

# 1 Introducción

En el presente informe se busca caracterizar el comportamiento de los amplificadores operacionales, tanto de forma analítica como empírica y con la ayuda de *software* de simulación. Se estudiará cómo su presencia afecta la respuesta en frecuencia e impedancia de entrada de varios circuitos, así como sus parámetros característicos. Por último, se diseñarán dos circuitos de aplicación que hacen uso de operacionales: un pedal de distorsión y un sensor de temperatura.

El amplificador operacional, comúnmente denominado *op amp*, es un componente activo que cumple la función de amplificar en su salida lo máximo posible la diferencia de potencial entre sus entradas positiva y negativa. Retroalimentando la salida al terminal positivo o negativo, pueden construirse circuitos que realicen operaciones matemáticas de gran utilidad como por ejemplo suma, multiplicación por una constante, derivación e integración. Otra aplicación que se puede mencionar de este componente es en diseño de filtros.

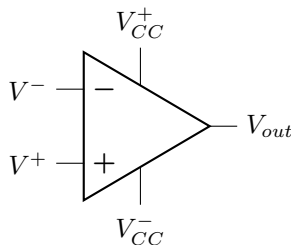


Figura 1: Amplificador operacional con entrada inversora  $V^-$ , entrada no inversora  $V^+$ , salida  $V_{out}$ , alimentación positiva  $V_{CC}^+$  y alimentación negativa  $V_{CC}^-$

La ecuación fundamental de un operacional ideal es:

$$V_{out} = A_0 \cdot (V^+ - V^-)$$

Como el propósito de este componente es amplificar la diferencia de potencial  $V^+ - V^-$ , la ganancia a circuito abierto del operacional  $A_0$  debe ser lo más grande posible.

## 1.1 Modelo ideal

Si el objetivo de tener un *op amp* en un circuito es amplificar lo máximo posible la diferencia de potencial entre la entrada positiva y la negativa, entonces la primera aproximación que se puede hacer de su comportamiento es que la amplificación que se produce es infinita, es decir que  $A_0 = \infty$ . Para que  $V_{out}$  no diverja, surge de esta consideración que  $V^- = V^+$ .

Si bien en la mayoría de los casos estudiados en este trabajo este modelo no será suficiente para realizar un análisis en profundidad, puede resultar útil para tener una idea básica del comportamiento del circuito, que en la práctica se cumplirá en un cierto rango de frecuencias (por consideraciones que se mencionarán luego).

Una consecuencia interesante de esta suposición es que si una de las entradas está conectada a tierra, en la otra entrada se replicará este potencial de referencia. De esta forma, se tendrá en el circuito lo que se conoce como tierra virtual, ya que existirá un punto que si bien no está conectado con tierra, tiene su mismo potencial.

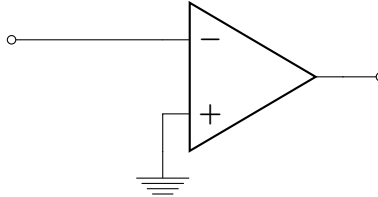


Figura 2: Circuito con tierra virtual

Otra de las suposiciones necesarias para considerar al operacional como ideal es que no hay corriente entre  $V^+$  y  $V^-$ , es decir, que la impedancia entre esos dos puntos es infinita. En general, esta suposición no se dejará de lado incluso cuando se admita que la diferencia de potencial no es nula, ya que el valor de esta impedancia está típicamente en el orden de los  $M\Omega$ .

## 1.2 Otros modelos

Si se quisiese mejorar el modelo anterior, la primera corrección que se podría hacer es tener en cuenta que la ganancia efectivamente no es infinita, si bien su valor suele ser considerablemente grande (típicamente alrededor de los  $100dB$ ).

En algunos casos (por ejemplo, cuando se trabaja en frecuencias de cientos de  $kHz$  o superiores, o circuitos retroalimentados con ganancia alta), considerar a  $A_0$  constante no llevará a resultados satisfactorios. Es más conveniente recurrir en este caso al modelo de polo dominante.

Si bien la respuesta en frecuencia de un *op amp* no presenta un único polo sino varios, en general existirá uno en particular que será el que más visiblemente altere el comportamiento del circuito. Si se quiere tener en cuenta el filtro pasabajos que impone el operacional, entonces se deberá reemplazar  $A_0$  por  $\frac{A_0}{s + \omega_p}$ . En esta expresión,  $\omega_p$  es la frecuencia angular del polo dominante. El valor que se puede encontrar en la hoja de datos es usualmente el del *bandwidth product*:  $BWP = A_0 \cdot \omega_p$ . Este parámetro permite obtener para una ganancia ideal  $G$  constante cuál será el valor de la frecuencia de corte  $\omega'_p$  que imponga el operacional, ya que también se cumplirá que  $G \cdot \omega'_p = BWP$ .

Esto último es, sin embargo, una aproximación proveniente de asumir que el valor de  $A_0$  es constante para todas las frecuencias, lo cual no siempre puede considerarse cierto. Esto se debe a que lo suele preocupar al fabricante de un operacional no es que este valor sea constante, si no que se mantenga lo suficientemente elevado como para que pueda considerarse infinito.

## 1.3 Alimentación y saturación

Como ya se mencionó, el amplificador operacional es un componente activo. Para que funcione se lo debe alimentar por  $V_{CC}^+$  y  $V_{CC}^-$  con una tensión continua indicada en la hoja de datos del componente,

que suele ser de alrededor de  $\pm 15V$ . En función del valor de  $V_{CC}$ , se determinará el rango de tensiones que puede tener  $V_{out}$ , fuera del cual el comportamiento del operacional deja de ser lineal. Este intervalo suele tomarse como  $(V_{CC}^-, V_{CC}^+)$ , con un cierto margen en ambos extremos (por ejemplo, si  $V_{CC} = 15V$ , no debería considerarse que el circuito tendrá un comportamiento lineal más allá de  $12V$  o  $13V$ ).

## 1.4 Otros parámetros del *op amp*

Si bien el modelo tratado hasta ahora es de gran utilidad para simplificar el comportamiento de un operacional, este componente posee también otras características que no están consideradas en el mismo, y que en ciertas circunstancias pueden afectar visiblemente la respuesta de un circuito.

Uno de ellos es el *slew rate* o velocidad de subida. Este parámetro indica la máxima  $\frac{\partial V_{out}}{\partial t}$  que soporta el operacional. Si la señal que entra exige una tasa de cambio mayor que el *SR* del *op amp*, la salida estará deformada y no podrá considerarse que se cumple el comportamiento lineal del circuito. Si consideramos que  $V_{out}$  es una función senoidal de amplitud  $V_{max}$  y frecuencia  $f$ , derivando obtenemos que debemos asegurar en todo momento que se cumpla  $SR > V_{max} \cdot 2\pi f$ .

Otra información que proporciona el fabricante y que en algunos casos puede resultar relevante son la corriente de *bias* y la tensión de *offset*. Estos parámetros indican respectivamente la corriente que circula entre  $V^+$  y  $V^-$  y la tensión entre ellos. Sus valores normalmente se encuentran en el orden de los  $nA$  y de los  $mV$ .