

AMPLIFICADORES OPERACIONALES

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE MINATITLÁN

ING. ELECTROMECÁNICA.

ALTUNAR MARTINEZ ALFONSO. NC 16230001

CARVAJAL TORRES EDWIN ALDAIR. NC 16231280

HERNANDEZ XOLO ARNOLD. NC 18230222

LOPEZ MONTALVO RICARDO. NC 15230098

MARTINEZ ORTIZ SILVERIO. NC 16230752

PACHECO PALOMEQUE JOEL. NC 16230029

RAMIREZ GUZMAN MARIO JAIR. NC 15230229

VELAZCO SERRANO CARLOS ANTONIO. NC 16230045

Introducción.

La electrónica analógica considera y trabaja con valores continuos pudiendo tomar valores infinitos, podemos acotar que trata con señales que cambian en el tiempo de forma continua porque estudia los estados de conducción y no conducción de los diodos y los transistores.

También podemos decir que la electrónica analógica define campos más específicos tales como:

- Conducción de semiconductores.
- Diodos
- Circuitos con diodos.
- Transistor bipolar.
- Etapas transitorias.
- Transistores de efecto de campo.
- Amplificación y retroalimentación.
- Amplificador operacional (I).
- Amplificador operacional (II).
- Otros sistemas amplificadores
- Otros sistemas analógicos
- Filtros activos.

Contenido.

Introducción.....	1
3.1 Arquitectura de un Amplificador Operacional.....	3
Configuración Interna de un Amplificador Operacional.....	4
3.2 Tipos de Amplificadores Operacionales.....	8
3.3 Especificaciones de los Amplificadores Operacionales.....	12
3.4 Aplicaciones básicas de los Amplificadores Operacionales.....	15
3.4.1 El Amplificador Operacional como Comparador.....	16
3.4.2 El Amplificador Operacional como Seguidor.....	21
3.4.3 El amplificador operacional como Inversor.....	24
3.4.4 El Amplificador Operacional No Inversor.....	28
3.4.5 El Amplificador Operacional como Sumador y Restador.....	31
3.4.6 El Amplificador Operacional como Diferenciador.....	34
3.4.7 El Amplificador Operacional como Integrador.....	37
Bibliografías.....	44

3.1 Arquitectura de un Amplificador Operacional.

Un amplificador operacional, a menudo conocido op-amp por sus siglas en inglés (operational amplifier) es un dispositivo amplificador electrónico de alta ganancia acoplado en corriente continua que tiene dos entradas y una salida. En esta configuración, la salida del dispositivo es, generalmente, de cientos de miles de veces mayor que la diferencia de potencial entre sus entradas.

El término de amplificador operacional fue nombrado para designar una clase de amplificadores que permiten realizar una serie de operaciones tales como suma, resta, multiplicación, integración, diferenciación..., importantes dentro de la computación analógica.



Ilustración 1 Amplificador operacional modelo LM741CN de National Semiconductor con encapsulado plástico DIP.

La aparición y desarrollo de la tecnología integrada, que permitía fabricar sobre un único sustrato monolítico de silicio gran cantidad de dispositivos, dio lugar al surgimiento de amplificadores operacionales integrados que desembocaron en una revolución dentro de las aplicaciones analógicas.

El AOP es un elemento estrella en los sistemas analógicos, con él podemos amplificar señales, atenuarlas, filtrarlas, etc. Los sistemas de control analógicos encuentran en el AOP un elemento de conmutación sumamente simple.

Uno de los modelos de AOP's que desbancó a sus rivales de la época con una técnica de compensación interna muy relevante y de interés incluso en nuestros días fue el AOP 741, un circuito que, por sus buenas características, relación precio-fiabilidad y buena disponibilidad, le hacen acreedor al título de más utilizado.

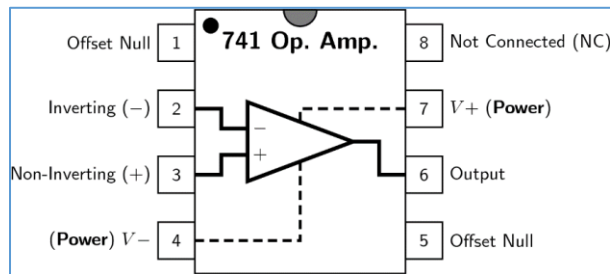
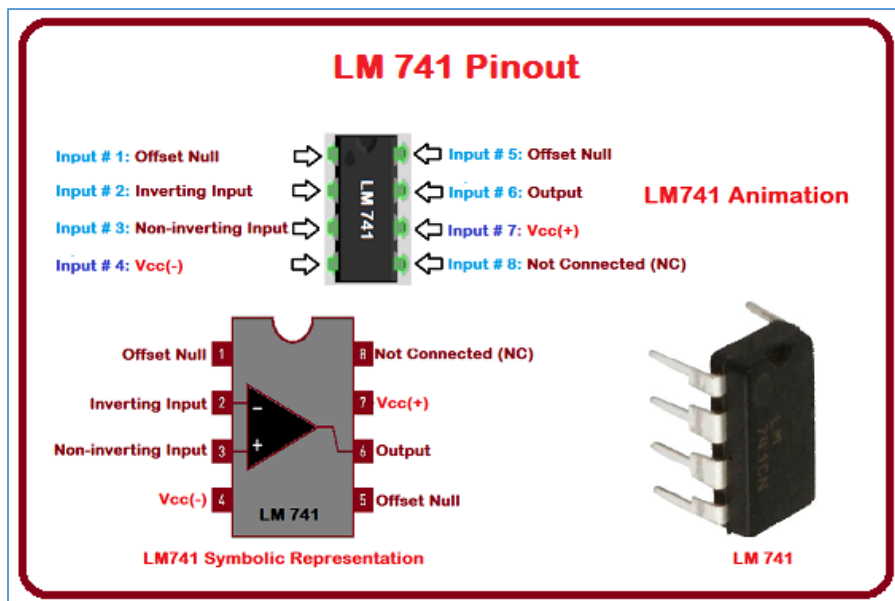


Ilustración 2 Puertos seriales del amplificador operacional.

Configuración Interna de un Amplificador Operacional.

Internamente el AO contiene un gran número de transistores, resistores, capacitares, etc.

Hay varios tipos de presentaciones de los amplificadores operacionales, como el paquete dual en línea (DIP) de 8 pines o terminales. Para saber cuál es el pin 1, se ubica una muesca entre los pines 1 y 8, siendo el numero 1 el pin que está a la izquierda de una muesca cuando se pone integrado.



La distribución de los terminales del amplificador operacional integrado DIP de 8 pines es:

- Pin 2: entrada inversora (-)
- Pin 3: Entrada no inversora (+)
- Pin 6: Salida (out)

Para alimentar un amplificador operacional se utilizan 2 fuentes de tensión:

- Una positiva conectada al Pin 7
- Una negativa conectada al Pin 4

También existe otra presentación con 14 pines, en algunos casos no hay muesca, pero hay un circuito pequeño cerca del Pin número 1.

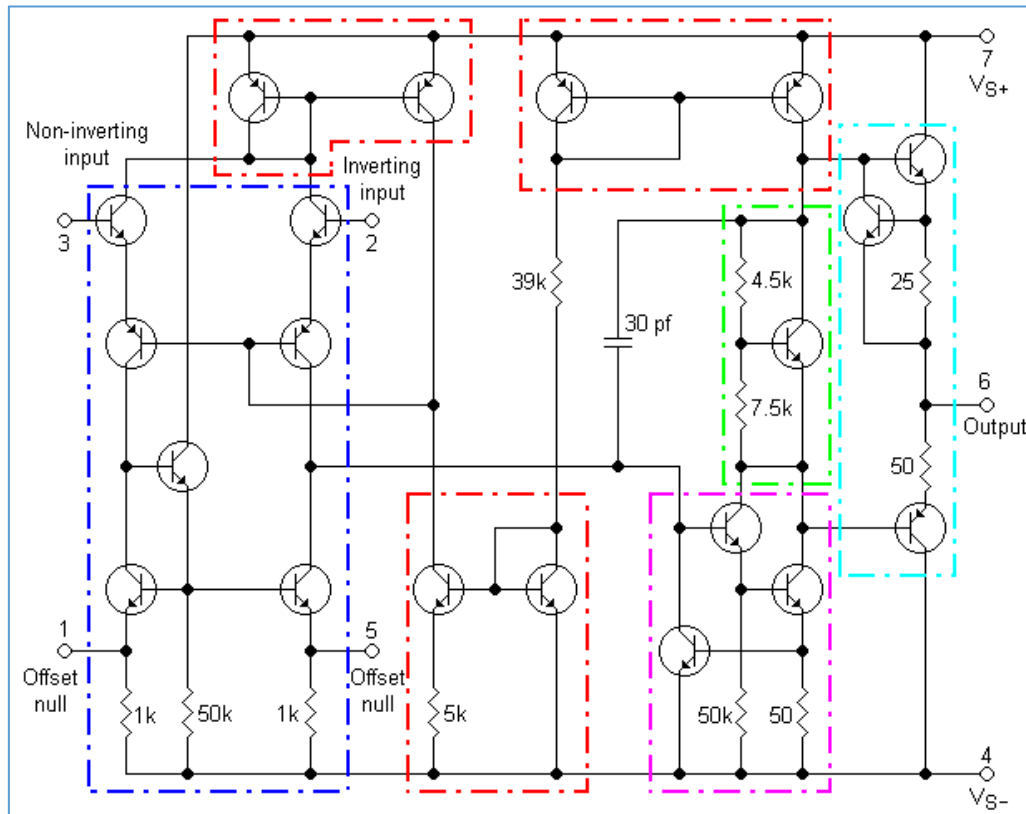


Ilustración 3 Estructura que muestra el agrupamiento de transistores para formar lo que se conoce como AMP con su respectivo encapsulado.

Los amplificadores operacionales suelen estar formados por las siguientes etapas:

1. *Una etapa amplificadora de entrada diferencial y salida diferencial*: Define las características de entrada del AO. Suele ser un AD (Amplificador diferencial) basado:

- En transistores bipolares simples o en montaje Darlington para disminuir las corrientes de entrada.
- Transistores FET que aumentan la impedancia de entrada.

2. *Una segunda etapa de entrada diferencial y salida asimétrica*: Aumenta la ganancia diferencial y adapta los niveles de continua para acoplar la salida a la siguiente etapa.

3. *Una etapa intermedia*: Provee ganancia de potencia y adapta los niveles de continua. Además, limita el ancho de banda total del amplificador en bucle abierto que garantiza su estabilidad. Suele consistir en un amplificador en emisor común.

4. *Una etapa de salida*: Suele ser un amplificador de corriente que disminuye la impedancia de salida para poder alimentar cargas relativamente bajas con protección contra sobre-corriente.

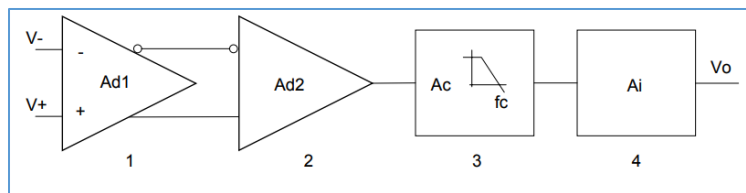


Ilustración 4 Etapas de los AMP...

Dada la Estructura Interna del AO, no se pueden conseguir las características ideales.

Las Características Reales se agrupan en:

- Características de Entrada.
- Características de Salida.
- Características de Transferencia.

Los valores de estas características hacen que un AO sea idóneo para una aplicación concreta e inadecuado para otra, ya que la gama de AO que se fabrican es casi tan amplia como numerosas son las aplicaciones que los utilizan. El nº de características que definen un AO es muy amplio ⇒ Conveniente conocerlas a fondo para identificar en que aplicaciones son más importantes cada una de ellas.

Los AO contienen circuitos de entrada Acoplados en Continua.

- La corriente continua entra (o sale de) los dispositivos de entrada del AO por los elementos conectados a los terminales de entrada, como el generador de señal. La corriente que entra por la entrada no inversora se denomina I_{B+} y la que entra por la inversora se denomina I_{B-} :

Corriente de Polarización de Entrada (I Corriente de Polarización de Entrada (I_B) (Input bias current):

- Valor medio Normalmente los circuitos de entrada de los AO son simétricos, y las corrientes de polarización que entran por las entradas inversora y no inversora son parecidas. Sin embargo, en la práctica, los dispositivos no son exactamente iguales, y las corrientes de polarización tampoco lo son.

3.2 Tipos de Amplificadores Operacionales.

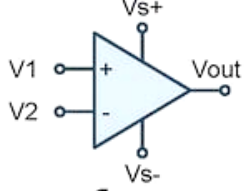
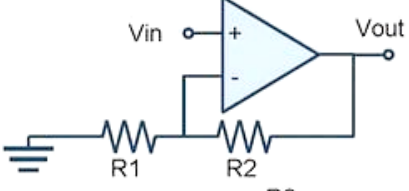
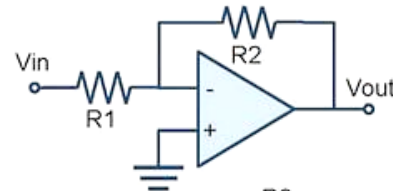
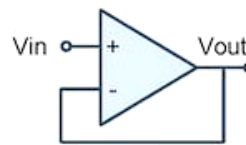
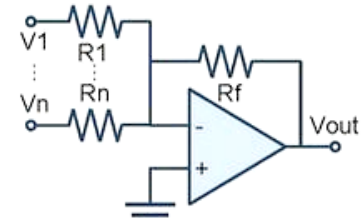
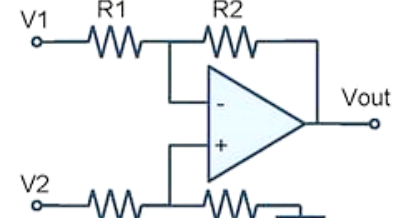
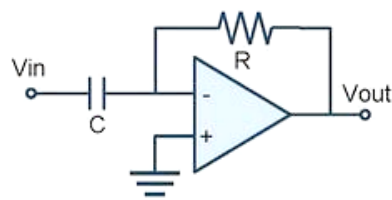
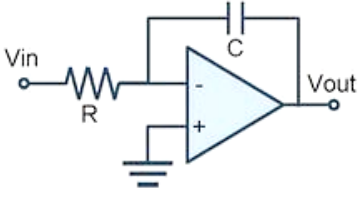
Dependiendo del tipo de amplificador operacional que esté integrado en un circuito, puede realizar varias funciones electrónicas diferentes, como suma, resta, integración o diferenciación.

Los diseños varían entre cada fabricante y cada producto, pero todos los amplificadores operacionales tienen básicamente la misma estructura interna, que consiste en tres etapas:

- Amplificador diferencial: es la etapa de entrada que proporciona una baja amplificación del ruido y gran impedancia de entrada. Suelen tener una salida diferencial.
- Amplificador de tensión: proporciona ganancia de tensión.
- Amplificador de salida: proporciona la capacidad de suministrar la corriente necesaria, tiene una baja impedancia de salida y, usualmente, protección frente a cortocircuitos. Éste también proporciona una ganancia adicional.

El dispositivo posee dos entradas: una entrada no inversora (+), en la cual hay una tensión indicada como V_+ y otra inversora (-) sometida a una tensión V_- .

Configuraciones Básicas de Amplificadores Operacionales

Comparador de Voltaje	Amplificador No Inversor	Amplificador Inversor
 $V_{out} = \begin{cases} V_{s+} & V1 > V2 \\ V_{s-} & V1 < V2 \end{cases}$	 $V_{out} = V_{in} \times \left(1 + \frac{R2}{R1}\right)$	 $V_{out} = -V_{in} \times \frac{R2}{R1}$
Seguidor de Voltaje	Sumador Amplificador Inversor	Amplificador Diferencial
 $V_{out} = V_{in}$	 $V_{out} = -R_f \times \left(\frac{V1}{R1} + \dots + \frac{Vn}{Rn}\right)$	 $V_{out} = \left(1 + \frac{R2}{R1}\right) \times \left(\frac{R4}{R3 + R4}\right) \times V2 - \left(\frac{R2}{R1}\right) \times V1$ <p>Si $R1 = R3$ y $R2 = R4$ entonces</p> $V_{out} = \left(\frac{R2}{R1}\right) \times (V2 - V1)$
Amplificador Derivador	Amplificador Integrador	
 $V_{out} = -R \times C \times \left(\frac{dV_{in}}{dt}\right)$	 $V_{out} = -\left(\frac{1}{R \times C}\right) V_{in} dt$	

TALLERELECTRONICA.COM

Ilustración 5 Configuraciones básicas para los Amp... y sus respectivas entradas y salidas referenciadas.

- Amplificador inversor/no inversor

El propósito definitivo de cualquier amplificador es aumentar la señal de un circuito en particular. Lo que diferencia a los amplificadores operacionales de los otros es que realizan algunos procesos matemáticos adicionales a la señal mientras la amplifican. Un amplificador operacional no inversor es esencialmente el tipo "base" que incrementa la ganancia de una señal electrónica sin ningún otro proceso adicional. Un amplificador operacional inversor aumentará la ganancia de la señal y también revertirá la polaridad de la señal de salida, de positivo a negativo o viceversa.

- Seguidor de voltaje

Un seguidor de voltaje es usado para aumentar la señal de circuitos con voltajes variables. Aplica el mismo tipo de aumento de ganancia que el amplificador estándar, pero se rastrearán variaciones en la ganancia de entrada y se emparejarán por la señal de salida. Este tipo de circuitos son a menudo usados por delante de otros sistemas para prevenir el daño por cambios súbitos de voltaje.

- Amplificadores de suma/resta

Estas dos variedades de amplificadores operacionales realizan un proceso aritmético en la señal. Un amplificador operacional de resta saca una señal que es igual a la resta entre sus dos entradas. Un amplificador de suma combina diferentes voltajes de un número de entradas, y saca una ganancia basándose en los voltajes combinados. Cualquiera de estos circuitos puede ser configurado para operar como sistemas inversores o no inversores.

- Integradores/diferenciadores

Las variedades más complejas de amplificadores operacionales son los integradores y diferenciadores. La suma de un capacitador al circuito significa que el integrador reacciona a cambios en el voltaje con el tiempo. La magnitud del voltaje de salida cambia, basándose en la cantidad de tiempo que un voltaje gasta apareciendo en la entrada. El diferenciador es lo opuesto a esto. El voltaje producido en el canal de salida es proporcional a la tasa de cambio de la entrada. Los cambios más grandes y rápidos en el voltaje de entrada producirán voltajes de salida más altos.

3.3 Especificaciones de los Amplificadores Operacionales.

Al igual que cualquier otro tipo de componente o dispositivo [las características y especificaciones de un AO las suministra el fabricante.](#)


Se puede hacer una clasificación correspondiente a los valores límites más importantes:

- Tensión de alimentación: Por regla general, la alimentación de un AO es simétrica, por ejemplo: $\pm 12\text{v}$, $\pm 18\text{v}$, etc. Existen AO cuya alimentación no necesariamente tiene que ser simétrica, por ejemplo, una tensión de alimentación de $+12\text{v}$, $+18\text{v}$, etc.
- Temperatura de funcionamiento: Indica la temperatura límite de funcionamiento, por ejemplo, de 0° a 95° C.
- Máxima tensión de entrada: En este caso, se tendrán que tener en cuenta tanto la máxima tensión de entrada en modo común, como en modo diferencial. En cualquiera de los dos casos sobrepasar los valores indicados pueden provocar la destrucción del AO.
- Potencia disipada: El fabricante especifica la máxima potencia que puede disipar el circuito integrado sin que se destruya.



Ilustración 6 Se muestra los tipos de amplificadores monolíticos con un encapsulado DIP y sus respectivos seriales.

El Amplificador Operacional (AO) integrado (CI) está constituido básicamente por dos etapas de ganancia de voltaje (una entrada diferencial y una etapa de emisor común) seguida por una etapa de salida clase AB de baja impedancia. Esta versión de un AO integrado es equivalente a un AO de propósito general, similar al LM101, A 741, o versiones de AO múltiples.



**TEXAS
INSTRUMENTS**

LM741
SNOSC25D – MAY 1998 – REVISED OCTOBER 2015

LM741 Operational Amplifier

1 Features

- Overload Protection on the Input and Output
- No Latch-Up When the Common-Mode Range is Exceeded

2 Applications

- Comparators
- Multivibrators
- DC Amplifiers
- Summing Amplifiers
- Integrator or Differentiators
- Active Filters

3 Description

The LM741 series are general-purpose operational amplifiers which feature improved performance over industry standards like the LM709. They are direct, plug-in replacements for the 709C, LM201, MC1439, and 748 in most applications.

The amplifiers offer many features which make their application nearly foolproof: overload protection on the input and output, no latch-up when the common-mode range is exceeded, as well as freedom from oscillations.

The LM741C is identical to the LM741 and LM741A except that the LM741C has their performance ensured over a 0°C to +70°C temperature range, instead of -55°C to +125°C.

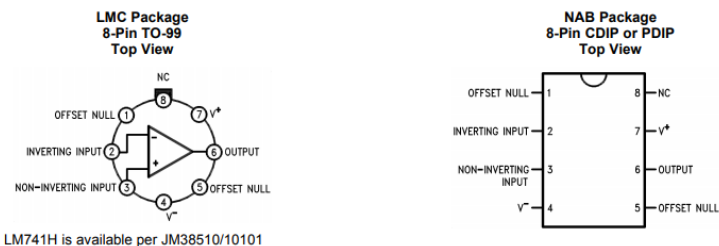
Device Information⁽¹⁾

PART NUMBER	PACKAGE	BODY SIZE (NOM)
LM741	TO-99 (8)	9.08 mm × 9.08 mm
	CDIP (8)	10.16 mm × 6.502 mm
	PDIP (8)	9.81 mm × 6.35 mm

(1) For all available packages, see the orderable addendum at the end of the data sheet.

Ilustración 7 Se hace la presentación de una parte del datasheet de un AMP de serial LM741 incluyendo respectivamente su hipervínculo para dar un mejor seguimiento.

5 Pin Configuration and Functions



Pin Functions

PIN		I/O	DESCRIPTION
NAME	NO.		
INVERTING INPUT	2	I	Inverting signal input
NC	8	N/A	No Connect, should be left floating
NONINVERTING INPUT	3	I	Noninverting signal input
OFFSET NULL	1, 5	I	Offset null pin used to eliminate the offset voltage and balance the input voltages.
OFFSET NULL			
OUTPUT	6	O	Amplified signal output
V+	7	I	Positive supply voltage
V-	4	I	Negative supply voltage

LM741

SNOSC25D –MAY 1998–REVISED OCTOBER 2015

www.ti.com

6 Specifications

6.1 Absolute Maximum Ratings

over operating free-air temperature range (unless otherwise noted)⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾

		MIN	MAX	UNIT
Supply voltage	LM741, LM741A		±22	V
	LM741C		±18	
Power dissipation ⁽⁴⁾			500	mW
Differential input voltage			±30	V
Input voltage ⁽⁵⁾			±15	V
Output short circuit duration			Continuous	
Operating temperature	LM741, LM741A	-50	125	°C
	LM741C	0	70	
Junction temperature	LM741, LM741A		150	°C
	LM741C		100	
Soldering information	PDIP package (10 seconds)		260	°C
	CDIP or TO-99 package (10 seconds)		300	°C
Storage temperature, T _{stg}		-65	150	°C

(1) Stresses beyond those listed under *Absolute Maximum Ratings* may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only, which do not imply functional operation of the device at these or any other conditions beyond those indicated under *Recommended Operating Conditions*. Exposure to absolute-maximum-rated conditions for extended periods may affect device reliability.

(2) For military specifications see RETS741X for LM741 and RETS741AX for LM741A.

(3) If Military/Aerospace specified devices are required, please contact the TI Sales Office/Distributors for availability and specifications.

(4) For operation at elevated temperatures, these devices must be derated based on thermal resistance, and T_J max. (listed under "Absolute Maximum Ratings"). T_J = T_A + (θ_{JA} P_D).

(5) For supply voltages less than ±15 V, the absolute maximum input voltage is equal to the supply voltage.

3.4 Aplicaciones básicas de los Amplificadores Operacionales.

Como su nombre lo indica, el amplificador operacional es un dispositivo que puede aumentar cualquier tipo de señal, sea de voltaje o de corriente, de corriente alterna o de corriente directa.

Ahora vamos a ver cómo es que se da este proceso y las diferentes configuraciones con las que puede trabajar este dispositivo.

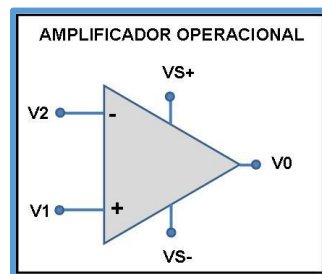
Los amplificadores operacionales, también llamados Óp. Amp por sus siglas en inglés, son dispositivos electrónicos capaces de realizar una gran cantidad de funciones dentro de un circuito electrónico, dependiendo de cómo se coloque dentro del mismo.

En los amplificadores operacionales se cumplen algunas condiciones:

La impedancia entre las entradas inversora y no inversora es infinita, por lo que no hay corriente de entrada.

- La diferencia de potencial entre las terminales inversora y no inversora es, o debe ser nula.
- No hay corriente entrando o saliendo de las patas inversora y no inversora.

Con dichas condiciones basta para conocer el funcionamiento de los amplificadores operacionales. El símbolo del amplificador operacional es el de un triángulo en cuya base se colocan las patas inversora y no inversora. En el vértice superior se coloca la salida. En los lados del triángulo se colocan las entradas del voltaje que se necesita para hacer efectiva la amplificación.



3.4.1 El Amplificador Operacional como Comparador.

Podemos utilizar un **amplificador operacional** para determinar cuál de las dos señales de entrada es mayor. Con que una de las dos señales sea ligeramente superior para que se produzca la salida máxima en el amplificador, sea positiva ($+V_{sat}$) o negativa ($-V_{sat}$).

Al utilizar el **amplificador operacional** en lazo abierto, la ganancia en la salida será siempre muy grande, aproximadamente del orden de 100.000 veces o más, una pequeña variación en las tensiones de entrada V_{s+} y V_{s-} produce que a la salida del **amplificador** tengamos un valor cercano a la tensión de alimentación.

La siguiente imagen, muestra la conexión de un **amplificador operacional** en modo de lazo abierto, para ser utilizado como **comparador**.

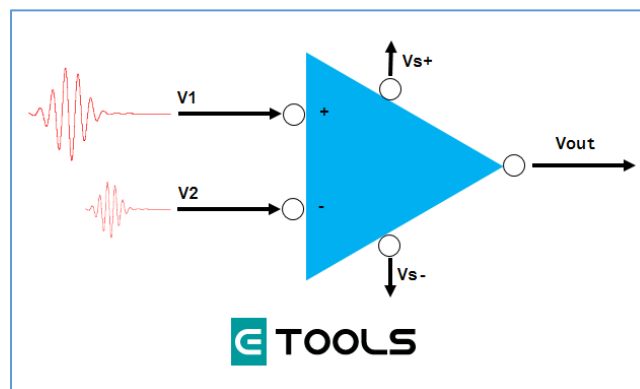
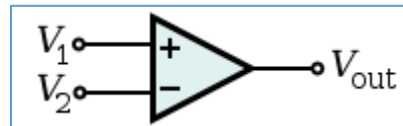


Ilustración 8 Conexión de un AMop en modo de lazo abierto para ser utilizado como comparador.

- Si V_1 es mayor que V_2 , la tensión a la salida del comparador será la alimentación positiva de la fuente V_{s+} .
- Si V_2 es mayor que V_1 , la tensión a la salida del comparador será la alimentación negativa de la fuente V_{s-} .

Un **amplificador operacional**, trabajando como **comparador**, puede ser configurado en modo inversor o no inversor, dependiendo a que entrada se aplique la señal a detectar y la señal de referencia.

Estudiemos el siguiente circuito:



En este circuito, se alimenta el amplificador operacional con dos tensiones

$+V_{cc} = 15V$ y $-V_{cc} = -15 V$.

Se conecta la patilla V_+ del amplificador a masa (tierra) para que sirva como tensión de referencia, en este caso $0 V$. A la entrada V_- del amplificador se conecta una fuente de tensión (V_i) variable en el tiempo, en este caso es una tensión sinusoidal.

Hay que hacer notar que la tensión de referencia no tiene por qué estar en la entrada V_+ , también puede conectarse a la patilla V_- , en este caso, se conectaría la tensión que queremos comparar con respecto a la tensión de referencia, a la entrada V_+ del amplificador operacional.

A la salida (V_o) del amplificador operacional puede haber únicamente dos niveles de tensión que son en este caso 15 o $-15 V$ (considerando el AO como ideal, si fuese real las tensiones de salida serían algo menores).

- Cuando la tensión sinusoidal V_i toma valores positivos, el amplificador operacional se *satura a negativo*; esto significa que como la tensión es mayor en la entrada V_- que en la entrada V_+ , el amplificador entrega a su salida una tensión negativa de $-15 V$.
- **Lazo Abierto:** Se denomina que un **AO** esta en una configuración en lazo abierto cuando la señal de entrada no está influenciada por la señal de salida, un ejemplo sería el comparador simple:

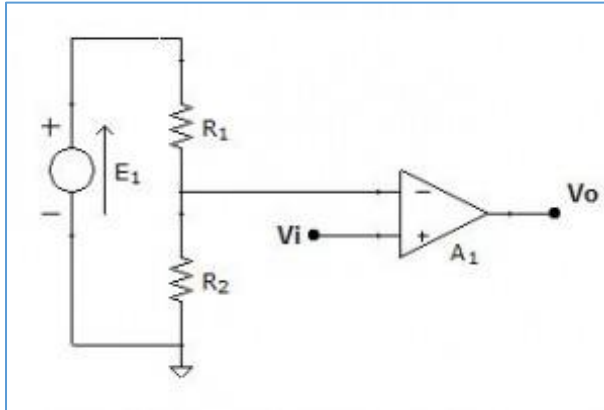
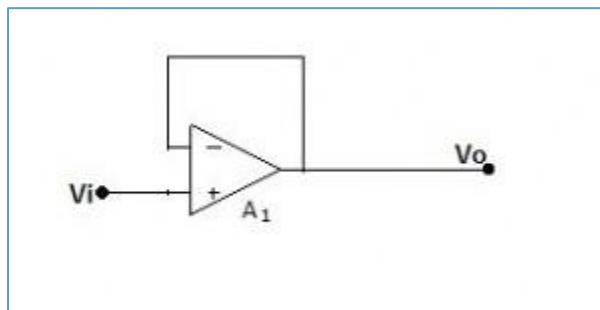


Ilustración 9 En esta ilustración el voltaje de salida(V_o) no tiene ninguna influencia sobre el voltaje de entrada (V_i).

Como se puede ver a simple vista el **voltaje de salida(V_o)** no tiene ninguna influencia sobre el **voltaje de entrada(V_i)** o el voltaje formado por el **divisor de tensión**.

- **Lazo Cerrado:** Se considera que un **AO** está en una configuración en lazo cerrado cuando la señal de entrada está influenciada por la señal de salida, un ejemplo sería la configuración de seguidor de tensión, dicha influencia se denomina **Realimentación**:



Esta configuración está claramente en lazo cerrado, ya que el voltaje que obtenemos en la **entrada inversora(V_i)** es directamente el voltaje obtenido en la **salida(V_o)**.

- **Realimentación positiva:** Es aquella realimentación que genera un proceso cíclico en el que el voltaje de salida genera un aumento en el voltaje de entrada y por ende nuevamente un aumento en el voltaje en la salida, y así hasta que el sistema sature, este fenómeno se conoce también como **sistema inestable**.

En los AO tendremos una **realimentación positiva** cuando el voltaje de salida tenga influencia sobre la entrada **no inversora**:

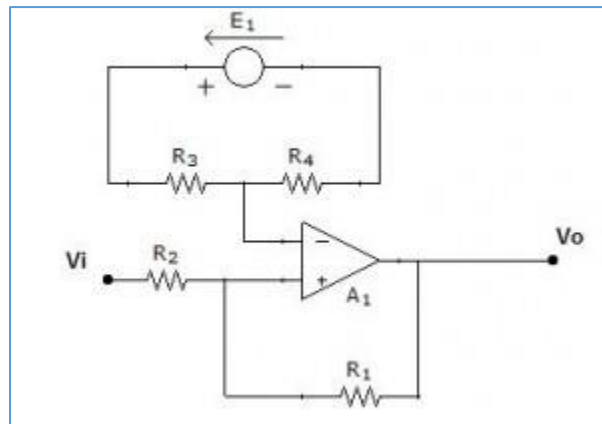
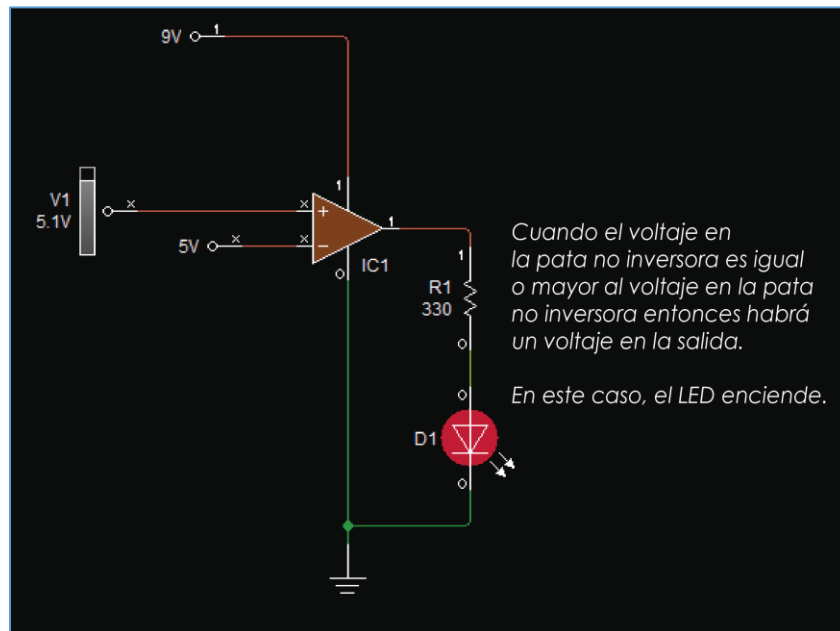


Ilustración 10 Realimentación desde la salida, a la entrada no inversora.

Se puede ver como hay una realimentación desde la salida, a la entrada **no inversora**. Al amplificar la señal hasta la saturación en la salida siempre tendremos **Vcc** o **-Vcc**, de manera que esta es una configuración comparadora, a continuación, explicaremos las ventajas de esta configuración a la hora de hacer un **comparador**.

- **Realimentación negativa:** Es aquella realimentación que produce una disminución en la ganancia del amplificador. En los **AO** la realimentación negativa se dará cuando la realimentación vaya a la **entrada inversora**, un ejemplo sería la ya conocida configuración de **seguidor de tensión** en la que la ganancia pasa a ser unitaria.

Si igualamos el voltaje en las terminales inversora y no inversora, la salida de voltaje será efectiva.



Esta función es utilizada en los comparadores lógicos que conforman los conversores de Análogo a Digital.

Los voltímetros y por extensión la mayoría de los instrumentos de medición digitales están basados en comparadores lógicos y conversores de análogo a digital. También pueden ser utilizados para comparar niveles de voltajes o en protecciones contra sobre corriente. Los usos que le podamos dar al comparador los podremos estudiar a profundidad en futuros aportes.

3.4.2 El Amplificador Operacional como Seguidor.

El seguidor de voltaje con un Op Amp ideal, da simplemente

Pero este resultado tiene una aplicación muy útil, porque la impedancia de entrada del Op Amp es muy alta, proporcionando un efecto de aislamiento de la salida respecto de la señal de entrada, anulando los efectos de "carga". Esto lo convierte en un circuito útil de primera etapa.

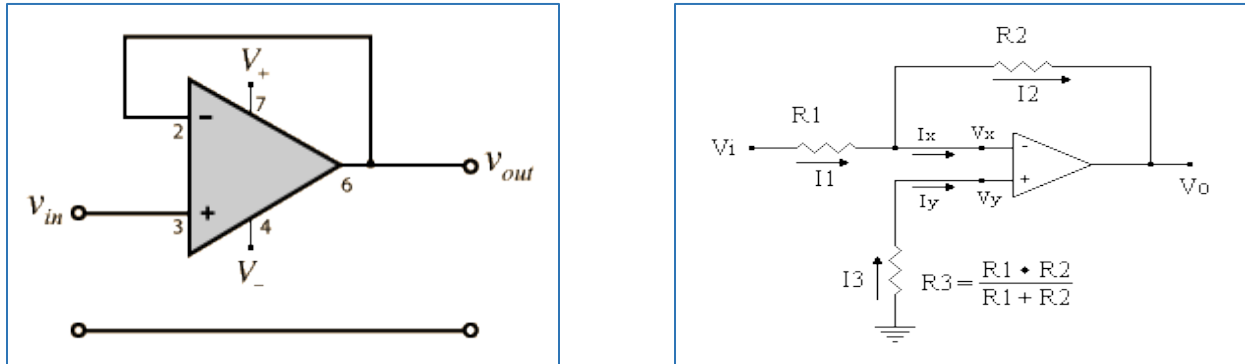
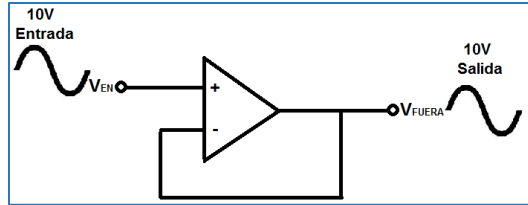


Ilustración 11 El seguidor de tensión se utiliza a menudo en los circuitos lógicos, para la construcción de buffers.

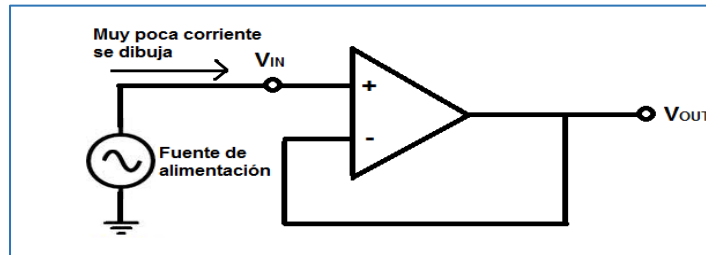
Un seguidor de voltaje (también llamado amplificador buffer, amplificador de ganancia unitaria o amplificador de aislamiento) es un circuito amplificador operacional que tiene una ganancia de voltaje de 1.

Esto significa que el amplificador operacional no proporciona ninguna amplificación a la señal. La razón por la que se llama un seguidor de tensión es porque el voltaje de salida sigue directamente el voltaje de entrada, significando que el voltaje de salida es igual que el voltaje de entrada. Así, por ejemplo, si 10V entra en el amplificador operacional como entrada, 10V sale como salida.

Un seguidor de voltaje actúa como un buffer, no proporcionando ninguna amplificación o atenuación a la señal.



Ahora echemos un vistazo al circuito abajo, conectado a un amplificador de voltaje de amplificador operacional:



Este circuito arriba dibuja ahora muy poca corriente de la fuente de energía arriba. Debido a que el amplificador operacional tiene una impedancia tan alta, dibuja muy poca corriente. Y debido a que un amplificador operacional que no tiene resistencias de realimentación da la misma salida, el circuito emite la misma señal que se alimenta.

Esta es una de las razones por las que se utilizan seguidores de tensión. Dibujan muy poca corriente, no alteran el circuito original, y dan la misma señal de voltaje que la salida. Actúan como amortiguadores de aislamiento, aislando un circuito para que la potencia del circuito se altere muy poco.

Los Seguidores de Voltaje Son Importantes en los Circuitos de Divisor de Voltaje

Por lo tanto, la corriente, como se ha explicado anteriormente, es una de las razones por las que se utilizan seguidores de tensión. Simplemente no dibujan una gran cantidad de corriente, por lo que no se carga la fuente de alimentación.

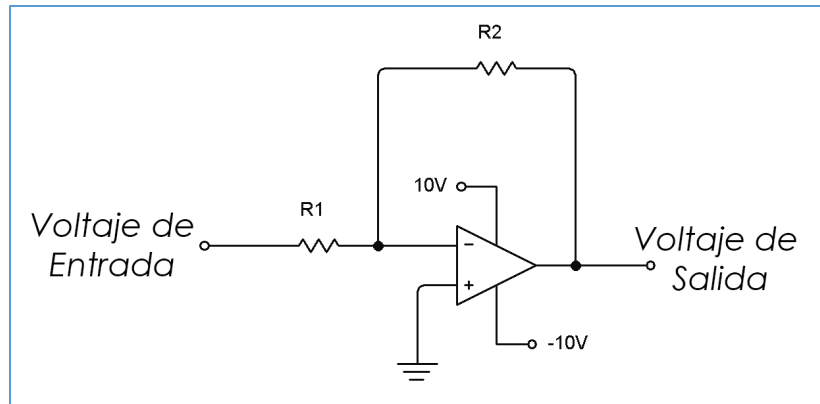
Otra razón por la que los seguidores de tensión se utilizan debido a su importancia en los circuitos divisores de tensión. Esto trata de nuevo con la ley de Ohm.

De acuerdo con la Ley de Ohm, voltaje = corriente * resistencia ($V = IR$).

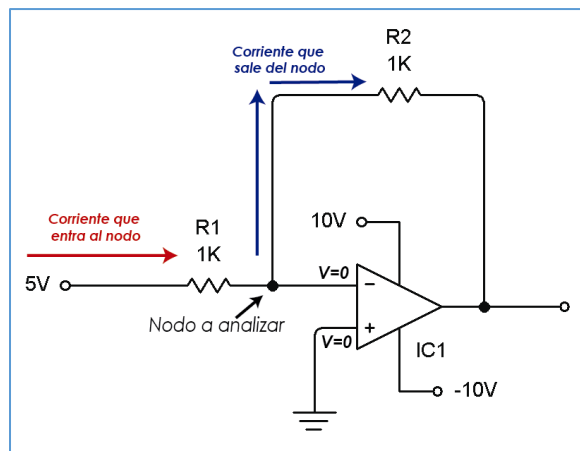
En un circuito, el voltaje se divide o se asigna según la resistencia o impedancia de los componentes.

Debido a que un amplificador operacional tiene una impedancia de entrada muy alta, la mayoría del voltaje caerá a través de él, (ya que es tan alta impedancia). Por lo tanto, es muy valioso cuando se utiliza en un circuito divisor de tensión, porque estratégicamente hacerlo puede permitir a un diseñador para suministrar suficiente voltaje a una carga.

3.4.3 El amplificador operacional como Inversor.



El amplificador operacional inversor logra invertir un voltaje de entrada a la vez que lo amplifica. El análisis es simple. Una vez más el voltaje en la para inversora y en la no inversora es el mismo. Como en la terminal no inversora el voltaje es cero (GND), entonces hacemos un análisis en el nodo que se forma entre R1 y R2.



Si hacemos un análisis en el nodo que se señala en la figura obtenemos lo siguiente:

Corriente que entra al nodo

$$\frac{V_{Entrada} - 0}{R_1}$$

Corriente que sale del nodo

$$\frac{0 - V_{Salida}}{R_2}$$

$$\sum I_{entrada} = \sum I_{salida}$$

$$\frac{V_{Entrada}}{R_1} = \frac{-V_{Salida}}{R_2}$$

La corriente que entra es el resultado de dividir el voltaje de entrada menos el voltaje en las terminales inversoras y no inversoras (es el mismo) entre la resistencia R1. Recordemos que no entra ni sale ninguna corriente entre las terminales inversora y no inversora. Esto quiere decir que la corriente que entra será igual a la que sale. La corriente que sale es el resultado de dividir la diferencia en el voltaje en las terminales inversora y no inversora menos el voltaje de salida entre la resistencia.

Si llevamos todo a una expresión final en donde el voltaje de salida quede expresado en función del voltaje de entrada, obtenemos:

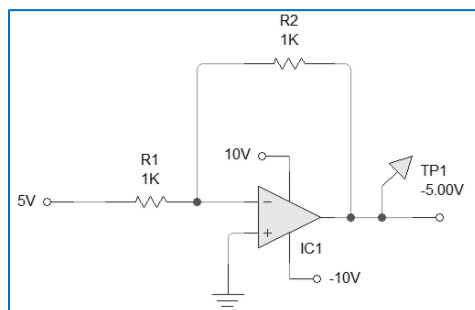
$$\frac{V_{Entrada}}{R_1} = \frac{-V_{Salida}}{R_2}$$

$$\frac{V_{Entrada} R_2}{R_1} = -V_{Salida}$$

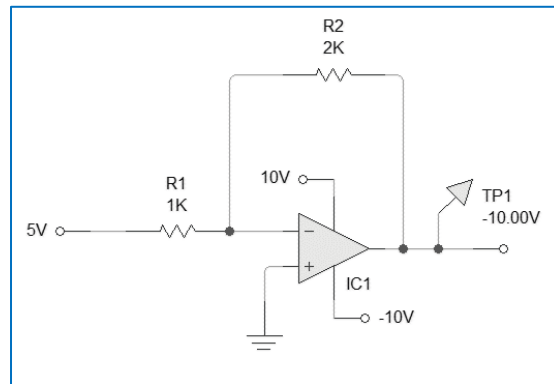
$$V_{Salida} = -V_{Entrada} \left(\frac{R_2}{R_1} \right)$$

Si utilizamos los valores que aparecen en la figura de arriba obtenemos:

$$V_{salida} = -(5) (1k/1k) = -5 \text{ voltios}$$



Como podemos observar, la simulación coincide con nuestros cálculos. Si queremos duplicar el voltaje a la vez que lo invertimos, el valor de R2 debe ser el doble del de R1, para que el V de entrada sea duplicado.



Las relaciones entre las resistencias R1 y R3 son las que indican el factor multiplicador del voltaje de entrada el cual siempre tendrá signo inverso.

Ejemplo 1. Diseñe un amplificador inversor con una ganancia de 5. La señal de entrada será 0.2V_p a una frecuencia de 1Khz. El circuito debe quedar balanceado.

Solución. Se escoge R_F de un valor de 10k ohmios. Ahora se halla el valor de R₁:

$$R_1 = -\frac{R_F}{A}$$

$$R_1 = -\frac{10k}{-5}$$

$$R_1 = 2k\Omega$$

Ahora para balancear el circuito hallamos el valor de R₊:

$$R_+ = R_-$$

$$R_+ = R_F || R_1$$

$$R_+ = 10k || 2k$$

$$R_+ = 1.6k\Omega$$

Se usará el UA741 como amplificador operacional. Se usará una fuente dual de 5v. El circuito queda de la siguiente manera:

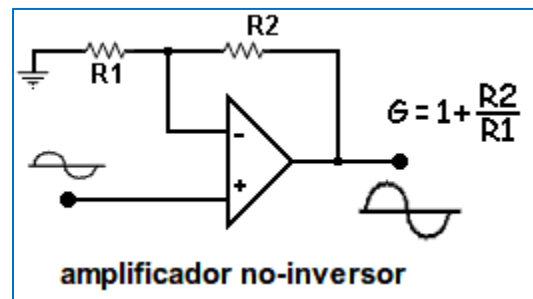
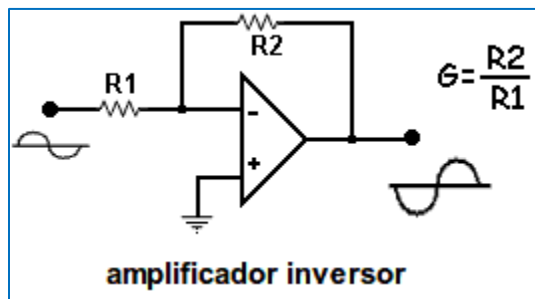
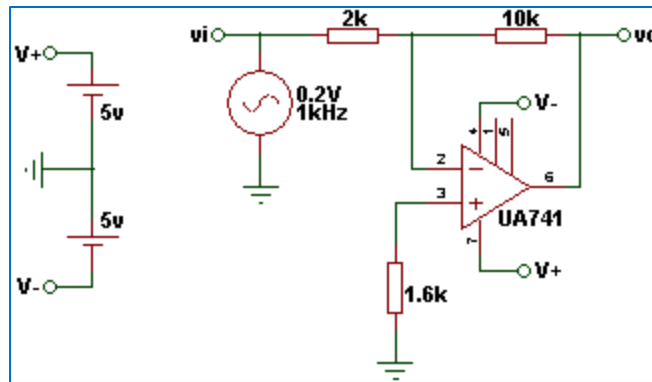
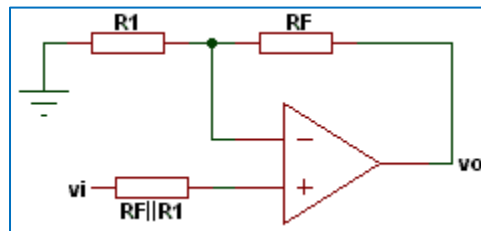


Ilustración 12 En dichas imagines se logrará comprender los diferentes pares de configuraciones de un AMp como o no-inversor.

3.4.4 El Amplificador Operacional No Inversor.

Un amplificador operacional no inversor u Opamp no inversor como su nombre lo dice no invierte la señal de salida, presenta una ganancia mayor o igual que uno, de acuerdo con el valor que tomen las resistencias R_F y R_1 . La entrada es por el pin no inversor. La impedancia de entrada es alta (por el orden de los Megas de Ohm), con lo que se garantiza una baja potencia de entrada y la no distorsión de la señal de entrada. Tiene una baja impedancia de salida (por el orden de los milis de Ohm), con lo cual se asegura que la totalidad de la señal de salida caerá en la R_L . Para balancear el circuito (Eliminar la corriente de Vías), basta con colocar una resistencia en serie a la entrada de valor igual al paralelo de R_F y R_1 . Esta resistencia no afecta el análisis del Opamp no inversor.



Impedancia de entrada

La impedancia de entrada del amplificador operacional no inversor es mucho mayor que la del amplificador inversor. Se puede obtener este valor experimentalmente colocando en la entrada no inversora una resistencia R de valor conocido. Ver el siguiente gráfico:

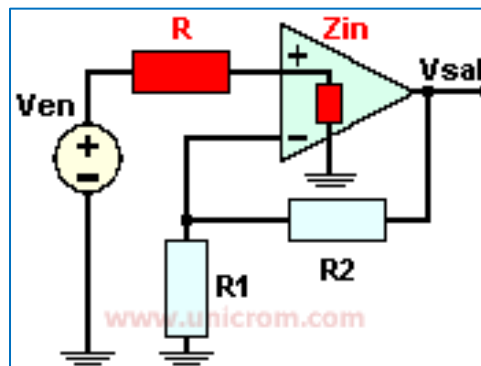


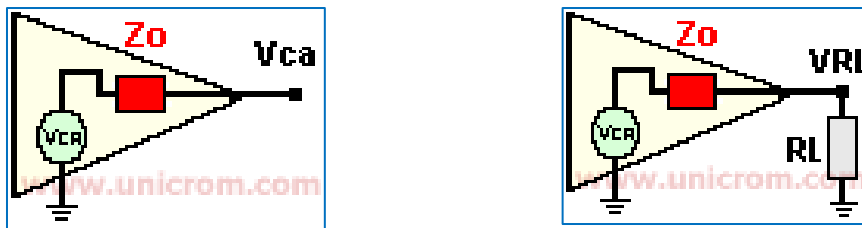
Ilustración 13 Colocación de una resistencia en la entrada no inversora.

En los terminales de la resistencia R habrá una caída de tensión debido al flujo de una corriente por ella que sale de la fuente de señal y entra en el amplificador operacional. Esta corriente se puede obtener con la ayuda de la ley de ohm: $I = V_R / R$, donde $V_R = V_{en} - V(+)$. Para obtener la impedancia de entrada se utiliza la siguiente fórmula: $Z_{in} = V_+ / I$. Donde:

- $V(+)$: es la tensión en el terminal de entrada no inversor del amplificador operacional
- I : es la corriente anteriormente obtenida

Impedancia de salida

La impedancia de salida se puede obtener (como la impedancia de entrada) experimentalmente.



1. Si la tensión en la salida del **amplificador operacional** sin carga V_{ca} . (Al no haber carga, no hay corriente y, por lo tanto, no hay caída de tensión en Z_o .)
2. Se coloca después en la salida un resistor de valor conocido R_L .
3. Se mide la tensión en la carga (tensión nominal) = V_{RL} .
4. Se obtiene la corriente por la carga con la ayuda de la ley de ohm: $I = V_{RL} / R_L$.
5. Se obtiene la impedancia de salida Z_o con la siguiente formula: $Z_o = [V_{CA} - V_{RL}] / I$

Donde:

- Z_o = impedancia de salida
- V_{CA} = tensión de salida del operacional sin carga
- R_L = resistencia de carga

- V_{RL} = tensión de salida del amplificador operacional con carga
- I = corriente en la carga.

Ejemplo: Diseñe un amplificador operacional no inversor de ganancia 10. La señal de entrada será de $0.1V_p$ a una frecuencia de 1kHz. Que el circuito quede balanceado.

Solución. Se escoge R_F de un valor de 9k ohmios, aunque se puede escoger de cualquier otro valor. Ahora se halla el valor de R_1 :

$$R_1 = \frac{R_F}{A - 1}$$

$$R_1 = \frac{9k}{10 - 1}$$

$$R_1 = 1k\Omega$$

Ahora para balancear el circuito, hallamos el valor de R_+ :

$$R_+ = R_-$$

$$R_+ = R_F \parallel R_1$$

$$R_+ = 9k \parallel 1k$$

$$R_+ = 900\Omega$$

Como amplificador operacional se usará el UA741, y como fuente se usará una de 5 voltios dual. El circuito queda de la siguiente manera:

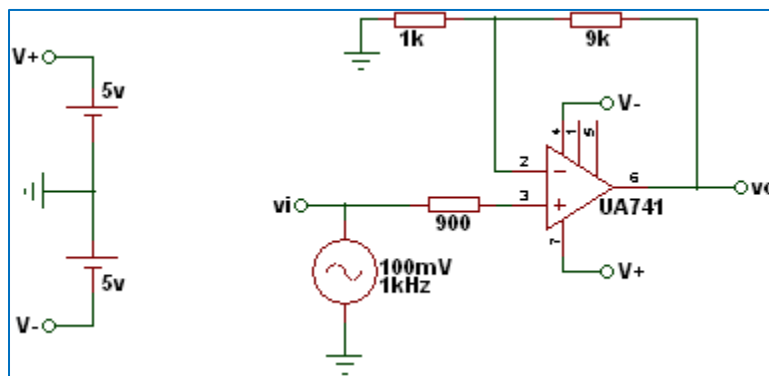
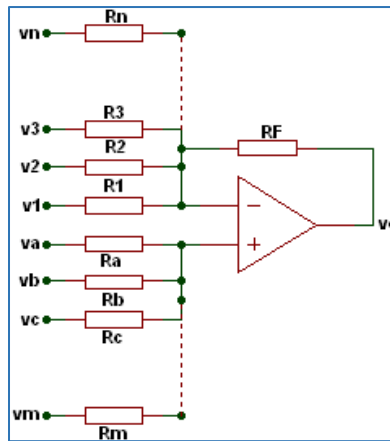


Ilustración 14 Diagrama resultante de aplicación de las fórmulas para dicho AMP'

3.4.5 El Amplificador Operacional como Sumador y Restador.

En un amplificador operacional sumador restador u opamp sumador restador, las entradas pueden sumarse y restarse. Las ecuaciones vistas en el sumador inversor y en el sumador no inversor son totalmente válidas. El circuito de un Opamp sumador-restador es el siguiente:



El método para diseñar un opamp sumador-restador es el siguiente:

- Teniendo la ecuación salida requerida, se prosigue a escoger las resistencias del circuito, se debe escoger primero la R_F , posteriormente se escogen las resistencias de todas las entradas de acuerdo con el peso que tengan, por medio de la siguiente ecuación $R_j = R_F/k_j$, donde k_j representa el peso o ganancia de cada entrada, sin importar que este por el pin inversor o no inversor.
- Luego se debe hacer cumplir que la suma de los pesos positivos sea igual a la suma de los pesos negativos más uno ($A_+ = A_- + 1$), para cumplir esto se debe observar si se cumple o no la condición en la ecuación de salida, y determinar si se requiere peso positivo o negativo para cumplir con la ecuación. Posterior a esto se agrega una resistencia del pin inversor o del pin no inversor a tierra, esta resistencia debe tener un valor igual a R_F dividido sobre el peso que falta para cumplir la ecuación. Esta resistencia se denominará R_X , y la ecuación para hallarla es la siguiente:

$$R_x = \frac{R_F}{A_- + 1 - A_+}$$

Si el resultado es negativo, la resistencia se debe colocar del pin inversor a tierra, y si el resultado es positivo, la resistencia se debe colocar del pin no inversor a tierra. Al realizar el método anterior se obtiene también un circuito balanceado. Para poder entender el método se realizarán algunos ejemplos.

Ejemplo 1. Realice el diagrama de un amplificador sumador restador que tenga la siguiente señal de salida:

$$v_o = -3v_1 + 5v_2 + 6v_3$$

Desarrollo. Primero se escoge R_F , preferiblemente múltiplo de las ganancias de entrada. En este caso se escogerá 30k ohms, ya que es múltiplo de 3,5 y 6. Ahora se escogen las resistencias de entrada:

$R_1 = \frac{R_F}{A_1}$	$R_2 = \frac{R_F}{A_2}$	$R_3 = \frac{R_F}{A_3}$
$R_1 = \frac{30k}{3}$	$R_2 = \frac{30k}{5}$	$R_3 = \frac{30k}{6}$
$R_1 = 10k\Omega$	$R_2 = 6k\Omega$	$R_3 = 5k\Omega$

Donde R_1 se conecta al pin inversor, ya que la ganancia es negativa, y R_2 y R_3 se conectan al pin no inversor, ya que las ganancias son positivas. Ahora se suman los pesos de A_+ y los pesos de A_- , los pesos de A_+ suman 11 (5+6), y los pesos de A_- suman 3, y ahora hallamos el valor de la resistencia R_X :

$$R_x = \frac{R_F}{A_- + 1 - A_+}$$

$$R_x = \frac{30k}{3 + 1 - 11}$$

$$R_x = -4.285k\Omega$$

El valor de la resistencia es de 4.285k ohmios, y el signo menos en el resultado, indica que es un peso negativo, y que por tanto se debe colocar del pin inversor a tierra.

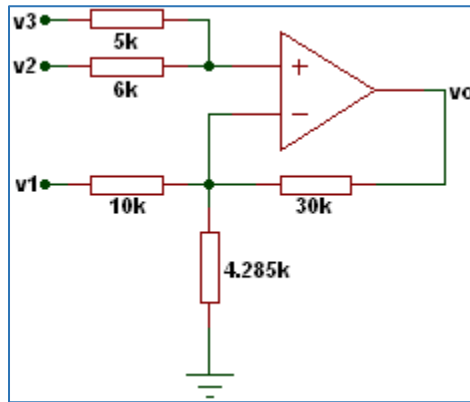


Ilustración 15 Diagrama resultante de un AMP' sumador -restador.

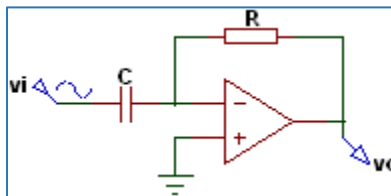
Ahora se comprobará que el circuito está balanceado, para esto R_+ debe ser igual a R_- , R_+ es el paralelo de todas las resistencias conectadas al pin no inversor, así mismo R_- es el paralelo de todas las resistencias conectadas al pin inversor:

$$\begin{aligned}
 R_+ &= R_- \\
 R_2 \parallel R_3 &= R_F \parallel R_x \parallel R_1 \\
 6k \parallel 5k &= 30k \parallel 4.285k \parallel 10k \\
 2.727k\Omega &= 2.727k\Omega
 \end{aligned}$$

Con el anterior resultado se comprueba que el circuito está balanceado.

3.4.6 El Amplificador Operacional como Diferenciador.

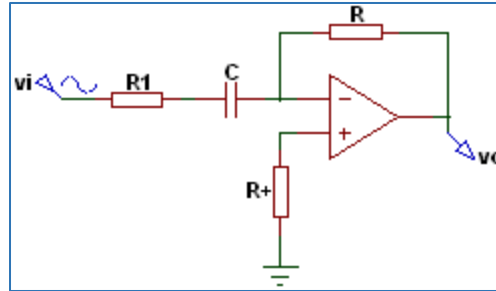
El amplificador derivador también llamada amplificador diferenciador realiza la función matemática de la derivación, es decir la señal de salida es la derivada de la señal de entrada. El circuito es el siguiente:



La ecuación del voltaje de salida es la siguiente:

$$v_o(t) = -RC \frac{dv_i(t)}{dt}$$

El amplificador derivador presenta el problema de que si por la entrada además de la señal de entrada, ingresa una señal de ruido de alta frecuencia, la señal de ruido es amplificada más veces que la señal de entrada que se quiere derivar. Esta amplificación es proporcional al cociente de la frecuencia de la señal de ruido sobre la frecuencia de la señal de entrada. Por ejemplo, se diseña un derivador para una frecuencia de 10kHz, y la señal de ruido es de 1MHz, pues la señal de ruido será amplificada 100 veces más que la señal de entrada, y si la señal de ruido tiene una frecuencia de 100MHz, ¡¡¡pues será amplificada 10000 veces más que la señal de entrada!!! Este problema no se puede solucionar, pero se puede controlar agregando una resistencia en serie al condensador de entrada, que lo que hará es limitar la ganancia para frecuencias superiores a la del diseño del derivador. El circuito queda de la siguiente manera:



La ecuación de salida aproximada es la siguiente:

$$v_o(t) = -RC \frac{dv_i(t)}{dt} - \frac{R}{R_1} v_{HF}(t)$$

Donde la v_i es la señal de entrada, y v_{HF} representa cualquier señal de ruido con una frecuencia 100 veces o más a la que tiene la señal de entrada. El valor de las resistencias R y R_1 varía de acuerdo con la señal de entrada es senoidal, triangular o cuadrada. **Las ecuaciones de diseño son**

las siguientes:

Señal senoidal:

$$R = R_+ = \frac{A}{2\pi fC} \qquad R_1 = \frac{R}{12.7A}$$

Señal triangular:

$$R = R_+ = \frac{A}{4fC} \qquad R_1 = \frac{R}{20A}$$

Señal cuadrada:

$$R = R_+ = \frac{A}{8fC} \qquad R_1 = \frac{R}{10A}$$

Tenga en cuenta:

- R_+ es una resistencia cuya función es la de balancear el circuito (eliminar corriente de vías).
- A es la ganancia de la señal de entrada v_i .
- La función de R_1 es limitar la ganancia de cualquier señal de ruido de alta frecuencia.
- El valor de C es libre.
- Una señal de ruido en telecomunicaciones es una señal de muy baja amplitud, normalmente por el orden de micro voltios (μV), y de una frecuencia muy elevada, por el orden de cientos de Mega Hertz (MHz) o más.

Ejemplo 1. Diseñe un amplificador derivador con ganancia de uno para una señal de entrada sinodal de 1vp @ 10kHz.

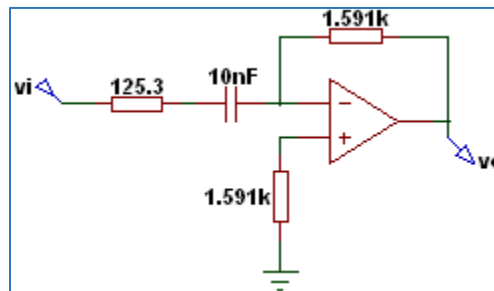
Solución. Se escoge C de 10nF. Ahora se halla R:

$$R = R_+ = \frac{A}{2\pi f C}$$
$$R = R_+ = \frac{1}{2\pi * 10k * 10n}$$
$$R = R_+ = 1.591k\Omega$$

Ya con R se halla ahora R1:

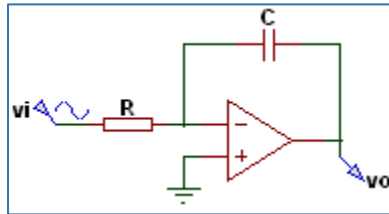
$$R_1 = \frac{R}{12.7A}$$
$$R_1 = \frac{1.591k}{12.7 * 1}$$
$$R_1 = 125.318\Omega$$

El circuito queda de la siguiente manera:



3.4.7 El Amplificador Operacional como Integrador

Un amplificador integrador realiza la función matemática de la integración, es decir la señal de salida es la integral de la señal de entrada. El circuito es como se muestra a continuación:



La ecuación de salida es la siguiente:

$$v_o(t) = -\frac{1}{RC} \int v_i(t) dt + k$$

Donde k representa la carga inicial del condensador. El amplificador integrador presenta el inconveniente de que, si la señal de entrada es una señal dc, o tiene una componente dc, se satura y ya no integra. Este problema no se puede solucionar, pero se puede controlar agregando una resistencia en paralelo al condensador, que lo que hará es limitar la ganancia en dc del integrador. El circuito queda de la siguiente manera:

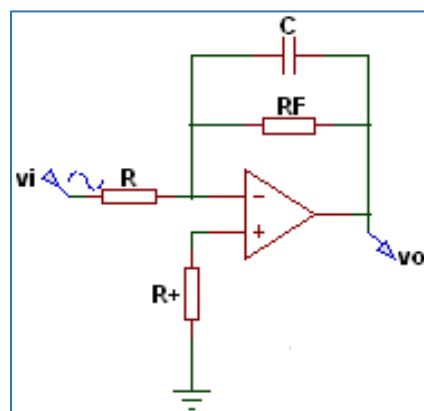


Ilustración 16. Un amplificador integrador realiza la función matemática de la integración, es decir la señal de salida es la integral de la señal de entrada.

La ecuación de salida aproximada es la siguiente:

$$v_o(t) = -\frac{1}{RC} \int v_{ac}(t) dt - \frac{R_F}{R} v_{dc}$$

Donde v_{ac} es la componente ac de la señal de entrada, y v_{dc} es la componente dc de la señal de entrada. Por lo tanto, si la señal de entrada no tiene componente dc, la señal de salida es la siguiente:

$$v_o(t) = -\frac{1}{RC} \int v_{ac}(t) dt$$

Y si la señal de entrada no tiene componente ac, la señal de salida es la siguiente:

$$v_o(t) = -\frac{R_F}{R} v_{dc}$$

Los valores de las resistencias R_F y R varían dependiendo de la componente ac de entrada, si es una señal senoidal, cuadrada o triangular. **Las ecuaciones de diseño son las siguientes:**

Señal senoidal:

$$R = \frac{1}{2\pi A f C} \quad R_F = 12.7AR$$

Señal cuadrada:

$$R = \frac{1}{4A f C} \quad R_F = 8AR$$

Señal triangular:

$$R = \frac{1}{8A f C} \quad R_F = 16AR$$

Además:

El valor de R+ esta dado por:

$$R_+ = R_F \parallel R$$

Tenga en cuenta:

- R+ es una resistencia que se coloca para balancear el circuito (eliminar corriente de vías).
- La función de RF es limitar la ganancia de la componente dc de la señal de entrada.
- A es la ganancia de la componente ac de la señal de entrada.
- El valor de C es libre.
- Normalmente el voltaje offset por defecto que tiene un amplificador operacional está en el orden de los milivoltios.

Ejemplo 1. Realice un amplificador integrador para una señal senoidal de 1vp @ 10kHz con ganancia de 1.

Solución. Se escoge C de un valor de 10nF. Ahora se halla R:

Ya con R se halla ahora RF:

$$R = \frac{1}{2\pi A f C}$$
$$R = \frac{1}{2\pi * 1 * 10k * 10n}$$
$$R = 1.591k\Omega$$

Y finalmente se halla R+:

$$R_F = 12.7AR$$
$$R_F = 12.7 * 1 * 1.591k$$
$$R_F = 20.212k\Omega$$

El circuito final es el siguiente:

$$R_+ = R_F \parallel R$$
$$R_+ = 20.212k \parallel 1.591k$$
$$R_+ = 1.475k\Omega$$

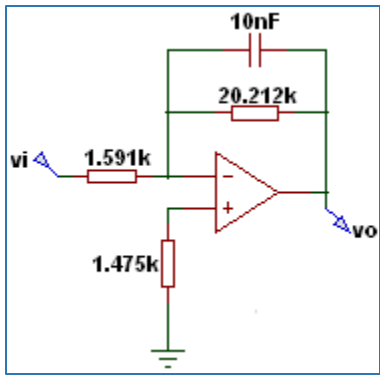


Ilustración 17 Amplificador integrador resultante para una señal de 1 VP a 10 kHz con ganancia de 1.

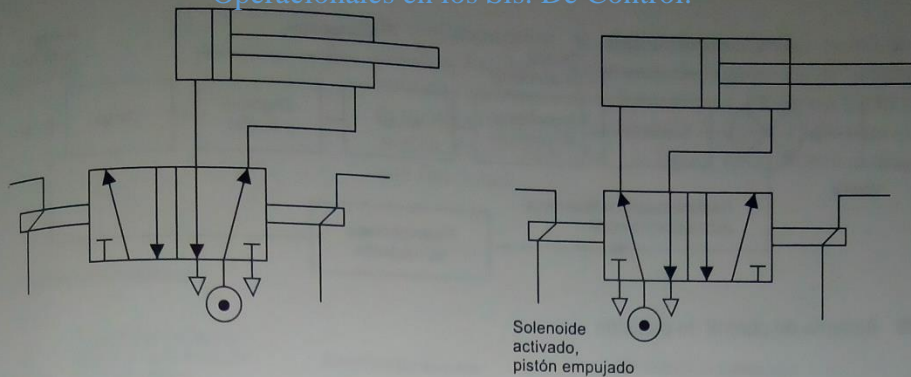


Figura 12.27 Control de un cilindro de doble acción

Ejemplos de sistemas de control

Los siguientes sistemas de control emplean los elementos descritos al inicio de este capítulo.

Con frecuencia los potenciómetros se usan con sistemas de control con motores de cd para la realimentación de la posición, de modo que el motor se puede utilizar para mover algún objeto a una posición requerida. La figura 12.28 describe un ejemplo sencillo e ilustra el equipo básico. La figura 12.29 es el diagrama de bloques para el sistema de la figura 12.28 y muestra las funciones involucradas.

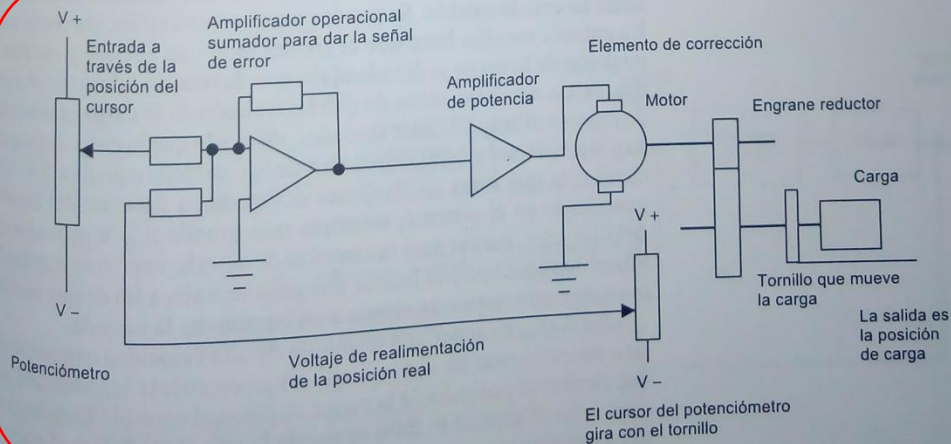


Figura 12.28 Sistema de control de posición

de realimentación, el cual proporciona una medición relacionada con la velocidad a la que cambia la posición de la carga; ésta se denomina *realimentación de velocidad*. La figura 12.30 muestra cómo se puede modificar el sistema de la figura 12.29 para incluir la realimentación de velocidad y la figura 12.31 ilustra el diagrama de bloque funcional.

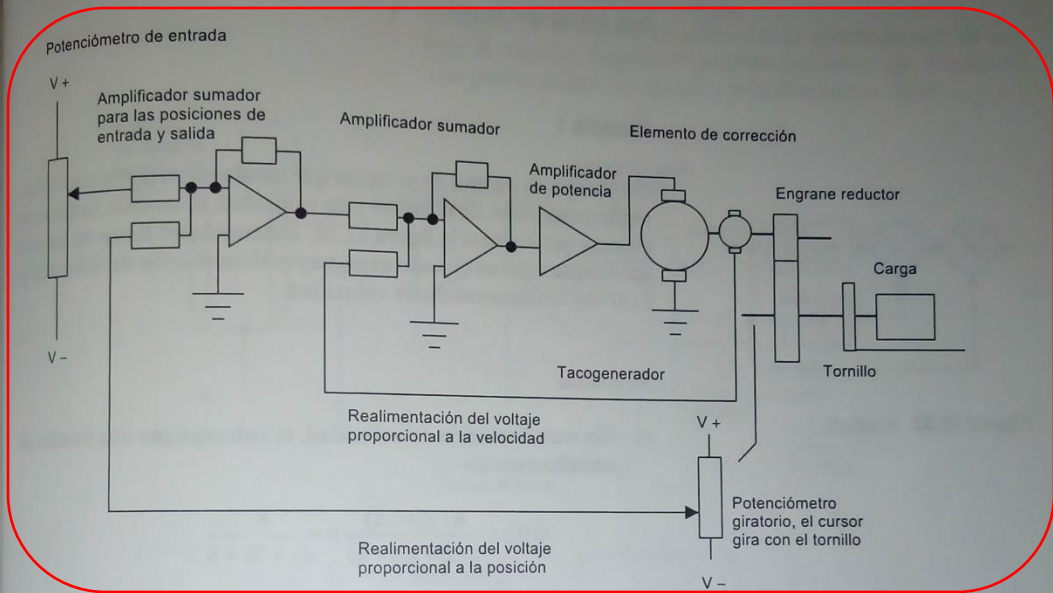


Figura 12.30 Sistema con realimentación de velocidad

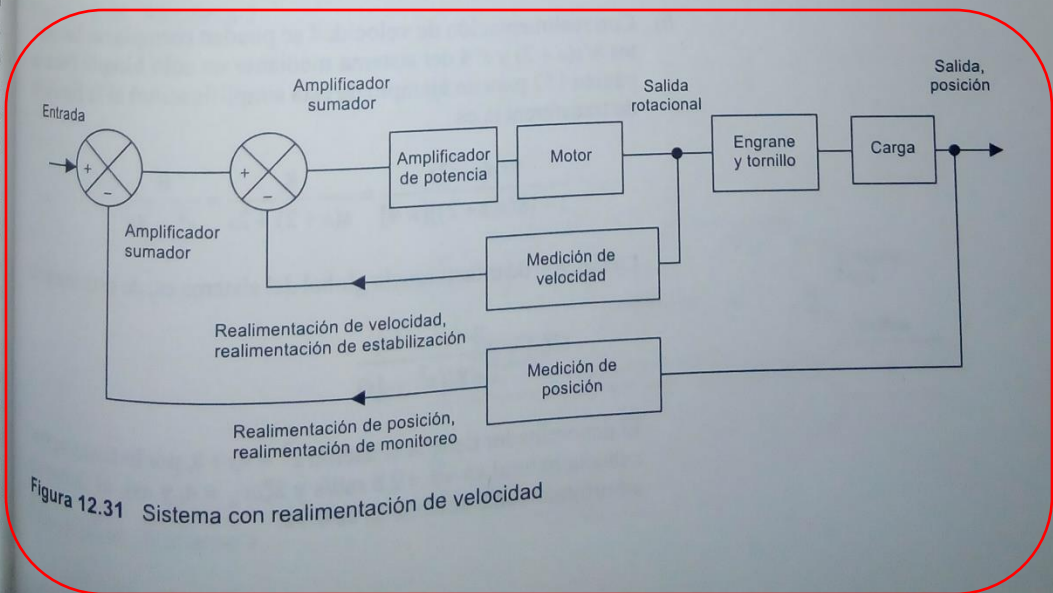


Figura 12.31 Sistema con realimentación de velocidad

Puesto que la intersección de las asíntotas con el eje real se ha movido de -0.5 hasta -3.5 existe una mejora en la estabilidad relativa.

Implantación de las leyes de control

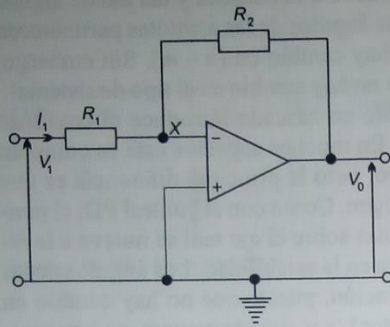


Figura 10.23 Amplificador operacional en configuración inversora

En sistemas de control eléctricos con frecuencia se usan amplificadores operacionales como la base para generar las leyes de control requeridas. La figura 10.23 muestra la forma básica de dicho amplificador cuando éste se conecta como si fuera a usarse como un amplificador inversor. El amplificador tiene dos entradas, conocidas como la entrada inversora (-) y la entrada no inversora (+). Para usarse como amplificador inversor, la entrada se conecta a través de un resistor, R_1 , a la entrada inversora del amplificador y la entrada no inversora se conecta a tierra. Una trayectoria de realimentación está provista por el resistor R_2 . El amplificador operacional tiene una ganancia grande en lazo abierto, del orden de 100 000 o más, y el cambio en su voltaje de salida está limitado, en general, en alrededor de ± 10 V. Para producir esa salida con esta ganancia, el voltaje de entrada debe estar entre 0.00001 V y -0.00001 V. Éste es virtualmente cero y, así, el punto X está virtualmente a un potencial de tierra. Por esta razón a ese punto se le llama tierra virtual. La diferencia de potencial a través de R_1 es $V_1 - V_x$, por lo tanto, el potencial de entrada, V_1 , se puede considerar como el voltaje a través de R_1 y, de esta manera

$$V_1 = I_1 R_1$$

El amplificador operacional tiene una impedancia de entrada muy alta y de esta manera virtualmente no fluye corriente hacia su interior a través del punto X. Por lo tanto, la corriente, I_1 , fluye sólo a través de R_2 . Puesto que X es la tierra virtual, y debido a que la diferencia de potencial a través de R_2 es $V_x - V_o$, entonces la diferencia de potencial a través de R_2 será virtualmente $-V_o$. Por lo que

$$-V_o = I_1 R_2$$

$$\text{Función de transferencia} = \frac{V_o}{V_1} = -\frac{R_2}{R_1} \quad [26]$$

Así, la función de transferencia está determinada por los valores relativos de R_2 y R_1 . El signo negativo indica que la salida está invertida, es decir, desfasada 180° respecto a la entrada.

Como indica la ecuación [26], el amplificador operacional inversor tiene una ganancia de $-R_2/R_1$. El signo menos se puede eliminar pasando la salida a través de otro amplificador operacional inversor,

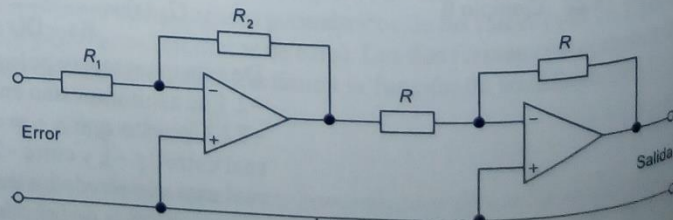


Figura 10.24 Controlador proporcional

pero esta vez uno en el que $R_2 = R_1$ y así tenga una ganancia de -1 . La combinación (figura 10.24) es, entonces, un *controlador proporcional* con

$$K_p = \frac{R_2}{R_1} \quad [27]$$

Se puede producir un controlador integral si el resistor de realimentación se reemplaza por un capacitor (figura 10.25). Para un capacitor, la ecuación [20] del capítulo 2 da por resultado

$$v = \frac{1}{C} \int i dt$$

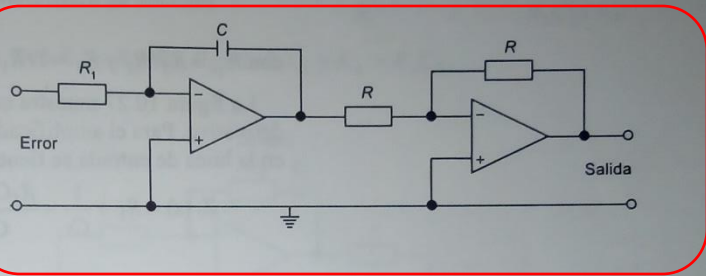


Figura 10.25 Controlador integral

De este modo

$$V(s) = \frac{I(s)}{Cs}$$

y así, la impedancia Z , está dada por

$$Z(s) = \frac{1}{Cs} \quad [28]$$

Para el circuito con amplificador operacional con el capacitor en la realimentación, la ecuación básica [26] se puede escribir como

$$\text{Función de transferencia} = -\frac{Z_2}{Z_1} \quad [29]$$

Puesto que $Z_1(s) = R_1$ y $Z_2(s) = 1/Cs$, entonces

$$\text{Función de transferencia} = -\frac{1}{R_1 Cs}$$

Cuando el circuito se combina con otro circuito con amplificador operacional de función de transferencia -1 , como muestra la figura 10.25, da por resultado

$$\text{Función de transferencia} = \frac{(1/R_1 C)}{s} \quad [30]$$

y, por lo tanto, es un controlador integral con $K_i = (1/R_1 C)$. La figura 10.26 describe cómo se puede adaptar el circuito para dar un controlador PI. Para este circuito

$$Z_2(s) = R_2 + \frac{1}{Cs}$$

Bibliografías.

Boylestad., R. (2011). *Electronica Teoria de los Circuitos*. Columbus, Ohio: Prentice Hall.

des. (7 de Febrero de 2018). *Wilaeba Electrónica*. Obtenido de

<https://wilaebaelectronica.blogspot.mx/2017/01/amplificador-integrador.html>

Desconocido. (2016). *Electrónica Unicrom*. Obtenido de [https://unicrom.com/amplificador-](https://unicrom.com/amplificador-operacional-inversor-en-ca-ac/)

[operacional-inversor-en-ca-ac/](https://unicrom.com/amplificador-operacional-inversor-en-ca-ac/)

Fiore, J. M. (2002). *Amplificadores operacionales y circuitos integrados lineales: teoría y*

aplicación. Madrid (España) : Amplificadores operacionales y circuitos integrados

lineales: teoría y aplicación.

Gerrard, M. (2018). *Techlandia*. Obtenido de [https://techlandia.com/tipos-amplificadores-](https://techlandia.com/tipos-amplificadores-operacionales-info_266195/)

[operacionales-info_266195/](https://techlandia.com/tipos-amplificadores-operacionales-info_266195/)

González, A. G. (Junio de 2014). *PANAMAHITEK*. Obtenido de <http://panamahitek.com/>

Instruments, T. (October de 2015). *Texas Instruments*. Obtenido de

<http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm741.pdf>

Paul, A. (1999). *Principios de Electronica* . Mexico: Mc Graw Hill.

Universidad Nacional Autonoma de Mexico. (7 de Julio de 2009). *Elementos de Electronica*.

Obtenido de

[http://olimpia.cuautitlan2.unam.mx/pagina_ingenieria/mecanica/mat/mat_mec/m3/eleme-](http://olimpia.cuautitlan2.unam.mx/pagina_ingenieria/mecanica/mat/mat_mec/m3/elementos_electronica.pdf)

[ntos_electronica.pdf](http://olimpia.cuautitlan2.unam.mx/pagina_ingenieria/mecanica/mat/mat_mec/m3/elementos_electronica.pdf)

Varios. (17 de Abril de 2018). *Wikipedia*. Obtenido de

https://es.wikipedia.org/wiki/Amplificador_operacional