

Unidad 2. Amplificadores

Unidades:

1. Introducción a los sistemas de sonido

▶ **2. Amplificadores**

3. Equipos de procesado de señal

4. La consola multicanal

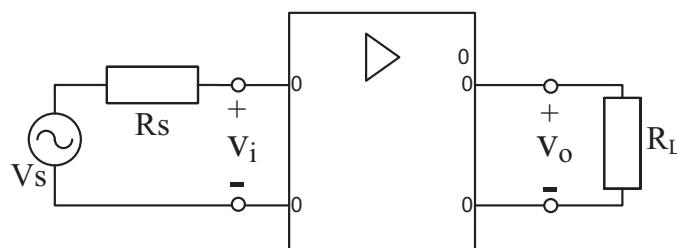
5. Diseño e instalación de sistemas de sonido

- Introducción.
- Amplificadores operacionales
 - Amplificadores de mezcla, distribución y aislamiento
- Preamplificadores
 - Características fundamentales
 - Selección y utilización
- Amplificadores de potencia
 - Especificaciones técnicas
 - Montajes prácticos

- 1 -

Introducción

- Los amplificadores son circuitos que elevan la potencia de una señal con una distorsión mínima
- Proporcionan la ganancia acústica necesaria para un sistema de sonido
- Otras funciones importantes:
 - Adaptación de niveles
 - Adaptación de impedancias
 - Ecualización, combinación, distribución o aislamiento de señales
- **Los amplificadores forman parte de la mayoría de circuitos específicos de audio (etapas de entrada/salida)**



- 2 -

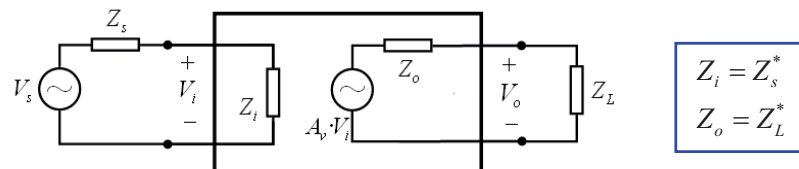
Clasificación

- Según la frecuencia de funcionamiento
 - Amplificadores de continua
 - de audiofrecuencia (< 20 KHz) ◀
 - de videofrecuencia (< 15 MHz)
 - de radiogrecuencia (LF, VHF, UHF)
 - de microondas (>1 GHz)
- En función de la situación dentro de la cadena de audio
 - Preamplificadores
 - Amplificadores de mezcla, distribución y aislamiento
 - Filtros activos
 - Amplificadores de potencia
- En función del tipo de conexión en los terminales de entrada y salida
 - Entrada/salida no balanceada
 - Entrada/salida balanceada (**amplificadores diferenciales**)
 - Cualquier combinación de las dos anteriores

- 3 -

Impedancias de entrada/salida

- En el pasado se utilizaba **adaptación de impedancias** a 600Ω
 - Máxima eficiencia y SNR en telefonía a larga distancia en equipos de válvulas utilizando transformadores de acoplo

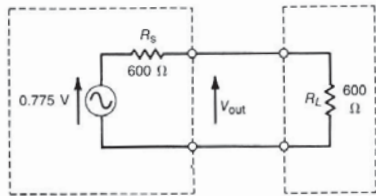


- Limitaciones
 - Coloración de la respuesta en frecuencia por variaciones de la impedancia de carga con la frecuencia
 - Derivas por calentamiento
 - Imposibilidad de cargar una salida con varios equipos en paralelo (necesidad de amplificadores de distribución para adaptar impedancias)

- 4 -

Impedancias de entrada/salida

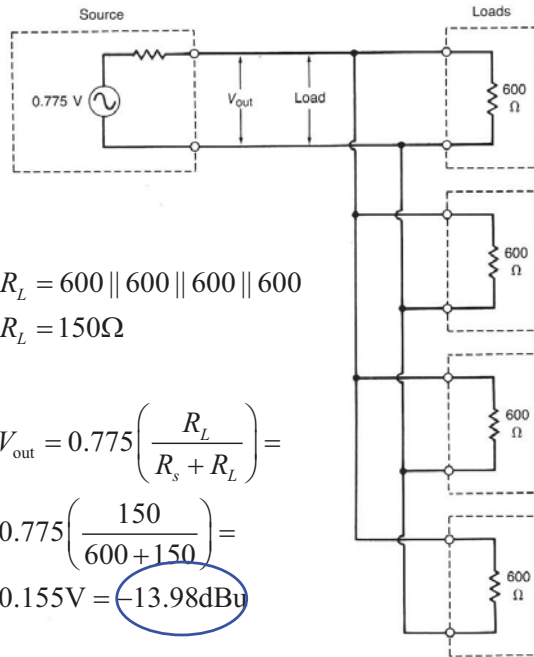
- Adaptación de impedancias



$$V_{out} = 0.775 \left(\frac{R_L}{R_s + R_L} \right) =$$

$$0.775 \left(\frac{600}{600 + 600} \right) =$$

$$0.731V = -6.02dBu$$



$$R_L = 600 \parallel 600 \parallel 600 \parallel 600$$

$$R_L = 150\Omega$$

$$V_{out} = 0.775 \left(\frac{R_L}{R_s + R_L} \right) =$$

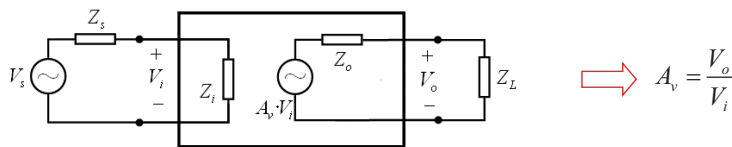
$$0.775 \left(\frac{150}{600 + 150} \right) =$$

$$0.155V = -13.98dBu$$

- 5 -

Impedancia de entrada y salida

- En la actualidad los **equipos de audio** utilizan **acoplo en tensión** (transmisión de señal sin potencia) \Rightarrow **amplificadores de voltaje**



- Las impedancias de fuente y de carga modifican la ganancia del amplificador

$$\left. \begin{aligned} V_i &= V_s \frac{Z_i}{Z_s + Z_i} \\ V_L &= A_v V_i \frac{Z_L}{Z_o + Z_L} \end{aligned} \right\} A_{vs} = \frac{V_L}{V_s} = A_v \frac{Z_L}{Z_o + Z_L} \frac{Z_i}{Z_s + Z_i}$$

- Acoplo en tensión (*matching voltage coupling, bridged voltage coupling*)

$$\begin{matrix} Z_i \uparrow \uparrow \\ Z_o \downarrow \downarrow \end{matrix} \Rightarrow \begin{matrix} |Z_o| \ll |Z_L| \\ |Z_s| \ll |Z_i| \end{matrix} \Rightarrow A_{vs} \approx A_v$$

$$\begin{matrix} |Z_i| \geq 10|Z_o| \\ |Z_o| \leq 50\Omega \\ |Z_i| \geq 5K\Omega \end{matrix} \leftarrow \text{Equipos de audio}$$

- 6 -

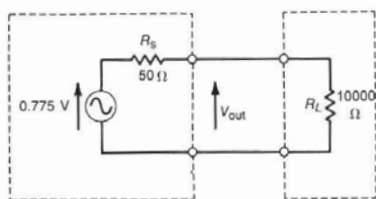
Impedancia de entrada y salida

- Ventajas del acoplo en tensión (*matching voltage coupling, bridged voltage coupling*)
 - Se evita la coloración por variaciones en frecuencia de la carga y las derivas por variaciones de temperatura
 - Se facilita la conexión de equipos en paralelo sin amplificadores de distribución, adaptación de impedancias o cambios de nivel
 - Reducción del ruido térmico por reducción de las impedancias de fuente (mejora de la SNR en 14dB)
 - Mayor fiabilidad por reducción de la potencia disipada en los equipos
 - Reducción del acoplo inductivo entre los cables (reducción de la diafonía)
 - Reducción de la interferencia de tipo inductivo
- Se pueden utilizar tiradas de cable superiores a 300 m sin que se produzcan ondas estacionarias
- A partir de estas distancias los cables se comportan como líneas de transmisión y es necesario adaptar impedancias
 - Impedancia característica de las líneas de audio: 50-100Ω

- 7 -

Impedancia de entrada y salida

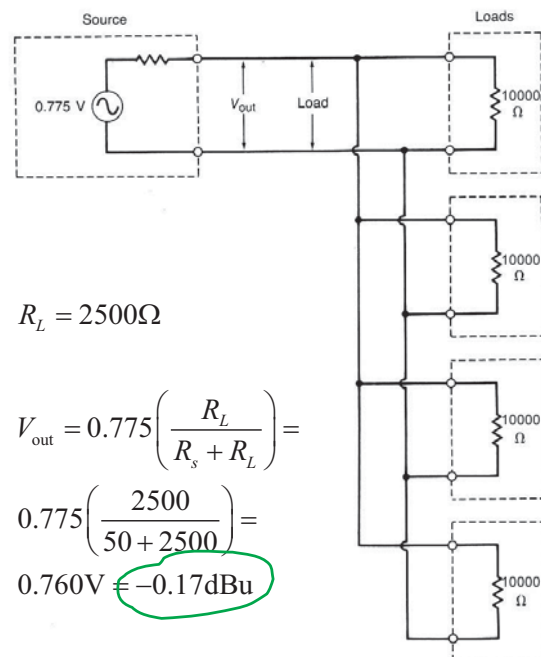
- Acoplo en tensión



$$V_{\text{out}} = 0.775 \left(\frac{R_L}{R_s + R_L} \right) =$$

$$0.775 \left(\frac{10000}{50 + 10000} \right) =$$

$$0.771\text{V} \approx -0.04\text{dBu}$$



$$R_L = 2500\Omega$$

$$V_{\text{out}} = 0.775 \left(\frac{R_L}{R_s + R_L} \right) =$$

$$0.775 \left(\frac{2500}{50 + 2500} \right) =$$

$$0.760\text{V} \approx -0.17\text{dBu}$$

- 8 -

Impedancia de entrada y salida

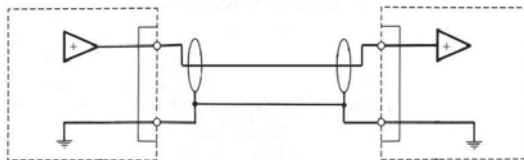
- Impedancias típicas de equipos de audio

Type of System	Typical output Impedance	Typical input Impedance
Home stereo	1–10 k Ω	50–200 k Ω
Low-impedance microphone	150 Ω (microphone)	1500 Ω (preamp)
High-impedance microphone	100 k Ω (microphone)	1–5 M Ω (preamp)
600- Ω matched system	600 Ω	600 Ω
600- Ω bridged system	600 Ω	10–200 k Ω
▶ Voltage source system	200 Ω	10–200 k Ω
▶ Low-Z voltage source system	60 Ω	10–200 k Ω

- 9 -

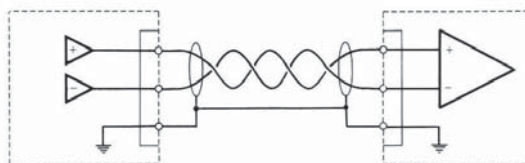
Entradas/salidas balanceadas

- Los amplificadores pueden tener entradas y salidas balanceadas o no balanceadas



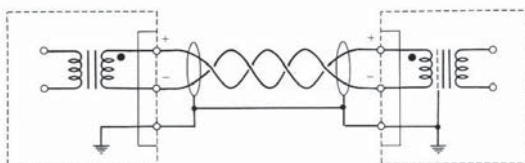
- Entradas/salidas no balanceadas

- Esquema más simple, típico en equipos HI-FI domésticos
- Conexiones de 2 hilos: señal (vivo) y referencia (malla de apantallamiento conectada a tierra)
- Problemas de interferencia electromagnética (EMI) y ruidos de tierra



- Entradas/salidas balanceadas

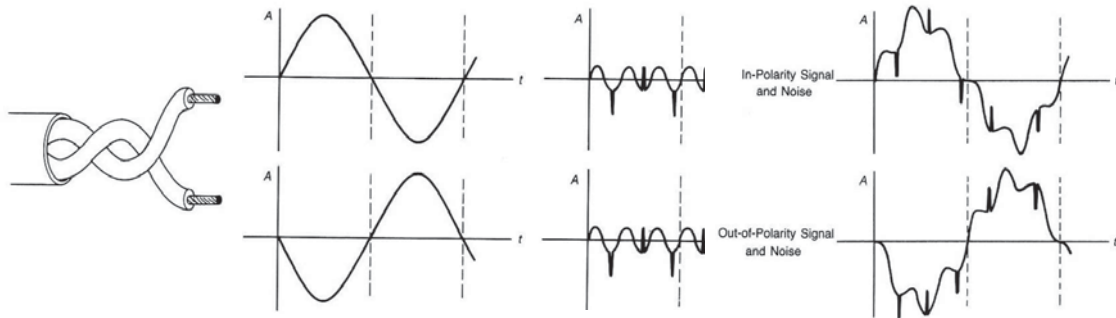
- Sistemas profesionales
- Conexiones de 3 hilos: par trenzado para señal en modo diferencial y malla de apantallamiento externo
- Gran capacidad de rechazo de interferencias y ruido de tierra
- Entradas/salidas activas (balanceadas electrónicamente mediante amplificadores diferenciales) o balanceadas mediante transformador



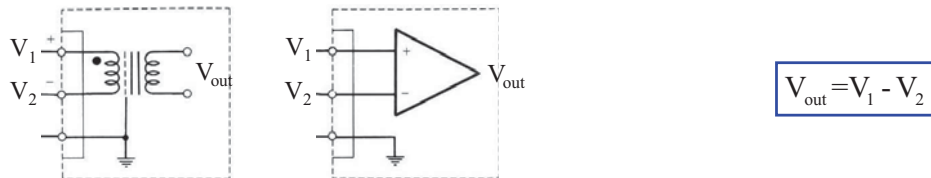
- 10 -

Entradas/salidas balanceadas

- La señal se introduce en el par de hilos trenzados en modo diferencial (en oposición de fase)
- El ruido por EMI se induce en ambos cables en modo común (en fase) debido al trenzado y a que la separación entre ambos es despreciable en términos de longitud de onda a las frecuencias de audio



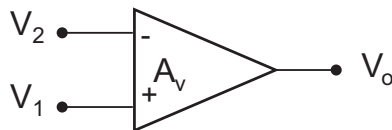
- La entrada balanceada responde a la diferencia de las señales en el par de hilos



- 11 -

Amplificadores operacionales (AO)

Amplificador operacional ideal



$$\begin{aligned} V_o &= A_v(V_1 - V_2) \\ A_v &= \infty \end{aligned}$$

Amplificador operacional real

$$V_o = A_{vd}(V_1 - V_2) + A_{vc} \left(\frac{V_1 + V_2}{2} \right)$$

$$A_{vd} \neq \infty; A_{vc} \ll A_{vd}$$

A_{vd} : ganancia en modo diferencial

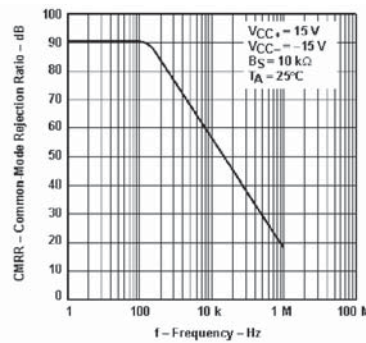
A_{vc} : ganancia en modo común

Factor de rechazo al modo común \blacktriangleright $CMRR(dB) = 20 \log \left(\frac{|A_{vd}|}{|A_{vc}|} \right)$
(Common Mode Rejection Ratio)

	A_v	R_i [M Ω]	R_o [Ω]	$A_v \cdot BW$ [MHz]	CMRR [dB]	V_o [V]
AO ideal	∞	∞	0	∞	∞	$-\infty < V_o < \infty$
AO real	>5000 <100000	>1 <10 ⁶	>50 <500	>1 <10	>80 <120	$-V_{cc} < V_o < V_{cc}$

Amplificadores operacionales (AO)

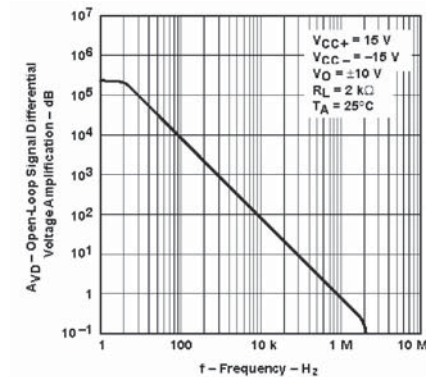
CMRR ►



$$CMRR(dB) = 20 \log \left(\frac{|A_d|}{|A_c|} \right)$$

Producto G·BW ▼

BW [Hz]	A_v
1.000.000	1
100.000	10
10.000	100
1.000	1.000
100	10.000
10	100.000



- 13 -

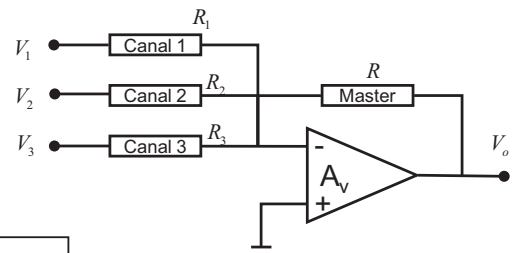
Etapas de entrada balanceadas-activas

- La irrupción de los amplificadores operacionales popularizó la utilización de conexiones balanceadas activas (diferenciales) en audio
 - Menor coste que las líneas balanceadas con transformadores
 - Reducción de peso y tamaño
 - Posibilidad de incluir conexiones balanceadas en las etapas de circuitería interna de los equipos
 - Excelente calidad de sonido

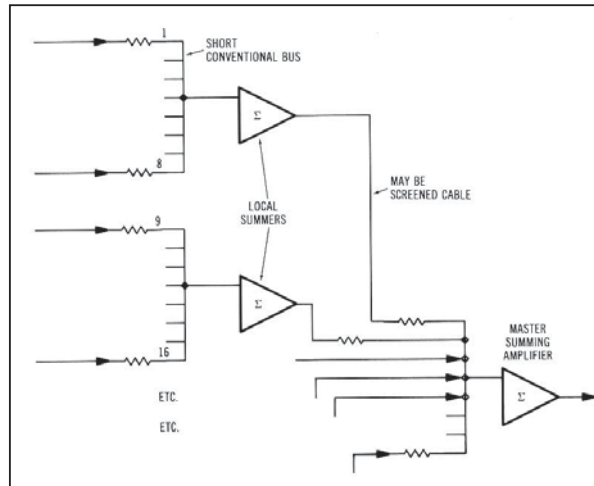
- 14 -

Amplificadores de mezcla

- Amplificador de mezcla
 - Pondera varias entradas en una salida
 - Elevado aislamiento entrada/salida
 - Elevado aislamiento entre entradas
 - Muy utilizado en las consolas multicanal



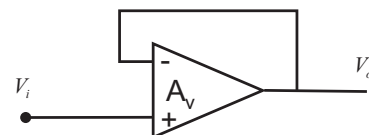
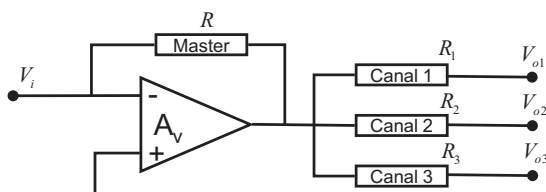
$$V_o = -R \sum \frac{V_i}{R_i}$$



- 15 -

Amplificadores de distribución

- Amplificador de distribución
 - Distribución de una señal a diferentes cargas (canales)
 - Ganancia de corriente suficiente (impedancia de salida baja)
 - Elevado aislamiento entrada/salida
 - Componente básico en consolas multicanal
- Amplificador de aislamiento (*unity-gain buffer*)
 - Adaptación de impedancias (independiza entrada/salida)
 - Impedancia de entrada elevada
 - Impedancia de salida baja mediante componentes discretos



- 16 -

Desarrollo del tema

- Introducción.
- Amplificadores operacionales
 - Amplificadores de mezcla, distribución y aislamiento
- ▶ • Preamplificadores
 - Características fundamentales
 - Selección y utilización
- Amplificadores de potencia
 - Clases de amplificadores de potencia
 - Mecanismos de protección
 - Especificaciones técnicas
 - Montajes prácticos

- 17 -

Preamplificadores

- Primer dispositivo activo en la cadena de audio
- Eleva la salida nominal de micrófonos a niveles típicos de línea (adaptación niveles)

-70 dBu a -50 dBu ▶ -20 dBu a +4 dBu

- Circuito de mayor ganancia en la cadena de audio
- Proporciona adaptación de impedancias de micrófonos y pick-up's de alta impedancia (condensador)

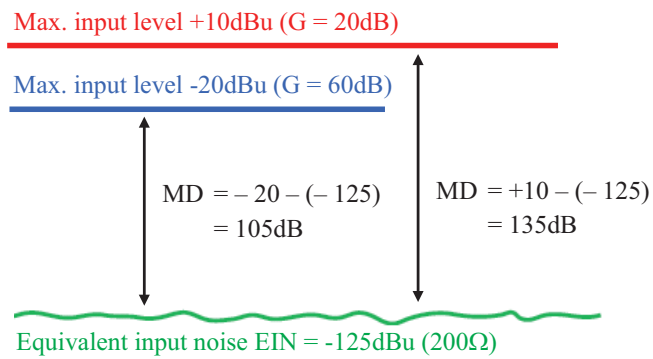
20-50K Ω ▶ 50-150 Ω

- Compatibilidad con acoplo en tensión
- Posibilidad de alimentar tiradas largas de cable
- Su adecuada selección y utilización es fundamental para la calidad en todo el sistema de sonido
 - Distorsión
 - Relación señal a ruido

- 18 -

Características fundamentales

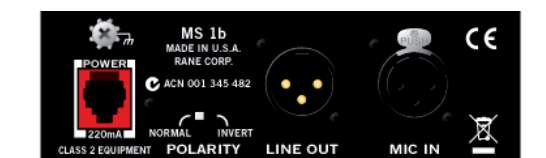
- **Nivel de saturación de entrada** (*maximum input level*)
 - Máximo nivel de señal a la entrada antes de que se sature la salida (entre -20dBu y +10dBu en función de la ganancia)
 - Junto con el EIN, determina el margen dinámico del preamplificador



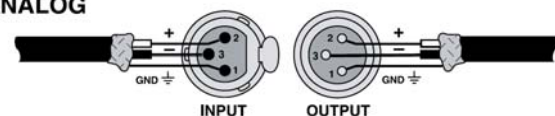
- 19 -

Características fundamentales

- **Factor de rechazo al modo común** (*common mode rejection ratio, CMRR*)
 - Mide la capacidad de evitar la amplificación de señales en modo común en los amplificadores diferenciales con entrada balanceada
 - Del orden de 100 dB en entradas balanceadas activas
 - 60 dB en entradas balanceadas mediante transformador



ANALOG



- 20 -

Selección de preamplificadores

- Es necesario garantizar la compatibilidad entre micrófono y preamplificador
 - Compatibilidad de impedancias de entrada/salida
 - Compatibilidad de niveles de entrada/salida
 - Niveles de ruido



- 21 -

Selección de preamplificadores

- **Compatibilidad de impedancias**
 - Micrófonos de baja impedancia (50-250 Ω) ► preamplificadores en torno a 1.5 Ω - 10K Ω de impedancia de entrada
 - Micrófonos de alta impedancia (20-50K Ω) ► preamplificadores con impedancia de entrada de 1-5M Ω (estándar antiguo, válvulas)
 - Los micrófonos de condensador llevan un previo para pasar a baja impedancia de salida (adaptador de impedancias) que suele preamplificar de 1 a 10 dB
 - Niveles de salida mayores (mayor sensibilidad)
 - Mayor nivel de ruido

- 22 -

Selección de preamplificadores

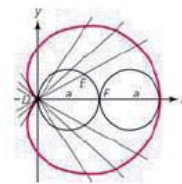
- **Compatibilidad de niveles**
 - Se obtiene el máximo nivel de salida que puede proporcionar el micrófono
 - Se comprueba que no supera el nivel de saturación de entrada del preamplificador
- **Obtención del máximo nivel proporcionado por el micrófono**
 - Máximo nivel de presión sonora (*maximum SPL, Max Acoustic Input, Sound Pressure Level*) en dB SPL
 - Sensibilidad (*Sensitivity, S*) en mV/Pa
 - A partir de estos dos parámetros se obtiene el máximo nivel de salida y se expresa en dBu, para compararlo con el nivel de saturación del preamplificador

- 23 -

Selección de preamplificadores

- **Ejemplo**

Mickey's Mics



**Model MM-100
Super Heart-Shaped Gold Vapor Large Diaphragm
Condenser Microphone**

"It's the best!" Anonymous, Mukilteo, WA

Unparalleled response with a pickup pattern following the locus of a fixed point on a circle that rolls on the circumference of another circle with the same radius.

SPECIFICATIONS

Transducer Principle	Condenser, or since 1950, Electrostatic
Pick-up Pattern	Super-Cardioid
Frequency Range	20 Hz – 20 kHz (± 2 dB)
Sensitivity @ 1 kHz	20 mV/Pa
Impedance	150 ohms
Equivalent Noise Level	14 dB-SPL, A-weighted
Maximum SPL	130 dB (1 kHz, 0.5% THD)
Power Requirement	12-48 VDC Phantom Powering, 5 mA
Housing/Finish	Yttrium-Titanium

Baja impedancia de salida ►

- 24 -

Selección de preamplificadores

- Ejemplo



MS 1b Microphone Stage

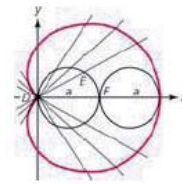


Parameter	Specification	Limit	Units	Conditions/Comments
Input Impedance	10k	1%	Ω	Balanced 5k + 5k
Gain Range	18 to 66	typ.	dB	
Phantom Power	+48	4%	V	10 mA max.
.....Impedance	6.81k	1%	Ω	Each leg Alta impedancia de entrada
.....Load Regulation	0.1	typ.	%	0 to 14 mA
.....RMS CM Noise	.003	typ.	%	% of Vout (10 Hz to 10 kHz)
Max. Input Level	+10 / -32	min.	dBu	Gain 18 / 60, balanced output
Equivalent Input Noise	-128	typ.	dBu	20 kHz BW, Rs=150 Ω , Gain = 60 dB
Signal to Noise Ratio	96	typ.	dB	20 kHz BW, Rs=150 Ω , Gain = 18 dB, re 4 dBu
Dynamic Range	120 / 95	typ.	dB	Gain 18 / 66
CMRR	80	typ.	dB	Rs=150 Ω , 120 Hz, Gain = 60 dB
Frequency Response				
.....Gain 60 dB	45 to 200k	typ.	Hz	+0, -3dB
.....Gain 18 dB	30 to 200k	typ.	Hz	+0, -3db
THD+Noise (gain 60 dB)	.007 (Output=+20 dBu)	typ.	%	55 Hz to 20 kHz, 20 kHz BW, Rl=10 k Ω
THD+Noise (gain 18 dB)	.001 (Output=+20 dBu)	typ.	%	50 Hz to 20 kHz, 20 kHz BW, Rl=10 k Ω
Line Driver	Active Cross-coupled			Gain 5.2 / 6 dB typ. unbalanced / balanced
Max. Output Level	+22 / +27	min.	dBu	Unbalanced / Balanced, 2 k Ω load
Output Impedance	50	1%	Ω	Each Leg

Selección de preamplificadores

- Ejemplo

Mickey's Mics



Model MM-100 Super Heart-Shaped Gold Vapor Large Diaphragm Condenser Microphone

"It's the best!" Anonymous, Mukilteo, WA

Unparalleled response with a pickup pattern following the locus of a fixed point on a circle that rolls on the circumference of another circle with the same radius.

SPECIFICATIONS

Transducer Principle	Condenser, or since 1950, Electrostatic
Pick-up Pattern	Super-Cardioid
Frequency Range	20 Hz – 20 kHz (± 2 dB)
▶ Sensitivity @ 1 kHz	20 mV/Pa
Impedance	150 ohms
Equivalent Noise Level	14 dB-SPL, A-weighted
▶ Maximum SPL	130 dB (1 kHz, 0.5% THD)
Power Requirement	12-48 VDC Phantom Powering, 5 mA
Housing/Finish	Yttrium-Titanium

Selección de preamplificadores

- Ejemplo



MS 1b Microphone Stage



Parameter	Specification	Limit	Units	Conditions/Comments
Input Impedance	10k	1%	Ω	Balanced 5k + 5k
Gain Range	18 to 66	typ.	dB	
Phantom Power	+48	4%	V	10 mA max.
.....Impedance	6.81k	1%	Ω	Each leg
.....Load Regulation	0.1	typ.	%	0 to 14 mA
.....RMS CM Noise	.003	typ.	%	% of Vout (10 Hz to 10 kHz)
▶ Max. Input Level	+10 / -32	min.	dBu	Gain 18 / 60, balanced output
Equivalent Input Noise	-128	typ.	dBu	20 kHz BW, Rs=150 Ω, Gain = 60 dB
Signal to Noise Ratio	96	typ.	dB	20 kHz BW, Rs=150 Ω, Gain = 18 dB, re 4 dBu
Dynamic Range	120 / 95	typ.	dB	Gain 18 / 66
CMRR	80	typ.	dB	Rs=150 Ω, 120 Hz, Gain = 60 dB
Frequency Response				
.....Gain 60 dB	45 to 200k	typ.	Hz	+0, -3dB
.....Gain 18 dB	30 to 200k	typ.	Hz	+0, -3db
THD+Noise (gain 60 dB)	.007 (Output=+20 dBu)	typ.	%	55 Hz to 20 kHz, 20 kHz BW, Rl=10 kΩ
THD+Noise (gain 18 dB)	.001 (Output=+20 dBu)	typ.	%	50 Hz to 20 kHz, 20 kHz BW, Rl=10 kΩ
Line Driver	Active Cross-coupled			Gain 5.2 / 6 dB typ. unbalanced / balanced
Max. Output Level	+22 / +27	min.	dBu	Unbalanced / Balanced, 2 kΩ load
Output Impedance	50	1%	Ω	Each Leg

Selección de preamplificadores

- Ejemplo

Sensibilidad micrófono: **20mV/Pa**

SPL máximo micrófono: **130 dB SPL**

Tensión de saturación del preamplificador: **10dBu** (a ganancia mínima)

$$SPL \text{ max (Pa)} = 2 \times 10^{-5} \cdot 10^{\frac{130}{20}} = 63.24 \text{ Pa}$$

$$V_{\text{max}} \text{ (mV)} = 20 \frac{\text{mV}}{\text{Pa}} \cdot 63.24 \text{ Pa} = 1264.8 \text{ mV} = 1.264 \text{ V}$$

$$V_{\text{max}} \text{ (dBu)} = 20 \log \left(\frac{1.264}{0.775} \right) = 4.25 \text{ dBu} < 10 \text{ dBu} \Rightarrow \text{NO HAY SATURACION}$$

Amplificadores de potencia

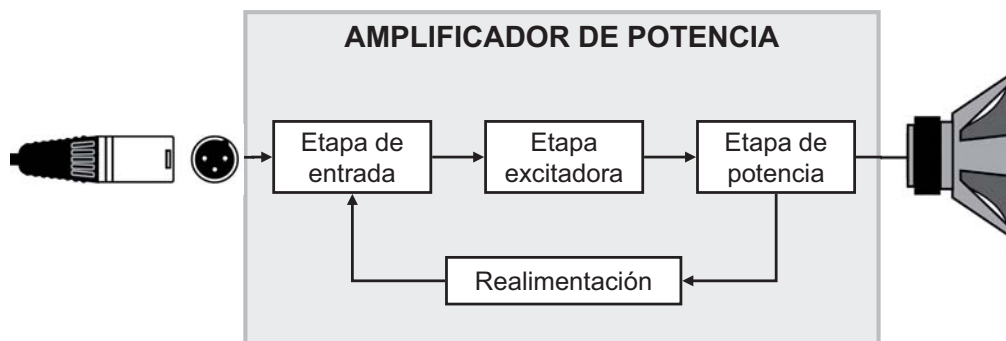
- Proporciona la ganancia en potencia necesaria manteniendo un bajo nivel de distorsión y un rendimiento lo más alto posible
- Último dispositivo activo de la cadena de audio, alimenta directamente los altavoces
 - Impedancias habituales: 2, 4, 8, 16 Ω
- Acoplo en tensión
 - Baja impedancia de salida
 - Amplificador como generador de tensión ideal
- Elevada potencia
 - 25W a 15000W
- Tensiones y corrientes en la carga (altavoz)
 - Hasta 200-300V!
 - Hasta 300A!
 - Elevada disipación de calor (ventilación)



- 29 -

Amplificadores de potencia

- Estructura



- Etapa de entrada
- Etapa intermedia excitadora (*driver*)
- Etapa de salida de potencia
- Red de realimentación negativa

- 30 -

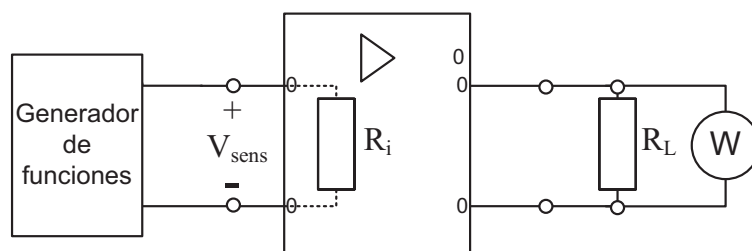
Especificaciones técnicas

- Sensibilidad de entrada (*Input level*)
- Tensión de saturación de entrada (*Maximum input level*)
- Impedancia de entrada y salida (*Input/output impedance*)
- Factor de amortiguamiento (*Damping factor*)
- Potencia de salida (*Power output*)
- Respuesta en frecuencia (*Frequency response*)
- Distorsión armónica (*Harmonic Distortion*)
- Distorsión de intermodulación (*Intermodulation distortion*)
- Relación señal a ruido (*Signal-to-noise ratio*)
- Ruido equivalente de entrada (*Equivalent input noise*)
- Margen dinámico (*Dynamic range*)
- Diafonía (*Crosstalk*)

- 31 -

Sensibilidad de entrada

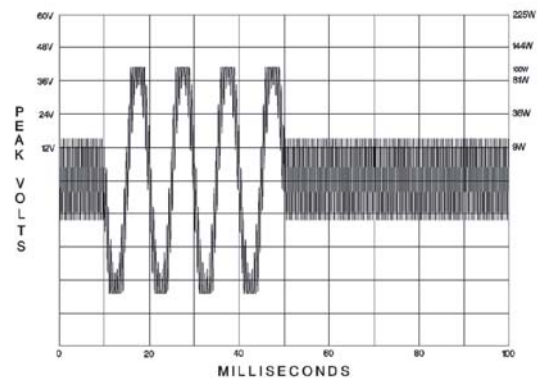
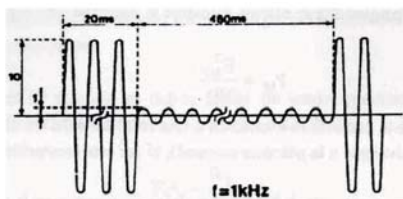
- Mínima tensión eficaz a la entrada para obtener el máximo nivel a la salida (potencia nominal)
- Se debe especificar la ganancia del amplificador (normalmente con el mando de volumen al máximo) y la impedancia de entrada del mismo
- Entre 0.1 V y 1 V
- No debe sobrepasarse este nivel en régimen continuo



- 32 -

Tensión de saturación de entrada

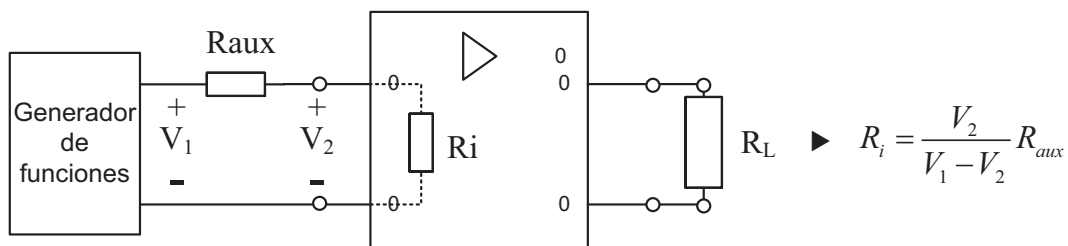
- Tensión a la entrada que satura la etapa de entrada del amplificador (*clipping*)
- Para asegurar que la saturación se produce en la etapa de entrada (no en la de salida) la ganancia del amplificador debe ser baja
- Es necesario especificar la distorsión armónica (THD) considerada (1% tip.)
- Valores típicos en torno a +20dBu
- Junto con la sensibilidad de entrada determina el margen de sobrecarga de la entrada (*input headroom*)



- 33 -

Impedancia de entrada

- La impedancia de entrada de un amplificador debe estar entre 10-50K Ω para garantizar el acoplo en tensión a la entrada. Raramente se mide este parámetro en la actualidad
- En el caso de entradas balanceadas, la impedancia *balanceada* es el doble de la impedancia de cada línea, y la impedancia de ambas líneas debe ser la misma para evitar problemas de ruido de tierra y reducción del CMRR
- La impedancia de entrada varía poco en frecuencia y su parte reactiva suele ser despreciable



- 34 -

Impedancia de salida

- Parámetro muy importante en un amplificador de potencia, que caracteriza su comportamiento como fuente ideal de voltaje
- Su valor debe ser lo más bajo posible
 - Capacidad para mantener el voltaje a la salida para distintos valores de impedancia en los altavoces
 - En el caso ideal la corriente (potencia) se duplica cada vez que se divide por dos la impedancia. En la práctica existen limitaciones por valor no nulo de la impedancia de salida y por limitación de corriente en la fuente de alimentación

MA-2402	*1 kHz Power	**20 Hz-20 kHz Power
2 ohm Dual (per ch.)	1,050W	850W
4 ohm Dual (per ch.)	800W	750W
8 ohm Dual (per ch.)	520W	505W
4 ohm Bridge-Mono	2,070W	1,670W
8 ohm Bridge-Mono	1,585W	1,485W

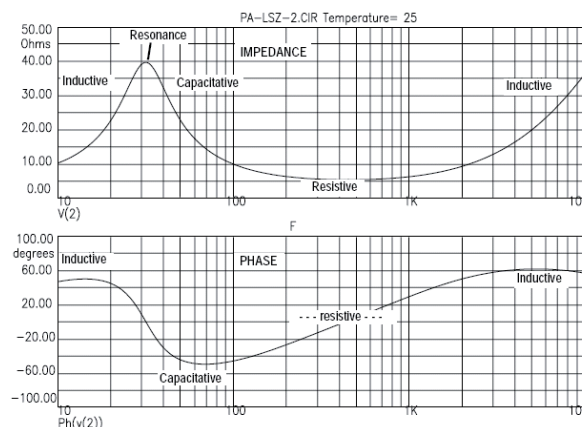
*1 kHz Power: refers to maximum average power in watts at 1 kHz with 0.1% THD.
**20 Hz-20 kHz Power: refers to maximum average power in watts from 20 Hz to 20 kHz with 0.1% THD.

- 35 -

Impedancia de salida

- Otras ventajas del amplificador como generador ideal de tensión
 - Se mejora la respuesta del amplificador por variaciones en frecuencia de la carga
 - Se reduce el riesgo de saturación (*clipping*) y consecuente destrucción de los altavoces por reducción de la impedancia de éstos por debajo de su valor nominal

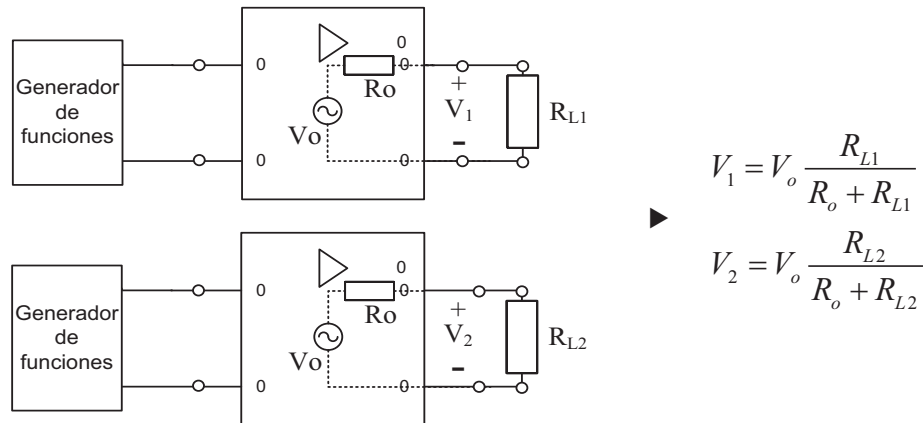
Un altavoz en funcionamiento puede reducir su impedancia hasta 1/6 de su valor nominal



Impedancia de salida

- El valor en los equipos profesionales actuales es $<100\text{m}\Omega$
- Se puede determinar experimentalmente a partir de la medida de dos tensiones de salida para diferentes cargas (por ejemplo 4 y 8Ω)

No se debe realizar nunca la medida del voltaje de salida con el amplificador funcionando en vacío por riesgo de destrucción de la etapa de salida



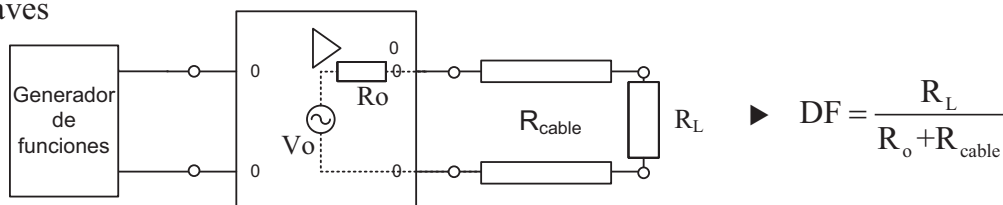
- 37 -

Factor de amortiguamiento

- El factor de amortiguamiento (*damping factor*) es una medida de calidad del amplificador derivada de la impedancia de salida. Se define como el cociente entre la impedancia del altavoz y la impedancia de salida del amplificador

$$DF = \frac{R_L}{R_o}$$

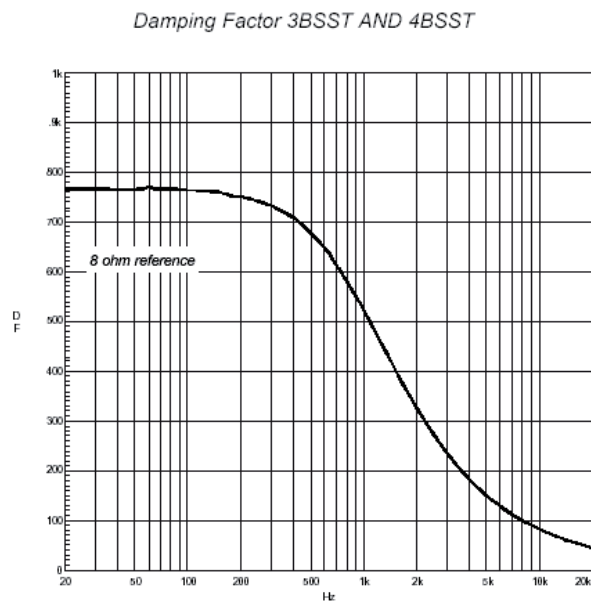
- Su valor oscila entre 10 y 50 para amplificadores acoplados mediante transformador y entre 50 y 2000 para los equipos profesionales actuales
- La resistencia de los cables y cualquier dispositivo intermedio entre el amplificador y los altavoces (filtros de cruce) reduce el factor de amortiguamiento. Es muy importante utilizar cables pequeños y de gran calibre
- Un factor de amortiguamiento alto permite mayor control del movimiento de los altavoces (evita oscilaciones) y por tanto reduce la distorsión, especialmente en graves



- 38 -

Factor de amortiguamiento

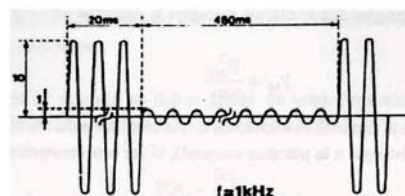
- El factor de amortiguamiento es un parámetro que depende de la frecuencia



- 39 -

Potencia de salida

- **Potencia nominal** (potencia eficaz, continua o senoidal): indica la máxima potencia que el amplificador funcionando en régimen continuo entregará a una carga determinada (altavoz entre 2 y 16 Ω), con ambos canales excitados simultáneamente, y con una distorsión armónica THD y en un ancho de banda dados
- **Potencia musical**: máxima potencia que el amplificador puede entregar a la carga en intervalos cortos de tiempo. Se obtiene utilizando una señal de test compuesta por pulsos, que trata de imitar las características dinámicas de un programa real



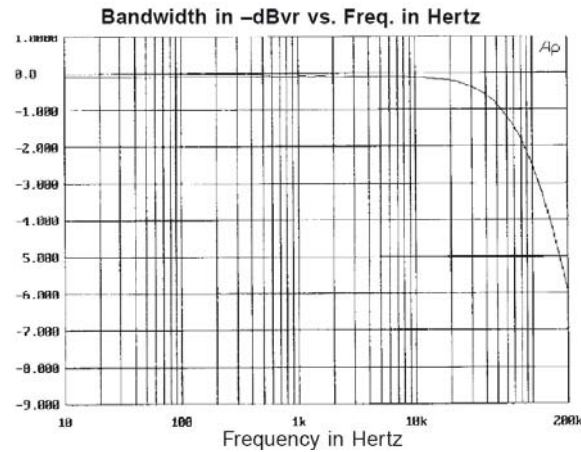
Señal normalizada propuesta por el IHF (IHF Standards Methods of Measurement for Audio Amplifier" (IHF-A-201))

- El efecto de calentamiento térmico en uso prolongado es menor que en el caso continuo
- Si se supera esta potencia se recorta la señal de salida (*clipping*)
- No muy diferente de la potencia nominal (+1dB en equipos profesionales)
- **Potencia de pico**: especificado por algunos fabricantes por intereses comerciales

- 40 -

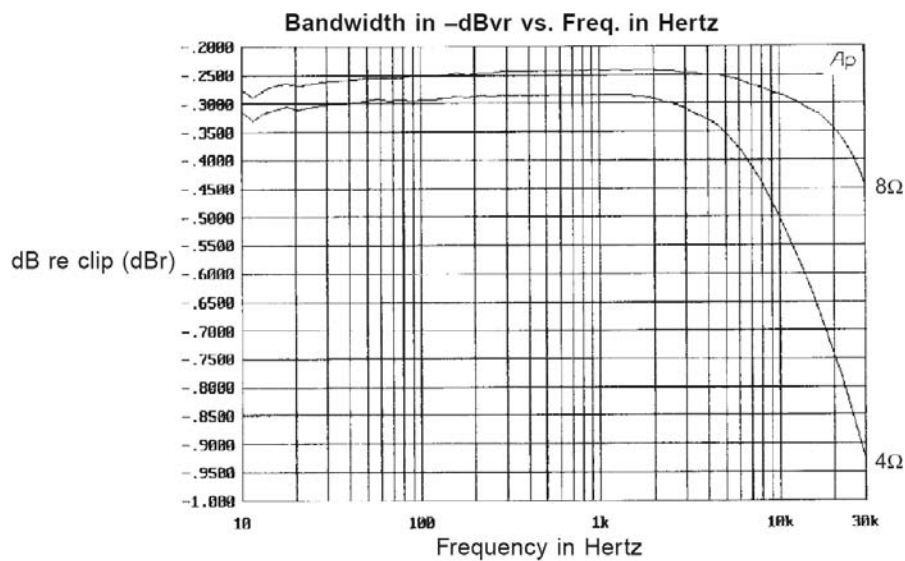
Respuesta en frecuencia

- Comportamiento del amplificador en función de la frecuencia
- Se especifica normalmente a una potencia 0.5 o 1dB por debajo del nivel visible de saturación (*clipping*), para distintas impedancias de carga (dBr)
- Norma DIN: disminución máxima de 3 dB en los extremos de la banda
- Norma IHF: Variación máxima de ± 1.5 dB en toda la banda de paso
- Aplicaciones profesionales actuales: la banda de paso debe ser de 20 Hz – 20KHz y las variaciones < 0.1 dB



- 41 -

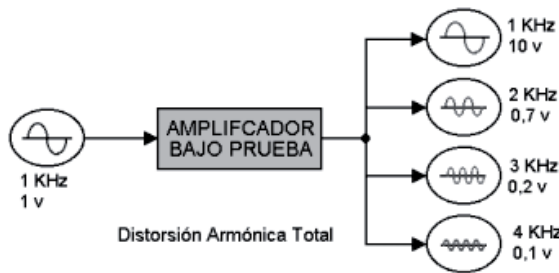
Respuesta en frecuencia



- 42 -

Distorsión armónica

- Presencia de una o más componentes de señal a la salida que son múltiplos enteros de la frecuencia de entrada (armónicos)
- Distorsión no deseada producida por la no linealidad del amplificador
- Se suele especificar como la relación entre el nivel de los armónicos y el nivel de la señal de entrada que los generó, expresado en porcentaje o dB.
- Se puede especificar para armónicos individuales o para un valor compuesto representando todos los armónicos (*Total Harmonic Distortion*, THD)
- Se debe medir en toda la banda de frecuencia, a potencia nominal. Norma DIN: THD < 1%. Equipos profesionales actuales: THD < 0.1%



$$\text{THD}(\%) = \frac{\sqrt{0.7^2 + 0.2^2 + 0.1^2}}{10} \times 100 = 7.34\%$$

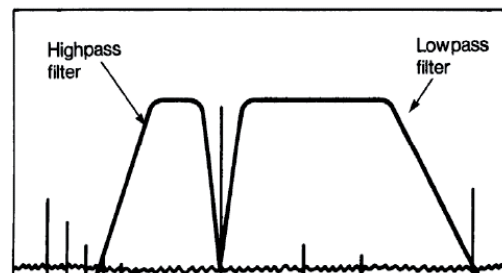
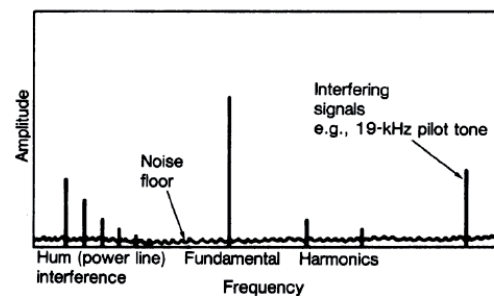
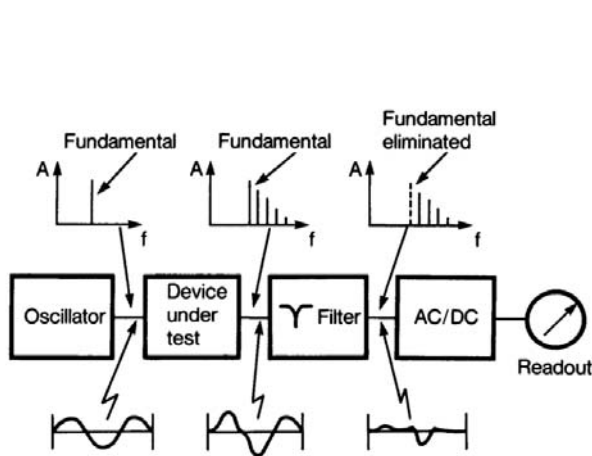
$$\text{THD}(\text{dB}) = 22.7\text{dB}$$

Procedimiento de medida IHF

- 43 -

Distorsión armónica

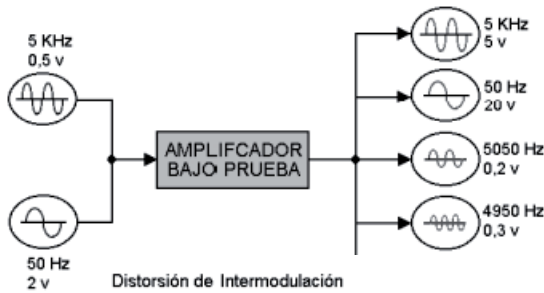
- Instrumentación para la medida de distorsión armónica + ruido (**THD+N**)



- 44 -

Intermodulación

- Dos señales aplicadas simultáneamente a un dispositivo no lineal dan lugar a distorsión de intermodulación (*intermodulation distortion, IMD*)
- Aparecen nuevas componentes cuya frecuencia es igual a la suma y la diferencia de múltiplos de las componentes de entrada (no son armónicos de las entradas)
- Se especifica del mismo modo que la distorsión armónica



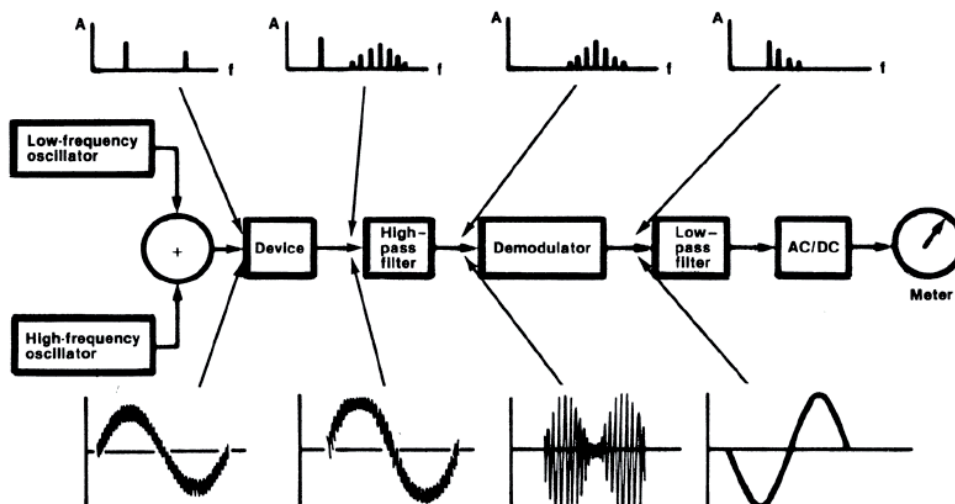
Productos de intermodulación:
 $mf_1 \pm nf_2$, con m y n enteros
Orden del producto: m+n

$$IMD(\%) = \frac{\sqrt{0.2^2 + 0.3^2}}{5} \times 100 = 7.21\%$$

$$THD(\text{dB}) = 22.84\text{dB}$$

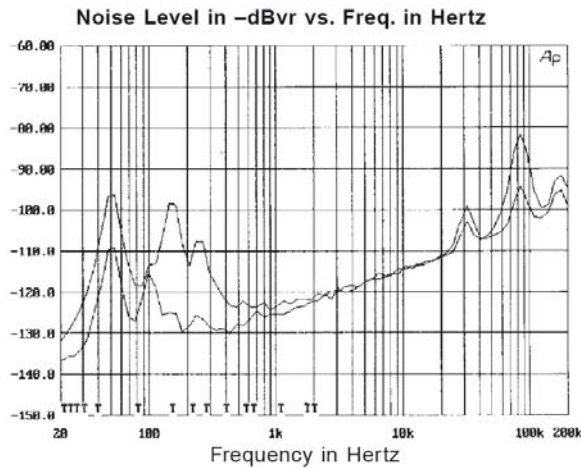
Intermodulación

- Procedimiento de medida SMPTE: 60 Hz y 7 KHz en proporción 4:1
- Norma DIN: distorsión máxima del 3% para tonos a 250 Hz y 8 KHz prop. 4:1
- Instrumentación para la medida de la intermodulación:



Relación señal a ruido

- Relación entre la tensión de la señal de salida (S) para la potencia nominal y la tensión de ruido (N)
- El ruido se determina como la tensión de salida en ausencia de señal de entrada, conectando una resistencia a la entrada que simule la impedancia de salida del equipo fuente (típicamente $1K\Omega$ o el generador conectado con 0V).
- Es necesario aplicar un filtro paso banda, típicamente de 2-22KHz.



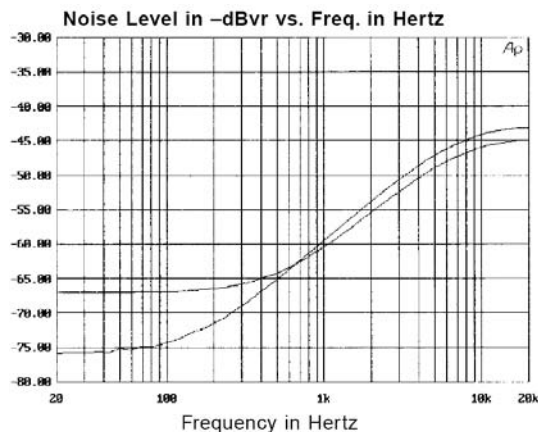
- 47 -

Diafonía (*crosstalk*)

- Es la señal no deseada que se obtiene a la salida del canal no excitado y que procede del canal excitado. La atenuación de diafonía del canal R respecto al L es:

$$A_d = 20 \log \left(\frac{V_R(\text{excitado})}{V_L(\text{excitador})} \right)$$

- El canal excitador se alimenta con la sensibilidad nominal y se mide la señal de salida en el otro canal (canal excitado)



- 48 -

Montajes prácticos

- Relación entre la potencia del amplificador y el SPL: sensibilidad de los altavoces en dB SPL a 1 W y a 1 m de distancia del altavoz
- A partir del nivel de presión sonora deseado en la audiencia, la sensibilidad de los altavoces y la distancia entre los altavoces y la audiencia se determina la potencia necesaria del amplificador (potencia nominal o media en W)
- Teniendo en cuenta que en amplificadores profesionales la potencia musical y la potencia nominal son prácticamente iguales, es necesario tener en cuenta el margen de sobrecarga (*headroom*) para nuestra aplicación

HEADROOM (HR)		
Mínimo	Bueno	Excelente
6dB	10-15dB	20-25dB



Ruido audiencia

- 49 -

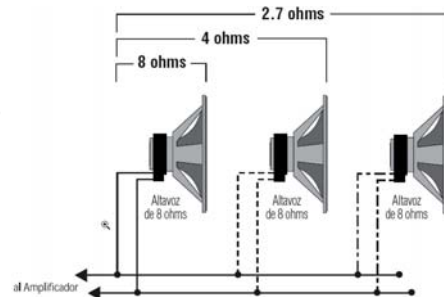
Montajes prácticos

- Sensibilidad típica de altavoces:
 - 85 dB SPL/W/m en equipos domésticos
 - 95 dB SPL/W/m para altavoces profesionales pequeños,
 - 100-105 dB SPL/W/m para altavoces profesionales medios
 - 110 dB SPL/W/m para altavoces profesionales de altas prestaciones
- Niveles de potencia de aplicaciones típicas con sensibilidad de altavoces típica
 - HI-FI doméstico (HR 15dB): 150W para 85dB SPL, 1500W para 95dB SPL
 - Folk en un pub o auditorio pequeño con 150 a 250 personas: 95 a 250W
 - Pop o jazz en un auditorio pequeño: 400 a 1200W
 - Rock en un festival pequeño en exteriores: entre 1000 y 3000W
 - Rock en un estadio (HR 6dB): entre 4000 y 15000 W
 - Rock en un estadio (HR 20-25dB) : entre 80000 y 400000W!! ► **Distorsión por clipping inaudible**

- 50 -

Montajes prácticos

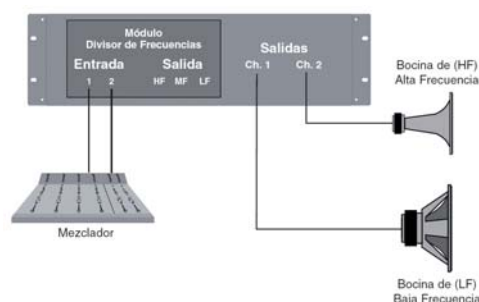
- Los altavoces incluyen en sus especificaciones, además de su impedancia nominal, un parámetro que indica la máxima potencia en régimen continuo que pueden soportar: *Continuous Power Rating*
 - Suelen permitir picos (HR) 6dB por encima de ese nivel
- Selección de los altavoces
 - En amplificadores con limitador de corriente (sin *clipping*): la potencia nominal del amplificador puede ser 6dB superior a la de los altavoces
 - En amplificadores sin limitador la potencia nominal debe ser la misma para evitar la destrucción de los altavoces
 - Si los altavoces tienen mayor potencia que el amplificador, éstos pueden verse dañados por *clipping*
 - Se pueden realizar agrupaciones serie/paralelo de altavoces para ajustar impedancias/potencias (importante tener en cuenta que la potencia de los amplificadores es función de la carga)



- 51 -

Bi-amplificación, tri-amplificación

- En sistemas que manejan grandes potencias es habitual dividir cada canal en dos o tres bandas de frecuencias: bajas, medias y altas
 - Incapacidad de los altavoces para reproducir con fidelidad toda la banda
- La utilización de filtros de cruce pasivos (entre el amplificador y los altavoces) deteriora las prestaciones
 - Consumo de potencia,
 - Reducción del factor de amortiguamiento
 - Menor margen dinámico
- En estos casos se recomienda la utilización de sistemas de bi-amplificación o tri-amplificación, con filtros de cruce activos y amplificadores separados para cada subbanda



◀ Bi-amplificación

- 52 -

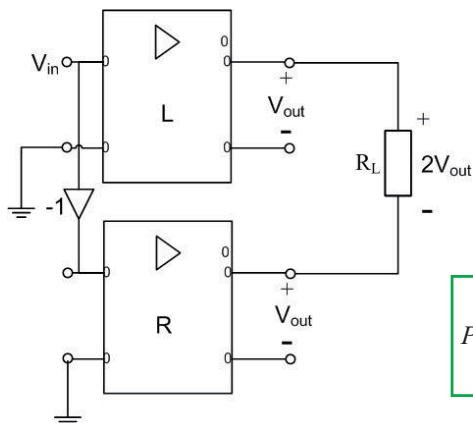
Bi-amplificación, tri-amplificación

- Ventajas:
 - El filtro de cruce trabaja con señales de baja potencia (bobinas y condensadores pequeños)
 - No se insertan componentes que degraden las prestaciones entre el amplificador y los altavoces (señal de alta potencia)
 - Se utilizan más etapas de amplificación pero de menor potencia (aproximadamente reducción del 50% de la potencia en bi-amplificación) ► más barato
 - Los altavoces de alta frecuencia (*tweeters*) son más sensibles ► se pueden utilizar amplificadores de menor potencia
 - Mayor redundancia en el sistema: el fallo de una etapa solo afecta a una banda de frecuencias

- 53 -

Funcionamiento en modo puente

- Modo puente (*bridged mode, mono mode*)
 - Los dos canales del amplificador se conectan a la misma carga
 - La señal de entrada del canal derecho es invertida internamente
 - La carga se conecta al positivo de ambos canales, y resulta alimentada en configuración *push-pull*
 - El voltaje sobre la carga se duplica, y la potencia se cuadruplica (caso ideal)
 - En la práctica se obtienen potencias de 3 a 4dB superiores (en lugar de 6dB) por limitaciones de los dispositivos activos y/o la fuente de alimentación



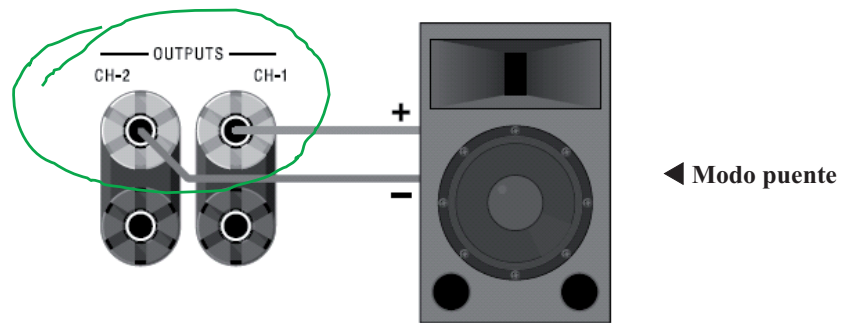
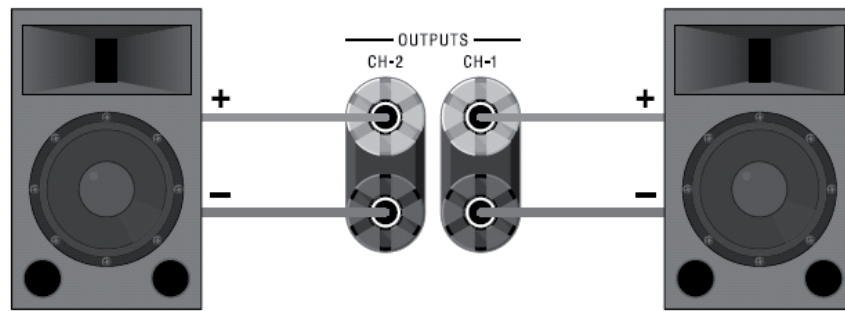
$$P_L = \frac{(2V_{out})^2}{R_L} = 4 \frac{V_{out}^2}{R_L}$$

	*1 kHz Power	**20 Hz-20 kHz Power
MA-2402		
2 ohm Dual (per ch.)	1,050W	850W
4 ohm Dual (per ch.)	800W	750W
8 ohm Dual (per ch.)	520W	505W
4 ohm Bridge-Mono	2,070W	1,670W
8 ohm Bridge-Mono	1,585W	1,485W

*1 kHz Power: refers to maximum average power in watts at 1 kHz with 0.1% THD.
 **20 Hz-20 kHz Power: refers to maximum average power in watts from 20 Hz to 20 kHz with 0.1% THD.

- 54 -

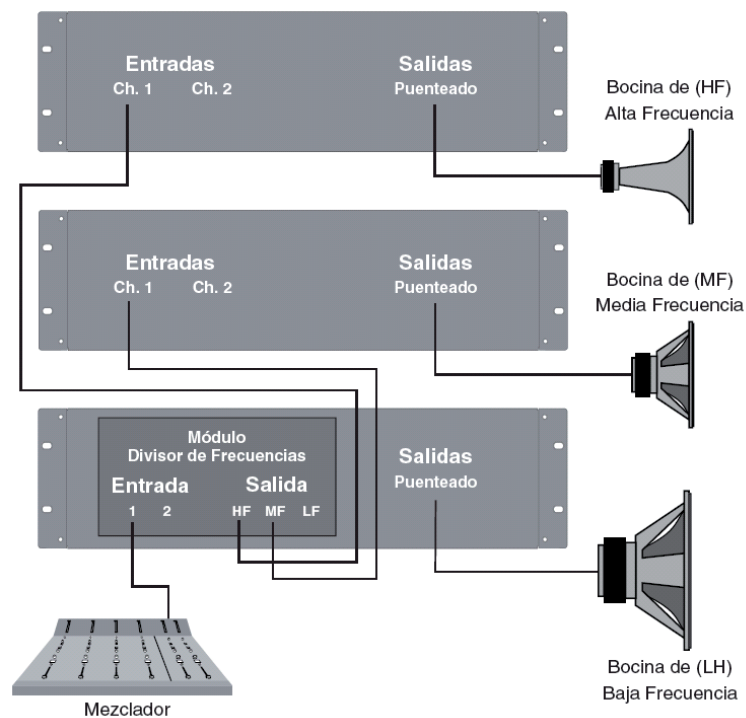
Funcionamiento en modo puente



- 55 -

Funcionamiento en modo puente

- Ejemplo de tri-amplificación en modo puente



- 56 -

Ejemplo de aplicación

- **Ejemplo:** Se considera una actuación en un local pequeño (6 m) para la que se desea un nivel de presión sonora de 90 dB SPL y un *headroom* de 10 dB

Potencia necesaria para el amplificador

Altavoces de tamaño medio: 95 dB SPL/1W/1m

Nivel sonoro en el altavoz:

$$L_p(1m) = L_p(6m) - 20 \log \frac{1}{6} = 90 - (-15.56) = 105.56 \text{ dB SPL}$$

Considerando el headroom

$$L_p = L_p(1m) + HR = 105.56 + 10 = 115.56 \text{ dB SPL}$$

Potencia amplificador

$$L_p = \text{Sensibilidad} + P_{amp} \text{ (dB)}$$

$$P_{amp} \text{ (dBW)} = L_p - \text{Sensibilidad}$$

$$P_{amp} \text{ (dBW)} = 115.56 - 95 = 20.56 \text{ dBW}$$

$$P_{amp} \text{ (W)} = 10^{\frac{20.56}{10}} = 11.4 \text{ W}$$

- 57 -

Bibliografía

- Gary Davis, Ralph Jones, *Sound reinforcement handbook*, Hal Leonard Corporation, 1990. Capítulos 11 y 12
- Glen Ballou, *Handbook for sound engineers. The new audio cyclopedia*, Focal Press, 1998. Capítulos 17 y 18
- David M. Huber, Robert E. Runstein, *Modern recording techniques*, Focal Press, 2001. Capítulo 10
- Ben Duncan, *High performance audio power amplifiers*, Butterworth-Heinemann Ltd, 1997, todos los capítulos
- Documentos técnicos en internet
 - www.crownaudio.com
 - www.rane.com