

COMPRESORES DE AUDIO

DIEGO FERNÁNDEZ¹, IMANOL F. SÁNCHEZ¹ Y LUCAS G. GILBERTO¹

¹Estudiante de Ingeniería Electrónica. Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Córdoba (UTN. FRC). Maestro López esq. Cruz Roja Argentina, CP X5016ZAA, Córdoba, Argentina
el_diego@hotmail.com, imanol236@hotmail.com, guilalte87@hotmail.com

Resumen – En este trabajo se presenta el funcionamiento y aplicación de los compresores de audio. El objetivo es analizar características y conceptos electroacústicos necesarios para el diseño electrónico del procesador. En primer lugar, se desarrollan los conceptos básicos asociados a la compresión dinámica de señales de audiofrecuencias y en segundo lugar las principales aplicaciones de los compresores de audio.

1. INTRODUCCIÓN

Toda señal física tanto mecánica, eléctrica, como sonora, etc., poseen diferentes características que las identifica ante las demás señales. En el caso de señales acústicas las características relevantes son: frecuencia, amplitud, fase, entre otras. Un procesador de audio es aquel dispositivo activo o pasivo capaz de variar cualquiera de las características de una señal acústica. Para el caso de los procesadores que se estudian en este trabajo, la característica a controlar es la amplitud, más precisamente el rango dinámico de la señal a procesar. El rango dinámico se define como la relación entre el máximo nivel de entrada y el mínimo nivel de entrada [1].

En diversas situaciones resulta necesario el uso de estos procesadores, la más representativa se da cuando la relación señal ruido es menor que el rango dinámico de la señal.

Para hacer más comprensible este concepto nos basaremos en un ejemplo [2]: Si se supone un amplificador en el cual la tensión máxima de entrada es de 2 V, y cuya tensión de ruido es de 0,1 mV. Esto implica

$$N_{\text{máximo}} = 20 \log_{10} \frac{2 \text{ V}}{1 \text{ V}} = 6 \text{ dBV} , \quad (1)$$

$$N_{\text{ruido}} = 20 \log_{10} \frac{0,0001 \text{ V}}{1 \text{ V}} = -80 \text{ dBV} , \quad (2)$$

De modo que

$$S/N = N_{\text{señal}} - N_{\text{ruido}} = 6 - (-80) = 86 \text{ dB} \quad (3)$$

Si se supone que ahora se dispone de una señal cuyos valores máximos y mínimos son, respectivamente 22V y 0,2 mV, los niveles de tensión expresados en dBV son:

$$N_{\text{señal máx}} = 20 \log_{10} \frac{22 \text{ V}}{1 \text{ V}} = 27 \text{ dBV} , \quad (4)$$

$$N_{\text{señal mín}} = 20 \log_{10} \frac{0,0002 \text{ V}}{1 \text{ V}} = -74 \text{ dBV} , \quad (5)$$

Lo cual implica un rango dinámico de 101 dB. Se puede observar que el nivel máximo de la señal es de 27 dB el cual supera al nivel máximo de entrada del amplificador que en este caso es de 6 dBV. También se puede notar que el nivel mínimo de señal de entrada es de -74 dBV, que es un poco mayor que el piso de ruido del dispositivo, el cual se encuentra en -80 dBV. En esta situación si no se recurriera a un compresor de audio, y en cambio, se utilizaría un atenuador, se debería disminuir en 21 dB, esto haría que la mínima tensión de entrada pase a ser de -95 dBV, 15dB por debajo del piso de ruido, esto indica que se perderán los 15 dB más débiles de la señal, sin poder recuperarlos.

2. COMPRESORES DE AUDIO

El problema del ejemplo anterior puede ser resuelto con la utilización de un compresor de audio que ajuste el rango dinámico de la señal. La figura muestra un diagrama en bloques simplificado de un compresor

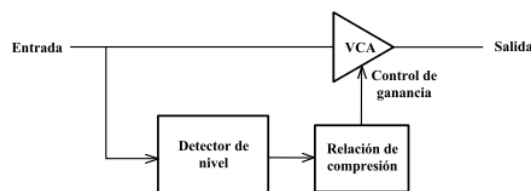


Figura 1: Diagrama de bloques, compresor de audio.

Básicamente, el dispositivo se compone de un detector de nivel, un control de ganancia el cual es fijado por la relación de compresión y un amplificador controlado por voltaje (VCA).

La clave de este tipo de procesadores se radica en el VCA. El compresor funciona de la siguiente manera: La señal de entrada en todo momento está siendo comparada con un valor de voltaje determinado, al cual se le da el nombre de umbral, mientras este valor no sea superado por la tensión de entrada, la ganancia del VCA siempre es igual a la unidad. De lo contrario, si la señal que ingresa al procesador supera el valor umbral predefinido, el amplificador reducirá la señal en la misma cantidad de veces que la relación de compresión. Si se tiene una entrada que excede 10 dB al umbral y el compresor posee una relación de 2:1, entonces tendremos solo un exceso de 5 dB.

El nivel de umbral y la relación de compresión son parámetros ajustables por el usuario [2].

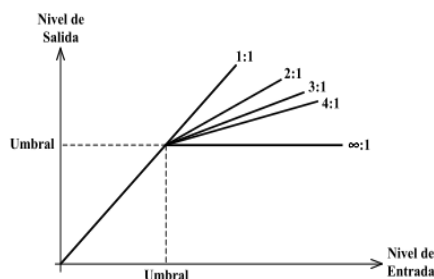


Figura 2: Efecto de diversas relaciones de compresión.

En la Figura 2 se puede observar como actuará el compresor a diferentes relaciones de compresiones, por debajo o por encima del nivel de entrada umbral. Se puede observar que la recta con pendiente de 45° representa una ganancia unitaria (esto antes del umbral), y una familia de rectas después de superar el umbral con un pendiente menor a uno, según cuál sea la relación de la compresión.

Para aclarar la forma en que actúa el compresor sobre una determinada señal, se utilizarán los datos del anterior ejemplo:

Si se adopta un umbral de -6 dBV (0,5 V) y una relación de compresión de 3:1, el exceso en la entrada y teniendo en cuenta los datos será de

$$27 - (-6) = 33 \text{ dB} \quad (6)$$

Cuando se le aplique la compresión se dividirá por tres, es decir

$$33 / 3 = 11 \text{ dB} \quad (7)$$

El nivel máximo de salida entonces será de

$$N_{\text{max}} = -6 + 11 = 5 \text{ dB} \quad (8)$$

Este valor es menor que el máximo que puede soportar el amplificador sin distorsionar la señal, es decir, que el problema se habría resuelto con la compresión.

De esta manera, como ya se expuso anteriormente, todos los excesos con respecto al

umbral serán atenuados en la misma proporción que la compresión, en este caso será dividido por tres.

Ahora bien, la sensación auditiva de estos procesos puede ser perceptible ya que tiende a aplanar los planos dinámicos. Esto puede ser muy notable por ejemplo en la música clásica, no así, en la música como el rock en la cual esta no depende de los contrastes para la expresión [2].

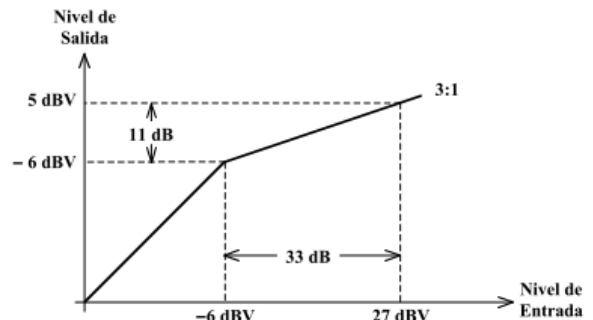


Figura 3: Efecto de compresión 3:1 en una señal de entrada de 27dBV como nivel máximo

Siguiendo con algunos cálculos, podemos llegar a una fórmula que expresa el umbral de entrada en función del nivel de entrada máximo, el nivel de salida máximo (entrada máxima de la siguiente etapa) y la relación de compresión que se utilizara:

$$U = \frac{N_{\text{máx, sal}} \cdot RC - N_{\text{máx, ent}}}{RC - 1} \quad (9)$$

A simple vista se podría razonar que si en la entrada se tiene un señal de un determinado nivel N_1 por debajo del umbral y al cabo de un tiempo casi instantáneo pasa a tener un nivel N_2 mayor al umbral el compresor reaccionara disminuyendo la ganancia a la relación de compresión en el mismo momento que la señal crece, sin embargo, el detector de nivel de estos procesadores necesitan de al menos un ciclo de dicha onda para poder reconocer el nivel de la señal de entrada, en caso que suceda lo contrario el VCA cambiaria bruscamente la ganancia y la señal sufriría una distorsión considerable, ya que los valores más grandes de tensión serán más amplificados que los valores mas pequeños. Por otro lado la variación rápida de ganancia produce una sensación auditiva muy perceptible al oído ya que varía muy claramente el nivel de ruido de fondo.

La variación de la reverberación que caracteriza a un determinado recinto también es la consecuencia de una cambio en la ganancia muy brusco [2].

Para la elección del umbral, es muy importante conocer algunos detalles de la señal al procesar. La cuestión en este caso es: que tipo de valores de tensión se tienen en cuenta para la comparación en el detector de nivel, si los valores picos de la misma o los valores eficaces de dicha onda (RMS).

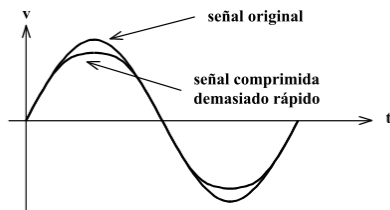


Figura 4: Compresión demasiado rápida.

La diferencia más notable entre estos dos valores radica en que el valor pico está relacionado con los valores instantáneos de la señal mientras que el valor RMS con la potencia de esta. Es decir que siempre el valor pico será mayor o igual que el RMS. A continuación se muestra una tabla comparativa entre valores picos y RMS.

Onda	Valor eficaz
Cuadrada	Valor de pico
Senoidal	$0,707 \times \text{Valor de pico}$
Triangular	$0,557 \times \text{Valor de pico}$
Pulsos de 1 ms cada 10 ms	$0,316 \times \text{Valor de pico}$
Pulsos de 0,1 ms cada 10 ms	$0,100 \times \text{Valor de pico}$

Tabla 1: Efecto de compresión 3:1 en una señal de entrada de 27dBV como nivel máximo.

Generalmente, es adecuado comparar la señal teniendo en cuenta los valores picos, ya que la compresión es más natural. Pero existen las ondas donde los valores RMS están muy por debajo de los picos, lo cual puede llevar a dos consecuencias: que la compresión no resulte suficiente para no llegar a la saturación de la señal o que el umbral deba ser muy bajo y en consecuencia la compresión afectara notablemente a la dinámica de la señal. Por eso en estas excepciones es conveniente utilizar los valores picos de la onda de entrada.

3. PARAMETROS DE UN COMPRESOR

La compresión es una labor difícil que puede necesitar características muy diferentes en función del tipo de señal, es por ello q son necesarios numerosos controles. A continuación se detallaran los controles principales de un compresor de audio. Se utilizará la nomenclatura en inglés ya que es la forma más conocida de llamarlos. En la figura 3.1 se puede ver a modo de diagrama de bloques un compresor de audio y sus controles más comunes.

3.1 Threshold (Umbral)

Al exceder este nivel umbral se pone en funcionamiento el procesador dinámico y comienza la compresión. En la figura 3.2 se observa como varía el nivel de una señal al comprimirse con un umbral superior o inferior.

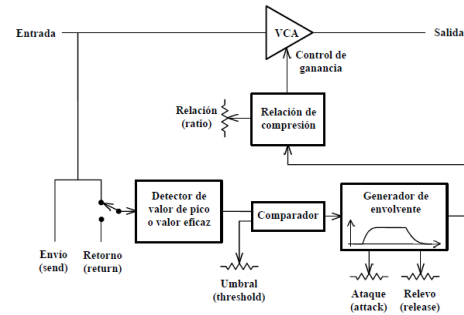


Figura 5: Diagrama de bloques de un compresor y sus controles.

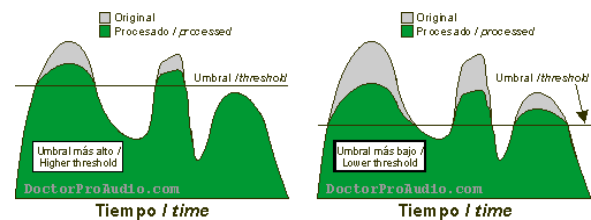


Figura 6: Señal comprimida con dos umbrales diferentes.

3.2 Attack y Release time (Tiempo de Ataque y Relajación o Relevo). Hold Time (Tiempo de Sostén)

Estos controles permiten incorporar cambios graduales de la ganancia. Esto se logra a través de una envolvente que toma determinado tiempo hasta lograr la compresión indicada por la relación de compresión. En la figura 6 se muestra como el procesador opera suavemente hasta lograr el control. Igualmente sucede al retirar la compresión, se produce una descompresión suave y controlada.

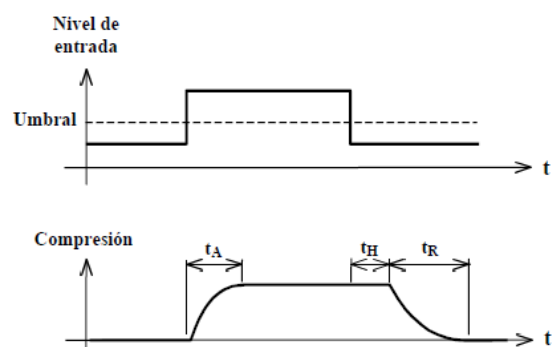


Figura 7: Tiempos de ataque, de relajación y sostén.

Si se considera un tono puro que bruscamente adquiere un nivel superior al umbral, lo que en realidad realizará el compresor se muestra en la figura 7.

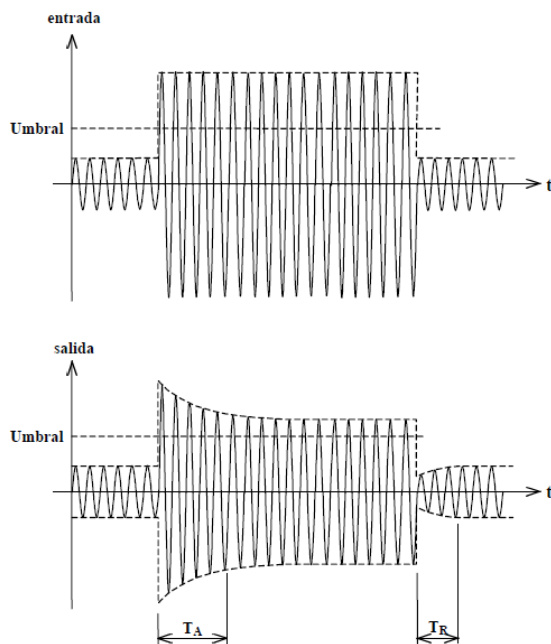


Figura 8: Efecto temporal del compresor.

Cuando la señal sube de nivel rápidamente la señal no es comprimida porque el lazo de realimentación no ha actuado aún. Un instante después la envolvente “ataca” a la señal hasta llegar gradualmente al nivel de compresión establecido. El tiempo que le lleva al compresor este proceso se denomina Attack Time (T_A). Si bien en un este comportamiento inicial es contrario a la razón de ser del compresor (liberando a la señal de la compresión justa, provocando una posible distorsión) el efecto auditivo de una compresión demasiado rápida sería más perjudicial que una distorsión de breve duración.

Cuando la señal vuelve a un valor por debajo del umbral, el sistema demora un instante hasta que el lazo de realimentación actúa, es por eso que se observa una señal atenuada aunque ésta se ubique debajo del umbral. Enseguida el compresor libera la señal, pero lo hace en forma gradual, para no generar una descompresión demasiado rápida. Este tiempo de liberación o relajación se denomina Release Time T_R .

Valores típicos de T_A varían entre 0,1 y 200 ms, y T_R oscila entre 50 ms a 2 o 3 s [c1]. El ajuste de estos valores dependerá de la señal con la que se esté trabajando. Un T_A breve sería indicado para una señal con impulsos de gran amplitud, así se lograría atenuar la señal rápidamente, evitando la distorsión por exceso de nivel. Por otro lado una señal que presenta información en alta y baja frecuencia, predominando un alto nivel en esta última, podría enmascarar la información de alta frecuencia si el ataque es demasiado rápido. El T_R tiene generalmente valores más elevados que el T_A debido a que en general los sonidos se extinguen más lentamente de lo que tardan en iniciarse, además existe una prolongación natural debida al efecto de la reverberación. Finalmente cabe mencionar que en algunos procesadores existe además un Hold Time (H_T : Tiempo de Sostén), que

sirve para ingresar un retardo antes que comience el T_R . Este retardo es útil cuando se trabaja con señales de baja frecuencia. Una señal de estas características, al tener un período extenso, podría ejecutar la compresión al superar el umbral, y en el mismo ciclo descomprimir la señal produciendo distorsión. T_H se encarga entonces de impedir que comience la recuperación de ganancia antes de que termine el ciclo.

3.3 Ratio (Relación de Compresión)

Este parámetro especifica la medida de compresión que se aplicará a la señal. Normalmente oscila entre 1:1 y 4:1 (ver figura 2.2). Las relaciones se expresan en decibeles, así que una relación de, por ejemplo, 6:1, quiere decir que una señal que exceda el umbral en 6 dB se reducirá a 1 dB por encima del umbral. Cuando esta relación crece demasiado se considera que el compresor funciona como limitador, aunque en teoría un limitador tendría una relación de ∞ :1 como se verá más adelante. En la figura 3.5 se muestra el nivel de una señal comprimida y sin comprimir para diversas relaciones de compresión desde menos compresión hasta compresión máxima (limitación).

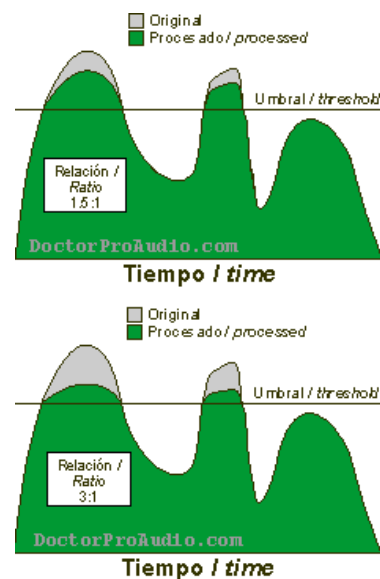


Figura 9: Señal comprimida con dos relaciones distintas (1.5:1 imagen superior, 3:1 imagen inferior).

3.4 Soft y hard knee (codo suave y brusco)

Regula la transición entre el estado procesado y sin procesar. En un compresor, puede existir la opción entre una transición “blanda” (soft knee, ver figura 3.6) y una más brusca (hard knee). La rótula o codo suave permite una compresión más suave y gradual hasta el valor seleccionado, y provee un sonido más natural [c1]. Por el contrario en una

transición brusca la relación de compresión actúa rápidamente con su valor nominal.

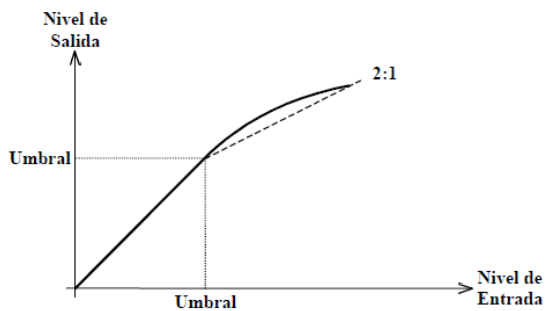


Figura 10: Compresión con codo suave.

3.5 Side Chain (Cadena Lateral)

Normalmente la señal que se está comprimiendo es la misma que es monitoreada por el circuito de detección para comprobar si excede o no el umbral. Sin embargo, en la mayor parte de los compresores es posible utilizar una señal externa en el circuito de detección a través de la cadena lateral (side-chain, a veces llamado key) y de esta forma tener otro tipo de control sobre la compresión (control “send” y “return”, ver figura 5). A continuación se muestran algunas de las aplicaciones de esta cadena.

3.5.1 Ducking

La aplicación más habitual es bajar el nivel de la música cuando comienza a hablar un presentador o cuando un solista a efectuar su performance. Para ello se utiliza una copia de la señal de control (la voz del presentador o un solista) para usarla en el circuito de detección, conectándola a la entrada de la cadena lateral. Esta técnica, denominada en inglés “ducking”, tendría como efecto una reducción de la sonoridad del conjunto acompañante cuando se quiere resaltar una señal determinada.

3.5.2 De-esser

También es posible intercalar otros procesadores en el camino de la señal a comprimir, haciendo trabajar al compresor a partir de la señal procesada en lugar de la original. Si se intercala un ecualizador en la cadena lateral y se produce una atenuación en las frecuencias graves se condicionará al compresor a trabajar con señales de frecuencias elevadas. Es decir, la compresión no se disparará ante una frecuencia grave de gran nivel, ya que esta es atenuada; por el contrario, se disparará cuando una frecuencia aguda entre con el nivel del umbral. Dicho de otra manera el compresor es más sensible a frecuencias altas, lo que redundará en un dispositivo antisibilante (de-esser), que reduce el “seseo” (presencia exagerada de eses) de la señal ingresante, ya que esta consonante contiene altas frecuencias del espectro audible (>2Khz [2]).

3.5.3 Antipop

El principio de funcionamiento es el mismo que el de la compresión de sibilancia, solo que referido a los “pops” en el manejo de micrófonos. Para conseguirlo, se comprime a partir del exceso de baja frecuencia (el ecualizador en la cadena lateral pondera mejor las bajas frecuencias). De esta manera se obtiene un dispositivo que elimina los soplos contra el micrófono.

3.5.4 Ringing out (Eliminar acoples mediante ecualización)

Esta aplicación de un compresor se puede usar en las operaciones de ajuste del sistema antes de la operación del mismo. Si dispone el compresor con un umbral bajo, una relación de $\infty:1$ (limitador) con compresión de rótula dura (*hard knee*), sin señal presente, y se eleva el control de ganancia principal hasta que se produzca el primer acople, el compresor lo “atrapará” y mantendrá constante. En esta instancia resultará más sencillo ajustar un ecualizador para minimizar los acoples. Este proceso habitualmente varias veces hasta lograr la ecualización justa, con la mejor respuesta de acoples posible.

3.6 Gain (Ganancia)

Este control se puede presentar como un bloque de ganancia de entrada o de salida, o ambos bloques incorporados al compresor. Esto es necesario para ubicar el rango dinámico de la señal entrante a valores apropiados que permitan mejorar la relación señal/ruido (RSR).

Un ejemplo típico es el de una señal entrante al compresor, que debido a la cadena de dispositivos precedente al procesador ha sufrido una amplificación excesiva. Esta señal de nivel elevado puede lograr saturar al compresor, entonces es necesario atenuarla para que se ajuste a los niveles de entrada. Esto se realiza mediante el control de ganancia de entrada. En este punto es necesario corregir el umbral en la misma proporción que se modificó la ganancia. De esta manera la señal entrante queda ajustada a valores óptimos sin modificar el rango de trabajo del compresor. Si a la salida del compresor es necesario recuperar la ganancia que se redujo en un principio (para recuperar la RSR inicial), se ajustará entonces el control de ganancia de salida también en igual proporción que se modificó la ganancia de entrada y el umbral. Con este proceso se lo logra no saturar la entrada del compresor y a la salida de éste entregar valores apropiados a la etapa siguiente.

3.7 Indicador de compresión y By Pass

Para brindar al operador más información sobre qué está sucediendo con la señal, los compresores

suelen tener indicadores luminosos de barra 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.

3.8 Compresores estéreo

Los compresores estereofónicos generalmente pueden trabajar de dos maneras distintas: comprimiendo cada canal independientemente o comprimiendo ambos a la vez. El primer caso puede ser utilizado para comprimir señales independientes antes de una mezcla final, pero puede ser perjudicial a la hora de comprimir una mezcla ya establecida. La utilización de compresores independientes en estos casos puede generar distorsión en la imagen estereofónica, esto recae en una imagen sonora confusa y cambiante desde el centro hacia ambos canales (izquierdo y derecho). En esta situación es necesario utilizar un procesador que comprima en forma simultánea e idéntica ambas señales. La compresión se realiza a partir de la señal de mayor nivel y que por supuesto supere el umbral.

3.9 Compresión Automática

Es común que exista la posibilidad de controlar alguno de los parámetros expuestos (normalmente el T_A y el T_R) de forma automática en función de las características de la señal. En general, el modo automático suele funcionar adecuadamente cuando se busca una compresión sutil; si lo que se busca es un efecto de características particulares se debe utilizar el modo manual.

4. LIMITADORES.

En un compresor el sonido más natural se logra con valores bajos de Ratio. Sin embargo, este tipo de procesadores permiten relaciones de compresión muy altas, por ejemplo 20:1 o aun ∞ :1. Un compresor con una relación ∞ :1 se denomina limitador, su función es evitar el crecimiento de la señal más allá del umbral. Esto no lo transforma en un recortador, ya que un limitador no deforma la onda, sino que reduce la ganancia de manera de llevar el nivel de señal a un valor constante, igual al umbral [2]. Si bien la onda no se distorsiona, sí se produce una distorsión en las relaciones dinámicas de la señal, afectando la calidad sonora en general. Los tiempos, en particular el de ataque, deberán ser rápidos, para impedir la saturación o la sobre-excursión. El umbral lo ajustaremos a 2 o 3 dB por debajo del nivel máximo que queremos no rebasar, puesto que hay que tener en cuenta que el limitador tarda un cierto tiempo en llegar a su máxima atenuación. Se asume también

que el limitador sólo se activará ocasionalmente en los picos más altos.

Este control es muy usado en las emisoras de frecuencia modulada (FM), donde la amplitud de la señal se codifica como desviación de frecuencia. Esta desviación de ser como máxima de ± 75 kHz para no invadir la banda asignada a la emisora vecina en el dial.

5. CIRCUITOS COMPRESORES

5.1 Diagrama básico

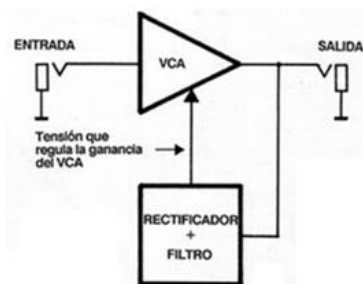


Figura 11: Diagrama básico de un compresor de audio

Partiendo de la figura 11 y dada la configuración en lazo cerrado y que la realimentación es negativa, la ganancia se ajusta continuamente en respuesta a las variaciones de amplitud de la señal de entrada y tiende a encontrar un punto de equilibrio si ésta es muy grande la tensión de control aplicada al VCA será también grande, reduciendo su ganancia y, a la recíproca.

Como resultado de este proceso de ajuste continuo de la ganancia, el nivel de salida del VCA se mantendrá (relativamente) constante frente a las variaciones de la entrada, y lo hará de forma automática, reduciendo el nivel de las señales fuertes y aumentando el de las débiles [3].

5.1 Circuito con JFET

El componente clave es el JFET el cual es usado como un resistor controlado por tensión. La ganancia del amplificador IC1, está determinada por la resistencia drenador-surtidor del FET. R1, R2 y R3 linealizan la característica tensión corriente del FET (ver figura 12).

Una tensión de control es derivada de la señal de salida a través de un rectificador de precisión y un detector de pico. Los tiempos de ataque y relajación son ajustados por R4 y R5 respectivamente. El tiempo de ataque está determinado por la combinación de R4 y el capacitor de 4,7 μ F. Cuando la señal de entrada cae D1 se polariza inversamente y la constante de tiempo de relajación queda determinada por R5. Con los valores mostrados se obtienen tiempos de 1 ms y 517ms.

En el modo compresor, un cambio de 28 dB en el nivel de la señal de entrada produce un cambio de 9 dB en la salida. [4]

