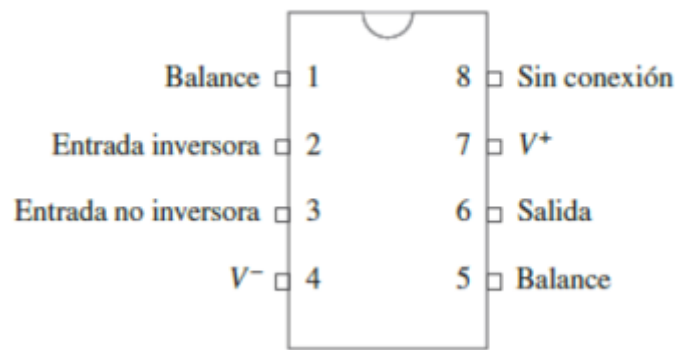


## CIRCUITOS CON SEMICONDUCTORES

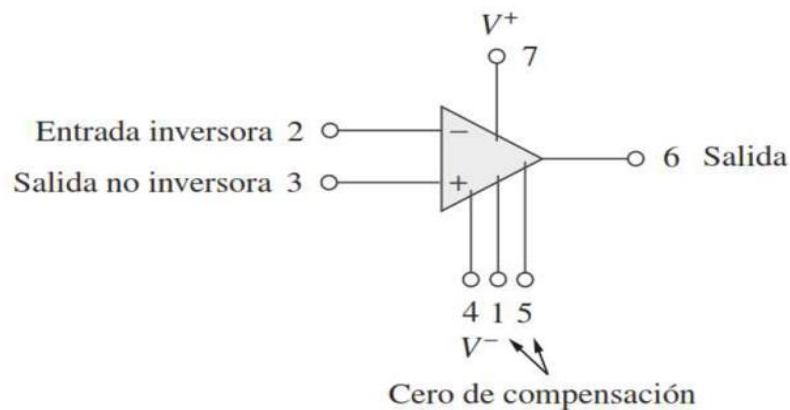
### EL AMPLIFICADOR OPERACIONAL

Es un circuito integrado formado por transistores, resistencia y diodos diseñado para realizar operaciones como: sumar, restar, integrar, derivar, comparar, etc.

El amplificador operacional más usado es el LM741



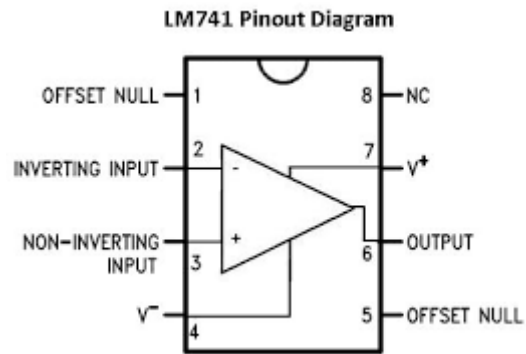
Se puede modelar o simbolizar de la siguiente manera:



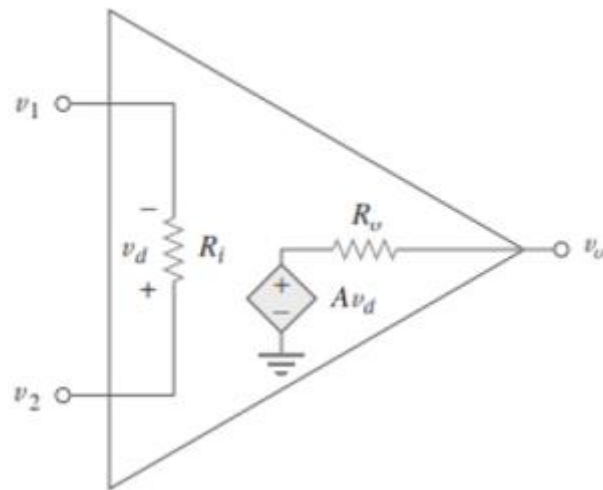
La alimentación al circuito se realiza con dos fuentes, la positiva (V<sup>+</sup>) y la negativa (V<sup>-</sup>).

Tiene dos entradas: la no inversora (+) y la inversora (-) entre estas dos entradas representa una resistencia muy alta en forma ideal se considera  $\infty \Omega$ .

La salida es el equivalente de un circuito Thévenin con una fuente de voltaje de alta ganancia en serie con una resistencia de muy bajo valor en forma ideal se considera  $0 \Omega$ .



## CIRCUITO EQUIVALENTE



## PARÁMETROS IDEALES

$$R_i = \infty \, \Omega$$

$$R_o = 0 \, \Omega$$

$$A: \infty$$

$$v_o = A \times [V(+)- V(-)]$$

Si está con las dos alimentaciones (+V, -V).  $v_d$  es muy pequeño  $\approx 0 \, \text{mV}$

$$v_o = 0 \, V$$

Cuando los voltajes en la alimentación falta uno de ellos

$$v_o = \frac{+V}{2}$$

Para realizar el análisis con el opamp debemos considerar:

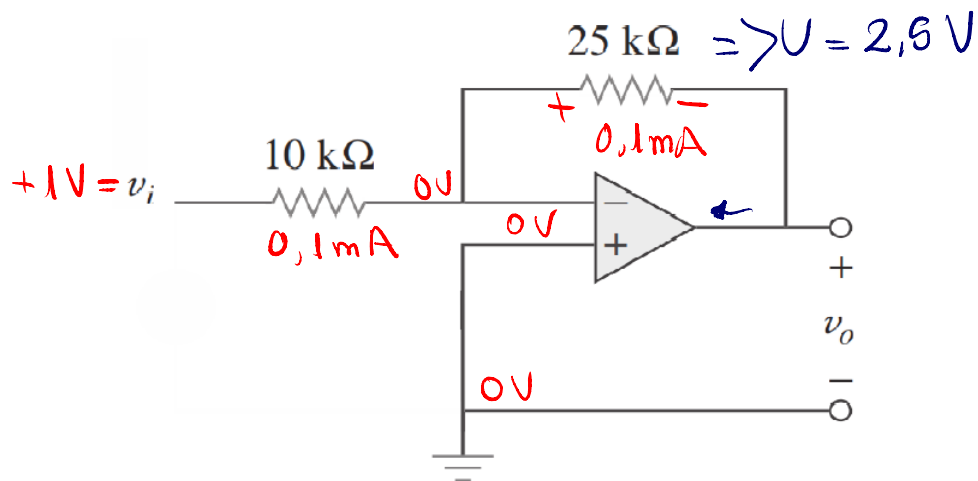
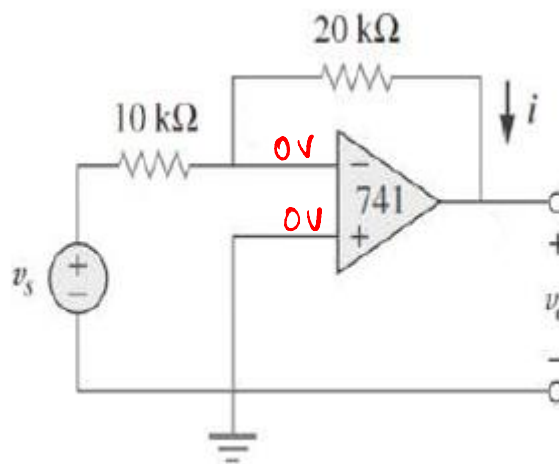
El voltaje de la entrada inversora es igual al valor del voltaje de la entrada no inversora

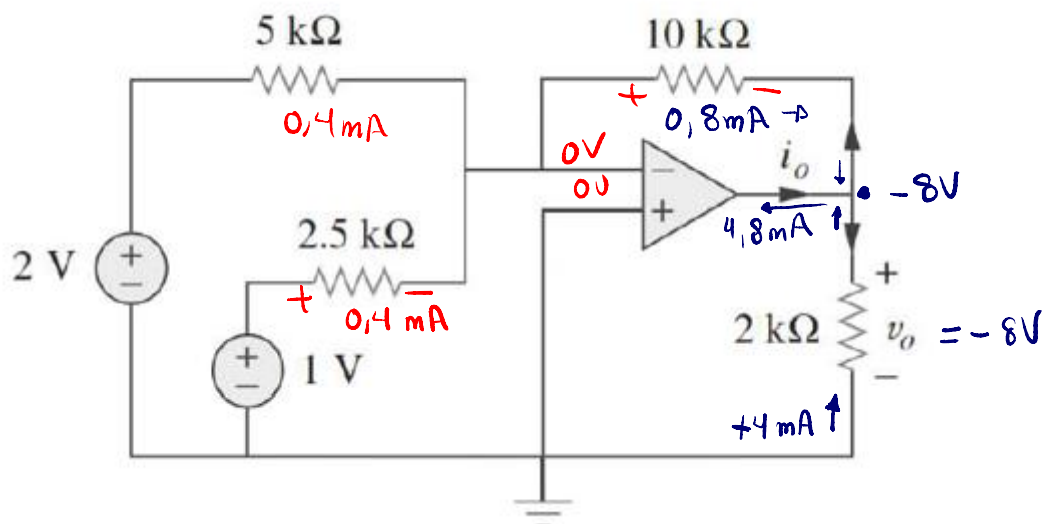
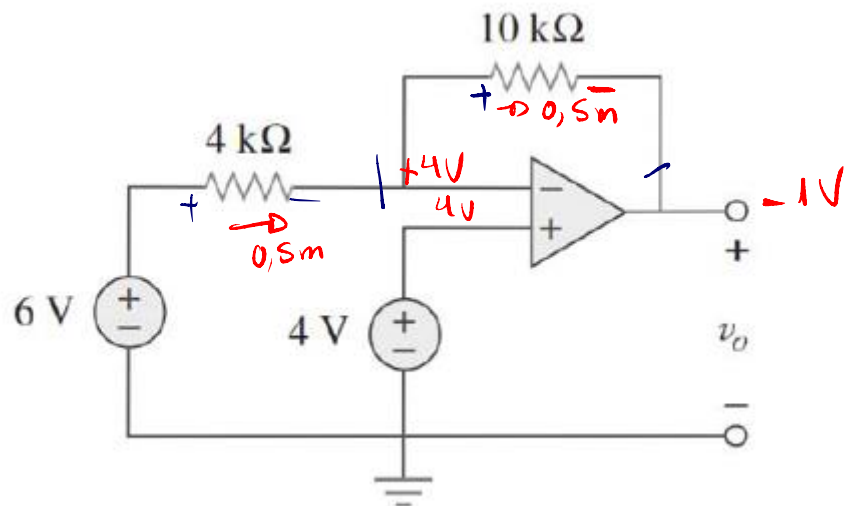
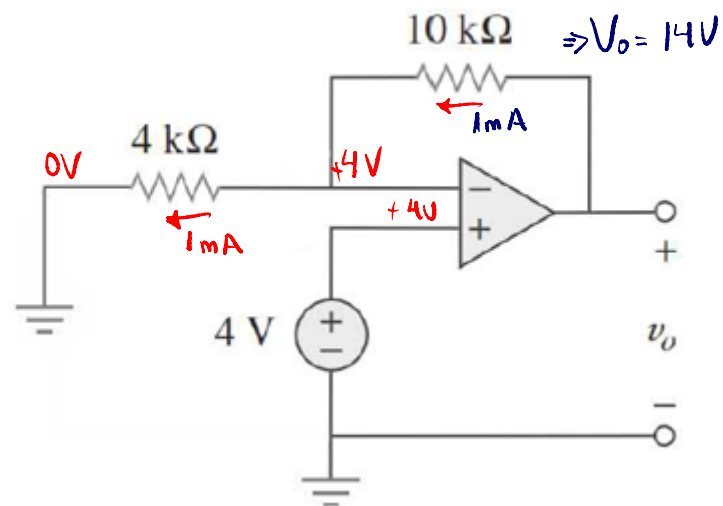
$$v(+) = v(-)$$

No ingresa corriente por ninguna de las entradas del opamp

$$i(+) = i(-) = 0 \text{ mA}$$

Se cierra circuito a través de la tierra de los suministros el circuito opamp no tiene una tierra específica



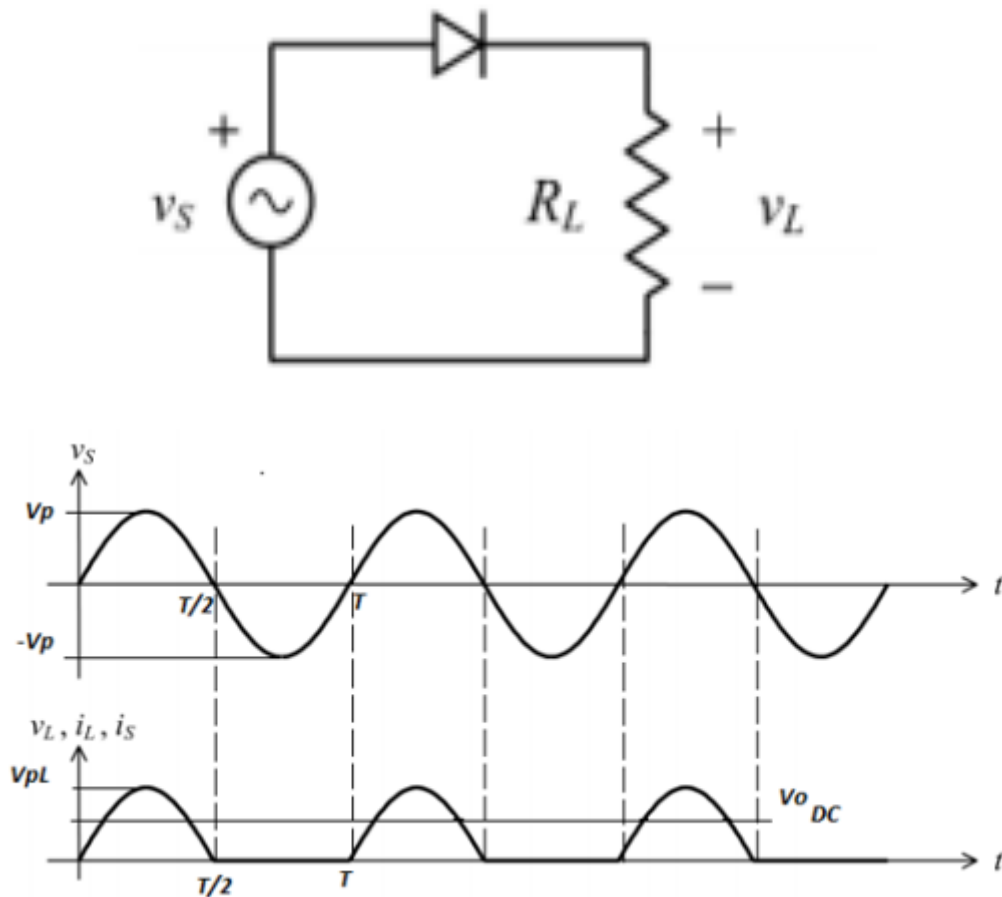


## DIODOS

Los diodos pueden usarse en circuitos como:

- Rectificador
- Limitador o Recortador
- Regulador
- Enclavador o Sujetador
- Multiplicador de voltaje
- Modulación y Demodulación

### RECTIFICADOR MEDIA ONDA SIN FILTRO



La entrada del circuito es una onda sinusoidal con valor de amplitud  $V_p$  y frecuencia  $f$ , en la salida del rectificador se obtiene una onda positiva pulsante cuyo valor medio continuo es:

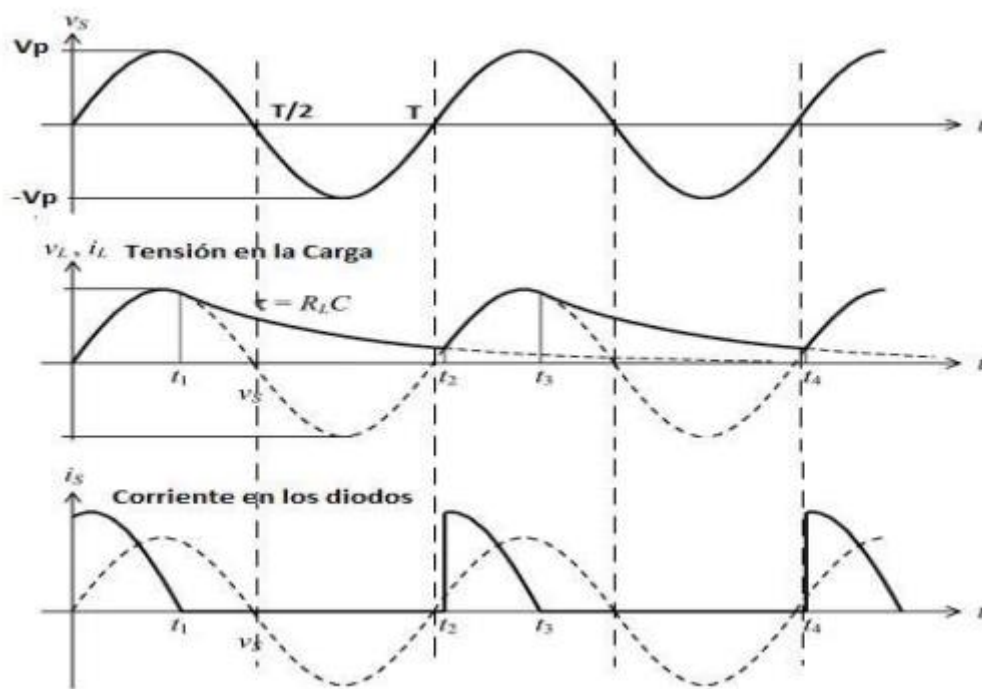
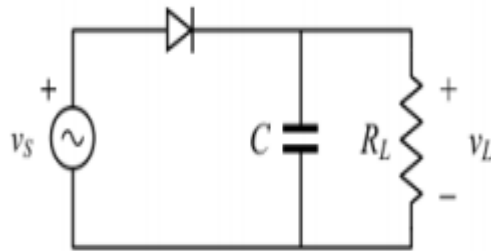
$$V_{DC} = \frac{V_p}{\pi}$$

La alternancia positiva que aparece en la carga es debido a la polarización directa del diodo y el semiciclo negativo que no aparece en la carga el diodo está en polarización inversa

Si se considera el voltaje  $V_D$

$$V_{DC} = \frac{(V_p - V_D)}{\pi}$$

## RECTIFICADOR MEDIA ONDA CON FILTRO



Para mejorar el valor medio o continuo se agrega en paralelo a la carga un condensador que actúa como un filtro LPF (pasa bajo) originando que la alternancia se convierta en un valor muy pequeño debido a la carga y descarga del condensador denominándose a este voltaje de rizado ( $V_r$ )

$$V_{DC} = V_p - \frac{V_r}{2}$$

Considerando el voltaje  $V_D$

$$V_{DC} = V_p - V_D - \frac{V_r}{2}$$

Se puede observar en el gráfico que a mayor valor de la capacidad menor es  $V_r$ , pero mayor valor de la corriente por el diodo en forma instantánea.

El voltaje de rizado se puede calcular como:

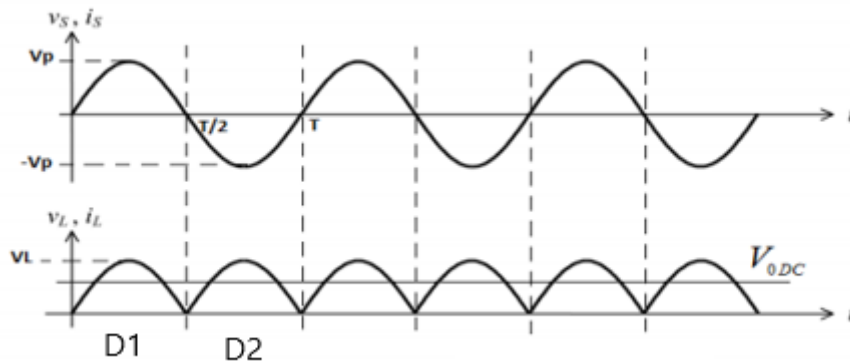
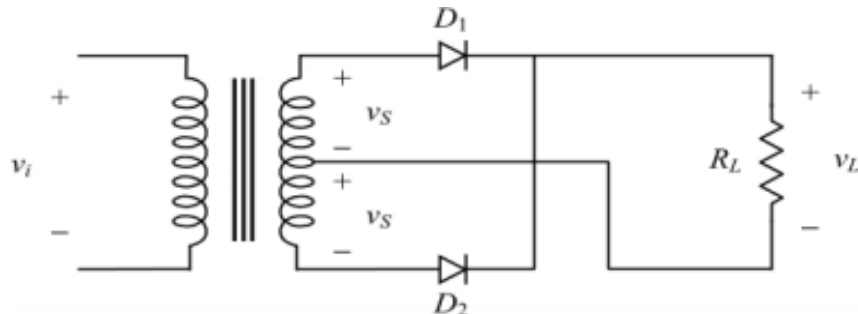
$$V_r = \frac{I_L}{fC}$$

$I_L$ : corriente en la carga

En media onda  $f = 60\text{Hz}$

## RECTIFICADOR ONDA COMPLETA SIN FILTRO

### 1. POR TRANSFORMADOR CON DERIVACIÓN CENTRAL



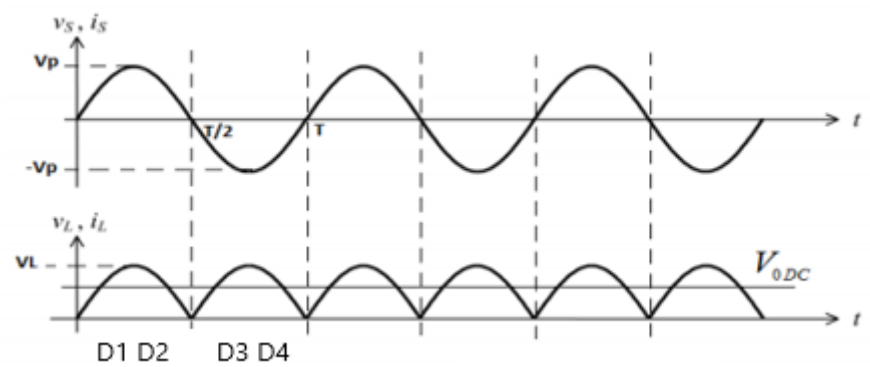
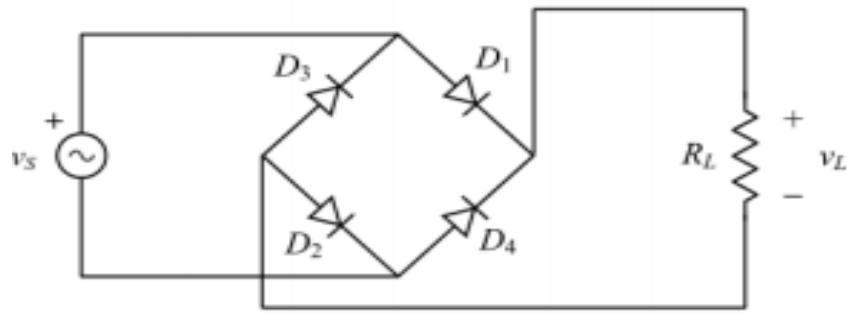
$$V_{DC} = \frac{2 V_p}{\pi}$$

Si se considera el voltaje  $V_D$

$$V_{DC} = \frac{2 (V_p - V_D)}{\pi}$$

Hay que considerar que los devanados del transformador deben ser simétricos y los diodos deben soportar en inverso  $2V_p$

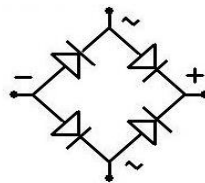
## 2. TRANSFORMADOR TIPO PUENTE



$$V_{DC} = \frac{2 V_p}{\pi}$$

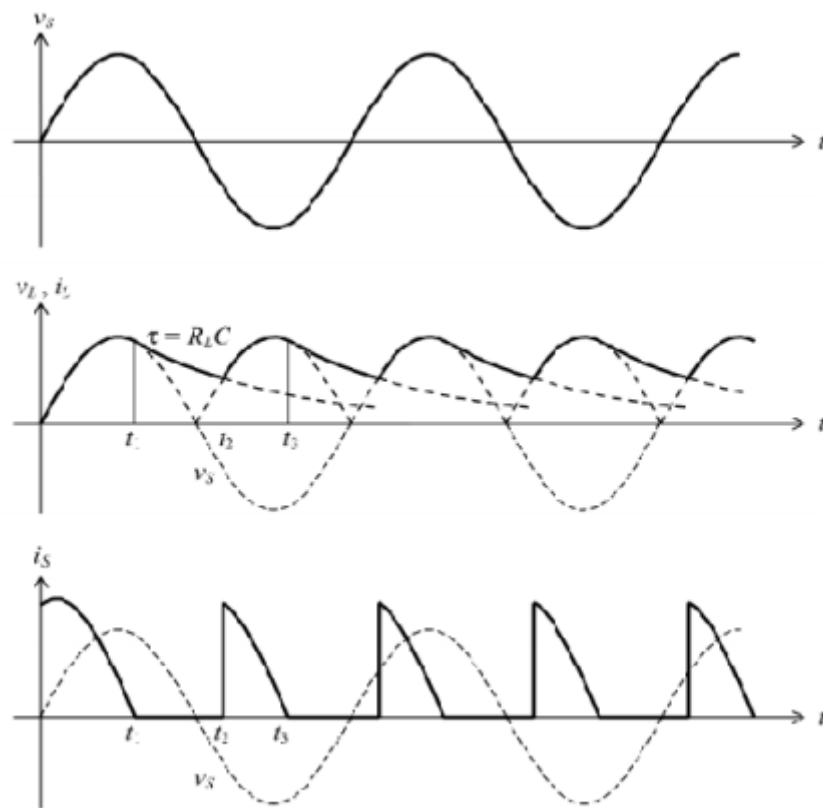
Si se considera el voltaje  $V_D$

$$V_{DC} = \frac{2 (V_p - 2V_D)}{\pi}$$





## RECTIFICADOR DE ONDA COMPLETA CON FILTRO



$$VDC = Vp - \frac{Vr}{2}$$

Considerando el voltaje VD con transformador con derivación

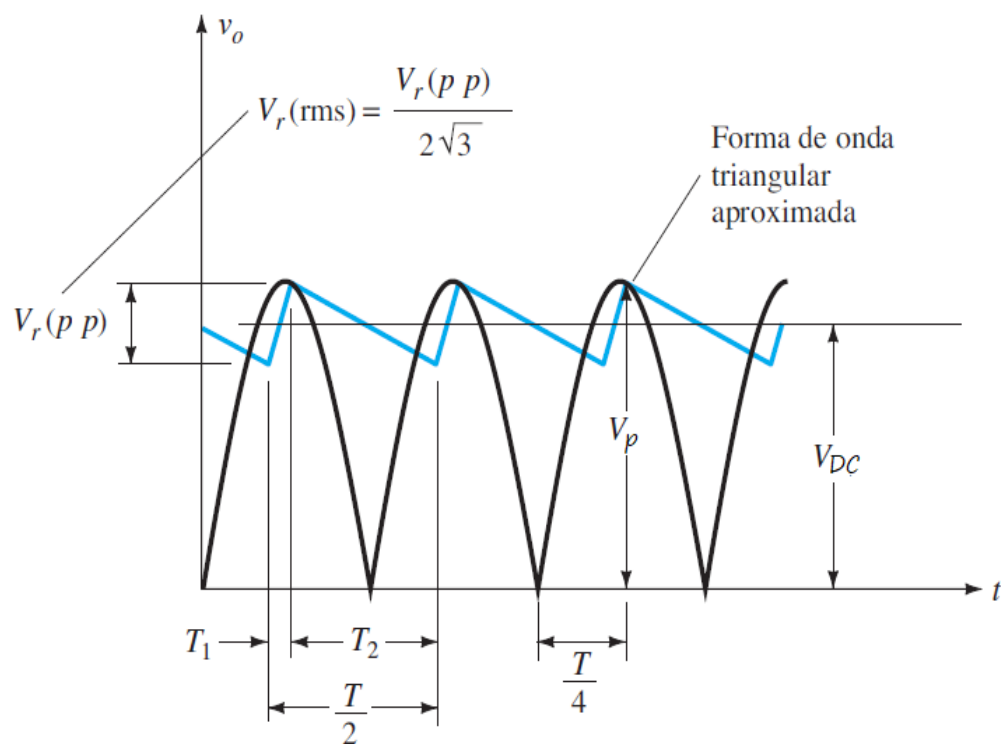
$$VDC = Vp - VD - \frac{Vr}{2}$$

Considerando el voltaje VD en tipo puente

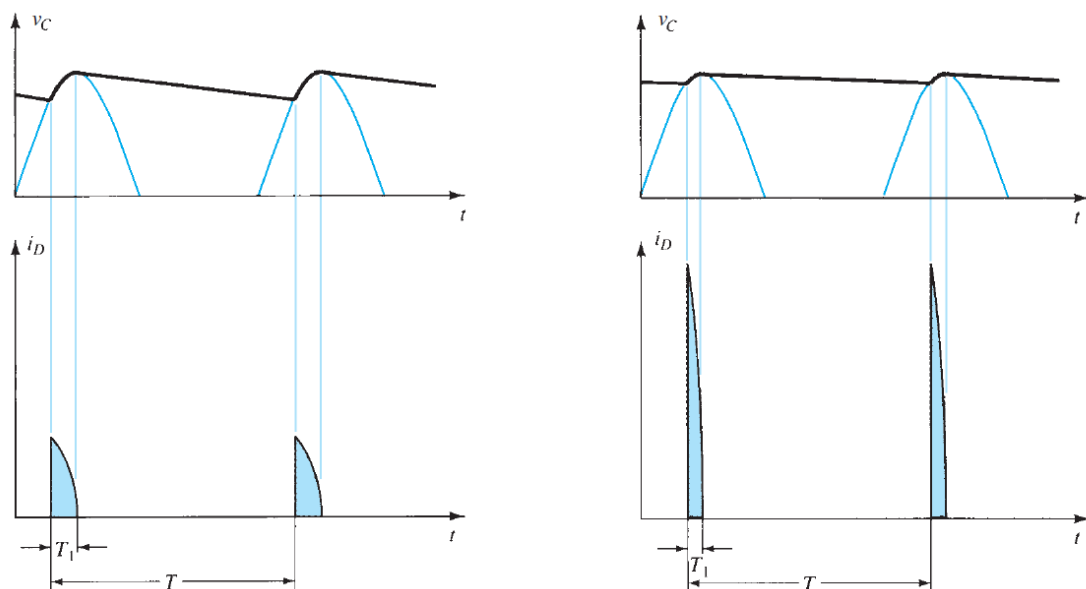
$$VDC = Vp - 2VD - \frac{Vr}{2}$$

$$Vr = \frac{IL}{fC}$$

En onda completa  $f = 120\text{Hz}$

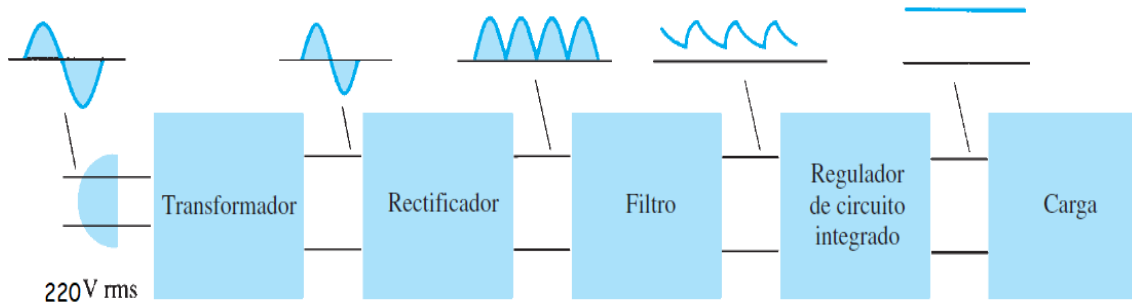


## INFLUENCIA DEL VALOR DEL CAPACITOR EN LA CORRIENTE



## CIRCUITO REGULADOR DE VOLTAJE CONVENCIONAL

Esta formado por varias etapas:



**Transformador:** Reduce o aumenta el voltaje de la línea de suministro, ejemplo de 220VAC a 12VAC

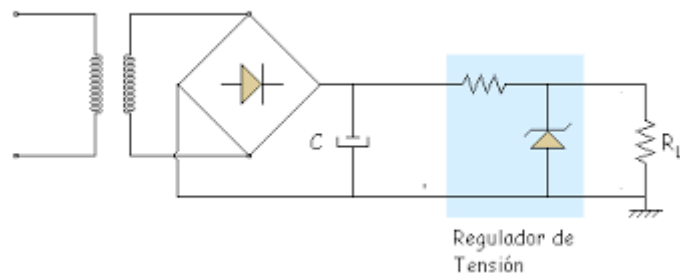
**Rectificador:** puede ser de media onda u onda completa está formado por diodos rectificadores, ejemplo 1N4004 (puente)

**Filtro:** su función es suavizar el voltaje se usa un LPF el más económico y utilizado es de condensador

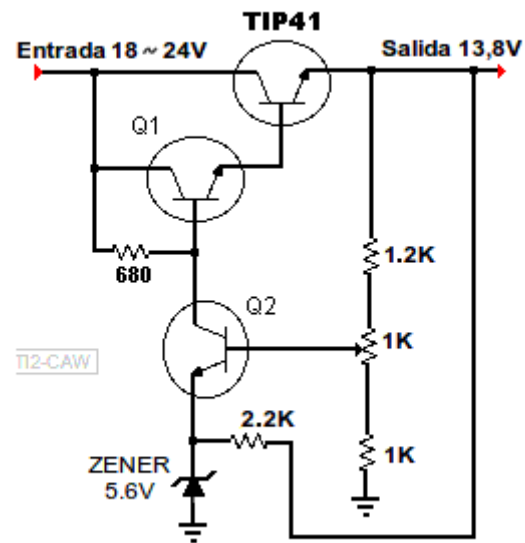
**Regulador:** su función es mantener constante el voltaje en la salida, también puede ser variable el regulador más simple es el Zener como también hay circuitos con transistores o circuitos integrados

### Reguladores:

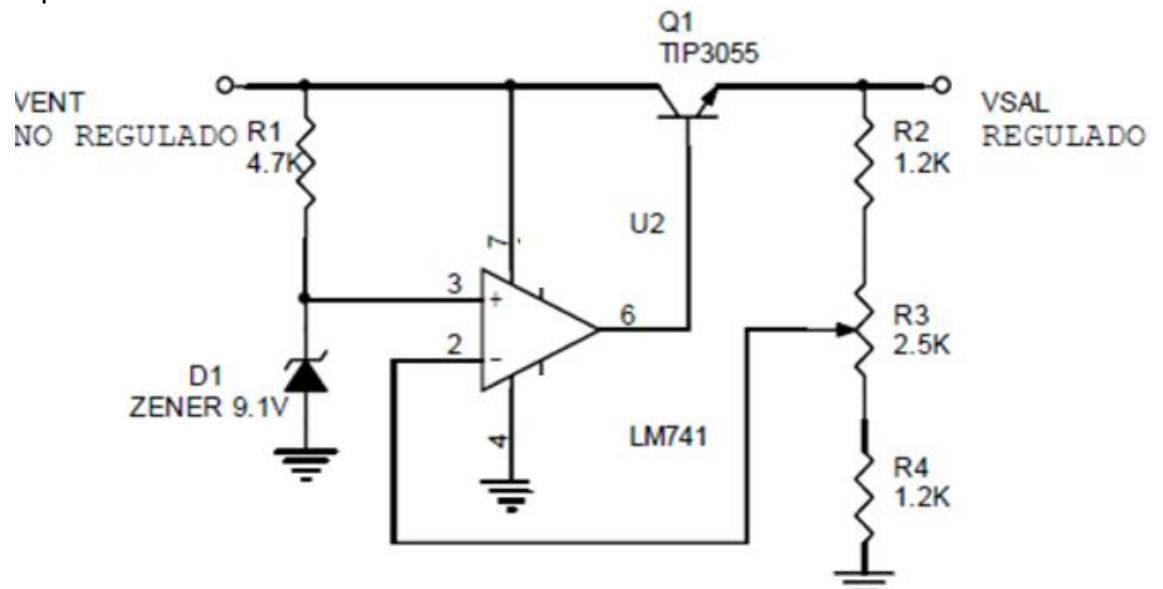
- Zener



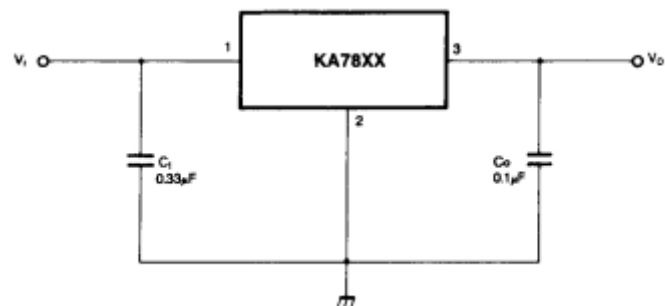
- Transistores



- Operacionales



- IC reguladores fijos (78XX)

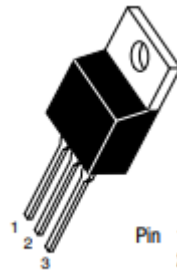


TO-220



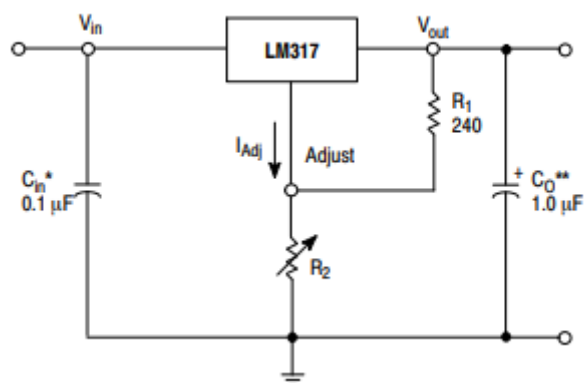
1: Input 2: GND 3: Output

- IC reguladores variables (LM317)



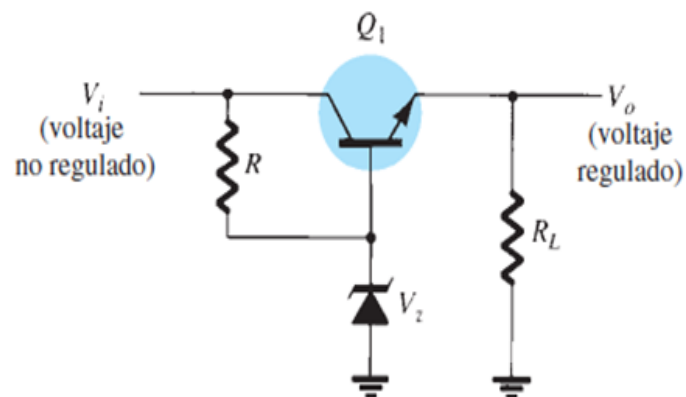
TO-220  
T SUFFIX  
CASE 221AB

Pin 1. Adjust  
2.  $V_{out}$   
3.  $V_{in}$



$$V_{out} = 1.25 \text{ V} \left( 1 + \frac{R_2}{R_1} \right) + I_{Adj} R_2$$

## REGULADOR DE VOLTAJE SERIE



$$V_o = V_z + V_{BE}$$

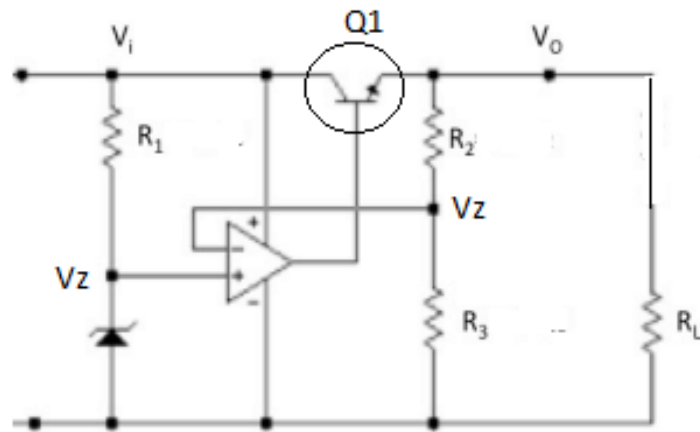
$$V_i = V_{CE} + V_o$$

$$I_i = I_R + I_C$$

$$I_R = \frac{V_i - V_Z}{R} = I_Z + I_B$$

$$I_o = (\beta + 1) I_B$$

## REGULADOR Y ESTABILIZADOR CON OPAMP



El voltaje de entrada  $V_i$  tiene un voltaje de rizado  $V_r$  ( $V_i \pm V_r$ ), el circuito regulador mantiene un voltaje constante a la salida  $V_o$

$$V_Z = \frac{V_o R_3}{R_2 + R_3}$$

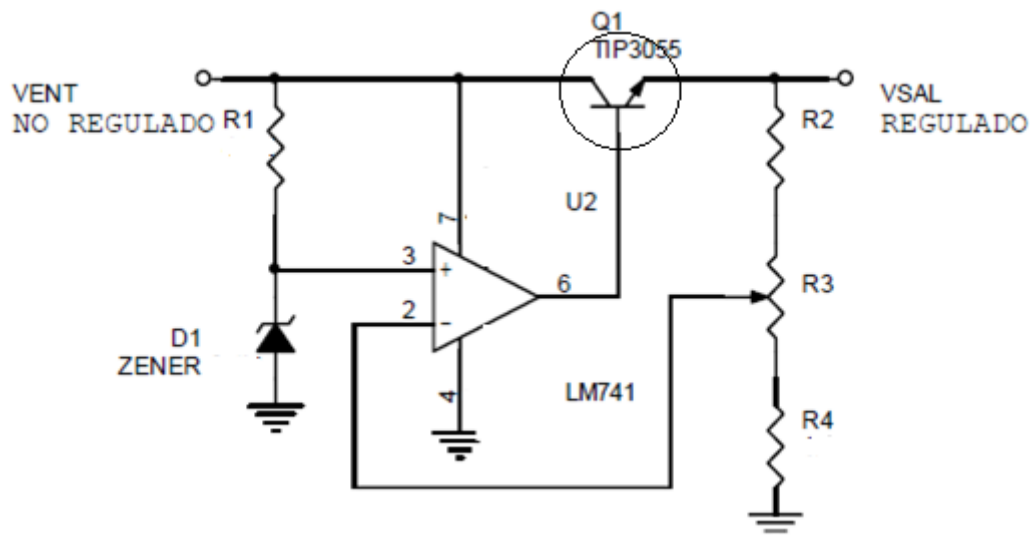
Donde:

$$V_o = V_Z \left( 1 + \frac{R_2}{R_3} \right)$$

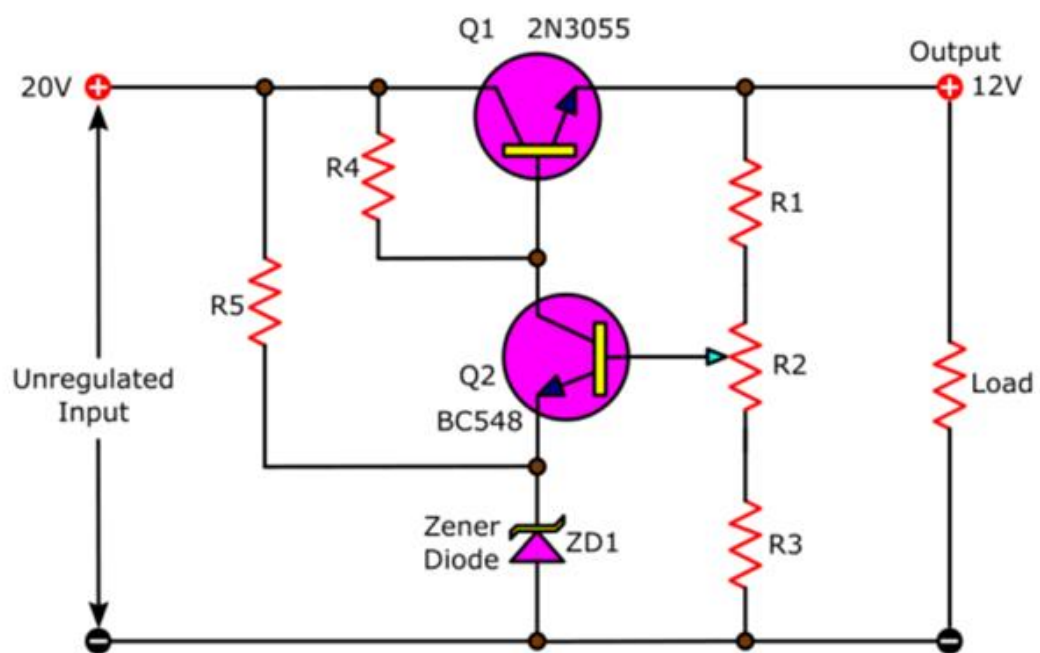
Condición

$$V_o > V_Z$$

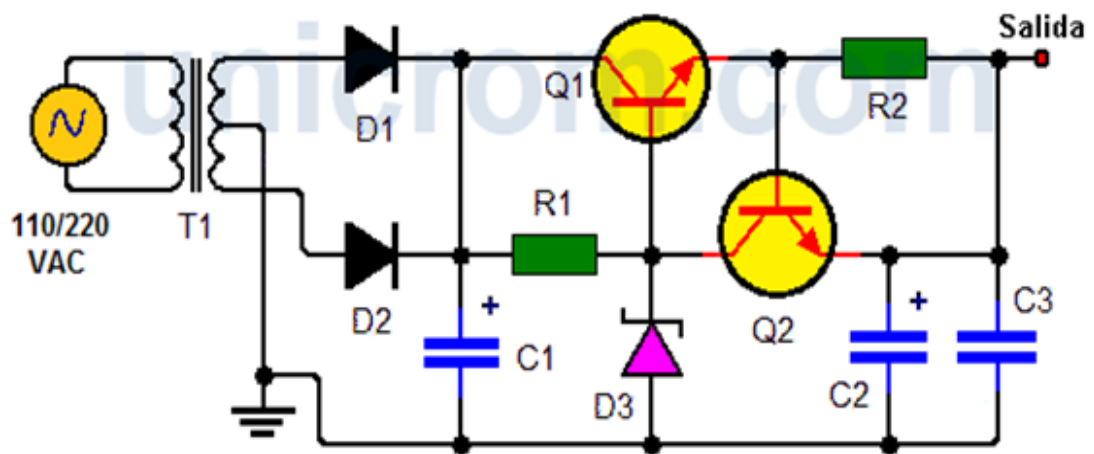
Si se desea variable el voltaje de salida se agrega un potenciómetro



### REGULADOR Y ESTABILIZADOR CON BJT



### REGULADOR SERIE CON LIMITADOR DE CORRIENTE



**REGULADORES CON CIRCUITOS INTEGRADOS**

**REGULADORES FIJOS**

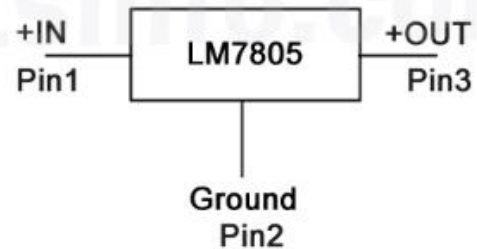


## TO - 220 Package



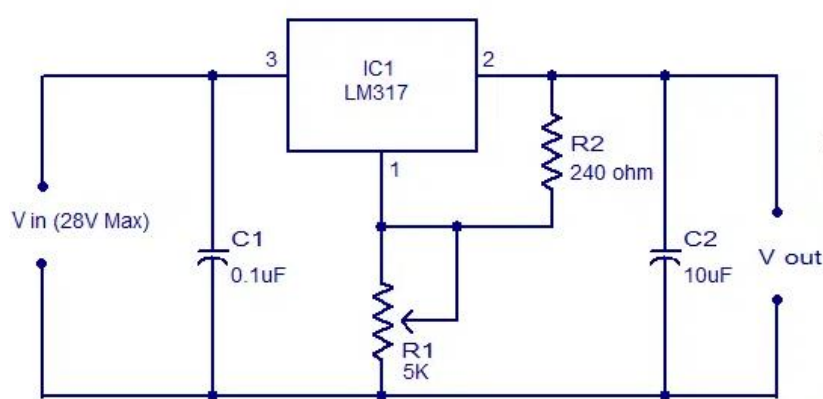
Voltage  
Regulator  
IC

## Symbol In Diagram

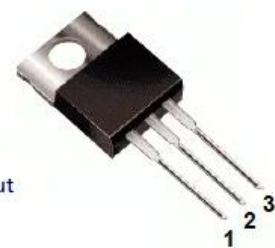


$$V_o = 5V$$

## REGULADORES VARIABLES



LM317  
Pin Arrangement



1. Adjust
2. Vout
3. Vin

Heatsink is connected to pin 2

$$V_o = 1.25V \left( 1 + \frac{R1}{R2} \right)$$

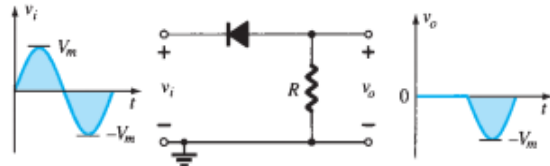
## LIMITADOR O RECORTADOR CON DIODOS

Un **limitador** o **recortador** es un circuito que, mediante el uso de resistencias y diodos, permite eliminar voltajes que no nos interesen para que no lleguen a un determinado punto de un circuito. Mediante un limitador

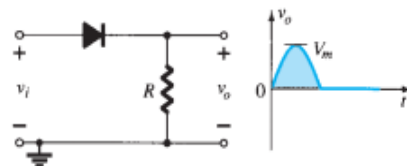
podemos conseguir que a un determinado circuito le lleguen únicamente voltajes positivos o solamente negativos, no obstante esto también puede hacerse con un solo diodo formando un rectificador de media onda, de forma que nos vamos a centrar en un tipo de limitador que no permite que a un circuito lleguen tensiones que podrían ser perjudiciales para el mismo.

#### Recortadores simples en serie (diodos ideales)

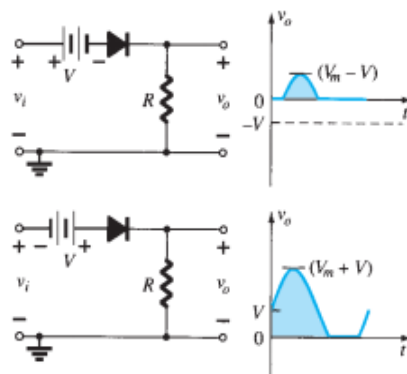
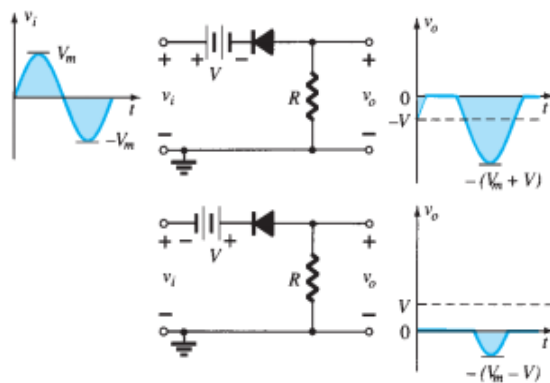
POSITIVOS



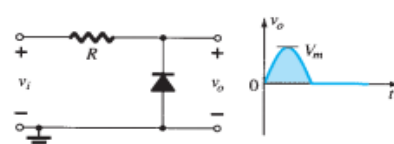
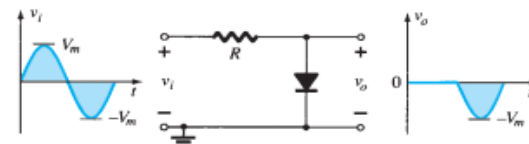
NEGATIVOS



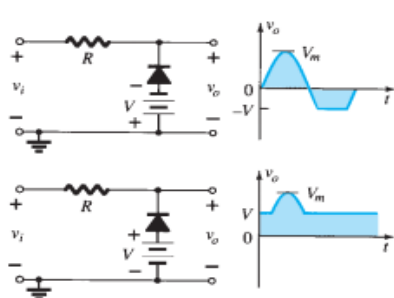
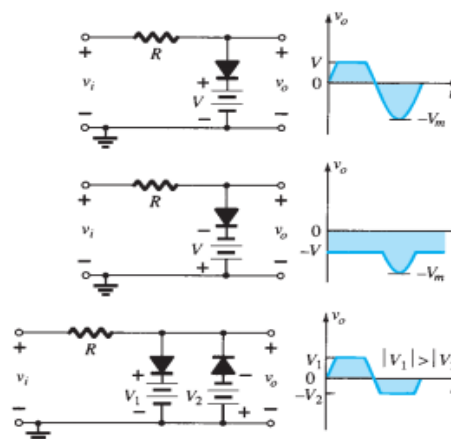
#### Recortadores polarizados en serie (diodos ideales)



#### Recortadores simples en paralelo (diodos ideales)



#### Recortadores polarizados en paralelo (diodos ideales)

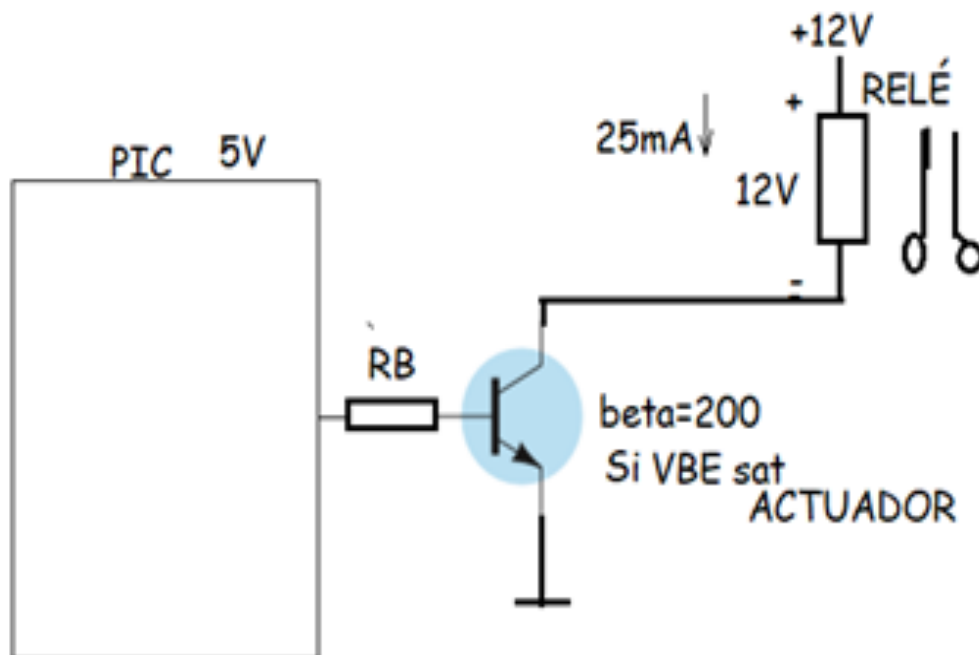


## CIRCUITO CON TRANSISTORES

- **Actuador**
- **Amplificador multietapa**
- Amplificador cascode
- **Amplificador Darlington**
- Amplificador diferencial
- **Fuente de corriente**
- Regulador de voltaje
- **Osciladores**
- **Mezcladores**

### ACTUADOR CON BJT

Se usa para manipular corrientes mayores a la que el circuito controlador puede proporcionar



$$i_b > \frac{i_C}{\beta}$$

$$R_B \leq \frac{V_o - V_{BE sat}}{i_b}$$

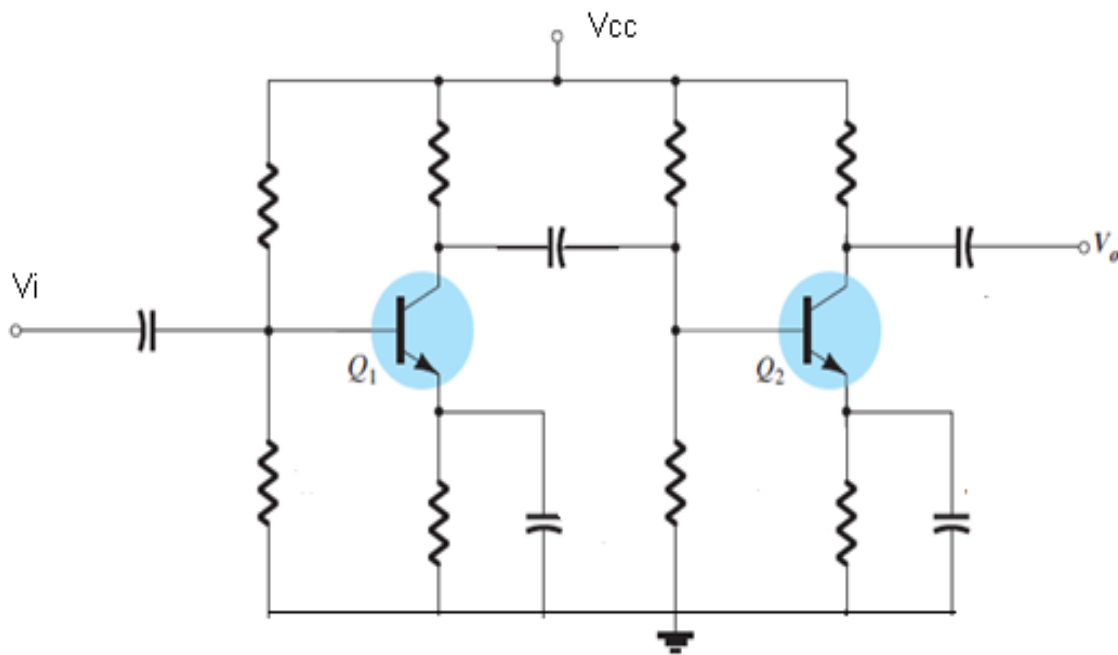
## AMPLIFICADORES MULTITAPAS

Amplificadores básicos conectados (acoplados) en cascada.

Pueden estar acoplados entre etapas mediante:

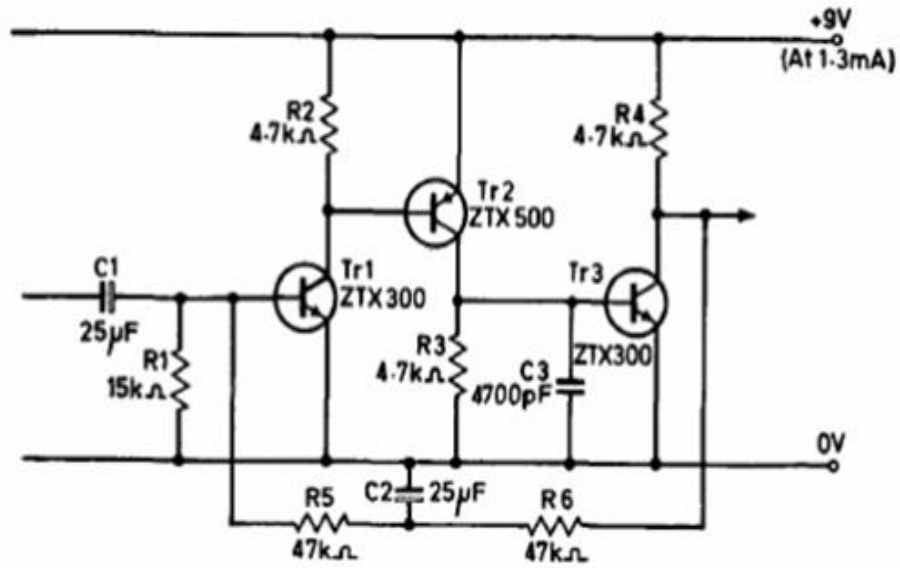
- capacitores
- transformadores
- forma directa

### ACOPLAMIENTO POR CONDENSADOR



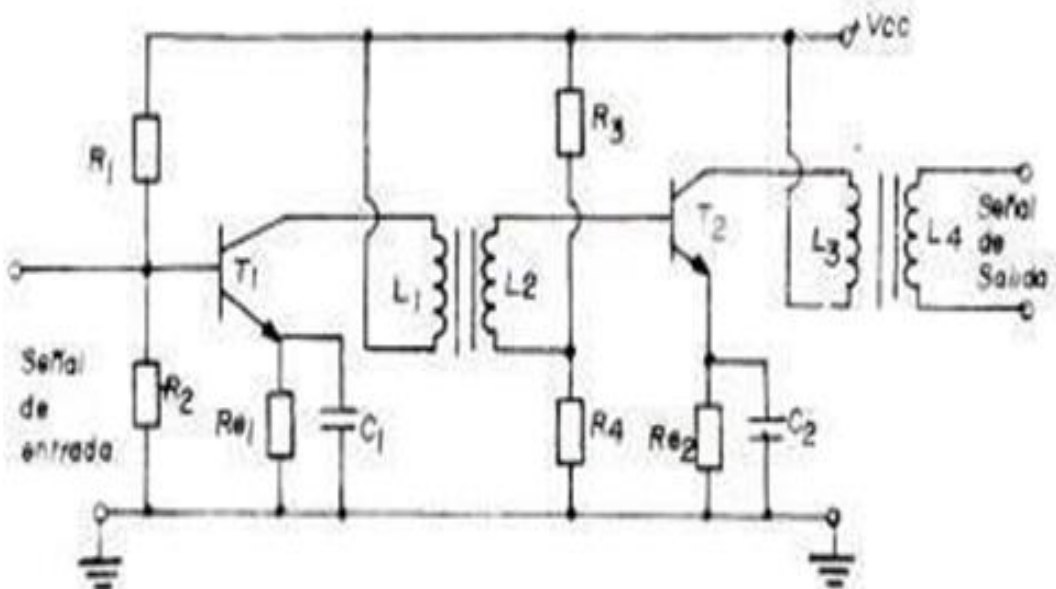
Es muy utilizado para amplificar voltajes

### ACOPLAMIENTO DIRECTO



Se utiliza para amplificar voltaje o corriente en DC como también voltaje AC

## ACOPLAMIENTO POR TRANSFORMADOR



Se usa en aplicaciones de radiofrecuencias

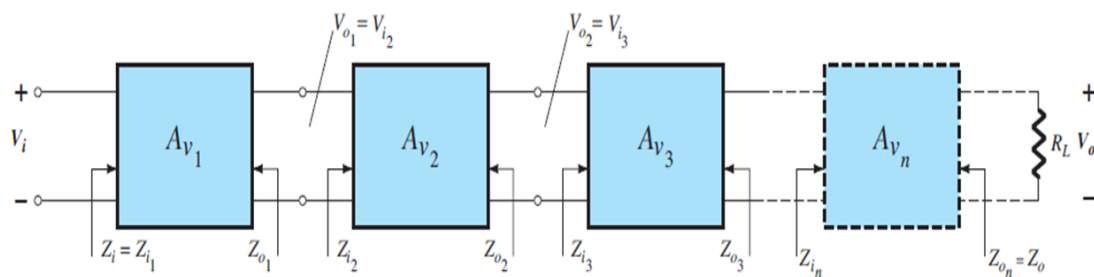
Los amplificadores multietapas están formado por los amplificadores de las configuraciones básicas como: EC, BC, CC, SC, DC, GC

Estos amplificadores pueden ser a BJT, MOSFET o una combinación entre ellos.

La impedancia de entrada del amplificador multietapa depende del primer amplificador y la impedancia de salida depende del último amplificador.

La ganancia de voltaje del amplificador multietapa es el producto de las ganancias individuales de cada etapa

$$A_{vT} = A_{v1} + A_{v2} + \dots + A_{vn}$$

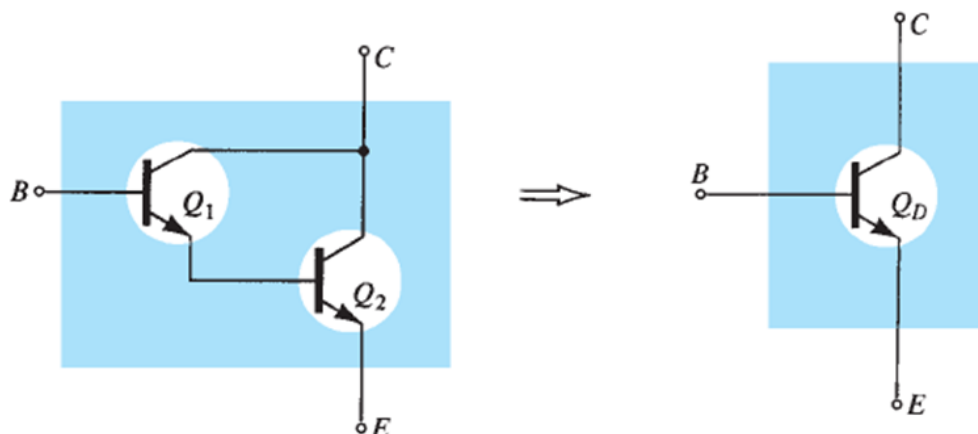


## AMPLIFICADOR DARLINGTON

El par Darlington actúa como una sola unidad con una ganancia de corriente que es el producto de las ganancias de corriente de los transistores individuales.

$$\beta_D = \beta_1 \cdot \beta_2$$

Una conexión Darlington proporciona un transistor con una ganancia de corriente muy grande

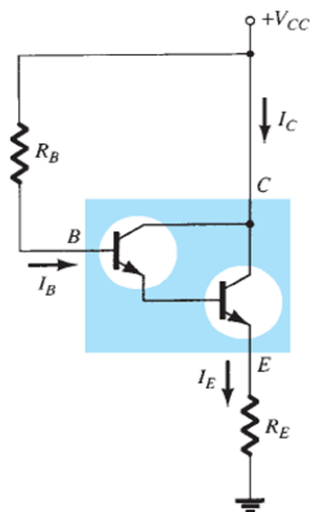
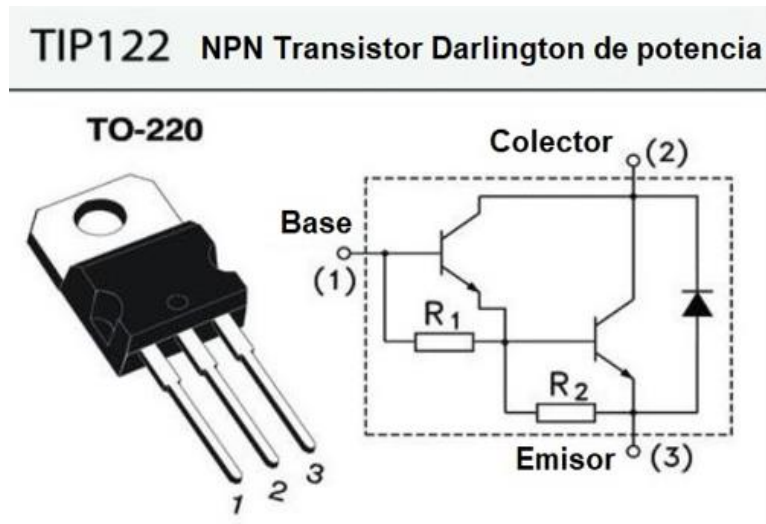


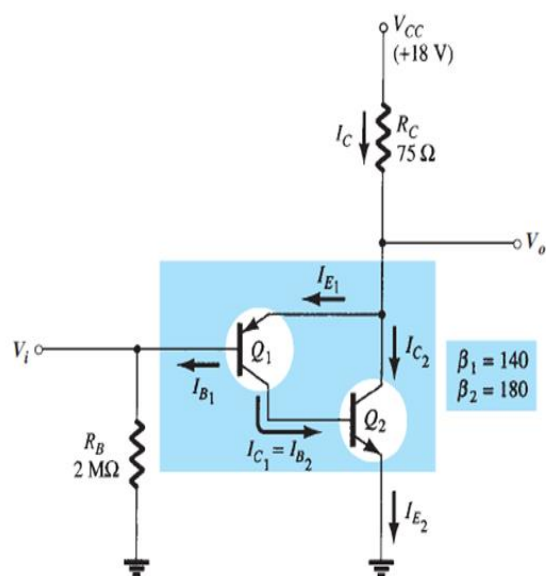
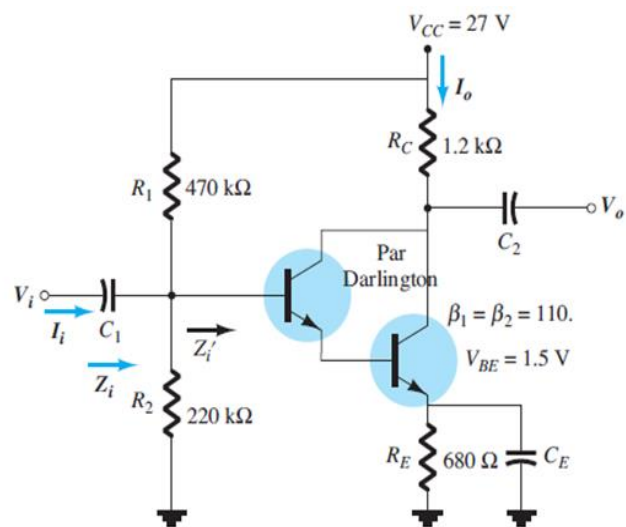
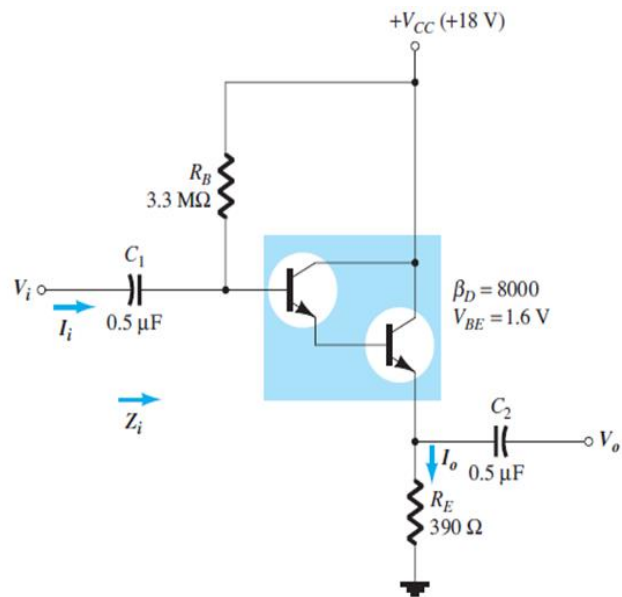
El amplificador Darlington son dos transistores acoplados directamente resultando uno solo con un mayor valor de  $\beta$

$$V_{BED} = 1.4 V$$

$$\beta_D = \frac{I_{C1} + I_{C2}}{I_{B1}}$$

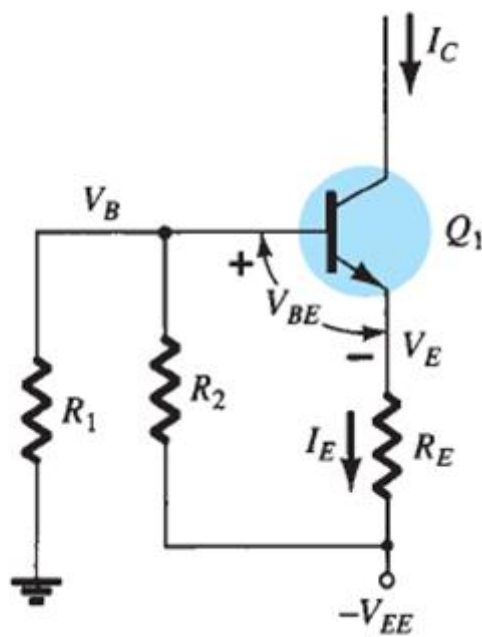
El amplificador Darlington como aumenta el valor del  $\beta$  considerablemente, se usa mucho para controlar valores altos de corriente







## FUENTE DE CORRIENTE



$$I_C \approx I_E$$

$$I_C = \frac{V_{RE}}{R_E}$$

$$V_{RE} = V_E + V_{EE}$$

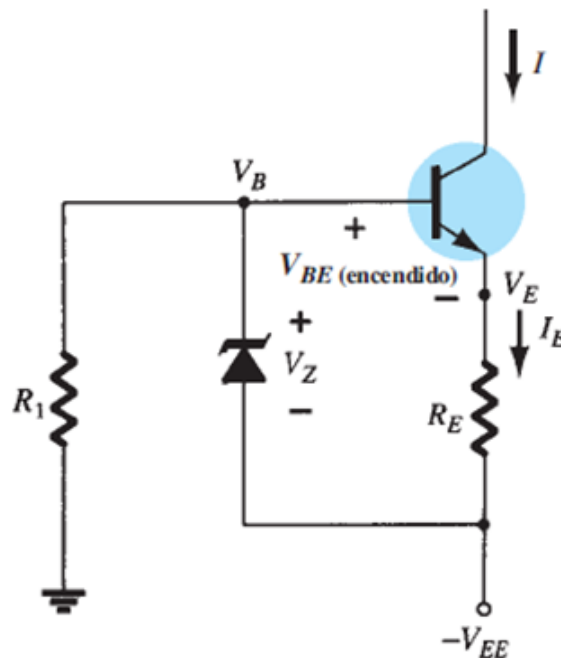
$$V_E = -V_{BE} + V_B$$

$$V_{RE} = -V_{BE} + V_B + V_{EE}$$

$$V_B = \frac{-V_{EE} \times R_1}{R_1 + R_2}$$

La corriente depende de los valores del suministro VEE, R1, R2 y RE

## FUENTE DE CORRIENTE CON ZENER



$$V_{RE} = -V_{BE} + V_Z$$

$$I = \frac{V_{RE}}{R_E}$$

$$I = \frac{V_Z - V_{BE}}{R_E}$$

La corriente depende del valor de  $R_E$  y  $V_Z$  independiente del suministro

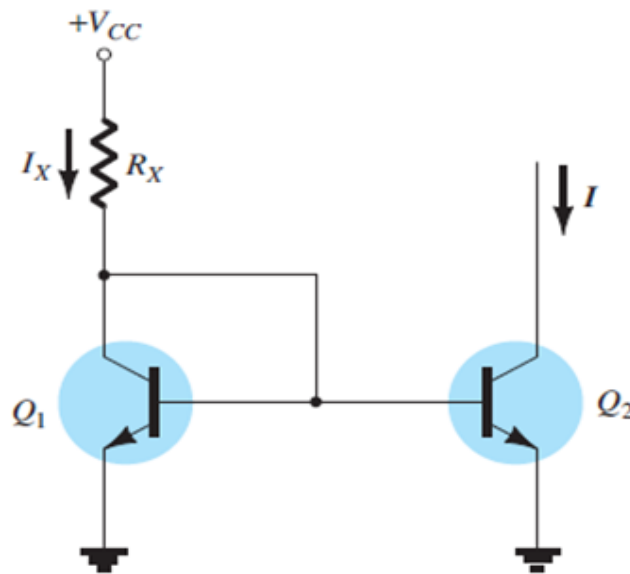
## ESPEJO DE CORRIENTE

Es un circuito que se configura para obtener una corriente constante y está formado por dos transistores idénticos, los fabricantes lo manufacturan en un solo encapsulado con un mayor  $\beta$  y  $V_A$ .

La corriente constante se obtiene desde una corriente de salida, la cual es la reflexión o espejo de una corriente constante desarrollada en un lado del circuito.

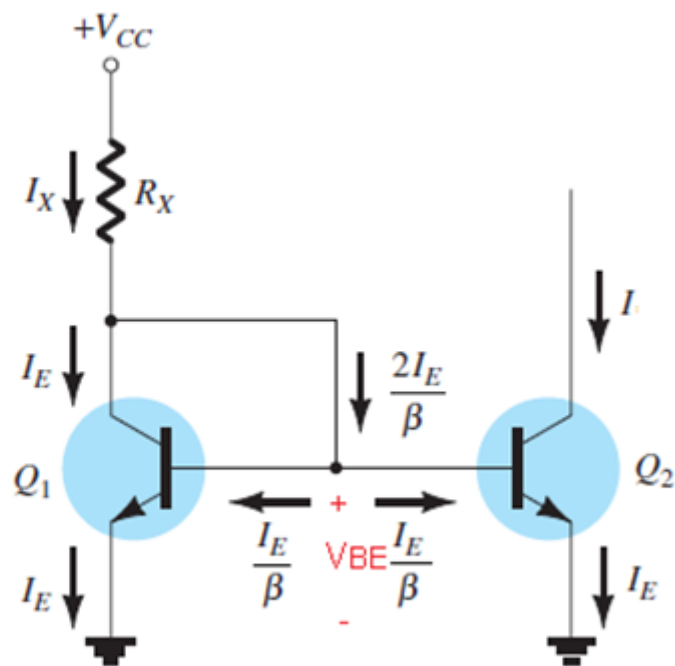
El circuito es particularmente adecuado para la fabricación de circuitos integrados porque el circuito requiere que los transistores tengan caídas de voltaje idénticas entre la base y el emisor y valores idénticos de beta, lo cual se logra mejor cuando los transistores se forman al mismo tiempo en la fabricación de circuitos integrados.

La corriente  $I$  es del mismo valor que  $I_x$



Descripción del circuito

$Q_1$  y  $Q_2$  son idénticos, la corriente  $I_x$  que circula por  $Q_1$  y es definida por  $R_x$  es la misma corriente  $I$  que circula por  $Q_2$ , este circuito representa a una fuente de corriente con una gran resistencia interna de algunos cientos de  $k\Omega$  a  $M\Omega$ .



$$I_x = \frac{V_{cc} - V_{BE}}{R_x}$$

$$I_B = \frac{I_E}{\beta + 1} \approx \frac{I_E}{\beta}$$

$$I_x = I_E + \frac{2 I_E}{\beta} = I_E \left(1 + \frac{2}{\beta}\right)$$

Determinando la relación de la corriente del transistor Q2 y de la corriente del transistor Q1

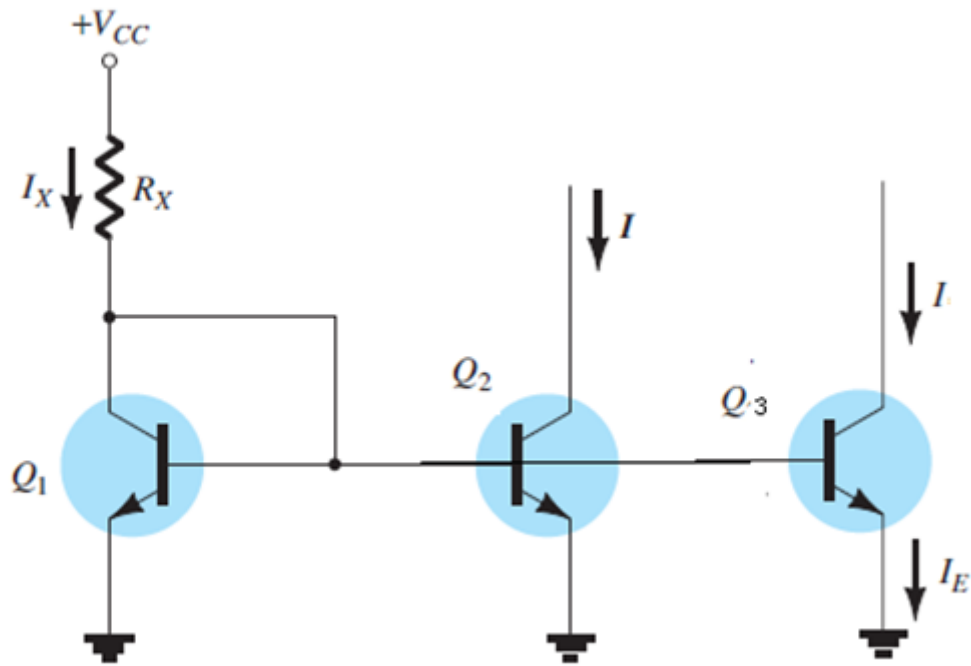
$$\frac{I}{I_x} = \frac{I_E}{I_E \left(1 + \frac{2}{\beta}\right)}$$

$$I_x = \left(\frac{\beta + 2}{\beta}\right) I \approx I$$

Se controla el valor de  $I_x$  mediante  $R_x$

$$R_x = \frac{V_{cc} - V_{BE}}{I_x}$$

Puede modificar el circuito para tener varios transistores en paralelo



$$I = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_X}$$

Para obtener una mayor impedancia en la salida configuración:

