

Capítulo 9

Amplificadores

9.1. Introducción

El **amplificador** es el primer bloque 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*.

9.2. Ganancia

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 así 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

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

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

$$G = \frac{20V}{0,1V} = 200,$$

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

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

En la **Figura 9.1** se muestra la operación del amplificador mediante la composición de dos gráficos. Para obtener la salida correspondiente a una entrada determinada se ingresa en el eje de v_{ent} con ese valor en la denominada **curva de transferencia** (que en este caso es una recta), y en el eje de v_{ent} se obtiene la salida. Vemos que como la curva de transferencia es **lineal** (es decir que su inclinación es constante), la forma de onda se conserva y no hay distorsiones. También se aprecia que, por ser muy empinada, la salida tiene amplitud mayor que la entrada. Cuanto más empinada sea la curva de transferencia, mayor es la ganancia del amplificador.

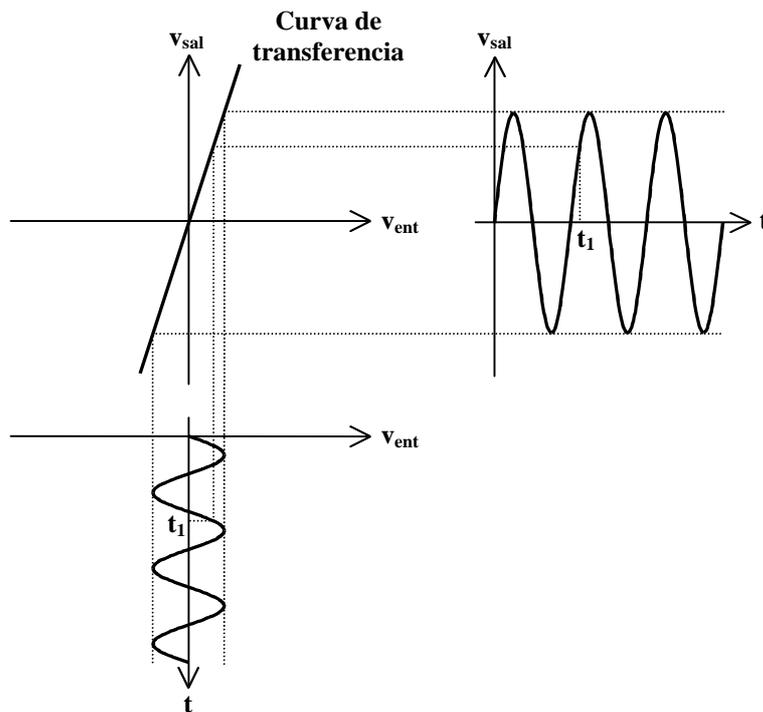


Figura 9.1. Gráfico que ilustra la operación de un amplificador. Para obtener la salida correspondiente a un instante determinado se lleva el valor de la entrada en ese instante al eje horizontal de la curva de transferencia, se prolonga hasta dicha curva, y del eje vertical se obtiene el valor de la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

a) los que representan niveles absolutos de alguna variable física, lo cual implica la adopción de un valor de referencia (**decibeles referenciados**),

b) 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 μPa** . 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 **Pot_{ref} = 1 mW = 0,001 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 **dBu** es una unidad para representar el nivel de tensión, definido como

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

donde la referencia es, ahora, de tensión, y vale **V_{ref} = 0,775 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 **600 Ω** una tensión correspondiente a **0 dBu**, es decir **0,775 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 **600 Ω** 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 **100 Ω**, 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 *solamente cuando la resistencia es de 600 W*. 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 mV**; las señales de **nivel de línea** están comprendidas entre **-10 dBu** y **30 dBu**, es decir tensiones entre **245 mV** y **24,5 V**; y las señales de **nivel de potencia** son las que superan los **30 dBu**, es decir los **24,5 V**.

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

Unidades	Magnitud	Referencia	Propiedades
dB_{NPS}	Presión sonora	20 μPa	0 dB _{NPS} 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 V	Cuando la tensión se conecta a una resistencia de 600 Ω coincide numéricamente con el nivel de potencia en dBm
dBV	Tensión	1 V	Una tensión expresada en dBV es 2,2 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	Micrófonos Fonocaptors Cabezales de reproducción magnética	$V_s < 7,75 \text{ mV}$	$N < -40 \text{ dBu}$
Línea	Preamplificadores Cassetteras Reproductor de CD Reproductor de DAT Sintonizadores Sintetizadores 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 estándar 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.

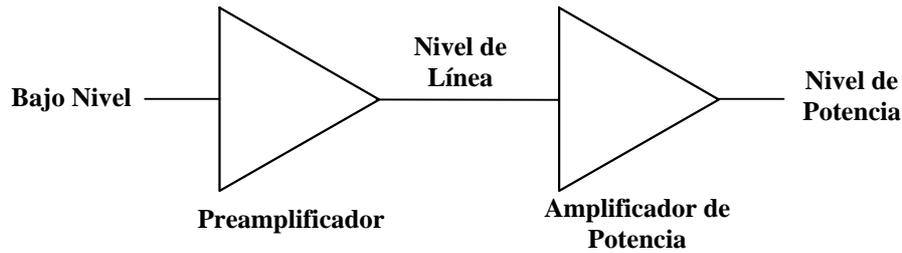


Figura 9.2. Diagrama de bloques de una interconexión amplificadora básica, en la cual se muestran la etapa preamplificadora y la etapa de potencia.

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 $8\ \Omega$ ó $4\ \Omega$ (pues éstos son los valores típicos de impedancia de los parlantes y cajas acústicas). Dado que la potencia es inversamente proporcional a la impedancia,

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

podría parecer que la potencia para $4\ \Omega$ debería ser siempre el doble que la potencia para $8\ \Omega$. Sin embargo, el hecho de que los amplificadores incorporan protecciones contra sobrecargas puede hacer que la potencia para $4\ \Omega$ sea menor que el doble de la correspondiente a $8\ \Omega$. 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 $4\ \Omega$ y con una sensibilidad de **1,5 V**. Podemos 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**:

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

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 *máxima señal*, es decir 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. Éste 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 cassette, 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,

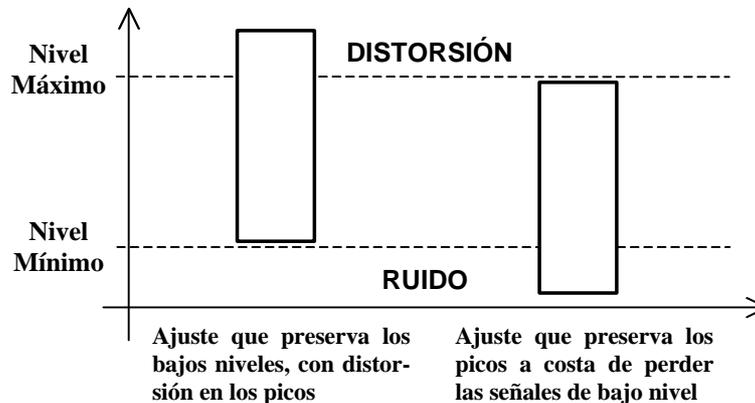


Figura 9.3. Alternativas extremas para señales cuyo rango dinámico excede la relación señal/ruido del amplificador.

aceptable es la segunda, ya que es preferible perder algo de material que exponerse a una severa distorsión que además de ser muy audible (creando un efecto sumamente desagradable) somete a riesgo de destrucción a los drivers de las vías acústicas de alta frecuencia (los tweeters), según veremos, ya que la distorsión genera armónicos de alta frecuencia cuya potencia puede ser superior a la originalmente supuesta en condiciones normales.

La tecnología permite resolver este problema por medio de un dispositivo que veremos 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 de 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). Aunque esta especificación no brinda información tan completa como la gráfica, en la generalidad 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 frecuencias 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.

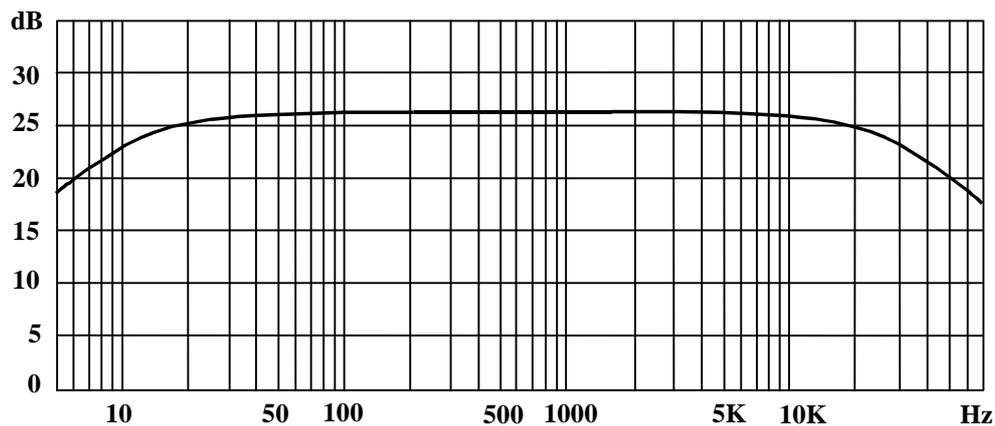


Figura 9.4. Respuesta en frecuencia de un amplificador.

9.9. Slew rate

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 μseg** . Se expresa en **V/ μseg** . 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).

9.10. Distorsión

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

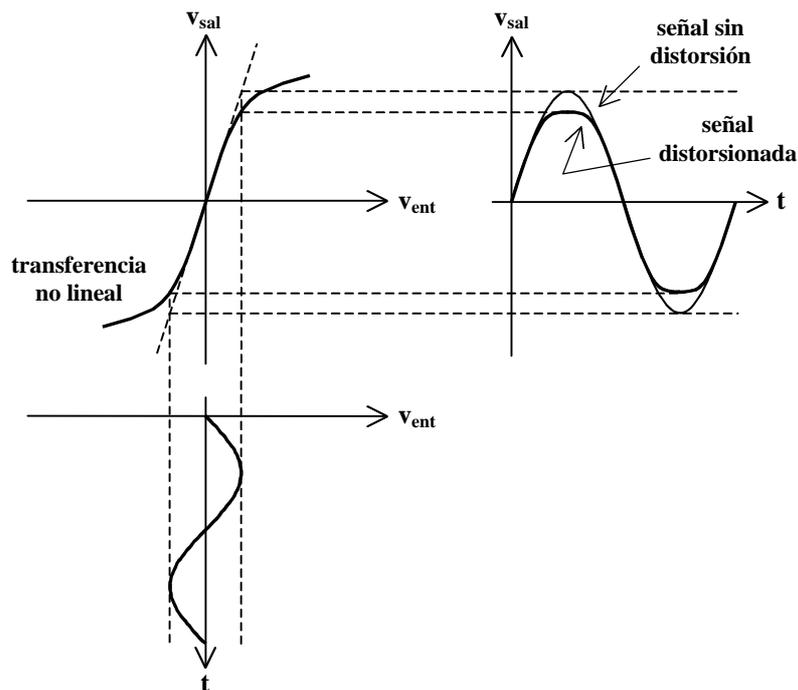


Figura 9.5. Origen de la distorsión en un amplificador. La curva de transferencia *no lineal* hace que una entrada senoidal se deforme, causando distorsión a la salida. En la gráfica de salida se comparan la señal distorsionada con la señal no distorsionada.

por la cual 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 **distorsión por intermodulación (intermodulation distortion), IMD**.

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

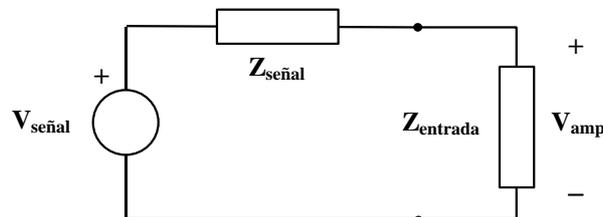


Figura 9.6. Modelo eléctrico de la conexión entre un generador de señal y un amplificador.

impedancia 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 impedancias usuales en las salidas de línea (por ejemplo la de la consola de mezcla). Típicamente la impedancia de entrada de los amplificadores está en el rango entre **10 kΩ** y **50 kΩ**, y la de las consolas es de algunos cientos 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

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

Si bien se consideran satisfactorios valores superiores a **4**, los amplificadores actuales alcanzan factores de amortiguación de varios cientos. 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