) Cociente entre el campo magnético en un material y la fuerza magnetizante que lo crea.

PEL: (pre fader listen) Solo pre fader (siglas en inglés). En una consola, un tipo de selector de solo que permite monitorear la señal del canal con independencia de la proporción en que ésta se envíe al mezclador principal o de grupo. Se usa durante el ajuste del nivel de señal de entrada al canal.

Phaser: Efecto que se obtiene sumando la señal seca a la señal filtrada con un filtro pasabanda de alto Q cuya frecuencia se controla con un LFO.

Pick up: Transductor electromecánico que transforma las vibraciones de la púa de un giradiscos o las vibraciones de una cuerda de acero en una guitarra eléctrica en electricidad.

Piezoelectricidad: (piezoelectricity) Fenómeno que tiene lugar al deformarse ciertos cristales, por el cual se genera una tensión entre sus extremos. Es un fenómeno reversible, es decir que al aplicar tensión, el cristal se deforma.

Pista: (track) Cada sector de una cinta magnética en el cual se graba una señal en general pendiente de las grabadas en otras pistas. Las pistas son paralelas.

Playback: Técnica de grabación consistente en grabar una segunda voz, instrumento, etc. en una segunda pista mientras se reproduce una pista grabada previamente.

Polarización: (bias) Superposición de una corriente continua o alterna con la señal para obtener una curva de transferencia más lineal. Se utiliza en todo amplificador y para mejorar el rango dinámico de la señal grabada en cinta magnética.

Policarbonato: (polycarbonate) Material transparente de gran estabilidad dimensional con el que se fabrican los discos compactos.

Post fader: En una consola, cualquier señal (especialmente las que se dirigen a los envíos auxiliares) que se toma después del fader de canal.

Potencia: (power) Energía transferida por unidad de tiempo. Se mide en watt.

Potencia acústica: (acoustic power) Energía acústica transferida o irradiada por unidad de tiempo. Se mide en watt.

Potencia eléctrica: (electric power) Energía eléctrica transferida por unidad de tiempo.

Potencia máxima: (maximum power) 1. En un amplificador, máxima potencia que puede entregar sin que sature, actúe la protección o se destruya, según el caso. 2. En un altavoz, máxima potencia que se le puede entregar sin que se destruya (ver, *potencia media máxima*, *potencia de programa máxima y potencia de pico máxima*).

Potencia media máxima: (maximum average power, maximum RMS power) Potencia máxima a entregar a un altavoz sin que se destruya o degrade por sobrecalentamiento.

Potencia de programa máxima: (maximum program power) Potencia máxima de una señal musical típica a entregar a un altavoz. Tiene en cuenta el hecho de que en una señal típica los máximos ocurren sólo de vez en cuando y por inercia térmica no llegan a calentar excesivamente el altavoz.

Potencia de pico máxima: (maximum peak power) Potencia máxima a entregar a un altavoz sin que se descone, es decir sin que la bobina golpee el fondo de su recorrido o bien se salga de su posición.

Potencia RMS máxima: (maximum RMS power) Denominación incorrecta de la potencia media máxima; la calificación RMS se aplica a corrientes o tensiones, no a potencias.

Potencia sonora: (sound power) Energía sonora transferida o irradiada por unidad de tiempo. Se mide en watt, pero no debe confundirse con la potencia eléctrica que se entrega a un altavoz o vía acústica. En general la potencia sonora radiada por un altavoz es una fracción muy pequeña (entre el 1% y el 15%) de la potencia eléctrica que se le suministra.

Potenciómetro: (potentiometer) Resistencia variable utilizada para diversos ajustes. Puede ser giratorio (por ejemplo el control de nivel de entrada de una consola) o deslizante (por ejemplo el fader de canal de una consola o los ajustes de las bandas de un ecualizador gráfico).

Preamplificador: (preamplifier) Amplificador para elevar el nivel de una señal de bajo nivel como las señales de micrófonos, fonocaptores, cabezales de reproducción, etc. hasta el nivel de línea.

Print-through: Transferencia de señal entre la señal directa y la primera reflexión.

Pre fader: En una consola, cualquier señal (especialmente las que se dirigen a los envíos auxiliares) que se toma *antes* del fader de canal.

Presión sonora: (sound pressure) Diferencia entre la presión de compresión o descompresión debida a una onda sonora y la presión de equilibrio (presión atmosférica en ausencia de sonido).

Print-through: Transferencia de señal de una capa de cinta a la siguiente.

Procesador: (processor) Todo dispositivo que opera algún cambio en una señal eléctrica.

Procesador de efectos: (effect processor) Equipo complementario de un sistema de sonido que introduce efectos en la señal.

PT: (TL) Abreviatura de pérdida de transmisión.

Puesta a tierra: (safety ground) Conexión de la masa de un equipo a la tierra física, usualmente por medio de una jatulina (ver).

Pulsación: (beat) Variación de la amplitud de la onda resultante de superponer dos señales de frecuencias parecidas.

Q

Q: 1. En un filtro pasabanda, el cociente entre la frecuencia central y el ancho de banda, también denominado factor de calidad. 2. Abreviatura de carga eléctrica.

Quasiperódico/a: Ver Cuasiperiódico/a.

Quinta: (fifth) Intervalo musical obtenido multiplicando la frecuencia de un sonido por 3/2.

R

R: Abreviatura habitual de resistencia.

Rack: Armazón modular metálico de ancho estándar de 19" (= 48,26 cm) sobre cuyos rieles metálicos laterales se atornillan los diferentes procesadores, efectos, paneles de conexiónado,

y hasta pequeñas consolas previstas para ser montadas en él. La altura estándar de los gabinetes de los procesadores es múltiplo de 1,75" (4,45 cm).

Radiación directa: (direct radiation) Emisión de sonido por el diafragma de un altavoz sin interponer una adaptación por medio de bocina.

Radio de compresión: Mala traducción de *compression ratio*. La traducción correcta es *relación de compresión*.

Rango dinámico: (dynamic range) Diferencia en dB entre los niveles máximo y mínimo de una señal.

Rango extendido: (extended range) Calidad de ciertos altavoces de responder en forma relativamente plana en un rango bastante amplio de frecuencias. No se utilizan en sonido profesional.

RCA: Un tipo de conector para cable blindado que suele utilizarse para señales de línea de equipos en general no profesionales (aunque por versatilidad muchos equipos profesionales también los incorporan).

Realimentación: (feedback) Reinyección de parte de la salida de un dispositivo o sistema en su entrada.

Recorte: (clipping) Efecto severo de la saturación de un amplificador u otro dispositivo, que consiste en que los picos más elevados de la señal quedan limitados a un valor constante, aunque la señal de entrada siga variando (aumentando).

Red crossover: (crossover) Divisor de frecuencias.

Red divisor de frecuencias: (crossover) Divisor de frecuencias.

Reducir de ruido: (noise reduction system) Dispositivo que permite mejorar la relación señal a ruido en un sistema de registro analógico.

Reducir de ruido complementario: (complementary noise reduction system) Reductor de ruido que codifica la señal durante la grabación elevando los niveles bajos, y la decodifica durante la reproducción devolviendo a la señal su rango dinámico original.

Reducir de ruido no complementario: (Non complementary noise reduction system) Reductor de ruido que actúa sólo durante la reproducción, reduciendo la ganancia o el ancho de banda cuando la señal es tan baja como para que pueda presumirse que es ruido de cinta.

Redundancia: (redundancy) Información suplementaria deducida o calculada a partir de la información original a transmitir o registrar de modo de facilitar la detección y/o corrección de posibles errores.

Reed-Solomon: Códigos utilizados para la corrección de errores en los sistemas de registro digital. Consiste en reordenar la información digital de manera que bits consecutivos se graben como bits lejanos, de modo que al perderse varios bits seguidos (salvo de errores) se pierda sólo un bit por cada 8, lo cual permite, mediante una adecuada redundancia, reconstruir los valores correctos.

Reflector de bajos: (bass reflex) Caja acústica ventilada en la cual el sonido de baja frecuencia se retarda interiormente en un semiperíodo, reforzando la onda principal en lugar de interfirir con ella.

Reflexión: (reflection) Reflejo de un sonido sobre una superficie, retornando al ambiente limitado por esa superficie.

Reflexiones tempranas: (early reflections) Primeras reflexiones del sonido en las superficies de un local, antes de que las reflexiones sucesivas se vuelvan denasiado próximas en el tiempo.

Reflexiones tardías: (late reflections) Reflexiones del sonido que se suceden con gran proximidad entre sí, dando origen al fenómeno nuevo de *reverbération*.

Relación de compresión: (compression ratio) En un compresor de audio, relación en la que se reduce el nivel que excede el umbral.

Relación señal/ruido: (signal to noise ratio) Cociente entre el valor eficaz de la señal y el valor eficaz del ruido, frecuentemente expresado logarítmicamente en dB. En este caso puede calcularse como el nivel de señal menos el nivel de ruido.

Relevo: (release) 1. En un sonido, etapa final durante la cual la amplitud del sonido se reduce hasta desaparecer. 2. En un procesador dinámico, procesador de efectos, etc., etapa durante la cual se pasa de la situación activa a la situación no activa.

Rendimiento: (efficiency) Relación porcentual entre la potencia entregada por un dispositivo y la consumida de su fuente de alimentación. En el caso de un altavoz, relación entre la potencia acústica efectiva y la potencia eléctrica.

Resistencia: 1. (resistance) Magnitud asociada a un resistor, tanto mayor cuanto más difície el paso de la corriente eléctrica, igual al cociente entre la tensión aplicada y la corriente que circula por ella. 2. (resistor) Por abuso de lenguaje, resistor.

Resistencia interna: (internal resistance) Resistencia equivalente de una fuente real de tensión.

Resistor: (resistor) Componente de circuitos eléctricos que dificulta en mayor o menor medida el paso de la corriente eléctrica.

Resolución: (resolution) En un sistema digital, la cantidad de bits de codificación de la señal.

Resonancia: (resonance) En cualquier sistema físico vibratorio u oscilatorio, fenómeno por el cual a cierta frecuencia la respuesta es mayor que a otras frecuencias próximas.

Respuesta en frecuencia: (frequency response) Relación entre la salida y la entrada de un sistema cualquiera en función de la frecuencia.

Retardo: (delay) Modificación de una señal por la cual aparece retardada un tiempo determinado respecto a la señal original.

Retorno: 1. (return) Cualquier línea de señal que vuelve a una consola desde un equipo externo.

2. (monitor) Denominación utilizada a veces para el monitor de escenario.

Retorno auxiliar: (auxiliary return) En una consola, entrada de señal estereofónica procedente de un dispositivo externo y que se vuelve a la mezcla principal o a las submezclas tras un ajuste previo de nivel. Se utiliza para los efectos o procesadores en paralelo.

Retorno de inserción: (insert return) En una consola, entrada monofónica procedente de un dispositivo externo insertado en el camino de la señal para su procesamiento en serie.

Reverb: Apócope de reverberador, muy utilizado informalmente para referirse al procesador o a su efecto; también, *rever*.

Reverberación: (reverberation) Permanencia de un sonido en un ambiente después de extinguida su fuente a causa de múltiples reflexiones.

Reverberador: (reverberator, reverb) Dispositivo que agrega reverberación a una señal artificialmente.

RMS: (root mean square) Valor eficaz (siglas en inglés).

RT60: Abreviatura de tiempo de reverberación.

Ruido: (noise) 1. Una señal no deseada, a menudo proveniente de fuentes intrínsecas involucradas en el proceso físico de amplificación. 2. Una señal que tiene un espectro continuo.

Ruido acústico: (acoustic noise) Ruido ambiental debido a la superposición de una multitud de fuentes distantes y próximas.

Ruido de digitalización: (digitization noise) Ruido que aparece en un sistema digital como consecuencia de aproximar una muestra exacta con una cantidad limitada de escalones.

Ruido eléctrico: (electrical noise) Ruido generado intrínsecamente en los componentes eléctricos y electrónicos. En general crece con la temperatura.

Ruido blanco: (white noise) Señal cuya densidad espectral es constante con la frecuencia (todas las frecuencias aparecen en la misma proporción).

Ruido browniano: (brownian noise) Señal cuya densidad espectral disminuye con el cuadrado de la frecuencia, y por lo tanto tiene gran contenido de bajas frecuencias.

Ruido roso: (pink noise) Señal cuya densidad espectral disminuye con la frecuencia. Tiene la particularidad de que su energía es la misma en cada banda de octava. Se utiliza como señal de prueba en varios ensayos acústicos.

Ruido térmico: (thermal noise) Un tipo de ruido eléctrico generado en cualquier conductor eléctrico. Aumenta al aumentar el valor de resistencia y al aumentar la temperatura. Por ejemplo, una resistencia de $150\ \Omega$ genera, a temperatura ambiente, un ruido térmico de $0,22\ \mu V$.

S

s: Abreviatura internacional de segundo.

Sala anecoica: (anechoic chamber) Sala tratada acústicamente para eliminar casi completamente las reflexiones o ecos, creando una situación de campo libre. Se utiliza para medición del diagrama direccional de diversas fuentes o micrófonos.

Sala de control: (control room) Sala en la cual se encuentra la mayor parte del equipamiento tanto para sonido en vivo como en un estudio, controlado por un operador o ingeniero de sonido. En general está aislado acústicamente del resto de las instalaciones.

Salida directa: (direct output) En algunas consolas, salida de un canal, generalmente después del fader de canal, que puede ser utilizada por un equipo externo sin alterar la señal que va hacia el mezclador.

Saturación: (saturation) Estado de un dispositivo o sistema en el cual ante un aumento de la excitación ya no se produce un ulterior aumento de la respuesta.

Saturación magnética: (magnetic saturation) Estado de un material ferromagnético alcanzado el cual un aumento de la fuerza magnetizante ya no permite incrementar el campo magnético.

Semiperiodo: (half period) En una forma de onda simétrica, la mitad de un período. En una forma de onda cuasimétrica, cada una de las partes similares en forma pero opuestas.

Semitonio: (semitone) Intervalo musical obtenido multiplicando la frecuencia por $1,05946$ ($\sqrt[12]{2}$).

Seno: (sine) Senoide.

Senoide: (sinusoid) Función matemática que representa la evolución en el tiempo de una oscilación simple (por ejemplo la de un péndulo). Cualquier onda periódica es la superposición de una serie de senoides de frecuencias múltiplos de una frecuencia fundamental.

Sensibilidad: (sensitivity) 1. En un micrófono, relación entre la tensión generada y la presión sonora (v/p), también expresada en dB referidos a $1\ V/Pa$. 2. En un amplificador, relación tensión a aplicar en la entrada para obtener la potencia especificada. 3. En un altavoz o caja acústica, el nivel de presión sonora obtenido a $1\ m$ frente al mismo cuando se la aplica $1\ W$.

Señal: (signal) Una magnitud física variable en el tiempo que transmite o transporta información.

Señal seca: (dry signal) Referido a procesadores de efectos, señal sin procesar.

Separación de canales: (crosstalk) Diferencia de niveles de tensión entre las salidas del canal no excitado y del canal excitado en un sistema estereofónico o multicanal.

Shock eléctrico: (electric shock) Accidente que sobreviene cuando el cuerpo humano entra en contacto con dos puntos a diferente tensión, por ejemplo el vivo de la línea de alimentación y la tierra. Las consecuencias pueden ser de gravedad, dependiendo del tiempo de exposición y de la tensión a la cual se estuvo sometido. Puede evitarse mediante conexiones a tierra.

Signa-delta: Método de conversión analógico-digital por el cual se utiliza un solo bit para codificar diferencias. Requiere un gran sobreampieo.

Sincronismo: (synchronism) 1. Coincidencia en el tiempo de una serie de fenómenos. 2. Señal utilizada en los sistemas digitales para asegurar que los eventos que deben ser simultáneos lo sean.

Sinusoides: (sinusoid) Senoide (es más formal que senoide).

SIP: (solo in place, siglas en inglés) Solo post fader. En una consola, un tipo de selector de solo que permite monitorear la señal del canal tal como se enviará al mezclador principal o de grupo. Se usa durante los ajustes para la mezcla (incluido el paneo).

Sistema: (system) Cualquier interconexión de entes que procesan señales influyéndose mutuamente en mayor o menor medida.

Sobremuestreo: (oversampling) Técnica que consiste en intercalar muestras obtenidas por interpolación en una señal muestrada antes de reconstruir la señal, para simplificar los filtros de suavizado.

Solo: 1. En una consola, selector que desconecta el resto de los canales no seleccionados como solo del bus de monitoreo. 2. Parte solista de una pieza musical.

Sonido: (sound) Onda que se propaga en el aire, agua y otros medios, cuya frecuencia está comprendida entre 20 Hz y 20 kHz.

Sonidos armónicos: (harmonic sounds) Cada una de las componentes senoidales de frecuencias múltiplos de la fundamental que componen una señal periódica.

Sonido enmascarante: (masking sound) Sonido máscara.

Sonido máscara: (masking sound) Sonido que camascara a otro.

Sonidos parciales: (overtones) Cada una de las componentes senoidales que componen una señal de espectro discreto.

Sonodelector: (baffle) Caja acústica.

Sonoridad: (loudness) Sensación que permite distinguir los sonidos más débiles de los más fuertes.

Sordina: (mute) 1. Selector que desconecta la señal en un canal determinado de una consola. 2. En varios instrumentos acústicos, dispositivo que reduce la sonoridad del sonido emitido, a la vez que modifica su calidad tímbrica.

Sosten: (sustain) En una envolvente básica de un sintetizador electrónico, tramo durante el cual la amplitud de la onda se mantiene constante hasta que se desactive la nota correspondiente.

Squawker: Altavoz para reproducir frecuencias medias, típicamente entre 500 Hz y 6 kHz.

Subcodigo: (subcode) En sistemas de registro digital, información complementaria de carácter administrativo, como el nombre o los autores de las piezas.

Subgrupo: (subgroup) Otra denominación de un grupo de una consola.

Submaster: Otra denominación de un grupo de una consola.

Submezcla: (submix) Mezcla secundaria obtenida sumando las señales de un grupo.

Subsistema: (subsystem) Una parte de un sistema, formada por uno o más bloques, que realiza una función definida y razonablemente autónoma dentro del sistema mayor.

Subsonido: (subsound) Ondas acústicas inaudibles de frecuencias menores de 16 a 20 Hz.

Subsonico/a: (subsonic) Relativo al subsonido.

Subwoofer: Altavoz para la reproducción de sonidos muy graves, típicamente por debajo de los 100 Hz.

SVHS: Abreviatura en inglés de Super Video Home System. Formato de cinta para grabación de video de alta calidad, también utilizado por varios modelos de grabadores digitales multípista.

Tasa de muestreo: (sampling rate) Frecuencia de muestreo.

Tasa de sobre muestreo: (oversampling rate) Relación entre el número de muestras totales de un código digital (obtenidas por interpolación) y el número de muestras reales (obtenidas por muestreo de la señal analógica).

Tensión: (voltage) Magnitud eléctrica medida entre dos puntos de un circuito eléctrico, equivalente, en hidráulica, a la presión.

Teorema de Fourier: (Fourier's theorem) Propiedad (demostrable matemáticamente) por la cual toda forma de onda periódica puede considerarse como una superposición de senoides de frecuencias múltiples de una frecuencia fundamental.

Teorema de muestreo: (sampling theorem) Teorema que dice que para poder reconstruir una señal muestrada sin distorsiones dicha señal no puede contener frecuencias mayores que la mitad de la frecuencia de muestreo.

Tester: (multimeter) Multímetro.

THD: (total harmonic distortion) Distorsión total armónica (siglas en inglés); una especificación de distorsión armónica. Se determina midiendo el valor eficaz de los armónicos generados por el dispositivo ante una entrada senoidal, y expresándolo como porcentaje del valor eficaz de la fundamental.

Tiempo de ataque: (attack time) Duración de la etapa de ataque de un sonido o de la operación de un procesador.

Tiempo de relevo: (release time) Duración de la etapa de relevo de un sonido o de la operación de un procesador.

Tiempo de reverberación: (reverberation time) Tiempo que demora un sonido en bajar 60 dB por debajo del nivel que tenía al interrumpirse su fuente.

Tierra: (earth, ground) 1. Un punto de un circuito conectado a la tierra física mediante un conductor enterrado (jabilina). 2. En un circuito, un punto con respecto al cual se refieren todas las tensiones del circuito. Su tensión es, convencionalmente, 0 V.

Timbre: (timbre) Sensación que permite distinguir a los sonidos por su fuente.

Tono: (tone) 1. Sonido periódico. 2. Por abuso de lenguaje, sonido periódico senoidal. 3. Intervalo musical formado por dos semitonos.

Tono puro: (pure tone) Sonido senoidal.

Topología: (topology, topography) Estructura interna de conexiones de aparatos fuertemente conectivos como las consolas de mezcla.

TRS: (tip-ring-sleeve) Un conector enchufable (plug) coaxial (sobre un único eje) de 1/4" para señales estéreo o balanceadas, con un contacto de masa (o común) alrededor y dos contactos en forma de anillo y de punta respectivamente.

T6: Abreviatura de tiempo de reverberación.

Transducción: (transduction) Acción de convertir una señal de una forma de energía a otra (por ejemplo de sonido a tensión).

Transductor: (transducer) Dispositivo que transforma una señal de una forma de energía a otra.

Transformador: (transformer) Dispositivo formado por dos arrollamientos de hilos conductores aislados que se bobinan alrededor de un núcleo ferromagnético (en general). Sirve para: 1) reducir o elevar (según el caso) la tensión y 2) para conseguir adaptación de impedancias entre una fuente y una carga.

Trémolo: (tremolo) Efecto que consiste en modular la amplitud de una señal.

Tren de pulsos: (pulses) Onda formada por un valor alto durante una pequeña fracción del periodo y un valor bajo (de signo opuesto al anterior) durante el resto del periodo.

Trim: Ajuste de nivel de las señales de entrada de una consola. Se utiliza para emparejar las señales procedentes de fuentes diversas.

TS: (tip-sleeve) Un conector enchufable (plug) coaxial (sobre un único eje) de 1/4" para señales monofónicas o desbalanceadas, con un contacto de masa alrededor y una punta.

Tweeter: Altavoz para la reproducción de sonidos agudos, típicamente por encima de 1500 Hz.

T

Tasa de muestreo: (oversampling rate) Frecuencia de muestreo.

Tasa de sobre muestreo: (oversampling rate) Relación entre el número de muestras totales de un código digital (obtenidas por interpolación) y el número de muestras reales (obtenidas por muestreo de la señal analógica).

Tensión: (voltage) Magnitud eléctrica medida entre dos puntos de un circuito eléctrico, equivalente, en hidráulica, a la presión.

Umbral de audición: (threshold of hearing) El mínimo nivel de presión sonora requerido para evocar sensación sonora. Normalmente está cerca de los 0 dB

Umbral de dolor: (threshold of feeling) El nivel de presión sonora que comienza a producir dolor de oído. Normalmente está cerca de los 120 dB.

V: Abreviatura de Volt

U

Ultrasónico: (ultrasound) Ondas acústicas inaudibles de frecuencias mayores de 20 kHz.

Ultrasónico/a: (ultrasonic) Relativo al ultrasonido.

Umbral: (threshold) En procesadores dinámicos como compresores, compuertas o expansores, nivel límite entre el rango en que actúa el procesador y el rango en que no actúa.

Umbral de audición: (threshold of hearing) El mínimo nivel de presión sonora requerido para evocar sensación sonora. Normalmente está cerca de los 0 dB

Umbral de dolor: (threshold of feeling) El nivel de presión sonora que comienza a producir dolor de oído. Normalmente está cerca de los 120 dB.

V

157

Valor de pico: (peak value) Valor máximo que alcanza una señal en cada ciclo.

Valor eficaz: (RMS value) Hipotético valor constante capaz de producir la misma potencia media que la que produce la señal variable.

Valor pico a pico: (peak to peak value) Diferencia entre el valor máximo positivo y el mínimo negativo en cada ciclo de una señal.

VCA: (voltage controlled amplifier) Amplificador controlado por tensión (siglas en inglés).

Velocidad angular constante: (constant angular velocity, CAV) Criterio utilizado en los discos de vinilo, consistente en mantener constante la velocidad de rotación (velocidad angular).

Velocidad del sonido: (sound speed) Velocidad de propagación de la onda sonora. Es de aproximadamente 345 m/msg.

Velocidad lineal constante: (constant linear velocity, CLV) Criterio utilizado en las cintas magnéticas y en los discos compactos, consistente en mantener constante la velocidad de desplazamiento de la información registrada frente a la unidad de lectura.

VHS: Abreviatura en inglés de Video Home System. Formato de cinta para grabación de video.

Vibrato: (vibrato) Efecto que consiste en modular en frecuencia o en fase una señal.

Vivo: (hot) En la linea de distribución domiciliaria de energía eléctrica, el conductor no conectado a tierra en la usina.

volt: Unidad de tensión eléctrica. Se abrevia V.

Vómetro: (vumeter, volume indicator) Indicador analógico o cuasianálogo (barras de LED's) para el nivel de señal en diversos puntos de un sistema (consola, compresor, etc.)

W

W: Abreviatura de Watt.

Watt: Unidad de potencia. En el caso de la potencia eléctrica corresponde a la potencia entregada a una resistencia de $1\ \Omega$ cuando se le aplica 1 V.

Woofier: Altavoz para la reproducción de los sonidos graves, típicamente por debajo de los 500 Hz.

Wow: Fluctuaciones lentas de la frecuencia grabada a causa de fluctuaciones en la velocidad de arrastre de la cinta.

X

XLR: Nombre genérico de un conector para señales balanceadas. También denominado Cannon, que es la marca bajo la cual se introdujo en el mercado.

X-Y: Configuración de dos micrófonos en cuadraatura (a 90° entre sf) para hacer tomas estereofónicas.

Y insert cable: Cable terminado en una punta por un conector TRS y en la otra por dos conectores TS, utilizado para intercalar un efecto o procesador en serie en las conexiones de inserción de las consolas u otros equipos.

Z

Z: Abreviatura habitual de impedancia.

Terminología en inglés¹

Acoustic energy: energía acústica	Buss: línea omnibus
Acoustic impedance: impedancia acústica	byte: 8 bits
Acoustic noise: ruido acústico	Cardioid: cardioide
Acoustical insulation: aislación acústica	Center frequency: frecuencia central
Acoustics: Acústica	Central octave: octava central
Active cross-over: cross-over activo	Clipping: recorte
Algorithm: algoritmo	Closed baffle: baffle cerrado
Alias frequency: frecuencias alias	Coercive force: fuerza coercitiva
Alias: alias	Coil: bobina
Analiasing: aparición de frecuencias altas	Comb filter: filtro peine
Ambience: atmósfera	Common mode: modo común
Amplifier: amplificador	Compact Disc: disco compacto
Amplitude modulation: modulación de amplitud	Complementary noise reduction system: reductor de ruido complementario
Anechoic chamber: sala o cámara anecóica	Compression driver: excitador de compresión
Anechoic wedges: cintas anecóicas	Compression ratio: relación de compresión
Antialiasing filter: filtro antialias	Compressor: compresor
Attack time: tiempo de ataque	Condenser: condensador, capacitor
Attack: ataque	Conductor: conductor
Audio frequency band: banda de audio	Connector: conector
Audio frequency mixer: mezclador auxiliar	Consonance: consonancia
Auxiliary return: retorno auxiliar	Constant angular velocity: velocidad angular constante
Auxiliary send: envío auxiliar	Constant linear velocity: velocidad lineal constante
Azimuth: azimut	Continuous spectrum: espectro continuo
Baffle: caja acústica, sonodeflector	Control room: sala de control
Balanced connection: conexión balanceada	Controlled amplifier: amplificador controlado
Band equalizer: ecualizador de bandas	Core: núcleo
Band: banda	Coverage: cobertura de una fuente
Bandpass filter: filtro pasabanda	Cross-over: divisor de frecuencia
Bandwidth: ancho de banda	Crosstalk: separación de canales, diafonía
Base ten logarithm: logaritmo en base 10	Current: corriente
Base refier: reflector de bajos	Cut-off frequency: frecuencia de corte
Beat: batido, pulsación	Cycle: ciclo
Biamplification: biamplificación	Channel insert: inserción de canal
Bias: polarización	Channel: canal
Binary: binario	Chassis ground: masa
Binding post: poste de unión	Chord: acorde
Bit: dígito binario	Chorus: coro
Block diagram: diagrama de bloques	Damping factor: factor de amortiguación
Brownian noise: ruido browniano	Data compression: compresión de datos
Burst error: errores de salva	Decimal logarithm: logaritmo decimal

¹ En este listado no se incluyen abreviaturas excepto los casos no incluidos en el Glosario.

Delay: retardo	Highpass filter: filtro pasaaltos	Maximum average power: potencia media máxima
Demagnetization: desmagnetización	Horn: bocina	Maximum output level: MOL, nivel máximo de salida
Diaphragm: diafragma	Hot: vivo	
Digital audio tape: DAT, cinta para audio digital	Hysteresis cycle: ciclo de histeresis	Hysteresis: histeresis
Digital audio: audio digital		
Digital compact cassette: cassette digital compacto.	Impedance matching: adaptación de impedancia	Maximum peak power: potencia de pico máxima
Digital filter: filtro digital	Impedance: impedancia	Maximum program power: potencia de programa máxima
Digital to analog converter: conversor digital/análogo	Inharmonic spectrum: espectro inarmónico	Maximum RMS power: potencia media máxima
Digitization noise: ruido de digitalización	Input impedance: impedancia de entrada	
Direct box: caja directa	Insert return: retorno de inserción	Mechanical energy: energía mecánica
Direct field: campo directo	Insert: inserción, conexión de inserción	Microphone: micrófono
Direct output: salida directa	Intermodulation distortion: distorsión por intermodulación	Minidisc: minidisco compacto
Direct radiation: radiación directa	Internal impedance: impedancia interna	Mix: mezcla
Directional pattern: diagrama direccional	Internal resistance: resistencia interna	Mixed spectrum: espectro mixto
Directional: direccional	Interpolation: interpolación	Mixer: mezclador
Directionality: direccionalidad	Jitter: ruido debido al reloj	Mixing console: consola
Discrete spectrum: espectro discreto	Level: nivel	Modulation: modulación
Dissonance: disonancia	Laminated core: núcleo laminado	Monitoring: monitoreo
Distortion: distorsionador, distorsión	Late reflections: reflexiones tardías	Multiamplification: multianalifificación
Distortion products: productos de distorsión, productos de intermodulación	Leakage: fuga	Multimeter: multímetro, tester
Dither: ruido agregado antes de digitalizar	Level: nivel	Noise reduction system: reducción de ruido
Doppler effect: efecto Doppler	Light emitting diode: LED, diodo emisor de luz	Noise: ruido
Driver: excitador	Limit: limitador	Non complementary noise reduction system: reducción de ruido no complementario
Dynamic microphone: micrófono dinámico	Line level: nivel de línea	Normal modes: modos normales
Dynamic noise reduction system: sistema dinámico de reducción de ruido	Line: línea	Notch filter: filtro "tuneca"
Dynamic range: rango dinámico	Liquid crystal display: visor de cristal líquido	Nyquist frequency: frecuencia de Nyquist
Early reflections: reflexiones tempranas	Load: carga	
Earth: tierra	Logarithm: logaritmo	Octave: octava
Echo: eco	Loudness level: nivel de sonoridad	Ohm's law: ley de Ohm
Effect: efecto	Loudness: sonoridad	Omnidirectional omnirecitional: omnidireccional
Effect processor: procesador de efectos	Loudspeaker: altavoz, parlante	Open baffle: baffle ventilado, baffle abierto
Efficiency: rendimiento	Low frequency oscillator: LFO, oscilador de baja frecuencia	Optical fiber: fibra óptica
Eight to fourteen modulation: modulación 8 a 14	Lowpass filter: filtro pasabajos	Oscilloscope: osciloscopio
		Output impedance: impedancia de salida
Electric circuit: circuito eléctrico	Ground loop: bucle de tierra	Overset: distorsión, sobrecarga
Electric current intensity: intensidad de corriente eléctrica	Ground: conexión a masa	Oversampling: sobreuestre
Electric current: corriente eléctrica	Grounding rod: jabilina	Overtones: sonidos parciales
Electric field: campo eléctrico	Group insert: inserción de grupo	
Electric shock: shock eléctrico	Group: grupo	
Electrical noise: ruido eléctrico		Magnetic saturation: saturación magnética
Electromotive force: fuerza electromotriz		Magnetic shielding: blindaje magnético
Electrostatic pickup: efecto antena		Magnetic field: campo magnético
Energy: energía		Magnetic permeability: permeabilidad magnética
Envelope: envolvente		
Equalization: equalización		Mask: contracción de "panorámico"
Equalizer: equalizador		Panning: paneo
		Panpot: contracción de "potenciómetro panorámico"
		Paragraphic equalizer: ecualizador parágrafo
		Parametric equalizer: parámetro
		Parametric equalizer: ecualizador paramétrico

15P



Partials: parciales	Sound pressure level: nivel de presión sonora	Threshold: umbral
Passive cross-over: cross-over pasivo	Throat: garganta	Timbre: timbre
Patch bay: panel de conexiones	Soundproofing: aislación sonora	TL; PT
Patch panel: panel de conexiones	Sound source: fuente sonora	Tone: tono
Pulse code modulation: PCM, modulación de código de pulsos	Sound speed: velocidad del sonido	Topography: topografía (mal usado en lugar de topology)
Peak to peak value: valor pico a pico	Sound wave: onda sonora	Topology: topología
Period: periodo	Speaker: altavoz, parlante	Total harmonic distortion: distorsión total armónica
Periodic: periódico/a	Spec (abbreviatura de specification) específica	Track: pista
Phantom power: fuente fantasma	Specification: especificación	Transducer: transductor
Phase distortion: distorsión de fase	Specifications: especificaciones	Transfer graph: curva de transferencia
Phase modulation: modulación de fase	Spectral density: densidad espectral	Transformer: transformador
Phase shift: desfase	Spectral lines: líneas espectrales	Transmission loss: pérdida de transmisión
Phase: fase	Spectrogram: espectrograma	Tremolo: trémolo
Phaser: desfasador	Spectrum: espectro	Triangle wave: onda triangular
Phone: fon	Spectrum analysis: análisis de espectro	Trim: potenciómetro de ajuste de nivel
Phoneme: fonema	SP-L: NPS	Tweeter: altavoz de altas frecuencias
Pick up: captor, fonocaptor	Sabine's equation: fórmula de Sabine	Ultrasonic: ultrasonido
Piezoelectricity: piezoelectricidad	Safety ground: conexión a tierra, puesta a tierra	Ultrasound: ultrasonido
Pink noise: ruido rosa	Sampling frequency: frecuencia o tasa de muestreo	Vibrato: vibrato
Pitch: altura	Sampling theorem: teorema de muestreo	Video home system: sistema de video familiar
Play back: reproducción	Sampling: muestreo	Virtual source: fuente virtual
Polar pattern: diagrama polar	Saturation: saturación	Voltage controlled amplifier: amplificador controlado por tensión
Polycarbonate: policarbonato	Sawtooth wave: onda diente de sierra	Voltage divider: divisor de tensión
Post fader: después del fader de canal	Screening: aislamiento, blindaje	Voltage generator: fuente de tensión
Potential energy: energía potencial	Semiparametric equalizer: ecualizador semi-paramétrico	Voltage level: nivel de tensión
Power level: nivel de potencia	Send: envío	Voltage: tensión
Power source: fuente de alimentación	Sensitivity: sensibilidad	Vumeter: vumetro
Power: potencia	Shielded cable: cable blindado	Wave: onda
Pre delay: retardo entre la señal directa y la primera reflexión	Shunt: bypass	Waveform: forma de onda
Pre fader: antes del fader de canal	Structure: estructura	Wavefront: frente de onda
Pre fader fader: solo pre fader	Subcode: subcódigo	Wavelength: longitud de onda
Preamplifier: preamplificador	Subgroup: subgroupo	White noise: ruido blanco
Precedence effect: efecto de precedencia, efecto Haas.	Submixer: submezcla	Woofers: altavoz de frecuencias bajas
Precision-adaptive sub-band coding: código de precisión adaptable por subbandas	Subsonic: subsónico/a	Wow: lloro
Print-through: transferencia de señal de una capa de cinta a la siguiente	Subsystem: subsistema	Y insert cable: cable de inserción Y
Processor: procesador	Subwoofer: altavoz de subgraves	
Pulse code modulation: modulación de código de pulsos	Sustain: sostén	
Pulses: tren de pulsos	Symmetrical wave: onda simétrica	
Pure tone: tono puro	Synchronism: sincronismo	
Quality factor: factor de calidad	System: sistema	
Quasi periodic: cuasiperiódico/a	Telescopic shield: blindaje telescópico	
Quasi symmetrical wave: onda cuasisimétrica	Tester: Téster, multímetro	
Rack: rack, armazón modular metálico	Thermal energy: energía térmica	
Random error: error aleatorio	Thermal noise: ruido térmico	
Recording head: cabezal de grabación	Third harmonic distortion: distorsión de tercer armónico	
Sound absorption: absorción sonora	Threshold of feeling: umbral de dolor	
Sound absorption coefficient: coeficiente de absorción sonora.	Threshold of hearing: umbral de audición	
Sound absorption: absorción sonora		
Sound energy: energía sonora		
Sound field: campo sonoro		
Sound insulation: aislación sonora		
Sound level meter: medidor de nivel sonoro, decibelímetro, sonómetro		
Sound level: nivel sonoro		

Bibliografía

1. Davis, Gary; Jone, Ralph. "The Sound Reinforcement Handbook" (2^a edición). Hal Leonard Publishing Corporation. Milwaukee, USA, 1990 (412 págs.). *Un libro recomendable, a pesar de algunos errores (uno muy notorio, en la definición de decir). Es muy conceptual y accesible, y cubre una variada gama de temas, casi siempre con ejemplos prácticos de aplicación. Además de muchos temas tratados en el presente libro, incluye capítulos sobre cableado, instrumental para mediciones en audio, arreglos de altavoces, MIDI, y sincronización. Contiene índice temático y alfabetico.*
 2. White, Paul. "Creative Recording". Music Maker Books. Cambridgeshire, Inglaterra, 1989, 1990, 1991 (3 tomos, 100 + 100 + 95 págs.). *Una obra muy accesible, y a la vez muy conceptual, destinada a los poseedores de pequeños estudios. El primer tomo cubre los procesadores y efectos, con muchas ideas sobre aplicaciones convencionales y no convencionales. El segundo tomo, dedicado a micrófonos y técnicas de grabación contiene información muy útil sobre posiciones y orientaciones recomendables de los micrófonos para diversos instrumentos, así como una revisión sobre micrófonos comerciales de gran popularidad. Curiosamente, omite completamente el tema de los grabadores. El tercer tomo aborda el estudio en sí, desde el punto de vista de la acústica, la aislación sonora y el monitor. Incluye descripciones prácticas de muchas soluciones para problemas de aislación, vibraciones, defectos acústicos, etc. Contiene índices temáticos pero no alfabeticos.*
 3. Tribaldos, Clemente. "Sonido Profesional". Editorial Paraninfo (2^a edición). Madrid, España, 1993 (581 páginas). *Un libro completo en cuanto a temas cubiertos, pero bastante deficiente en su ordenamiento conceptual. Ha sido compilado con el aporte de numerosos especialistas, pero el resultado es heterogéneo y algo desorganizado, y sin objetivos claros. Además de los tratados en el presente texto, contiene capítulos sobre consolas digitales, cintas magnéticas, grabadores multipista, grabación espectral Dolby, MIDI, sincronización, grabación en disco duro, sistemas de monitorizado, fabricación de cassettes y discos compactos. Contiene una lista de programas educativos de sonido en España, el resto de Europa, EEUU y Canadá. Contiene índice temático y bibliografía.*
 4. Davis, Don; Davis, Carolyn. "Sound System Engineering" (2^a edición). SAMS, Carmel, EEUU, 1994 (665 págs.). *Un libro de texto para quien deseé profundizar cuestiones específicas sobre ingeniería de sonido. Por momentos carece de claridad conceptual. Da por supuestas algunas cuestiones por lo que no es recomendable como "primer libro". No cubre temas como los procesadores de efectos, consolas, grabadores o audio digital. En cambio trata detalladamente cuestiones como la interfaz entre sistemas eléctricos y acústicos, adaptación de impedancias, inellegibilidad de la palabra en el diseño de sistemas de sonido, arreglos de altavoces, uso de retardos, instalación de sistemas de sonido, ecualización, instrumental, etc. Posee índice temático y alfabetico.*
 5. Pohlman, Ken C. "Principles of Digital Audio" (2^a edición). SAMS, Carmel, EEUU, 1989. *Libro apropiado para interiorizarse a nivel introductorio en los aspectos teóricos del audio digital, incluyendo algunos temas como los códigos de detección y corrección de errores, etc.*
 6. Pohlman, Ken C. "Advanced Digital Audio" (2^a edición). SAMS, Carmel, EEUU, 1993 (518 págs.). *Continuación del libro precedente. Es muy completo pero los temas se exponen sintéticamente, perdiéndose por momentos la claridad. Cubre la conversión multibit y de 1 bit, la tecnología láser, fibras ópticas, discos ópticos, audio digital para video y film, compresión de datos, teoría y aplicaciones del procesamiento digital de señales, etc. Tiene índice temático y alfabetico.*
 7. Penfold, R. A. "MIDI Avanzado. Guía del usuario". Addison-Wesley Iberoamericana (ra-ma). Wilmington, EEUU, 1993. *Un buen texto sobre MIDI. A pesar del nombre, es más inteligible que otros libros más elementales. Cubre los mensajes MIDI, el conexionado MIDI, la sincronización, la programación MIDI, y una introducción a los mensajes exclusivos del sistema. Contiene índice temático y alfabetico, glossario de términos y varios apéndices, entre ellos la Especificación MIDI 1.0.*
 8. Beranek, Leo L. "Acoustics". Acoustical Society of America. EEUU, 1986 (original de 1954) (491 págs.). *Es un libro fundamental para quien deseé adentrarse seriamente en la Acústica. Cubre la mayoría de los temas de la Acústica con importancia para el Audio. Requiere una formación previa en electricidad y en cálculo infinitesimal. Contiene, entre muchos otros temas, acústica de salas, micrófonos, altavoces, criterios psicoacústicos, etc. Contiene índice temático y alfabetico, glossario de términos y varios apéndices.*
 9. Everest, Frederick Alton. "The Master Handbook of Acoustics" (2^a edición). McGraw-Hill (TAB books). Blue Ridge Summit, USA, 1989 (366 págs.). *Libro accesible y muy conceptual. Contiene física del sonido, psicoacústica, acústica de recintos (con énfasis en el estudio de grabación, la sala de control y la instalación hogareña), difusores sonoros, mediciones acústicas, etc. Contiene índice temático y alfabetico y bibliografía.*
 10. Watkinson, John. "Audio Digital". Ed. Paraninfo. Madrid, España, 1994 (542 págs.). *Excelente y accesible referencia en castellano sobre el tema de audio digital. Contiene principios, conversión, DAT, CD, DCC, MD, interconexiones digitales, consolas digitales, edición digital. Explica con gran lucidez temas como jitter, dither. Contiene índice temático y alfabetico, glossario y referencias.*
- Además de los libros anteriores, se ha recurrido a otras publicaciones de las cuales se han extraído sólo detalles por lo cual no se consideró útil incluirlos aquí. También se consultaron numerosos folletos y especificaciones de los equipos, que en general se consiguen gratis con sólo pedirlas a los comercios, a los distribuidores, o al propio fabricante, y que arrojan luz sobre gran cantidad de cuestiones prácticas acerca de las implementaciones de los distintos equipos. También son una fuente de información importante los manuales del usuario, que pueden consultarse en los comercios especializados (o solicitando copias a los fabricantes), y que también permiten formarse una idea más clara de las aplicaciones, versatilidad, y limitaciones de los equipos. Es imposible dar aquí una lista de tal material porque sería interminable.
- Por último, es posible suscribirse a revistas especializadas, en las cuales se efectúan comentarios sobre equipos, con comparaciones y evaluaciones objetivas y subjetivas de sus respectivos rendimientos. Algunas de ellas son Audio, Mix, Home & Studio Recording, Keyboard, etc. Para artículos más profundos, en los cuales se describen científicamente los últimos aportes a la teoría y práctica del Audio, es posible asociarse a la AES (Audio Engineering Society), que distribuye una publicación periódica entre sus miembros.

Índice alfabético
A, 71
Absorción sonora, 45-48, 52-54
Acople, 66, 143
Acústica arquitectónica, 1, 44
Acústica física, 1
Acústica musical, 31
Acústica, 1
AVD, 168, 178
Adaptación de carga, 77-78
Adaptación de impedancia, 80
ADSR, 23, 24
AES/EBU, 243
Aftertouch, 42
Aislación acústica, 54-57
Aislación sonora, 54
Ajuste de nivel, 254, 255
o, 45-50
Alfombras, 47, 54
Algoritmo, 163
Algoritmo de compresión, 247
Alias, 166
Aliasing, 167
Alineal, 199
Alta fidelidad, 114
Altavoz, 114
Altavoz de bobina móvil, 114, 115
Altavoz de radiación directa, 116, 117
Altavoz, direccionalidad, 127-128
Altavoz, impedancia nominal, 123-124
Altavoz, potencia, 121
Altavoz piezoelectrónico, 114
Altavoz, respuesta en frecuencia, 126
Altavoz, sensibilidad, 124
Altoparlante, 114
Altura, 18, 23
Ambiencia, 45, 183
Ampere, 71
Amplificación, 100
Amplificador, 69, 100
Amplificador controlado, 147
Amplificador de potencia, 64, 70, 104-105
Amplificador diferencial, 97-98
Amplificador, distorsión, 109
Amplificador, impedancia de entrada, 111
Amplificador, relación señal a ruido, 106
Amplificador, respuesta en frecuencia, 108
Amplificador, sensibilidad, 105
Amplitud, 9, 20
Análisis de espectro,
Analizador de espectro, 139, 272
Analogía, 62

Índice alfabético

Analógico, 62	Cabezal de grabación de película fina, 247, 251
Análogo, 253	Cabezal de grabación/reproducción, 214
Ancho de banda, 141, 142, 237, 243	Cabezal de reproducción magnetorresistivo, 247, 251
Anécora, 127	Cable, 71, 73
Anisotropia, 224	Cable blindado, 97, 275
Antena de cuadro, 273	Cable de inserción en Y, 259-260
Antipop, 155	Cadena lateral, 154, 162, 228
Antisibilante, 154	Café, 23
Amónico, 13-14, 38	Caja acústica, 118-120
Ataque, 23, 150-152	Caja armónica, 37
Atenuador, 256	Caja directa, 279
ATF, 246	Cámara anécora, 125, 126, 127
Audio, 100	Cámaras, 252
Automático track follow, 246	Campo difuso, 50
Auxiliar post fader, 260, 262	Campo direccional, 50
Auxiliar pre fader, 260, 262	Campo cercano, 50
Azimut, 223	Campo lejano, 50
Baffle, 118-120	Campo libre, 284
Baffle abierto, 118	Campo magnético, 115, 206, 207
Baffle cerrado, 118, 119	Campo reverberante, 50-51, 125
Baffle infinito, 118	Campo sonoro, 4
Baffle reflector de bajos, 119	Campo sonoro directo, 50-51, 125
Baffle ventilado, 118	Campo sonoro reverberante, 50-51
Banco de filtros digitales, 247	Canal de transmisión, 233
Banda, 133	Canales de entrada, 253, 257, 265-266
Banda de audio	Canales de salida, 253
Batido, 31, 191	Canon, 98
Batimiento, 31, 191	Cardióide, micrófono, 86
Biamplificación, 132	Carga, 76
Binarios, números, 164, 165	Carga eléctrica, 71, 92, 93, 206
Binding post, 113	Cavidad nasal, 24
bit, 168	Cavidad oral, 23
bit de paridad, 236	Cassette, 206
Blindaje, 66, 97, 98, 275	Cassete compacto digital, 244, 247-251
Blindaje magnético, 216	CD, 29, 233, 236, 237-243
Blindaje telescopico, 278-279	Celdas de carga, 42
Bobina, 91, 115	Chorus, 191, 192, 202
Bobina móvil, 91, 115, 207	Círculo, 6, 8
Bocina, 116, 117	Círculo de histeresis, 218
Bocina exponencial, 117	Círculo de muestreo, 178
Bocina plegada, 120	Cíferas, 54
Boombó, 40	Cinta magnética, 223, 233
Borrado, 219	CIRC, 240
Bucle de tierra, 278-279	Círcuito eléctrico, 71
Bus, 257	Círcuito magnético, 115
Bus de grupo, 262	Clarinete, 23, 38
Bus de solos, 264	Clave de transmisión sonora, 56-57
Bus principal, 264, 268	Clase de una fuente, 44
byte, 180	Codificador, 227
Código de sincronismo, 235	Código de sincronismo adaptable por subbandas, 247-249
Código Reed-Solomon, 240	Coeficiente de absorción sonora, 45-50
Columna de aire, 38	Compuerta, 70, 158, 201
Compañia flotante, 249	Compresión, 149, 201
Compañia pitagórica, 36	Compact Disc, 29, 168, 223, 236, 237-243
Conexión de gráficos, 101	Compresor, 70, 106, 146, 147, 227
Conjunto de datos, 247-249	Compresor, ataque, 150
Conjunto de inserción, 174-175, 259-260	Compresor, envolvente, 150
Conjunto de fijado, 250	Conductor, 73
Conectores, 64	Conectores, 64
Conectores TRS, 113, 256, 259	Conectores XLR, 98, 113, 256, 264, 275
Conectores TS, 113, 259	Conexión auxiliar, 174, 175, 253, 260
Conexión balanceada, 97, 275	Conexión de inserción, 174-175, 259-260
Conexión no balanceada, 97	Conexión no balanceada, 97
Confort auditivo, 58	Cono, 115
Consola, canales de entrada, 265-166	Consola, conexiónado, 275
Consola, estructura, 255-265	Consola, estructura de ganancia, 268-269
Consolas, sección de mezcla, 252-280	Consola, sección de salida, 266-267
Consola, salidas directas, 268	Consola, selectores de direcciónamiento, 262
Consorcio, 31-33, 35	Consonancia, 31-33, 35
Control de tiempo, 22	Conversor analógico/digital, 168, 178, 242
Control de tono, 70	Conversor digital/analogico, 170, 178, 242
Coro, 191, 192-193, 202	Corrección de errores, 236, 249
Corrección de errores, 236, 249	Corrector de fase, 116
Corriente, 71, 72, 74	Corriente, 71, 72, 74
Corriente eléctrica, 71	Corrientes de Foucault, 216
Corrientes parásitas, 216	Cortinas, 54
Cromo, cinta de, 224	Cross-interleaved Reed-Solomon Code, 240

- Cross-over, 129
 Cross-over pasivo, 131
 Cross-over activo, 132
 Cuadro, 240, 241, 249-250
 Cualidades acústicas, 44
 Cuarta, 33, 35
 Cuasiperiódico/a
 Cuerdas vocales, 24, 58
 Cuidas aneocácas, 53
 Curva de transferencia, 101, 109, 211, 212
 Curvas de Fletcher y Munson, 21
- D/A, 170, 178
 DAT, 67, 168, 206, 243-247
 DAT multicanal, 246
 dB, 10
 dB(A), 22
 dBm, 102-103
 dBV, 102-103
 dbx, 228, 230
 DCC, 29, 244, 247-251
 DCC, aplicaciones, 251
 decibel, 10, 66, 100
 decibel A, 22
 Decibeles referenciados, 102, 106
 Decibeles relativos, 102
 Decíbelímetro, 10
 Decodificador, 227
 Defasaje, 80
 Desmagnetización, 219
 Densidad espectral, 17
 Densidad lineal, 37
 Densidad superficial, 55
 Detector de errores, 236
 Detector de nivel, 147, 229
 Diafragma, 112, 226, 243, 273
 Diafragma, 91, 92, 115, 117
 Diagrama de bloques, 64
 Diagrama direccional, 86, 145
 Diagrama polar, 86-87
 Difusión del sonido, 51-53
 Digital Compact Cassette, 29
 Digitalización, 168
 Dióxido de cromo, 224
 Dipolo acústico, 118
 Direccionalidad, 25-27, 51, 86, 127-128
 Direccional, micrófono, 87
 Disonancia, 31-33
 Disco compacto, 233, 236, 237-243
 Disco flexible, 206
 Disco óptico, 233
 Disco rígido, 206, 233
 Diskette, 206, 233
 Disonancia, 31-33
 Distorsión, 23, 63, 67-69, 96, 107, 109, 199, 224, 225-226, 243, 271-272
- Distorsión armónica, 67-68
 Distorsionador, 199-200
 Distorsión lineal, 69
 Distorsión no lineal, 68
 Distorsión por intermodulación, 68, 110
 Distorsión total armónica, 68, 96, 110, 226
 Dither, 173
 Divisor de frecuencias, 131
 Divisor de tensión, 75-76
 DNR, 232
 Dolby, 228-230
 Dominio magnético, 208-209
 Driver, 116-117
 Ducking, 154
 Eco, 44, 177, 180, 182
 Eco múltiple, 181
 Equalizador, 139-141, 213, 222-223
 Equalizador, 64, 70, 129, 133-142, 145, 183, 200, 213, 222, 254, 258
 Equalizador de bandas, 133
 Equalizador gráfico, 133-140, 258
 Equalizador parágrafico, 288
 Equalizador paramétrico, 133, 141-142, 145, 258
 Equalizador semiparamétrico, 258
 Efecto antena, 66, 97
 Efecto de precedencia, 26-27
 Efecto de proximidad, 87
 Efecto Doppler, 27-28
 Efecto Haas, 26-27
 Efecto Peine, 185, 195
 Efectos, 42, 174
 Efectos del ruido, 58
 Efectos en paralelo, 174
 Efectos en serie, 174
 EIAJ, 243
 Eje principal, 86
 Electret, micrófono, 93
 Electroimán, 209
 Emulsión, 213, 214, 221, 222
 Energía
 Energía acústica, 114
 Energía cinética, 288
 Energía eléctrica, 74, 114
 Energía mecánica, 288
 Energía potencial, 288
 Energía sonora, 17, 51, 56
 Energía térmica, 289
 Enmascaramiento, 29-30
 Entrada, 64, 100
 Entrada de línea, 254
 Entrada de micrófono, 254
 Entreterra, 214, 215, 221
 Envío, 174, 260
 Envío auxiliar, 253, 260
- Filtro de suavizado, 171
 Filtro digital de reconstrucción perfecta, 248
 Filtro "notch", 142, 145
 Filtro pasaaltos, 129, 130
 Filtro pasabanda
 Filtro peine, 195
 Folded horn, 150
 Flanger, 193-195
 Flanger, profundidad, 193
 Flanger, velocidad, 193
 Flauta, 38
 Flauta de Pan, 39
 Fletcher, 21
 Floppy disk, 206
 Flutter, 223, 226, 243
 FM, 157, 201
 for, 21
 Fonema, 25
 Forma de onda, 11-13
 Formantes, 24-25
 Fórmula de Sabine, 48
 Frecuencia, 6-7, 8, 18-19, 20
 Frecuencia alias, 167
 Frecuencia central, 135, 197
 Frecuencia inferior de corte, 130
 Frecuencia superior de corte, 129, 222
 Frecuencia de instrumentos de cuerdas, 39
 Frecuencia de muestrado, 165
 Frecuencia de Nyquist, 166
 Frecuencia fundamental, 15
 Frecuencia inferior, 85
 Frecuencias estándar, 134
 Frecuencia superior, 85
 Frente de onda, 290
 Frotoado, 37
 Fuente de alimentación, 72
 Fuente de tensión, 72
 Fader principal, 257
 Faders, 254, 255
 Faders de canal, 258, 260, 261, 266
 Faders de entrada, 254
 Faders de grupo, 262
 Faders de salida, 254
 Fagot, 38
 Fase, 289
 Feedback, 176
 Ferromagnetismo, 208-212
 Ferromagnético, material, 208
 Fibra celulósica, 53-54
 Fibra de vidrio, 54
 Fibra mineral, 54
 Fibra óptica, 243
 Figura de ocho, micrófono, 89
 Filtro, 70, 129
 Filtros antialias, 167-168
 Filtro controlado, 228
- Ganancia, 64, 100, 133, 141, 143, 145, 150
 Ganancia de tensión, 100
 Garganta, 116
 Grabación magnética, 213
 Grupos, 253, 262-263
 Headroom, 269-271, 272-273

- hectopascal, 7
hertz, 6
Hilo conductor, 7, 1
Hipercardiode, micrófono, 89
Hipóacusia, 59, 61
Histéresis, 159, 211-212
Hz, 6
- Imán, 90, 91, 206, 207
Imán permanente, 211
IMD, 68, 110, 271
- Impedancia, 80
Impedancia acústica, 116
Impedancia interna, 81
Impedidores, 274
Índice de reducción acústica, 56
Inset, 253, 259
- Instrumentos de cuerda, 37-38
Instrumentos de viento, 37, 38-39
Instrumentos musicales electrónicos, 40-43
Integrador, 213, 222
Intensidad de corriente eléctrica, 292
Interconexión MIDI, 42-43
Interferencia a la palabra, 58
Interpolación, 236
- Jabalina, 277
Jaula de Faraday, 275
- Key tracking, 41
- KHz, 6
- Kilohertz, 6
- Kilohm, 73
- Lana de vidrio, 47, 55, 56
- Laberinto, 120
- Laringe, 23
- Láser, 239
- LCD, 254
- LED, 155, 254
- Lengüeta, 39
- Ley de Ohm, 73
- LFO, 186, 189, 193, 194, 196, 197
- Limitador, 70, 107, 146, 156
- Línea, 101, 199
- Línea omnibus, 257
- Líneas de campo, 207
- Líneas de flujo, 207
- Líneas de fuerza, 207
- Líneas espectrales, 15
- Lobular, micrófono, 89
logie, 10
Logaritmo, 10
Longitud de onda, 5, 6-7
- Magnetismo, 208
Mantis, 249
- Masa, 276
Masa circuitual, 277
- Master, 253
- Materiales absorbentes acústicos, 53-54
- Maximo nivel de salida, 224
- Medidor de nivel sonoro, 22
- Memoria RAM, 171, 178, 233
- Memoria ROM, 171, 233
- Mesa de mezcla, 252
- Metal, cinta de, 224
- Metalófonos, 40
- Mezcladora, 252
- Mezclador, 257
- Mezclador auxiliar, 260-261
- Mezclador principal, 261
- Mezcla principal, 253
- Mezclas puntuales, 262
- Micrófono, 64, 69, 82
- Micrófono de bobina móvil, 90
- Micrófono de cinta, 99
- Micrófono capacitivo, 92
- Micrófono dinámico, 90
- Micrófono, direccionalidad, 86
- Micrófono, distorsión, 96-97
- Micrófono electrostático, 92
- Micrófono prepolarlizado, 93
- Micrófono, relación señal a ruido, 95-96
- Micrófono, respuesta en frecuencia, 85
- micro, 294
- microamper, 294
- micropascal, 7, 83
- microvolt, 294
- MIDI, 42-43
- mili, 294
- miliampere, 71
- milivolt, 72
- milliwatt, 294
- Minidisc, 251
- Modo común, 98, 278
- Modos normales de vibración, 51
- Modulación, 42, 186
- Modulaciones, 36
- Modulación de amplitud, 186
- Modulación de código de pulsos, 234
- Modulación de fase, 189
- Modulación de frecuencia, 188
- Música fija, 36
- Mute, 254, 264
- mV, 72
- mW, 102
- Pascal, 7
- Patch bay, 275-276
- Nivel, 295
- Nivel bajo, 102, 104
- Nivel de grabación, 224
- Nivel de linea, 102, 104, 253, 256
- Nivel de presión sonora, 10-11, 67, 201
- Nivel de tensión, 102, 146
- Nivel sonoro, 22-23, 58
- No lineal, 199
- NPS, 10
- NS, 21
- Núcleo, 214
- Núcleo laminado, 216
- Números binarios, 164, 165
- Oboe, 38
- Octava, 19-20, 33, 133
- Octava central, 19
- Ohm, 73
- Ω, 73
- Ondas unidireccionales, micrófono, 86
- Onda sonora, 3
- Onda, 295
- Onda cuadrada, 11, 13-14
- Onda cuasisimétrica, 296
- Onda diente de sierra, 12, 14
- Onda estérica, 3
- Onda senoidal, 13
- Onda simétrica, 296
- Onda estacionaria, 51-52
- Onda triangular, 12, 14
- Organo, 22
- Oscilación, 143
- Oscilador, 40
- Oscilador de baja frecuencia, 186, 189, 193, 194, 196, 197
- Overampling, 171
- MáA, 71
- Margen de sobrecarga, 269-271, 272-273
- Masa, 276
- Masa circuitual, 277
- Master, 253
- Materiales absorbentes acústicos, 53-54
- Maximo nivel de salida, 224
- Medidor de nivel sonoro, 22
- Memoria RAM, 171, 178, 233
- Memoria ROM, 171, 233
- Mesa de mezcla, 252
- Metal, cinta de, 224
- Metalófonos, 40
- Mezcladora, 252
- Mezclador, 257
- Mezclador auxiliar, 260-261
- Mezclador principal, 261
- Mezcla principal, 253
- Mezclas puntuales, 262
- Micrófono, 64, 69, 82
- Micrófono de bobina móvil, 90
- Micrófono de cinta, 99
- Micrófono capacitivo, 92
- Micrófono dinámico, 90
- Micrófono, direcciónalidad, 86
- Micrófono, distorsión, 96-97
- Micrófono electrostático, 92
- Micrófono prepolarlizado, 93
- Micrófono, relación señal a ruido, 95-96
- Micrófono, respuesta en frecuencia, 85
- micro, 294
- microamper, 294
- micropascal, 7, 83
- microvolt, 294
- MIDI, 42-43
- mili, 294
- miliampere, 71
- milivolt, 72
- milliwatt, 294
- Minidisc, 251
- Modo común, 98, 278
- Modos normales de vibración, 51
- Modulación, 42, 186
- Modulaciones, 36
- Modulación de amplitud, 186
- Modulación de código de pulsos, 234
- Modulación de fase, 189
- Modulación de frecuencia, 188
- Música fija, 36
- Mute, 254, 264
- mV, 72
- mW, 102
- Pascal, 7
- Patch bay, 275-276
- Nivel bajo, 102, 104
- Nivel de grabación, 224
- Nivel de linea, 102, 104, 253, 256
- Nivel de presión sonora, 10-11, 67, 201
- Nivel de tensión, 102, 146
- Nivel sonoro, 22-23, 58
- No lineal, 199
- NPS, 10
- NS, 21
- Núcleo, 214
- Núcleo laminado, 216
- Números binarios, 164, 165
- Oboe, 38
- Octava, 19-20, 33, 133
- Octava central, 19
- Ohm, 73
- Ω, 73
- Ondas unidireccionales, micrófono, 86
- Onda sonora, 3
- Onda, 295
- Onda cuadrada, 11, 13-14
- Onda cuasisimétrica, 296
- Onda diente de sierra, 12, 14
- Onda estérica, 3
- Onda senoidal, 13
- Onda simétrica, 296
- Onda estacionaria, 51-52
- Onda triangular, 12, 14
- Organo, 22
- Oscilación, 143
- Oscilador, 40
- Oscilador de baja frecuencia, 186, 189, 193, 194, 196, 197
- Overampling, 171
- Pa, 7
- Palabra de sincronismo, 242
- Pan, 256
- Panel de conexiones, 275-276
- Panteo, 254, 262, 265-266
- Panteo de grupo, 262, 268
- Pantop, 256
- PAP, 60
- Parámetros, 5, 64
- Partiales, 297
- Partante, 114
- PASC, 247-249
- Periodo, 6, 8, 11
- Periodo de muestreo, 165
- Permeabilidad magnética, 209
- Perturbación, 2, 4, 5
- PFL, 264, 268
- Phaser, 193, 197-198
- Phaser, profundidad, 197
- Pick-up, 279
- Piezoelectricidad
- Pisos, 54
- Placa armónica, 37
- Placa de roca de yeso, 55
- Platillos, 40
- Plug TRS, 254
- Plug TS, 254
- Polarización, 92, 216-219
- Polícarbonato, 237
- Poliestireno expandido, 54
- Polo norte, 221
- Polo sur, 221
- Postpolarización, 42
- Potencia, 64, 74, 121, 216
- Potencia de programa máxima, 121, 122
- Potencia de pico máxima, 121
- Potencia eléctrica, 74-75
- Potencia máxima, 297
- Potencia máxima de salida, 105
- Potencia media máxima, 121, 122
- Pre delay, 298
- Preamplificación, 102
- Preamplificador, 64, 70, 84, 94, 104, 213, 256
- Presión atmosférica, 7

- Presión sonora, 7, 8, 10, 11
 Presbiacusia, 60
 Print-through, 224
 Procesadores de señal, 68-70
 Procesador de efectos, 70, 174
 Productos de distorsión, 68
 Productos de intermodulación, 68, 199
 Procesador digital de señales, 163
 Psicoacústica, 18
 PT, 56-57
 Puesta a tierra, 276-279
 Pulaciones, 31, 191
 Puntos, 37
- Q, 141-142, 197, 258
 Quasiperíodico
 Quinta, 33
- R, 73
 RAM, 171, 178, 190
 Rwp, 56
 Rack, 276, 297
 Radiación directa, 116
 Rango dinámico, 64, 66-67, 70, 107, 146, 243
 RCA, 113
 Realimentación, 143, 176
 Realizadores, 200-201
 Receptor, 180
 Recorte, 121-122
 Red crossover, 131-132
 Red divisoria de frecuencias, 129, 131-133
 Reductores de ruido, 226-232
 Reductores de ruido complementarios, 226-231
 Reductores de ruido no complementarios, 226, 232
 Reflector de bajos, 119
 Reflexión, 27-28, 180
 Reflexiones tempranas, 27, 28, 44-45, 70
 Reflexiones tardías, 27
 Registro digital, 233-251
 Registro magnético, 206
 Relación de compresión, 147-150
 Relación señal/ruido, 66, 95, 106-107, 146, 169-170, 226, 243,
 Relevó, 23, 130-152
 Remanencia, 219
 Rendimiento, 116
 Representación unifilar, 64
 Reproducción magnética, 213
 Resistencia, 72-73
 Resistencia de carga, 76
 Resistencia interna, 76
 Resistencias en paralelo, 78-80
 Resistencias en serie, 78-80
 Resistor, 72-74
 Resolución, 168, 242
 Resonancia, 24, 44, 51-53, 141
- Respuesta en frecuencia, 64, 69, 85, 108, 126-127, 220-223, 225, 243, 273-274
 Retardo, 26-27, 70, 143, 177, 181, 182, 194
 Retardo analógico, 177
 Retardo de referencia, 189, 190, 193, 194
 Retardo digital, 177
 Retención simple, 171
 Retorno, 174
 Retorno auxiliar, 253, 260, 261, 262
 Return, 253
 Reverberación, 27-28, 70, 183-184
 Riesgo de exposición, 60
 RMS, 81, 154
 ROM, 171
 RT_{so}, 46
 Ruido, 16, 58, 63, 65-66, 227
 Ruido acústico, 65, 159
 Ruido ambiente, 30, 65, 95
 Ruido blanco, 17
 Ruido bronquiano, 17
 Ruido de cuantización, 65
 Ruido de digitalización, 65, 169
 Ruido de manipulación, 91
 Ruido eléctrico, 65, 91, 95, 159
 Ruido rosa, 17, 140
- Sabine, 48
 Sala anecóica, 125, 127
 Sala de control, 264
 Salida, 64, 100
 Saturación, 69, 121, 122, 227
 Saturación magnética, 211, 224
 Secuenciadores, 42
 Seguimiento de altura, 41
 Semiperíodo, 301
 Semitono, 19
 Seno, 13
 Señales, 13
 Sensibilidad, 82-84, 105, 124, 125
 Sensibilidad de referencia, 82
 Señal, 62, 100, 146
 Señal de audio, 100
 Señal eléctrica, 69, 82
 Señal magnética, 214
 Señal seca, 176, 182
 Señal sonora, 69, 82
 Separación de canales, 112, 226, 243, 273
 Sequencers, 42
 Sexta mayor, 33
 Sexta menor, 33
 Shock eléctrico, 276
 Sigma-delta, 242
 Sincronismo, 235
 Sincronización, 242
 Síntesis de sonidos, 22
 Sintetizador, 22, 23
 Sinusoide, 13
- Sistema, 62, 63-64
 SIP, 264, 268
 Slew rate, 109
 SMPTE, 111
 Sobremuestreo, 171
 Soft knee, 155-156
 Solo, 254, 264-265
 Solo in place, 264
 Solo post fader, 264
 Sonido, 1, 2-5
 Sonidos armónicos, 302
 Sonido enmascarante, 29
 Sonido máscara, 29
 Sonido profesional, 114
 Sonidos muestrados, 40
 Sonidos parciales, 15
 Sonodeflector, 118
 Sonoridad, 18, 20-22, 201
 Sordina, 254, 264
 Sordera profesional, 61
 Sosten, 23
 Squawker, 114
 STC, 56-57
 Subbandas, 247-249
 Subcardióide, micrófono, 89
 Subódigo, 241
 Submaster, 253
 Submezcla, 253
 Subsonido, 302
 Subsónico, 302
 Subwoofer, 302
 Superposición, 13
- Tabinques, 54-55
 Tabiques dobles y múltiples, 53
 Tabla armónica, 37
 Tambor, 40
 Tambor rotativo, 245
 Tasa de sobremuestreo, 242
 Telgopor, 54
 Temperamento uniforme, 37
 Tensión, 71-77
 Teorema de Fourier, 13
 Teorema de muestreo, 166, 249
 Tercera mayor, 33
 Tercera menor, 33
 Tercio de octava, 133
 Téster, 207
 THD, 68, 96, 110, 271
 Tierra, 276-279
 Tierra, conexión en estrella, 279
 Timbales, 40
 Tiempo de ataque, 152, 161
 Tiempo de relevo, 152, 161
 Tiempo de reverberación, 28, 46-50, 51
 Tiempo de reverberación óptimo, 48-50
- Tiempo de sostén, 153
 Timbre, 18, 22-25
 Tom-tom, 40
 Ton, 303
 Tono máscara, 29, 30
 Tono puro, 21
 Topología de una consola, 255
 Trampa de sonido, 53
 Transducción, 303
 Transductor, 62, 69, 82, 114
 Transmisión por flancos, 57
 Transposición, 36
 Transpositores de altura, 202-205
 Tremolo, 32, 186-187
 Tremolo, profundidad, 186
 Tremolo, velocidad, 186
 Tren de pulsos, 12
 Trombón, 38
 Trompeta, 38
 TRS, 113, 256, 259
 TS, 113, 259
 Ts_{so}, 46
 Tubo de sintonía, 120
 Tweeter, 6, 14
- Ultrasonido
 Ultrásónico
 Umbral, 147-150, 159
 Umbral auditivo, 7
 Umbral de audición, 21, 22, 23, 29
 Umbral de dolor, 21, 22, 23
 Unidades de volumen, 265
 Unísono, 33
- V, 71
 Valor de pico, 9, 153-154
 Valor eficaz, 81,
 Valor pico, 9
 Valor pico a pico
 VCA, 147, 150, 186, 187
 VCO, 188
 Velocidad de la cinta, 220, 221, 222
 Velocidad del sonido, 3
 Velocidad lineal constante, 237
 Velocity, 41, 42
 Ventana de histéresis, 160
 Ventanas dobles y triples, 55-56
 Ventilación, 57
 VHS, 244
 Vibración, 186
 Vibrato, 187-190
 Vibrato, velocidad, 189
 Vídeo, 71, 276, 277
 Volt, 71
 Voltaje, 71
 VTR, 244

991

ROZENTAL

Vímetro, 207, 254, 265, 266, 267
W, 74
Wah-wah, 196-197
Wah-wah, profundidad, 196
Wah-wah, velocidad, 196
Watt, 74
Woofter, 6, 114

Wow, 226, 243
Xilófonos, 40
XLR, 98, 113, 256, 264, 275
X-Y, configuración, 89
Z, 80

ACUSTICA Y SISTEMAS DE SONIDO

Páginas compuestas provistas por autores

Procesado gráfico

UNR EDITORA

EDITORIAL DE LA

UNIVERSIDAD NACIONAL DE ROSARIO

Urquiza 2050 - 2000 Rosario/República Argentina

AGOSTO 1999