

INTRODUCCIÓN

El concepto original del AO (amplificador operacional) procede del campo de los computadores analógicos, en los que comenzaron a usarse técnicas operacionales en una época tan temprana como en los años 40. El nombre de amplificador operacional deriva del concepto de un amplificador dc (amplificador acoplado en continua) con una entrada diferencial y ganancia extremadamente alta, cuyas características de operación estaban determinadas por los elementos de realimentación utilizados. Cambiando los tipos y disposición de los elementos de realimentación, podían implementarse diferentes operaciones analógicas; en gran medida, las características globales del circuito estaban determinadas solo por estos elementos de realimentación. De esta forma, el mismo amplificador era capaz de realizar diversas operaciones, y el desarrollo gradual de los amplificadores operacionales dio lugar al surgimiento de una nueva era en los conceptos de diseño de circuitos.

Los primeros amplificadores operacionales usaban el componente básico de su tiempo: la válvula de vacío. El uso generalizado de los AOs no comenzó realmente hasta los años 60, cuando empezaron a aplicarse las técnicas de estado sólido al diseño de circuitos amplificadores operacionales, fabricándose módulos que realizaban la circuitería interna del amplificador operacional mediante el diseño discreto de estado sólido. Entonces, a mediados de los 60, se introdujeron los primeros amplificadores operacionales de circuito integrado. En unos pocos años los amplificadores operacionales se convirtieron en una herramienta estándar de diseño, abarcando aplicaciones mucho más allá del ámbito original de los computadores analógicos.

INTRODUCCIÓN A LOS AMPLIFICADORES OPERACIONALES

Si existe un elemento estrella en los sistemas electrónicos analógicos ese elemento es sin duda el amplificador operacional. Con él podremos amplificar señales, atenuarlas, filtrarlas, etc. Los sistemas de control analógico encuentran en el amplificador operacional un elemento de conmutación sumamente simple e incluso años atrás fue empleado para el diseño de computadoras analógicas (de ahí el nombre de operacionales).

El conocimiento a nivel básico del amplificador operacional proporciona al diseñador una herramienta de valor incalculable.

Partir del amplificador operacional sin siquiera conocer el funcionamiento del transistor podría parecer un error. Esta consideración pierde importancia si tenemos en cuenta que en la actualidad el transistor como componente discreto ha quedado relegado a usos muy puntuales, siendo su coste similar al de un amplificador operacional. Ante esta situación, la respuesta correcta es disponer en primer lugar de los conocimientos necesarios para operar con amplificadores operacionales y posteriormente abordar la teoría clásica de transistor, por ser esta última más compleja.

EL MODELO IDEAL

Un amplificador operacional es un dispositivo electrónico activo siendo capaz de ofrecer una tensión de salida en función de una tensión de entrada. Vamos a considerar única y exclusivamente el amplificador operacional ideal, que aun no existiendo en la vida real, es una aproximación muy precisa y perfectamente válida para el análisis de sistemas reales. Un amplificador operacional presenta cinco patillas. Dos de ellas son las entradas del dispositivo; la primera de ellas llamada entrada inversora se halla indicada en los esquemas con un signo menos, la otra denominada entrada no inversora se indica mediante un signo más. Otro de las patillas del amplificador operacional corresponde a la salida del dispositivo mientras que las dos restantes corresponden a la alimentación requerida por el dispositivo ($\pm V_{CC}$).

Una vez nos hemos familiarizado con las patillas podemos pasar a indicar las características de un

amplificador operacional. Debido a que en ningún momento entraremos en el diseño interno del circuito deben ser asumidas. Recordamos una vez más que son características teóricas, si bien las reales se aproximan a las teóricas:

- Ancho de banda infinito (podemos trabajar con señales de cualquier frecuencia).
- Tiempo de conmutación nulo
- Ganancia de tensión infinita.
- Impedancia de entrada infinita.
- Impedancia de salida nula.
- Corrientes de polarización nulas.
- Tensión de desplazamiento nula (si bien no es estrictamente cierto, diremos que la diferencia de potencial entre las entradas inversora y no inversora nula).
- Margen dinámico $\pm V_{cc}$ (la tensión de salida puede a nivel teórico alcanzar el valor de la tensión de alimentación, en la práctica se aproxima pero no puede ser igual ya que se producen saturaciones en el dispositivo).

AMPLIFICADOR INVERSOR

La configuración más sencilla es la inversora. Dada una señal analógica (por ejemplo de audio) el amplificador inversor constituye el modo más simple de amplificar o atenuar la señal (en el ejemplo propuesto modificar el volumen de la señal).

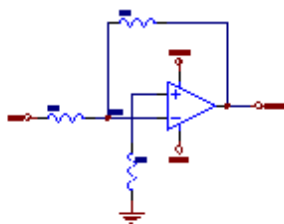


Figura 1

Se comenzará por la configuración más adecuada para nuestros propósitos:

el modo amplificador inversor. Hemos afirmado anteriormente que la impedancia de entrada del dispositivo es infinita, por lo cual no circulará corriente en el interior del amplificador operacional y las resistencias R1 y R2 estarán dispuestas en serie. Por encontrarse estas resistencias dispuestas en serie la corriente que atravesará ambas será la misma, podemos afirmar por tanto:

$$I_1 = I_2; \frac{V_{in} - V_a}{R_1} = \frac{V_a - V_{out}}{R_2}$$

A continuación se va a demostrar como V_a es nula. Si tenemos en cuenta que la ganancia de tensión de un amplificador operacional debe atender a la relación salida/entrada:

$$Ganancia = \frac{V_{OUT_AMP}}{V_{IN_AMP}}$$

Al ser una de las características del ampop la ganancia en tensión infinita podemos intuir que la única solución válida es disponer a la entrada del ampop de una tensión nula.

$$Ganancia = \frac{V_{OUT_AMP}}{V_{IN_AMP}} = \infty \Rightarrow V_{IN_AMP} = 0$$

Al llegar a este punto se destaca que no debe confundirse la entrada del ampop constituida por las patas inversora y no inversora con la entrada de la etapa amplificadora inversora.

Se llega a la conclusión de que la diferencia de potencial en la entrada del operacional debe ser nula. Puesto que en el circuito la pata no inversora se halla conectada a tierra el valor de V_a será nulo o de lo contrario la diferencia de tensión en la entrada del ampop no sería nula.

$$\frac{V_{in}}{R_1} = \frac{-V_{out}}{R_2}$$

$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = -\frac{R_2}{R_1}$$

Al analizar a continuación el resultado obtenido se puede ver claramente que la tensión de salida es proporcional a la tensión de entrada, siendo el factor de proporcionalidad una constante que definimos con las resistencias R_1 y R_2 . Se acaba de diseñar el primer amplificador, ya que este simple amplificador operacional puede atenuar o amplificar las señales aplicadas a su entrada. El nombre de inversor viene dado por el signo negativo presente en la fórmula. Es decir, el montaje invierte la fase de la señal; este detalle no puede pasarse por alto para señales que requieran cuidar su fase.

Finalmente debemos destacar la presencia de la resistencia R_3 , cuya misión no es sino la de compensar los posibles efectos no deseados debidos a imperfecciones en el funcionamiento de los amplificadores operacionales reales. En concreto busca disminuir el efecto nocivo de unas intensidades de polarización residuales presentes en las entradas del ampop (lo que conlleva una impedancia de entrada elevada pero no infinita).

Antes de continuar con las siguientes configuraciones es de suma importancia comprender completamente el amplificador inversor.

AMPLIFICADOR NO INVERSOR

Este circuito presenta como característica más destacable su capacidad para mantener la fase de la señal. El análisis se realiza de forma análoga al anterior.

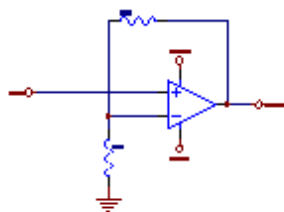


Figura 2

Se ha razonado que la diferencia de tensión en las patillas de entrada del amplificador operacional ha de ser nula, por lo que la tensión presente en la patilla inversora será la misma que la presente en la no-inversora. Por hallarse las resistencias R_1 y R_2 en serie, la corriente que las atravesará será la misma y conocida, ya que sabemos el valor de R_1 y las tensiones en sus extremos (V_{in} y 0):

$$I_1 = I_2, \frac{V_{in}}{R_1} = \frac{V_{out} - V_{in}}{R_2}$$

Resulta sencillo despejar de esta expresión la ganancia:

$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right)$$

Se puede apreciar como no existe signo negativo en la expresión (no se invierte la señal), siendo además la ganancia siempre superior a la unidad. Este circuito no permite por consiguiente atenuar señales.

Se hará una puntualización con respecto a la conveniencia de uso del inversor / no inversor. La inversión de fase no resulta significativa en el tratamiento de señales alternas, ya que dichas señales varían entre semiciclos positivos y negativos. Un amplificador inversor aplicado a una señal alterna tiene como resultado una simple inversión de fase. Sin embargo en señales de continua el resultado es bien distinto. Si deseamos duplicar una tensión continua e introducimos a la entrada de un amplificador inversor 2V a la salida tendremos - 4V (negativos), lo cual puede ser un inconveniente en determinadas aplicaciones. La elección de una etapa u otra depende por consiguiente de las condiciones concretas de diseño.

AMPLIFICADOR MEZCLADOR O SUMADOR

Esencialmente no es mas que un amplificador en configuración inversora. Difiere de este último en la red resistiva empleada en sustitución de la resistencia R1 utilizada en el ejemplo de configuración inversora.

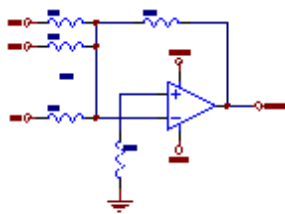


Figure 3

El desarrollo matemático es el mismo. Debido a la ganancia de tensión infinita del amplificador para que la tensión de salida sea un número finito la tensión de entrada debe ser nula. Puesto que una de las patillas (la no-inversora en este caso) se encuentra conectada a tierra a través de la resistencia Re, la otra patilla (patilla inversora) debe presentar también este valor.

Debido a la impedancia de entrada infinita del amplificador, la suma de intensidades que atraviesen las resistencias R1,R2,...Rn será igual a la intensidad que atraviese la resistencia Rs (según la primera ley de Kirchhoff). Por tanto podemos afirmar que:

$$I_1 + I_2 + \dots + I_n = \frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2} + \dots + \frac{V_n}{R_n} = \frac{-V_{out}}{R_o}$$

Despejando la tensión de salida:

$$V_{out} = -R_o \left(\frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2} + \dots + \frac{V_n}{R_n} \right)$$

Al llegar a este punto se debe particularizar la presente configuración para obtener un sumador. Si se afirma la igualdad entre las resistencias R1=R2=...=Rn y además se hace que este valor coincida con el de la resistencia Ro se obtiene una tensión de salida igual a la suma algebraica de tensiones de entrada (con la correspondiente inversión de fase). Nótese la importancia de esta particularización para la comprensión de los antiguos calculadores analógicos:

$$R_1 = R_2 = \dots = R_N = R_O \Rightarrow$$

$$V_{out} = -(V_1 + V_2 + \dots + V_N)$$

CIRCUITO SEGUIDOR

Esta sencilla configuración ofrece una tensión de salida igual a la tensión de entrada, no produciéndose ganancia alguna.

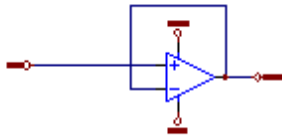


Figura 4

El montaje se emplea fundamentalmente como adaptador de impedancias, ya que no consume corriente en su entrada (impedancia de entrada infinita) ofreciendo señal en su salida (impedancia de salida nula).

$$V_{out} = V_{in}$$

Su nombre está dado por el hecho de que la señal de salida es igual a la de entrada, es decir, sigue a la de entrada.

AMPLIFICADOR CON ALIMENTACIÓN ASIMÉTRICA

Hasta ahora las configuraciones operaban con tensión simétrica $\pm V_{cc}$. La configuración que a continuación pasamos a describir presenta la ventaja de operar con una tensión única. Para que este montaje funcione es necesario aplicar la mitad de la tensión de alimentación a la entrada no inversora del amplificador (creando una tierra virtual para la etapa equivalente a la mitad de la tensión de alimentación). Esto se consigue mediante las resistencias R1.

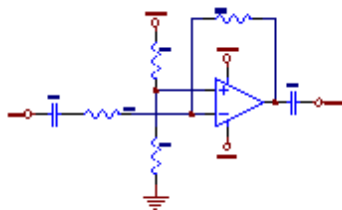


Figura 5

Puesto que la entrada del amplificador presenta una impedancia infinita, las dos resistencias R1 y R2 se hayan dispuestas en serie y por ellas circulará la misma intensidad. Si llamamos V_a a la tensión aplicada a la entrada no inversora del amplificador:

$$\frac{V_{cc} - V_a}{R_1} = \frac{V_a}{R_2} \Rightarrow V_a = \frac{V_{cc}}{2}$$

Por tanto conocemos las tensiones en los extremos de la resistencia R3 y por la ley de Ohm la intensidad que atravesará dicha resistencia. Por encontrarse R3 y R4 en serie la intensidad que circula por R4 será la misma que la que circula por R3, de donde podemos obtener el valor de V_{out} .

$$\frac{V_{in} - \frac{V_{cc}}{2}}{R_3} = \frac{\frac{V_{cc}}{2} - V_{out}}{R_4} \Rightarrow$$

$$V_{out} = -\frac{R_4}{R_3} V_{in} + \left(1 + \frac{R_4}{R_3}\right) \cdot \frac{V_{cc}}{2}$$

No se puede concluir la explicación de esta configuración sin mencionar los condensadores (de valor elevado para que no influyan en las señales alternas) situados a la entrada y a la salida del circuito. Tanto a la entrada como a la salida aparece en la señal una componente de continua de la mitad de la tensión de alimentación. Los condensadores evitan el paso de dicha componente (ya que un condensador es un circuito abierto para una señal continua). Por tanto, puesto que de los dos sumandos el segundo de ellos es una señal continua y como ya hemos dicho es eliminada por los condensadores el valor de la tensión de salida corresponde únicamente al primero de los términos calculados:

$$V_{out} = -\frac{R_4}{R_3} V_{in}$$

Debido a los mencionados condensadores de desacoplo esta configuración puede usarse únicamente con señales alternas.

AMPLIFICADOR DIFERENCIAL

Este circuito presenta como característica notable la amplificación de la diferencia entre las dos tensiones de entrada. Presenta el inconveniente de que la impedancia de entrada del amplificador disminuye sensiblemente y además las dos resistencias R1 y las dos R2 deben ser exactamente iguales.

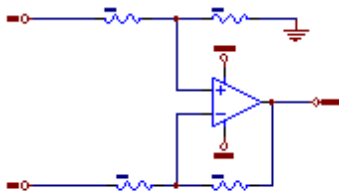


Figura 6

Puesto que sabemos que las tensiones de las patillas inversora y no inversora deben ser iguales, podemos afirmar que tanto las resistencias R1 y R2 superiores como las R1 y R2 inferiores se encuentran en serie. Planteando las ecuaciones:

$$\frac{V_1 - V_a}{R_1} = \frac{V_a - V_{out}}{R_2}$$

$$\frac{V_2 - V_a}{R_1} = \frac{V_a}{R_2}$$

De estas dos igualdades (donde V_a es la tensión de entrada tanto en la patilla no inversora como en la inversora) podemos obtener la tensión de salida en función de los valores R1, R2 y las tensiones de entrada. Para ello despejamos los valores V_a de ambas expresiones obteniendo:

$$V_{out} = \frac{V_{out} + \frac{R_2}{R_1} V_1}{1 + \frac{R_2}{R_1}}; V_a = \frac{\frac{R_2}{R_1} V_2}{1 + \frac{R_2}{R_1}}$$

Igualando ambas expresiones resulta trivial obtener la expresión final de la tensión de salida:

$$V_{out} = \frac{R_2}{R_1} (V_2 - V_1)$$

Como se puede ver esta configuración amplifica o atenúa la diferencia existente en las dos entradas V2 y V1.

Se realiza un estudio comparativo de las características de **11 amplificadores operacionales** presentes en el mercado, los cuales han sido seleccionados de diferentes fabricantes.

También se han incluido dos **amplificadores de instrumentación** en el estudio comparativo, puesto que son circuitos bastante relacionados con los amplificadores operacionales (constan de tres de ellos colocados en una determinada estructura) que aportan ciertas ventajas frente a los primeros.

Tabla Comparativa

En la siguiente tabla se muestran los 11 amplificadores operacionales y los dos amplificadores de instrumentación que he escogido y se aportan datos de las características eléctricas más importantes de cada uno de ellos. Alguna característica como la resistencia de salida no se ha incluido porque era una información que tan sólo estaba disponible por dos de los dispositivos.

Entre estos operacionales, se encuentra el LM741, el operacional cuyo uso está más extendido mundialmente, y del cual pueden verse en esta tabla sus ventajas e inconvenientes.

También señalar que los parámetros incluidos en la tabla son los valores típicos de los dispositivos (no máximos ni mínimos).

A. O. 's			I_b	R Entrada R_{in}	Rango V Entrada V_{CM}	Lín Rap Rpta SR	Lín I salida I_{sc}	C M R R	P S R R	Bandwidth	Rise
LM 741	20 nA	2.0 mV	80 nA	2.0 M Ω	± 13 V	0.5 V/ μ s	25 mA	90 dB	96 dB	1.5 Mhz	0.1
LM 725	20 nA	0.5 mV	42 nA	1.5 M Ω	± 13.5 V	----	----	120 dB	2.0 μ V/V	----	----
LF411	25 pA	0.8 mV	50 pA	10 ¹¹ Ω	± 13.5 V	15 V/ μ s	----	100 dB	100 dB	4 Mhz	----
OPA 124	± 0.25 pA	± 100 μ V	± 0.35 pA	10 ¹¹ 1 μ pF	± 11 V	1.6 V/ μ s	± 10 mA	100 dB	100 dB	1.5 Mhz	5
NE5533	20 nA	0.5 mV	500 nA	100 K Ω	± 13 V	13 V/ μ s	38 mA	100 dB	10 μ V/V	10 Mhz	5
NE/SE5514	6 nA	1 mV	6 nA	100 M Ω	± 13.7 V	1 V/ μ s	40 mA	100 dB	110 dB	3 Mhz	----
NE/SE5532	10 nA	0.5 mV	200 nA	300 K Ω	± 13 V	9 V/ μ s	38 mA	100 dB	10 μ V/V	10 Mhz	----
NE/S45230	3 nA	0.4 mV	40 nA	----	± 10 V	0.25 V/ μ s	----	95 dB	95 dB	0.6 Mhz	2
NE/SE532	± 5 nA	± 2 mV	45 nA	----	± 16 V	0.3 V/ μ s	40 mA	70 dB	100 dB	1 Mhz	----
MAX430	15 pA	2 μ V	10 pA	10 ¹¹ Ω	± 11.5 V	0.125 V/ μ s	----	140 dB	140 dB	125 KHz	2
MXL1001	0.4 nA	18 μ V	± 0.7 nA	80 M Ω	± 14 V	0.25 V/ μ s	----	126 dB	123 dB	0.8 Mhz	----
AI: INA 114	± 5 nA	± 125 μ V	± 5 nA	10 ¹⁰ 6 μ pF	± 13.7 V	0.6 V/ μ s	20 mA	100 dB*	----	1 Mhz*	----
AI: INA 131	± 5 nA	± 125 μ V	± 5 nA	10 ¹⁰ 6 μ pF	± 13.7 V	0.7 V/ μ s	20 mA	100 dB*	----	70 KHz*	----

ESTUDIO DE LAS CARACTERÍSTICAS

He incluido información sobre amplificadores de 4 fabricantes distintos. Algunas características eléctricas de algunos dispositivos no estaban disponibles y por ello no han podido ser incluidas en la tabla. Los amplificadores que aparecen en la tabla poseen características que los diferencian entre sí por lo que cada uno de ellos es adecuado para diferentes aplicaciones. A continuación paso a explicar cada uno de ellos:

LM741

Este dispositivo es un amplificador de propósito general bastante conocido y de uso muy extendido. Sus parámetros son bastante regulares, no teniendo ninguno que sea el mejor respecto a los de los demás, pero en conjunto presenta una alta impedancia de entrada, pequeños offset (de corriente y de voltaje) en la entrada y buenos parámetros.

LM725

Este amplificador es un modelo bastante similar al LM741, pero que mejora bastantes de sus parámetros. Tiene unos valores para la corriente y el voltaje de offset de entrada menores, su corriente de polarización también es menor y su CMRR más elevado. Sin embargo, la impedancia de entrada de este dispositivo es inferior a la que presenta el LM741.

LF411

Este dispositivo posee excelentes parámetros. Tiene un offset de entrada y una corriente de polarización de valores muy bajos. Además su impedancia de entrada es la más elevada de todas (junto con el MAX430). Es uno de los amplificadores operacionales de National Semiconductors para aplicaciones de máxima precisión.

OPA124

Este chip es el que presenta los valores más bajos de corriente offset de entrada y de corriente de polarización de entrada. Posee una impedancia de entrada elevadísima, la cual se presenta como una resistencia en paralelo con un condensador. Es uno de los mejores amplificadores operacionales que he analizado.

NE5533

Este chip es el que posee (a nivel general) peores prestaciones de todos los amplificadores que se encuentran en el estudio. Su impedancia de entrada es la menos alta de todas y su corriente de polarización la más elevada. Es un amplificador para aplicaciones en las que no se requiera de alta precisión.

NE/SE5532

Este dispositivo está diseñado a partir de dos amplificadores operacionales con alta ganancia que se colocan de manera opuesta para presentar compensación en los parámetros. También está pensado para que pueda operar en un rango amplio de voltajes de alimentación. Posee el *bandwidth* (ancho de banda) más alto de todos los amplificadores que se han analizado.

NE/SE5514

Este dispositivo se presenta como un amplificador operacional para aplicaciones con altas exigencias. Presenta una corriente de polarización bastante baja y unas corrientes y voltajes de offset con valores también bajos. La impedancia de entrada de este dispositivo es una de las más altas de todos

los amplificadores que he analizado y por ello este dispositivo es apropiado cuando trabajemos con un elemento que disponga de una impedancia de salida muy elevada.

NE/SE5230

Este amplificador operacional presenta una característica diferenciadora respecto al resto de amplificadores y que no está mostrada en la tabla, la cual consiste en que está especialmente diseñado para trabajar con voltajes de alimentación muy bajos. De este modo este operacional se puede alimentar con $\pm 18\text{V}$ o con $\pm 1,5\text{V}$.

Otros amplificadores, con tensiones de alimentación tan bajas no pueden funcionar correctamente, por lo tanto este dispositivo es ideal cuando haya que utilizar un amplificador operacional en una placa en la cual se quiera utilizar un mismo voltaje (por ejemplo niveles TTL) para alimentar toda la circuitería. Sus parámetros son en general buenos presentando pequeños valores de offset a la entrada.

NE/SE532

Este chip posee buenos parámetros, pero dos de ellos destacan sobre los demás. Es el amplificador con mayor rango de voltaje de entrada $\pm 16\text{V}$ y también es el que posee mayor límite en la corriente de salida. Este amplificador puede atacar cargas con un valor de corriente casi el doble a la de otros amplificadores.

MAX430

Este amplificador presenta unos parámetros que le acercan a los de los amplificadores de instrumentación. Esta diseñado para presentar una alta precisión.

Posee el valor de offset de entrada más bajo de todos los amplificadores y también los valores más altos de rechazo al modo común CMRR y al voltaje de alimentación PSRR. También cabe destacar que posee la impedancia de entrada más alta de todos los amplificadores, y me hace pensar que aunque el fabricante presenta este dispositivo como un amplificador operacional, su estructura tal vez esté compuesta por tres operacionales como los amplificadores de instrumentación.

MXL1001

El fabricante presenta a este dispositivo como un amplificador operacional de precisión. Posee muy buenos parámetros y cabe destacar que es el dispositivo con uno de los mayores rangos de voltaje de entrada (± 14 V). Me ha llamado la atención que en la documentación técnica de este sensor, el fabricante aporta una imagen ampliada del diseño PCB que posee el amplificador operacional internamente y señala sobre el dibujo los diferentes lugares desde donde surgen los pines hacia el exterior del chip.

AMPLIFICADORES DE INSTRUMENTACIÓN

Se presentan las características eléctricas de dos de estos dispositivos. Se puede observar como sus parámetros son muy buenos. Cabe destacar que la impedancia de entrada se da como una resistencia en paralelo con un condensador. Los valores para el CMRR, así como el bandwidth, se dan para una serie de ganancias, no como en los amplificadores operacionales que se da siempre el mismo valor. La ganancia de estos dispositivos se consigue modificando una resistencia R_g que se coloca en dos patitas que presenta el chip, y no afecta a la impedancia de entrada del dispositivo. El fabricante los presenta como amplificadores de precisión.

CONCLUSIONES

Todas las características de los circuitos que se han descrito, son importantes, puesto que, son las bases para la completa fundamentación de la tecnología de los circuitos amplificadores operacionales.

Los cinco criterios básicos que describen al amplificador ideal son fundamentales, y a partir de estos se desarrollan los tres principales axiomas de la teoría de los amplificadores operacionales, los cuales son:

- La tensión de entrada diferencial es nula.
- No existe flujo de corriente en ninguno de los terminales de entrada.
- En bucle cerrado, la entrada (-) será regulada al potencial de entrada (+) o de referencia.

Estos tres axiomas se han descrito en todos los circuitos básicos y sus variaciones. En la configuración inversora, los conceptos de corriente de entrada nula, y de tensión de entrada diferencial cero, dan origen a los conceptos de nudo de suma y tierra virtual, donde la entrada inversora se mantiene por realimentación al mismo potencial que la entrada no inversora a masa.

El funcionamiento esta solamente determinado por los componentes conectados externamente al amplificador.

BIBLIOGRAFÍA

- Circuitos y señales. Introducción a los sistemas lineales y de acoplamiento. Autor: Thomas Rosa. Editorial Reverté.
- Microelectronic Circuits. Autores: Sedra/Smith. Editorial Oxford University Press.

indice