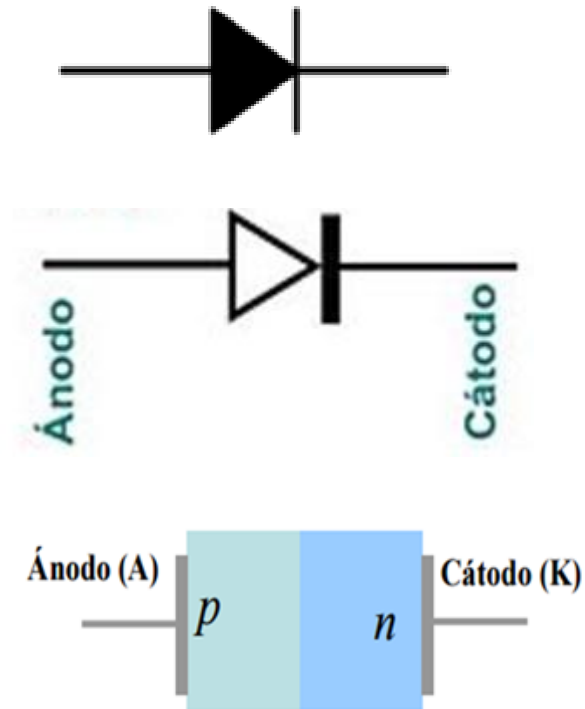


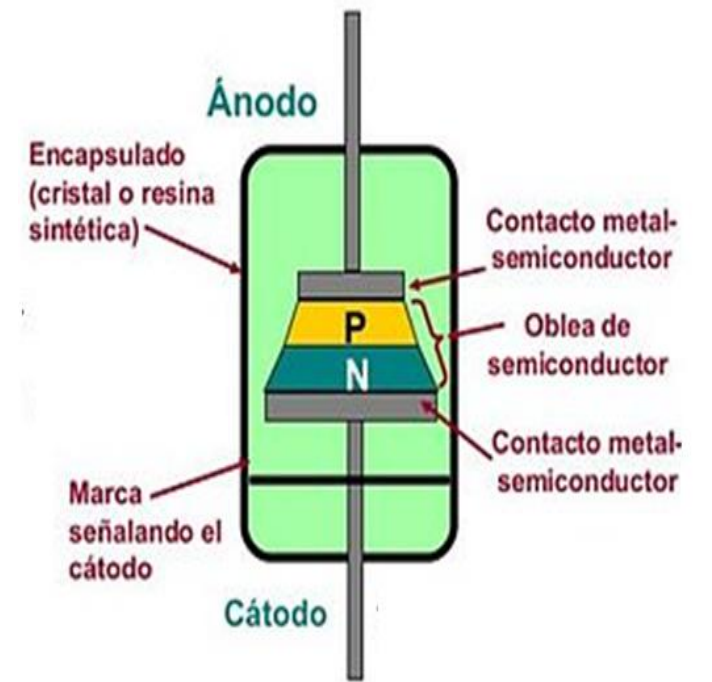
# Capítulo 2: Diodos de estado sólido y características de los diodos

# DIODO

Un diodo es un dispositivo electrónico de dos terminales que permite el paso de la corriente en una sola dirección. La simbología es la siguiente:



Diodo real



Un diodo se construye con la unión de dos materiales semiconductores.

Uno llamado semiconductor tipo P el cual lo llamaremos ánodo y otro de semiconductor tipo N llamado cátodo.

Un diodo consta de dos terminales, uno con baja (idealmente cero) resistencia al paso de corriente llamado “Ánodo” y el otro con una alta (idealmente infinita) resistencia al paso de la corriente llamado “Cátodo”.

El ánodo permite el paso de la corriente hacia el cátodo cuando la fuente que lo alimenta supera el voltaje llamado umbral “ $V_f$ ”.

$V_f = 0,7 \text{ v}$  si el diodo es construido de silicio y  $v_f = 0,3 \text{ v}$  si es construido de germanio.

## **TRABAJO GRUPAL:**

**El estudiante en su tiempo independiente debe realizar un informe de lo explicado en los siguientes videos.**

Semiconductores 01, Estructura Atomica, Intrínseco, Extrínseco, Impurezas pentavalentes, trivalentes

<https://www.youtube.com/watch?v=cy50YR7kr8c>

Semiconductores 02, La unión PN, Semiconductor tipo P, Semiconductor tipo N

<https://www.youtube.com/watch?v=IYAIJo26rMk>

Semiconductores 03, Union PN polarizada en directa, Diodo polarizado en directa

[https://www.youtube.com/watch?v=H\\_5DTSGEiEg](https://www.youtube.com/watch?v=H_5DTSGEiEg)

## 2-1 CIRCUITOS CON DIODOS

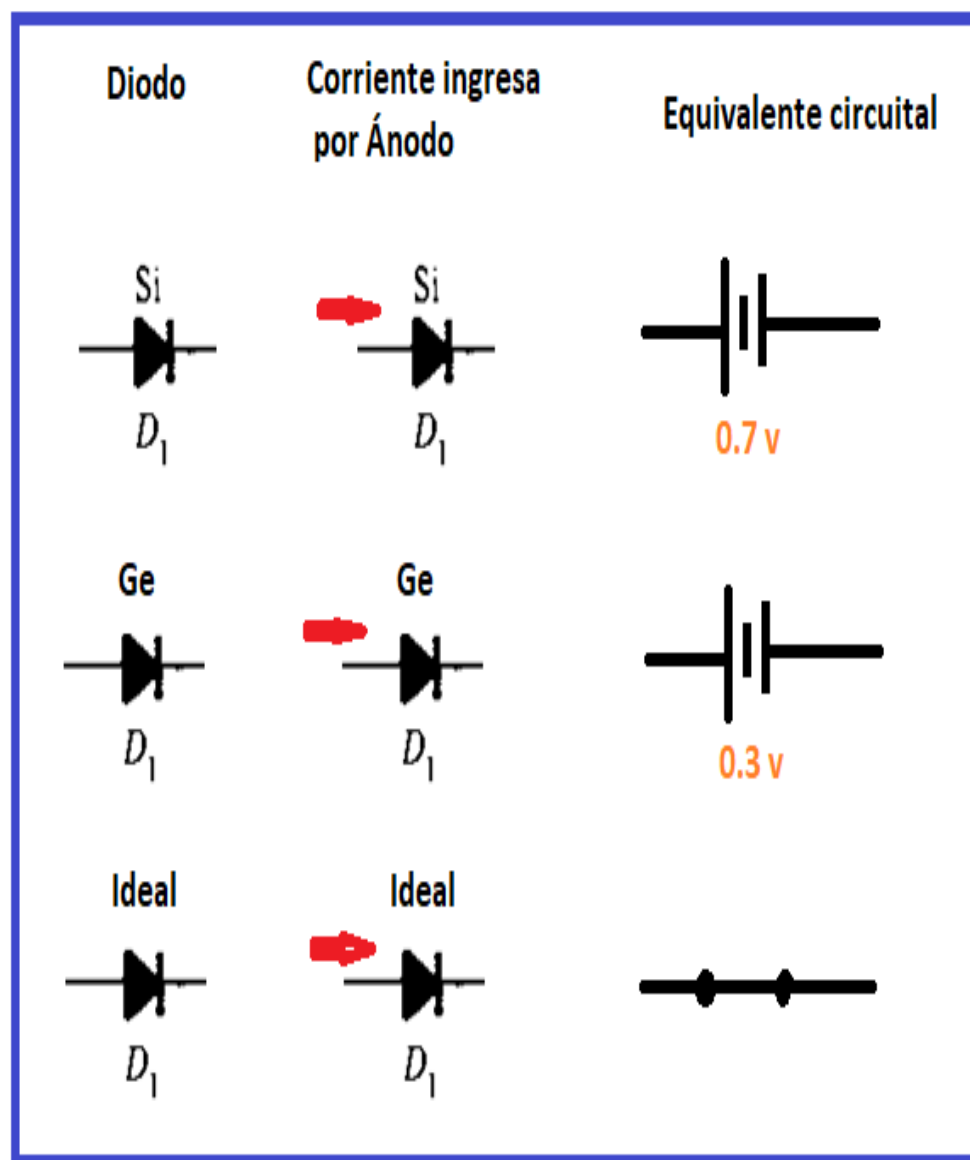
Un diodo, idealmente hablando, es un interruptor cerrado cuando se polariza en directa y un interruptor abierto cuando se polariza en inversa. Por ello, es muy útil para convertir corriente alterna en continua

[http://www.sc.ehu.es/sbweb/electronica/elec\\_basica/default.htm](http://www.sc.ehu.es/sbweb/electronica/elec_basica/default.htm)

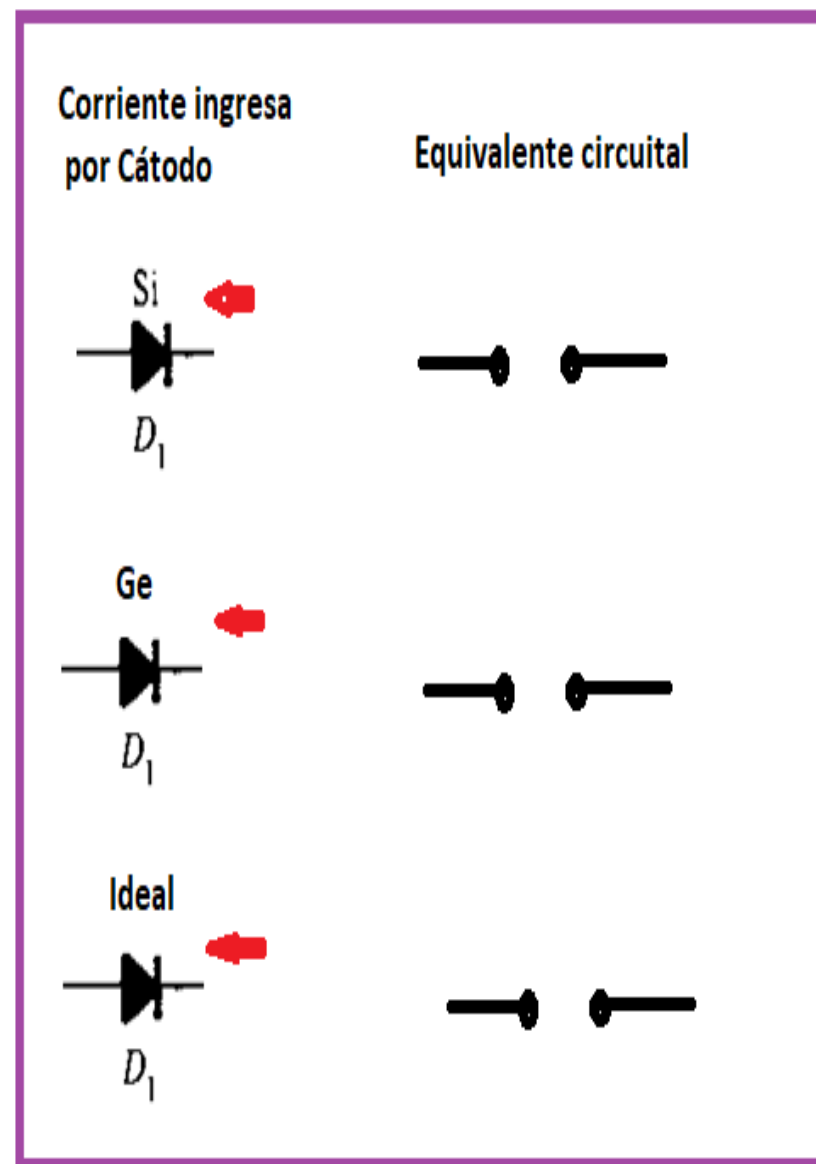
## Tips antes de iniciar el análisis con diodos

- Los diodos tienen una polaridad determinada por un ánodo (terminal positivo) y un cátodo (terminal negativo).
- Para que el diodo se encienda la corriente debe de ingresar por el ánodo.
- Si la corriente ingresa por el catado el diodo se apaga y se convierte en un circuito abierto “polarización inversa”.
- Un diodo se enciende cuando el voltaje de la fuente “ $V_i$ ” que lo alimenta es mayor a su voltaje de activación  $V_f$ .  $V_f=0,7$  v para diodos fabricados en sicilio y  $v_f=0,3$  v para diodos fabricados en germanio.
- Un diodo al encenderse “ $V_i > V_f$ ” se convierte en una fuente de voltaje en DC con un valor  $V_f$ .
- Un diodo cuando no esta encendido se considera apagado, y se comporta como un circuito abierto.

## Diodo se enciende



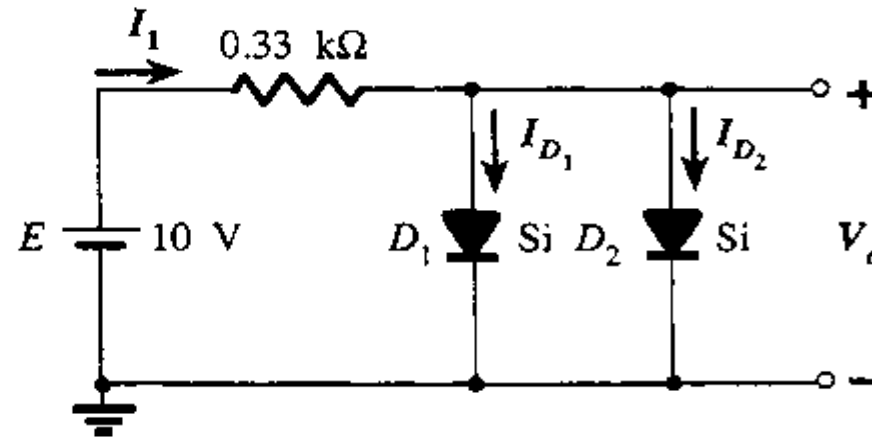
## Diodo se apaga



## DIODOS ALIMENTADOS CON CORRIENTE DIRECTA "DC"

Ejemplo    Determinar  $V_o$ ,  $I_1$ ,  $I_{D_1}$  e  $I_{D_2}$  para la configuración de diodos en paralelo

La corriente sale del positivo de la fuente y busca los ánodos de los diodos existentes en el circuito



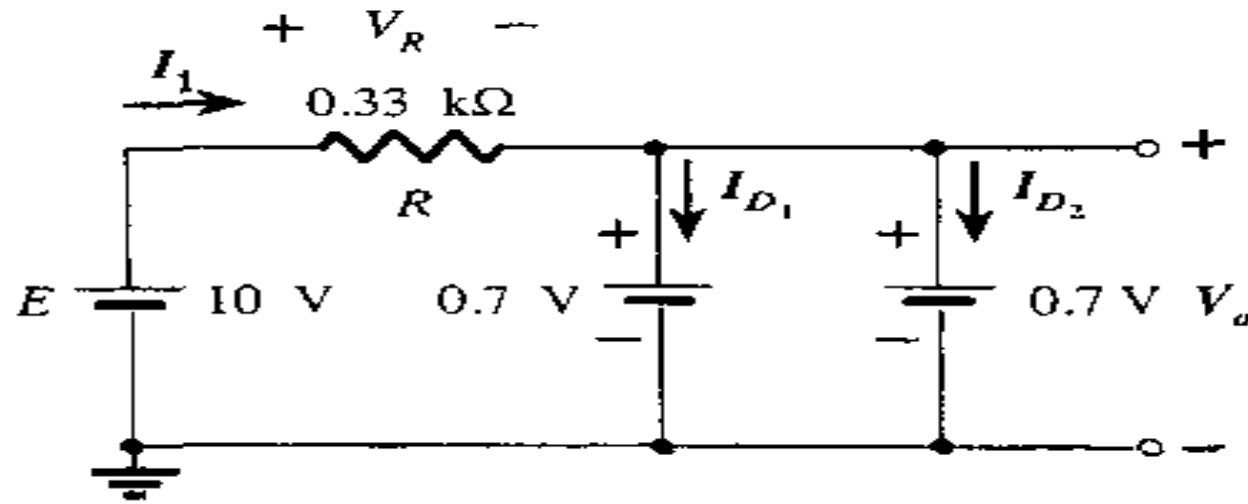
Se debe comprobar si la fuente que alimenta a los diodos por sus ánodos sean mayores que el voltaje de encendido  $V_f$ .

Dos diodos en paralelo tienen los mismos voltajes, y para que se enciendan deben cumplir que  $E > V_f$  lo que permita encender los diodos



Los diodos se encienden debido a que la corriente ingresa por sus ánodos y se reemplazan por su equivalente circuital.

Ejemplo



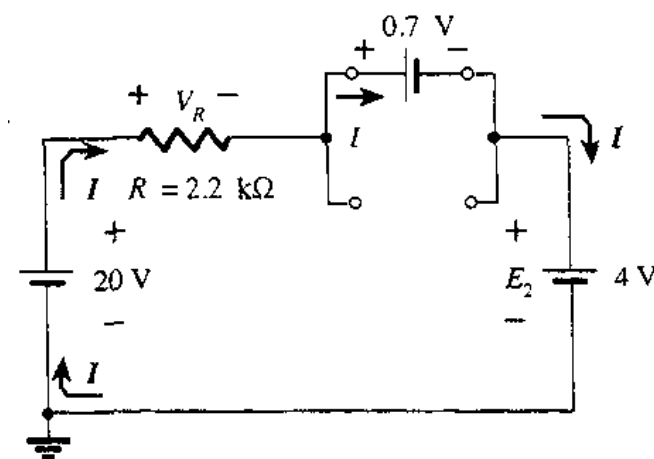
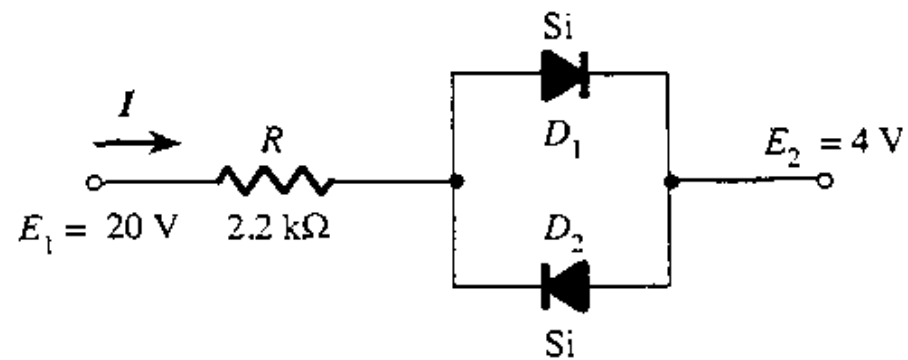
La corriente

$$I_1 = \frac{V_R}{R} = \frac{E - V_D}{R} = \frac{10 \text{ V} - 0.7 \text{ V}}{0.33 \text{ k}\Omega} = \mathbf{28.18 \text{ mA}}$$

Suponiendo diodos de características similares, se tiene

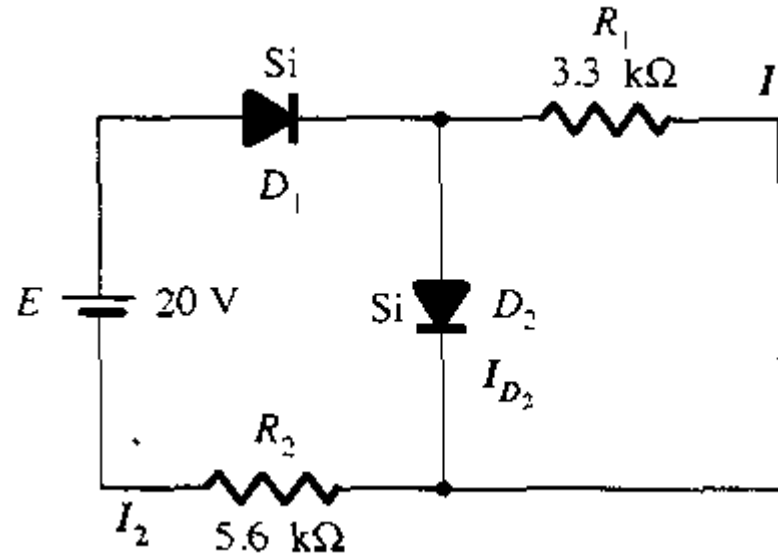
$$I_{D1} = I_{D2} = \frac{I_1}{2} = \frac{28.18 \text{ mA}}{2} = \mathbf{14.09 \text{ mA}}$$

Ejemplo Determinar la corriente  $I$  para la red de la figura 2.32.

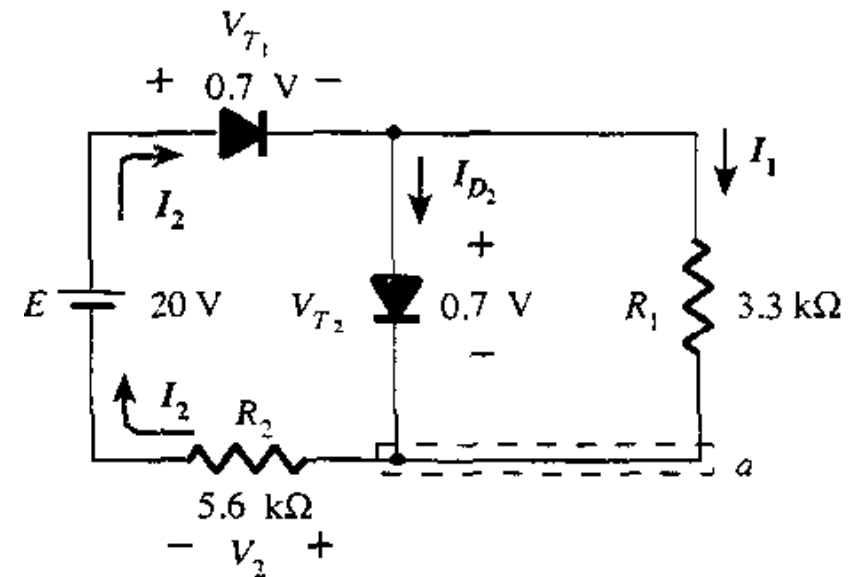


$$I = \frac{E_1 - E_2 - V_D}{R} = \frac{20 \text{ V} - 4 \text{ V} - 0.7 \text{ V}}{2.2 \text{ k}\Omega} \cong \mathbf{6.95 \text{ mA}}$$

## Ejemplo



$$I_1 = \frac{V_{T_2}}{R_1} = \frac{0.7 \text{ V}}{3.3 \text{ k}\Omega} = 0.212 \text{ mA}$$



La aplicación de la ley de voltaje de Kirchhoff alrededor de la malla indicada en la dirección de las manecillas del reloj produce:

$$-V_2 + E - V_{T_1} - V_{T_2} = 0$$

y 
$$V_2 = E - V_{T_1} - V_{T_2} = 20 \text{ V} - 0.7 \text{ V} - 0.7 \text{ V} = 18.6 \text{ V}$$

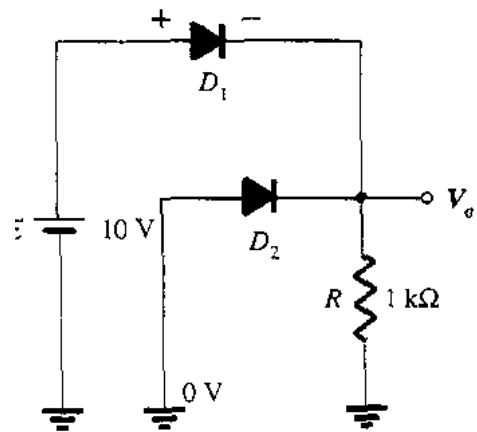
con 
$$I_2 = \frac{V_2}{R_2} = \frac{18.6 \text{ V}}{5.6 \text{ k}\Omega} = 3.32 \text{ mA}$$

En el nodo *a* de la parte inferior

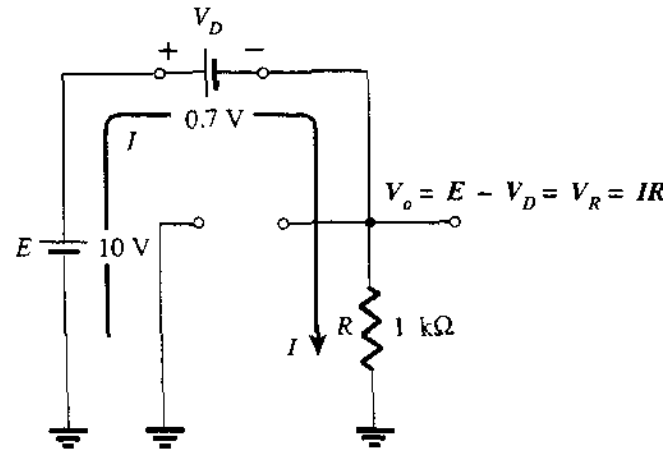
$$I_{D_2} + I_1 = I_2$$

y 
$$I_{D_2} = I_2 - I_1 = 3.32 \text{ mA} - 0.212 \text{ mA} = 3.108 \text{ mA}$$

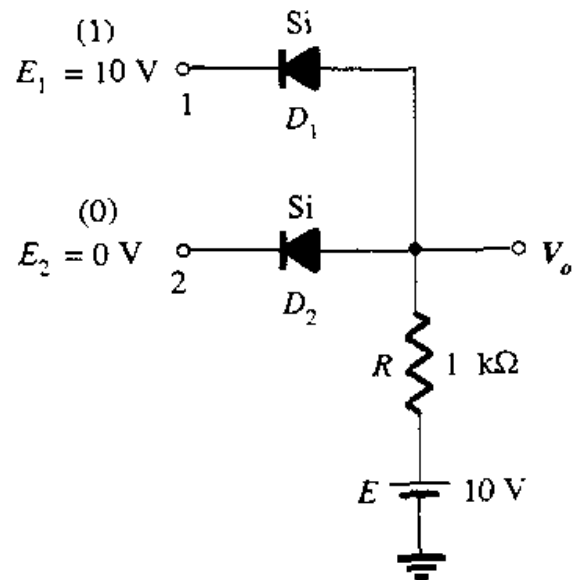
Ejemplo



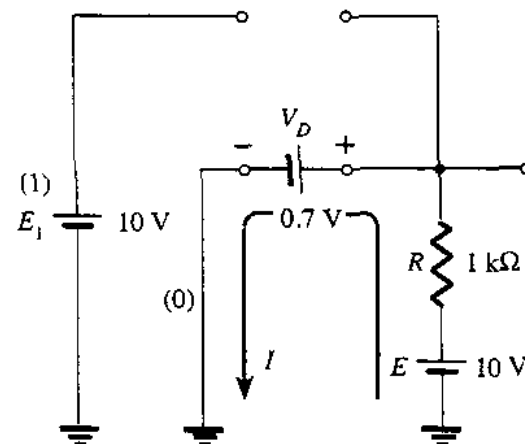
$$I = \frac{E - V_D}{R} = \frac{10 \text{ V} - 0.7 \text{ V}}{1 \text{ k}\Omega} = 9.3 \text{ mA}$$



Ejemplo



$$I = \frac{E - V_D}{R} = \frac{10 \text{ V} - 0.7 \text{ V}}{1 \text{ k}\Omega} = 9.3 \text{ mA}$$



## FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA

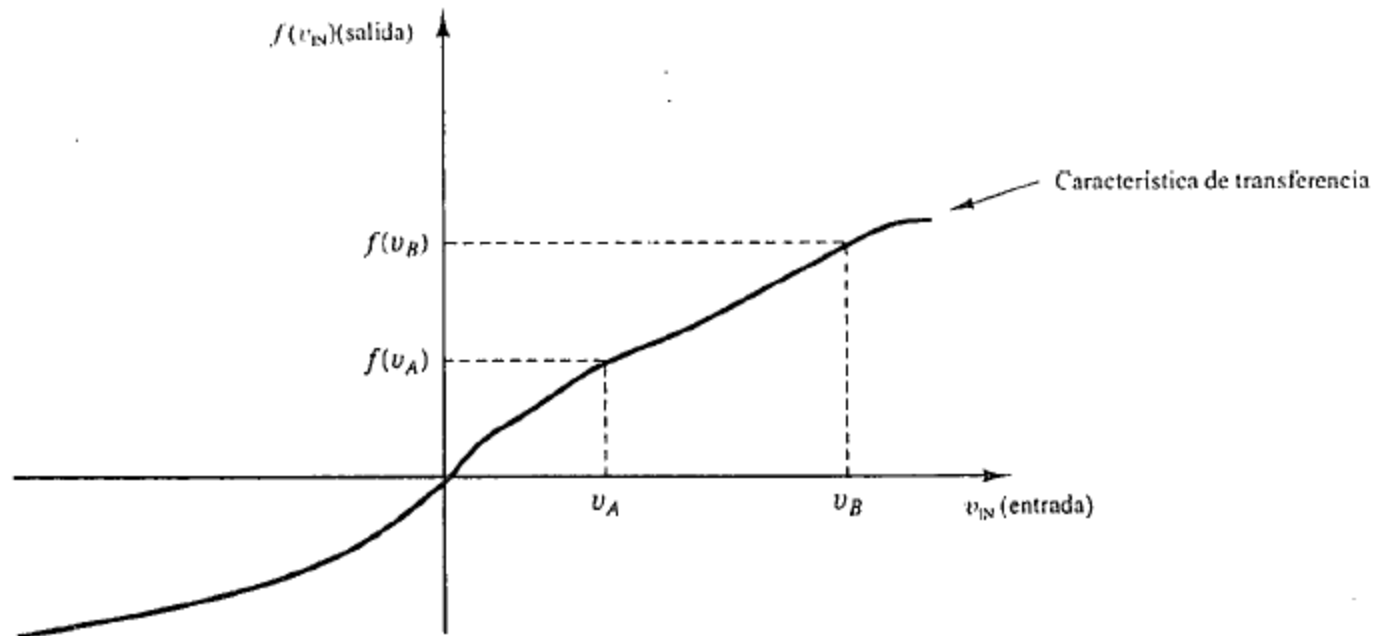
Es la relación entre la señal de entrada y la de salida de un circuito.

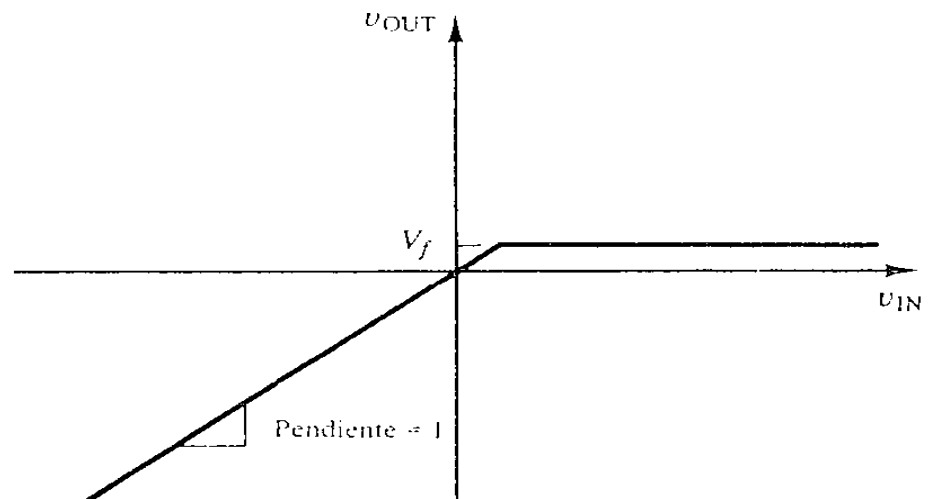
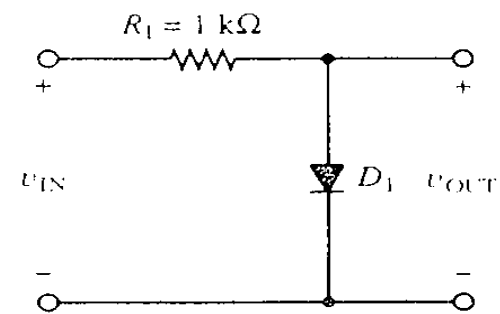
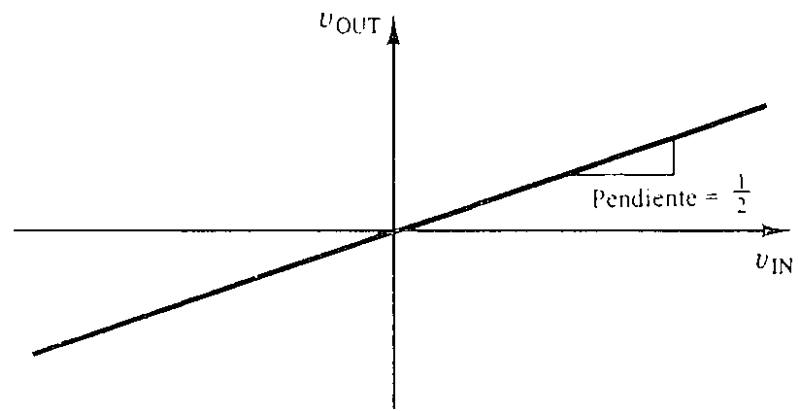
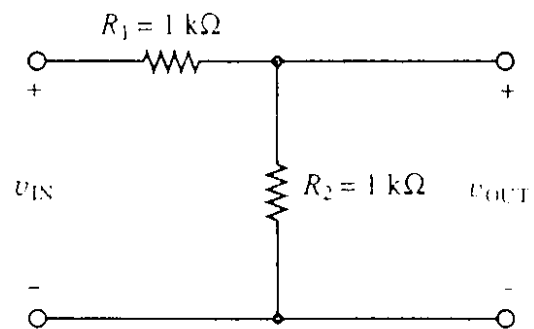
La función de transferencia se utiliza para predecir la señal de salida con respecto a la señal de entrada.

$$\text{F.D.T} = V_{\text{out}} / V_{\text{in}}$$

$$H(s) = \frac{Y(s)}{X(s)}$$

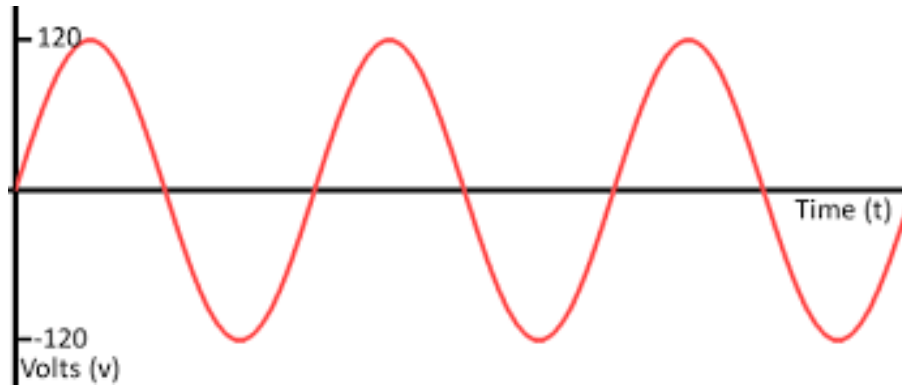
F.D.T en laplace



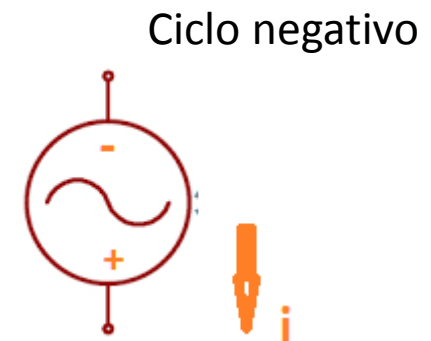
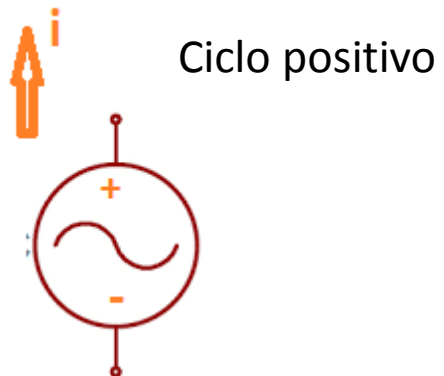


(a)

## CIRCUITOS CON SEÑALES ANALÓGICAS



Tiene dos polaridades las cuales se interpretaran así:



**LIMITADORES DE NIVEL DE CONTINUA:** Los diodos empleados en fuentes de alimentación de baja frecuencia son diodos rectificadores. Tienen una potencia mayor que 0,5 W y están optimizados para funcionar a 60 Hz.

**DIODOS DE PEQUEÑA SEÑAL:** Estos diodos tienen potencia menores que 0,5 W y se emplean en general a frecuencias mucho mayores que 60 Hz. Su construcción pequeña y ligera es lo que permite que funcionen a frecuencias muy superiores. El mas utilizado es el 1N4148.



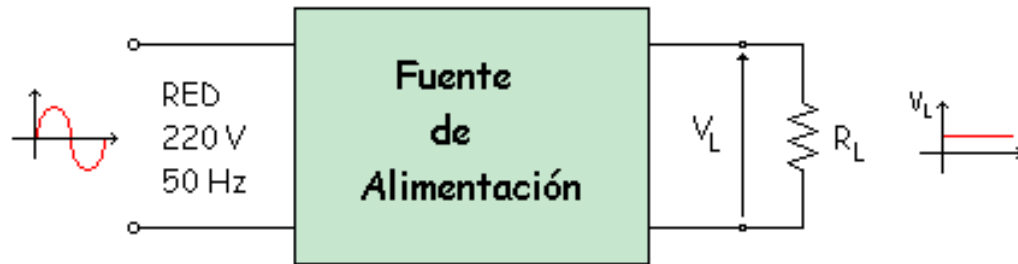
La corriente y voltaje en alterna se expresan de forma común por su valor efectivo o valor RMS (Root Mean Square o Raíz Media Cuadrática).

Cuando se dice que en nuestras casas tenemos 120 o 220 voltios, estos son valores RMS o eficaces

El valor efectivo de una onda alterna se obtiene : 
$$V_{RMS} = \frac{V_p}{\sqrt{2}} = 0.707 * V_p$$

$$V_p = V_{RMS} / 0.707$$

Valor RMS = Valor eficaz = Valor efectivo



$$220 V_{eficaces} = 220 V_{rms}$$

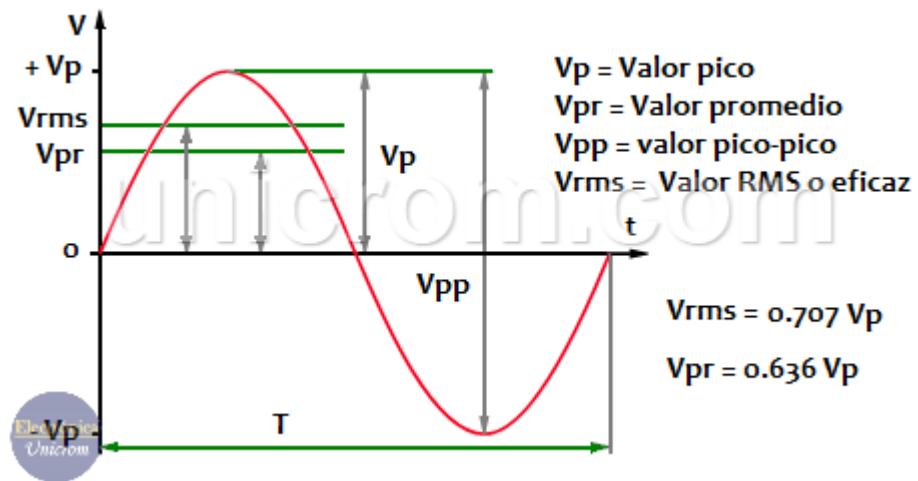
$$V_p = V_{RMS} / 0.707$$

$$V_p = 220 / 0.707 = 311 \text{ v}$$

El periodo T, si tenemos 220 V y 50 Hz:

$$50 \text{ Hz} = 50 \text{ periodos / seg} = 50 \text{ ciclos / seg}$$

$$T = \frac{1}{f} = \frac{1}{50} = 0,020 \text{ segundos} = 20 \text{ mseg}$$



El valor pico-pico =  $V_{pp} = 2 \times \text{Valor pico}$

### Valor promedio

El valor promedio de un ciclo completo de voltaje o corriente es cero (0).

Si se toma en cuenta solo un semiciclo (supongamos el positivo) el valor promedio es:

$$V_{Pr} = V_{Pico} \times 0.636.$$

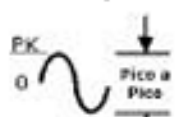

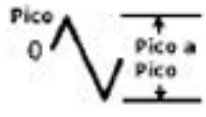
La relación que existe entre los valores RMS y promedio es:

$$V_{RMS} = V_{Pr} \times 1.11$$

$$V_{Pr} = V_{RMS} \times 0.9$$

Ejemplo: Si tenemos un voltaje de 120 VRMS, entonces  
 $V_{Pr} = 0.9 \times 120 \text{ VRMS} = 108 \text{ VRMS}$

**Tabla de coeficientes para el calculo de señales no senoidales según el tipo de multímetro**

Tipo de Señal	La lectura de un Multímetro de Promedio Calibrado en RMS senoidal, se multiplica por:			La lectura de un Multímetro de Verdadero RMS, se multiplica por:		
	Vpp: Valor pico a pico	Vp: Valor pico	Verdadero Valor Eficaz	Vpp: Valor pico a pico	Vp: Valor pico	Verdadero Valor Eficaz
<b>Senoidal pura</b> 	2,828	1,414	1	2,828	1,414	1
<b>Onda cuadrada</b> 	1,80	0,90	0,90	2	1	1
<b>Onda triangular</b> 	3,6	1,80	1,038	3,464	1,732	1

Por ejemplo, para una señal triangular donde el multímetro indica 2,23 voltios, los coeficientes y los valores obtenidos serán:

Valor leído: 2,23 Voltios.

Verdadero Valor eficaz:	2,23 V x 1,038	=	2,31	Volts
Valor pico :	2,23 V x 1,80	=	4,15	Volts
Valor pico a pico :	2,23 V x 3,57	=	7,96	Volts

# RECTIFICADOR

Un rectificador es un dispositivo eléctrico que convierte la corriente alterna (CA) en corriente continua (CC), un proceso conocido como rectificación.

Los rectificadores tienen muchos usos, incluso como componentes de fuentes de alimentación y como detectores de modulación de amplitud (detectores de envolvente) de señales de radio.

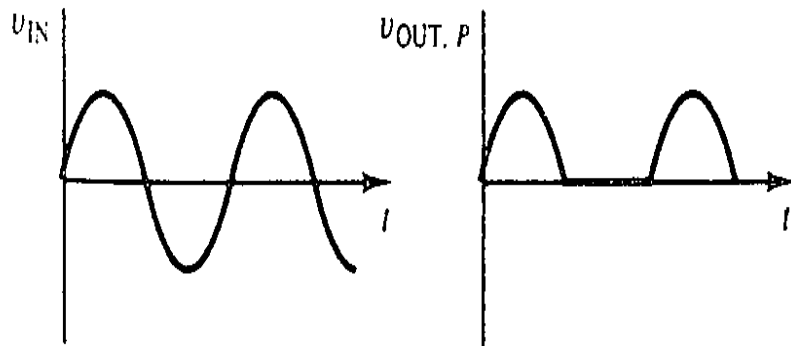
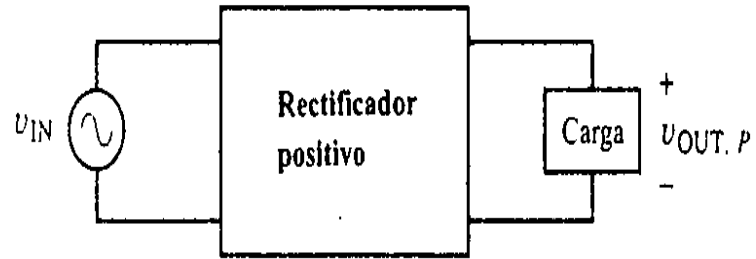
Los rectificadores se fabrican más comúnmente con diodos de estado sólido, pero se pueden usar otros tipos de componentes cuando se trata de voltajes o corrientes muy altos.

Cuando solo se usa un solo diodo para rectificar CA (bloqueando la parte negativa o positiva de la forma de onda), la diferencia entre el término diodo y el término rectificador es simplemente una cuestión de uso.

El término rectificador describe un diodo que se utiliza para convertir CA a CC.

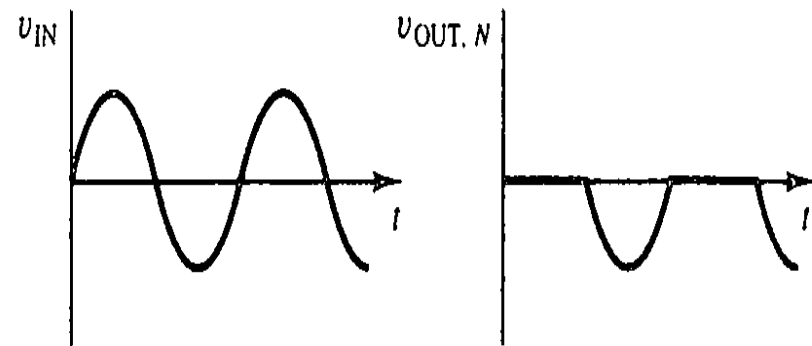
# RECTIFICACIÓN DE MEDIA ONDA

Solo pasa la mitad positiva o negativa de la onda de CA, mientras que la otra mitad se bloquea.



Entrada

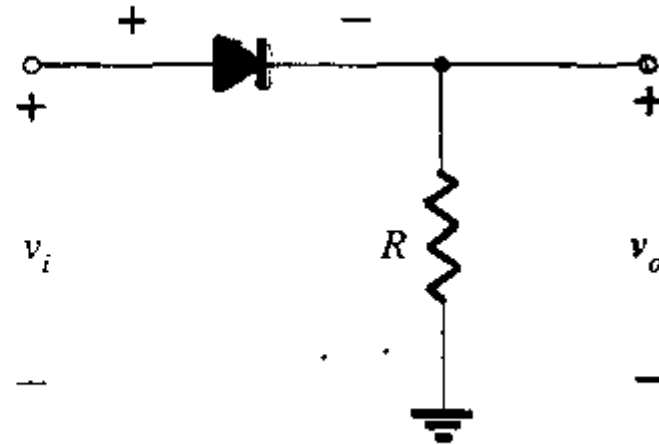
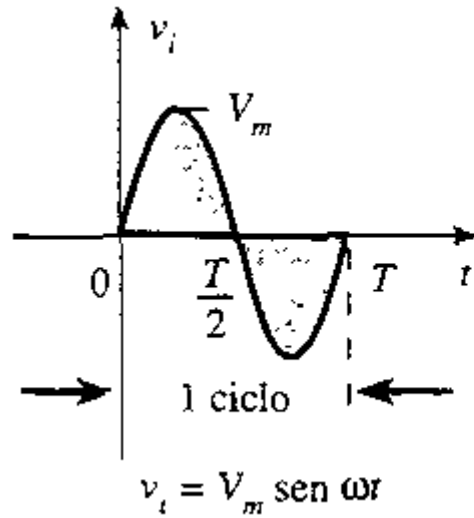
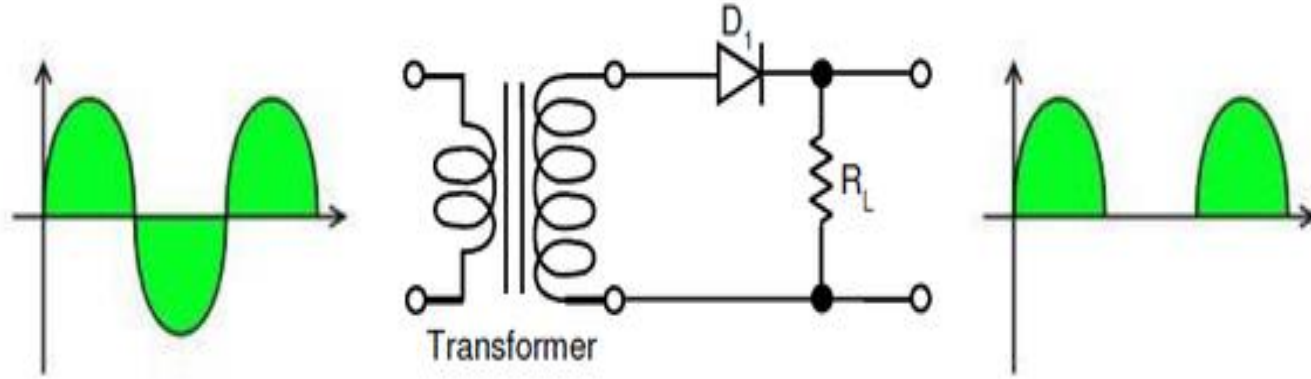
Salida



Entrada

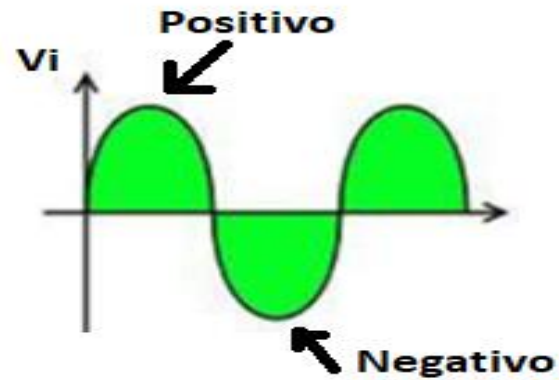
Salida

## RECTIFICACIÓN DE MEDIA ONDA POSITIVA

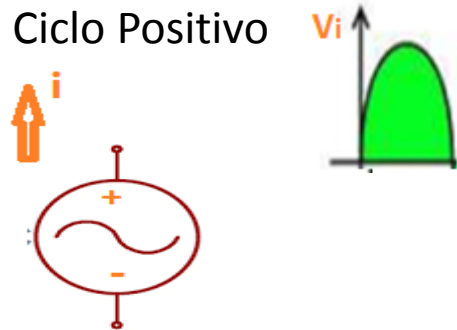


## Tips antes de iniciar el análisis

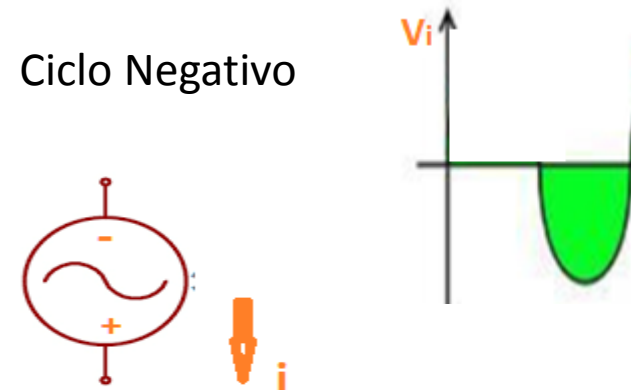
- Aplican los mismos tips dados para DC.
- En AC el circuito se debe analizar en dos estados de polaridad, el ciclo positivo en el cual la corriente va en el sentido de las manecillas del reloj y otro negativo en el que la corriente va en sentido contrario a las manecillas del reloj.



Ciclo Positivo



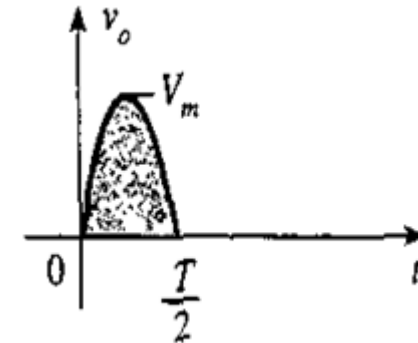
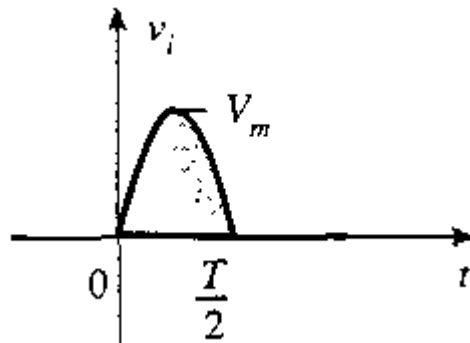
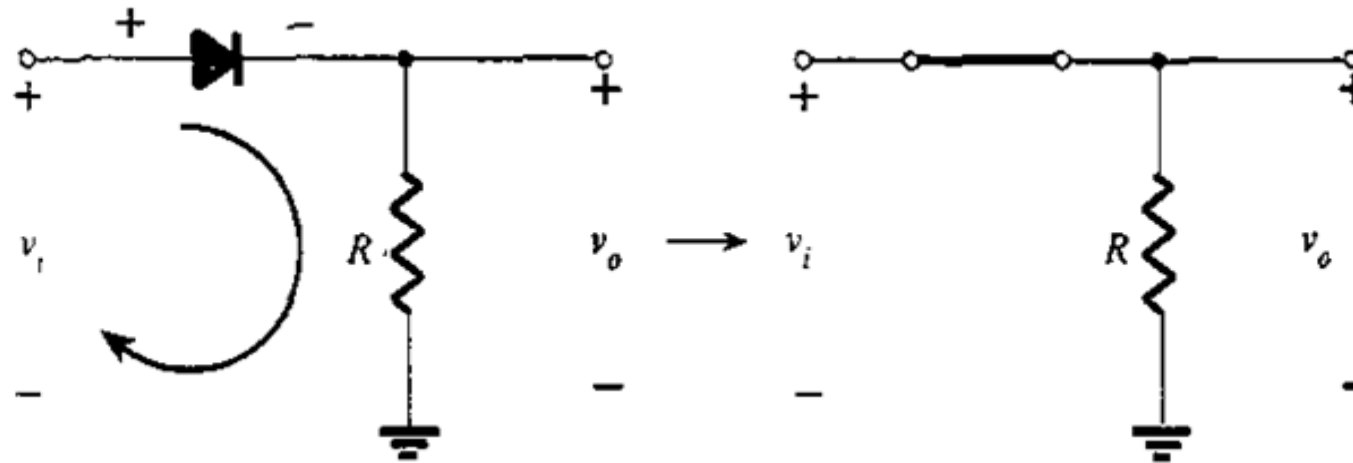
Ciclo Negativo



**Ciclo Positivo**

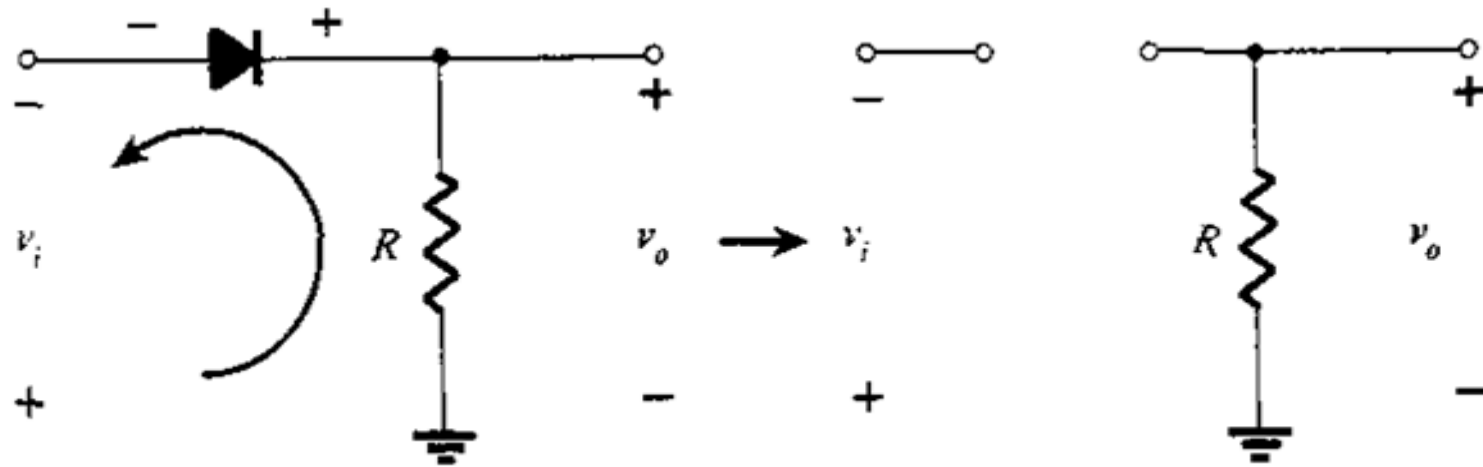
Durante el intervalo  $t = 0 \rightarrow T/2$

Al ser un diodo ideal, el diodo se enciende en  $V_i = 0$  v debido a que  $V_f = 0$  al ser ideal





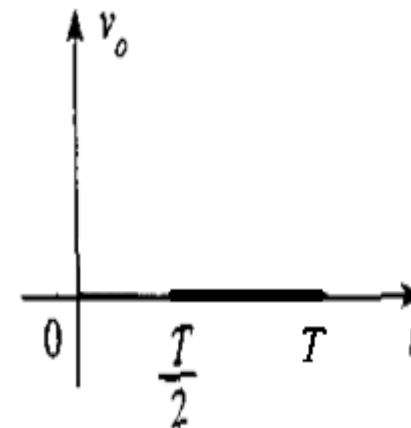
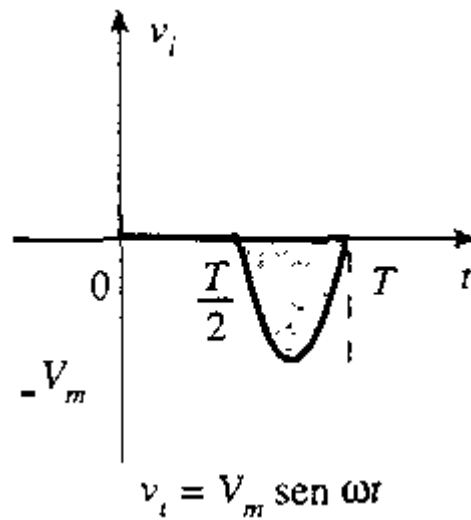
Región de no conducción ( $T/2 \rightarrow T$ ).



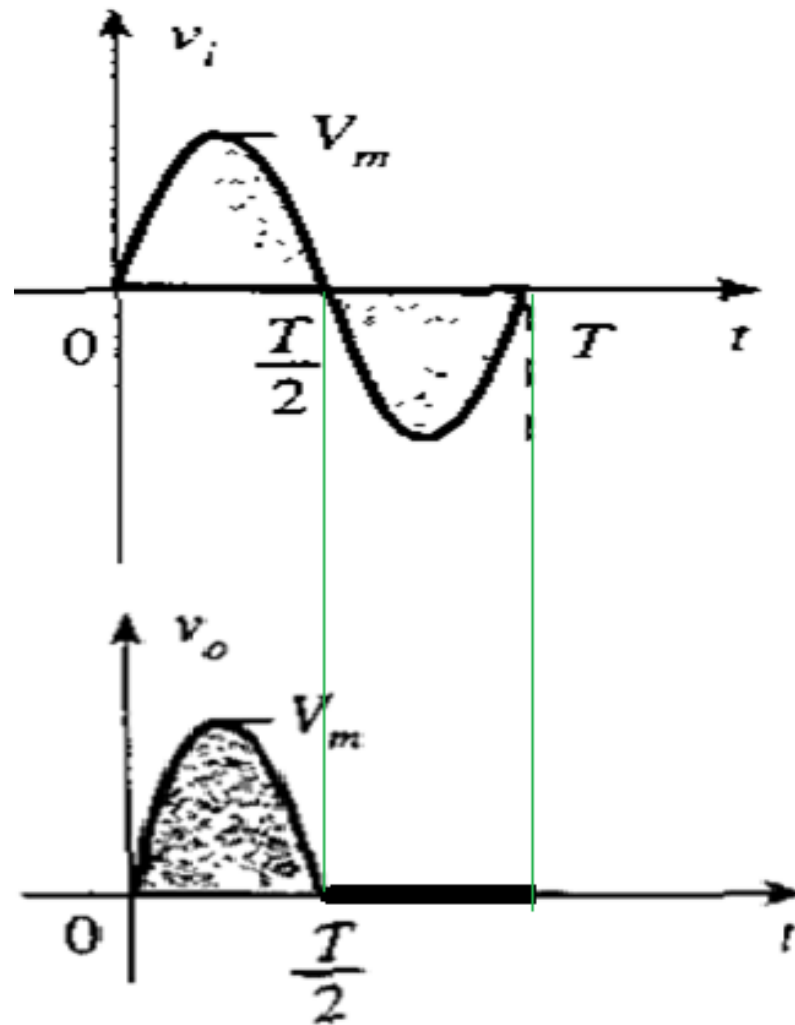
Al no pasar corriente por  $R$ , su voltaje será cero.

$$V_o = VR$$

$$V_o = 0 \text{ v}$$



Sumando las señales de salida de los dos estados se tendrá.



El voltaje de CC de salida de un rectificador de media onda, dada una entrada sinusoidal, se puede calcular con las siguientes ecuaciones ideales:

$$V_{DC} = \frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} V_{peak} \sin t dt = \frac{V_{peak}}{\pi}$$

$$V_{peak} = V_p$$

$$V_{peak} = V_{rms} \sqrt{2} \quad V_{DC} = \frac{V_{peak}}{\pi}$$

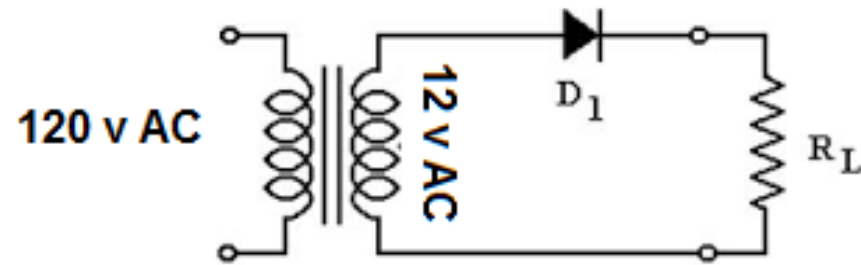
$$\mathbf{V_{DC} = 0.318 \cdot V_p}$$

$$V_p = \sqrt{2} \cdot V_{rms}$$

Si tenemos una entrada en AC de 120 v

$$V_p = \sqrt{2} \cdot 120 = 1.4142 \cdot 120 = 169.7 \text{ v}$$

El voltaje en dc pico será:  $V_{DC} = 0,318 V_p = 169.7 \cdot 0,318 = 53,96 \text{ v}$



$$V_p = V_{RMS} / 0.707$$

$$V_p = 12 / 0.707$$

$$V_p = 16.97 \text{ v}$$

$$-16.97 + V_d + V_L = 0$$

$$V_L = 16.2 \text{ v}$$

$$V_L(dc) = V_L / 3.1416$$

$$V_L(dc) = 5.15 \text{ v}$$

$$I_{dc} = V_L(dc) / R_L \text{ si } R_L = 1 \text{ k}$$

$$I_{dc} = 5.15 / 1 \text{ k} = 5.15 \text{ mA}$$

Por el diodo pasara la misma corriente de la carga y se debe escoger uno con esas carcteristicas de corriente.

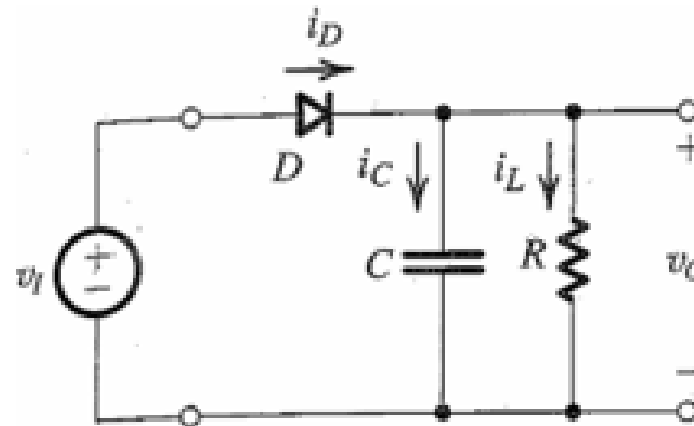
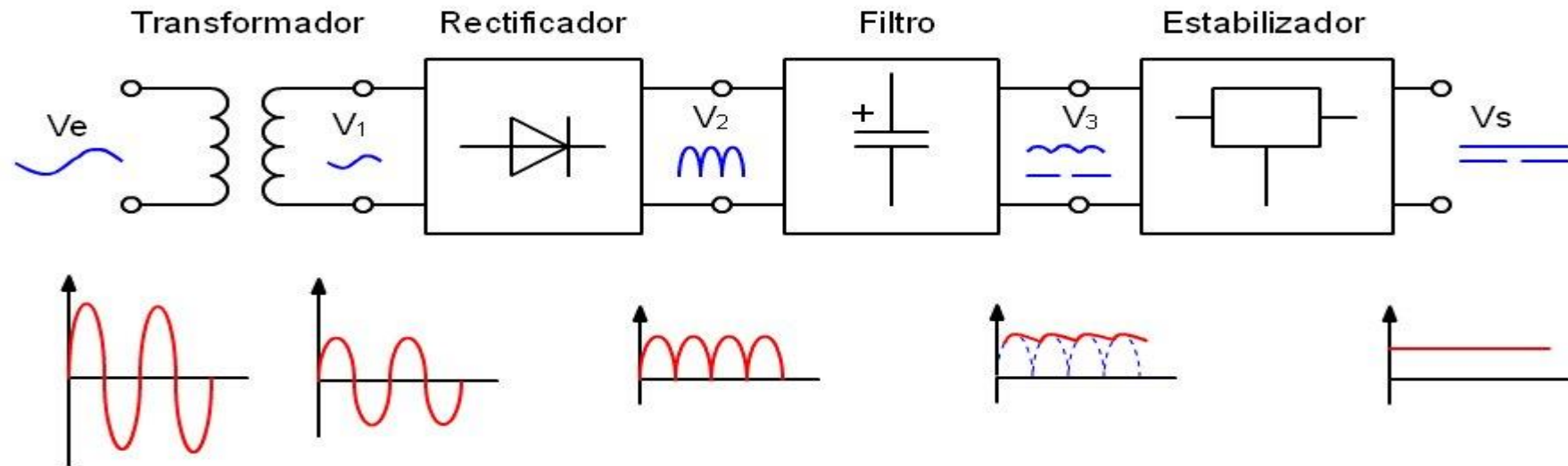
La frecuencia será la misma de la fuente

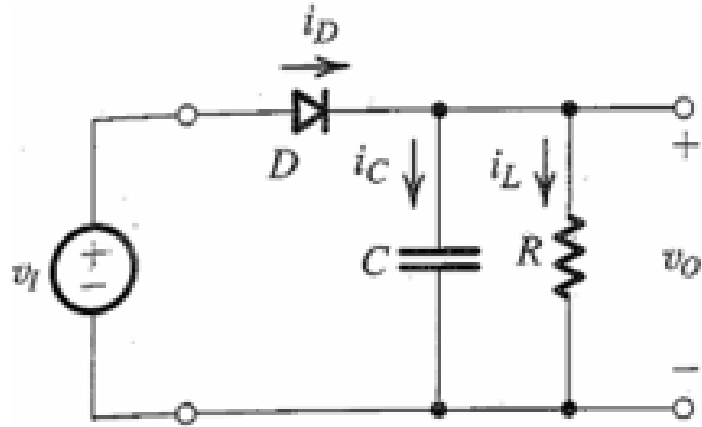
PIV = voltaje pico inverso es el que tendrá el diodo cuando se encuentra abierto

PIV =  $V_p = 16,97 \text{ v}$  este dato lo da el fabricante

## RECTIFICADOR DE MEDIA ONDA CON FILTRO RC

Un circuito RC sirve como filtro para hacer que el voltaje alterno se vuelva directo casi como el de una batería.





-  $V_i + V_d + V_c = 0$  para el calculo se requiere  $V_{pico}$

-  $V_p + V_d + V_c = 0$   $V_p = V_{rms}/0,707$

$V_c = V_{rms}/0,707 - V_d$

$V_{rizado} = 5\%V_p$

$C = I_{dc} / f * v_{rizo}$

$I_{dc}$  es la corriente con la que trabajara la fuente o la que pasa por la carga  $R_L$

Cuando la corriente directa se aplica a un circuito con tan sólo resistencia y capacitancia, el capacitor se cargará al nivel del voltaje aplicado.

Debido a que la corriente directa sólo fluye en una dirección, una vez que el capacitor esté completamente cargado, no fluirá más corriente.

Esta característica permite a los capacitores bloquear el flujo de corriente directa.

## **En los circuitos de AC**

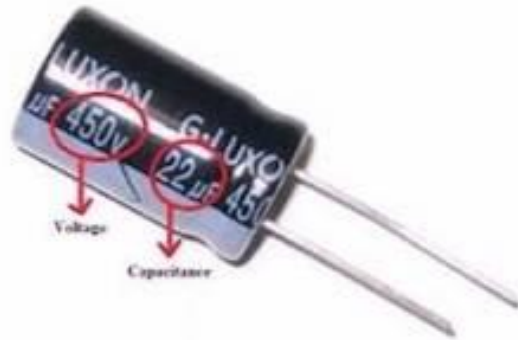
La corriente alterna cambia periódicamente de dirección, cargando el capacitor en una dirección y después en la otra.

Las placas se descargan durante el cambio de dirección, la salida de corriente del capacitor alterna en fase con el voltaje de AC. Así es como se dice que el capacitor deja pasar corriente alterna.

Los capacitores tienen muchos usos en circuitos eléctricos y electrónicos. Pueden ser utilizados en circuitos de acoplamiento, en circuitos de desacoplamiento, circuitos de filtro y en suministradores de potencia para suavizar la señal de salida.

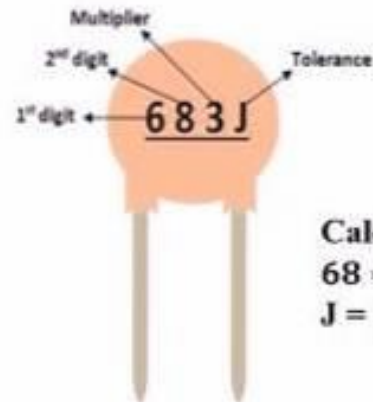
# CAPACITANCE

## Electrolytic Capacitor



MIN VALUE : 0.1  $\mu$ F  
MAX VALUE : 2.7 mF

## Ceramic Capacitor

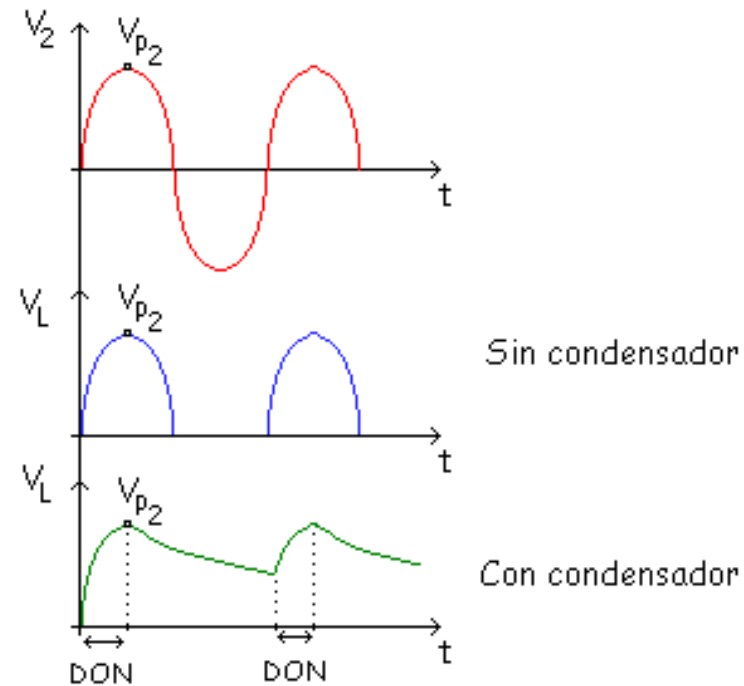


Calculation  
 $68 \times 10^3 \times 10^{-12} = 68\text{nF}$   
J =  $\pm 5\%$

MIN VALUE : 0.1 pF  
MAX VALUE : 100  $\mu$ F

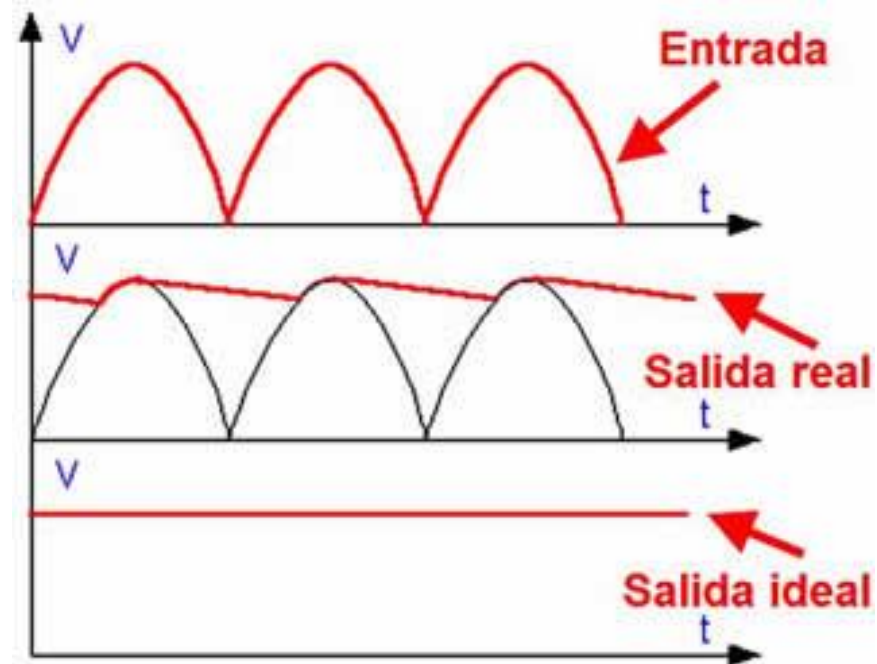
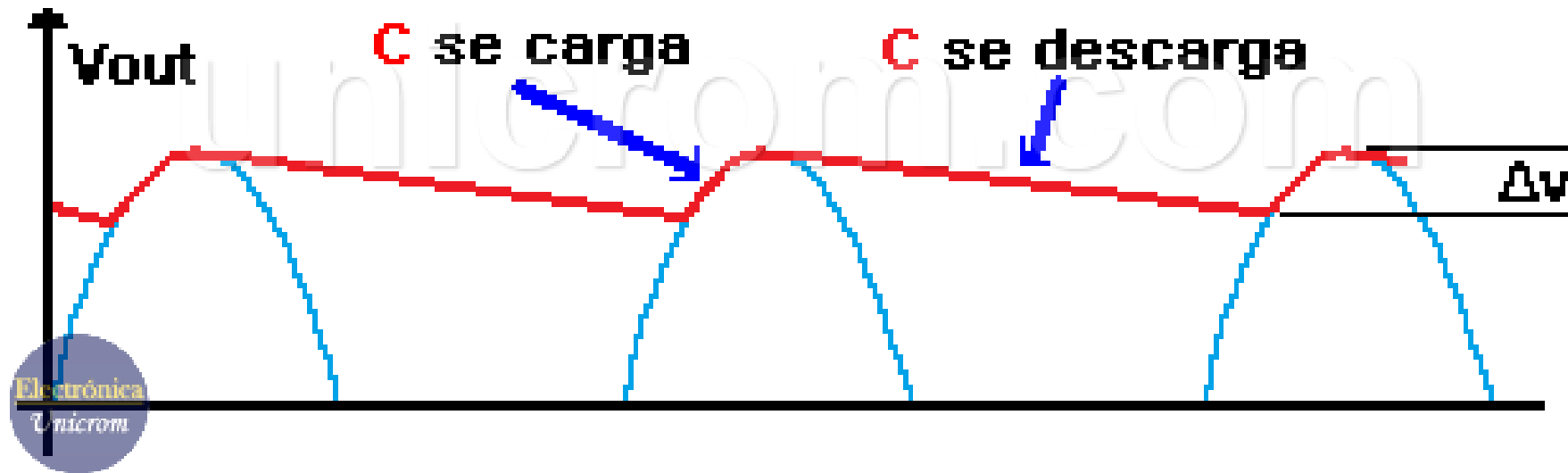


Las ondas que tendríamos con y sin C serán estas, comparadas con la onda del secundario:



Si la C (capacidad) es grande el condensador se descarga más lentamente y tenemos menos tiempo para cargar el condensador, por lo tanto la intensidad de pico del condensador es muy grande.

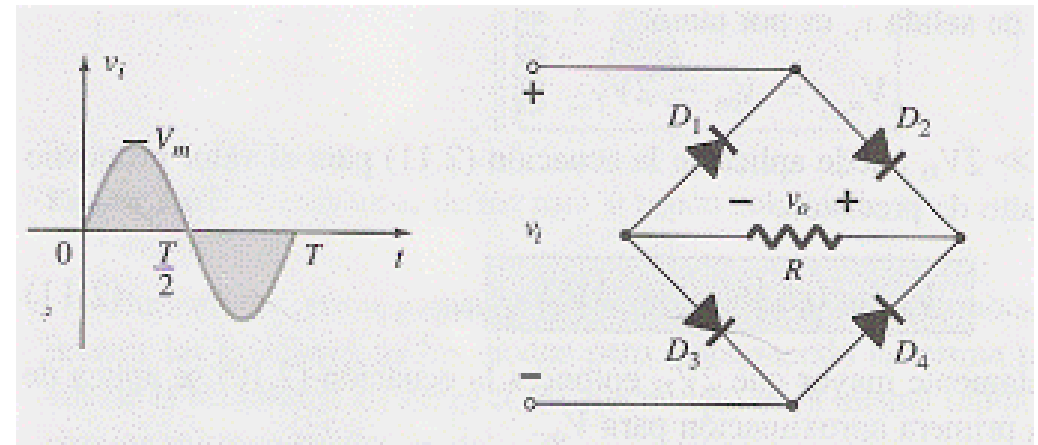
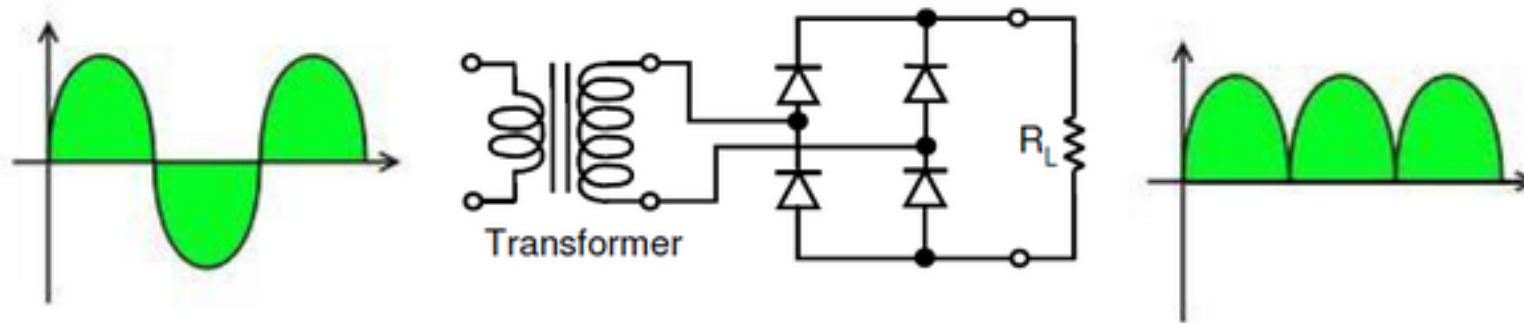
Lo mejor es un C grande



## RECTIFICACIÓN DE ONDA COMPLETA

Un rectificador de onda completa convierte los voltajes positivos y negativos de la forma de onda de entrada en una sola polaridad (positiva o negativa) en su salida.

Cuando se utiliza un transformador simple sin secundario con derivación central, se requieren cuatro diodos en lugar del necesario para la rectificación de media onda.



## GBJ25005 thru GBJ2510 25A Single-Phase Bridge Rectifier Rectifier Reverse Voltage 50 to 1000V

### Features

- This series is UL listed under the Component Index, file number E142814
- Plastic package has Underwriters Laboratory Flammability Classification 94V-0
- High case dielectric strength of 1500VRMS
- Ideal for printed circuit boards
- High surge current capability

### Mechanical Data

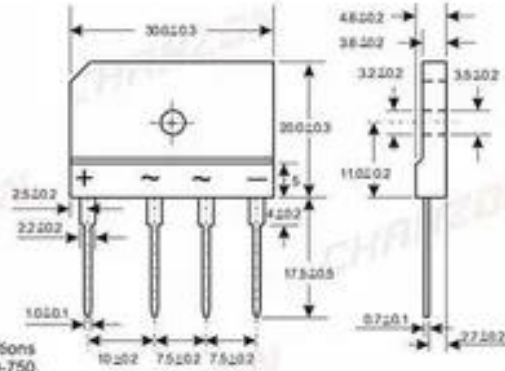
Case : Molded plastic body over passivated junctions  
Terminals : Plated leads, solderable per MIL-STD-750, Method 2026

Polarity : Polarity symbols molded on body

Mounting Position : Any(3)

Mounting Torque : 5 in-lbs max.

Weight : 0.26 ounce, 7.0 grams (approx)



Dimensions in millimeters(1mm = 0.0394")



### Maximum Ratings & Thermal Characteristics

Rating at 25°C ambient temperature unless otherwise specified, Resistive or inductive load, 60 Hz.  
For Capacitive load derate current by 20%.

Parameter	Symbol	GBJ 25005	GBJ 2501	GBJ 2502	GBJ 2504	GBJ 2506	GBJ 2508	GBJ 2510	unit
Maximum repetitive peak reverse voltage	VRRM	50	100	200	400	600	800	1000	V
Maximum RMS bridge input voltage	VRMS	35	70	140	280	420	560	700	V
Maximum DC blocking voltage	VDC	50	100	200	400	600	800	1000	V
Maximum average forward (with heatsink note 1) rectified current at Tc=100°C (without heatsink)	IF(AV)				25.0	4.2			A
Peak forward surge current single sine-wave superimposed on rated load (JEDEC Method)	IFSM				350				A
Rating for fusing ( t<8.3ms)	I <sup>2</sup> t				510				A <sup>2</sup> sec
Typical thermal resistance per element (note 1)	RthJC				1.0				°C / W
Operating junction and storage temperature range	TJ, TSTG				-55 to + 150				°C

### Electrical Characteristics

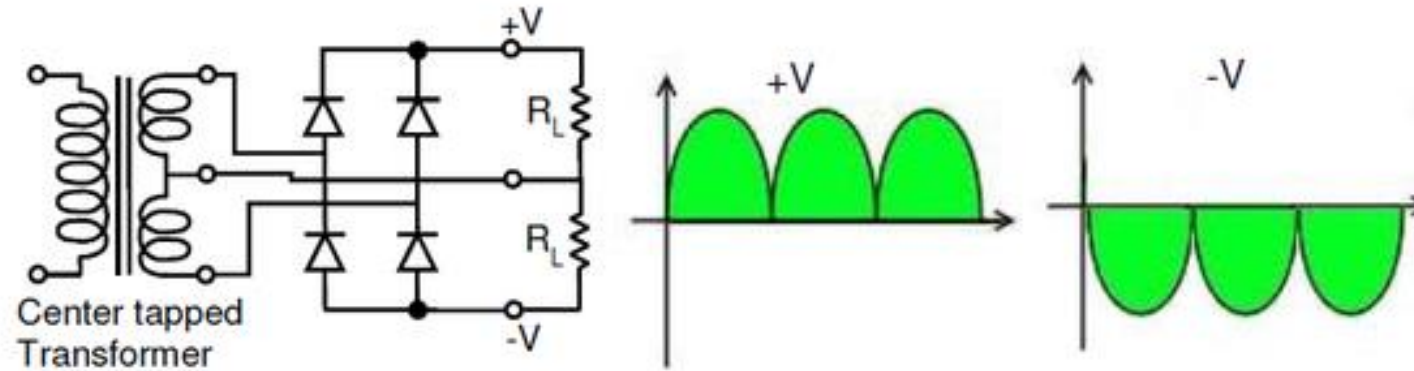
Rating at 25°C ambient temperature unless otherwise specified, Resistive or inductive load, 60Hz.  
For Capacitive load derate by 20 %.

Parameter	Symbol	GBJ 25005	GBJ 2501	GBJ 2502	GBJ 2504	GBJ 2506	GBJ 2508	GBJ 2510	Unit
Maximum instantaneous forward voltage drop per leg at 12.5 A	VF				1.05				V
Maximum DC reverse current at rated TA = 25°C DC blocking voltage per element TA = 125°C	IR				10.0	500			μA

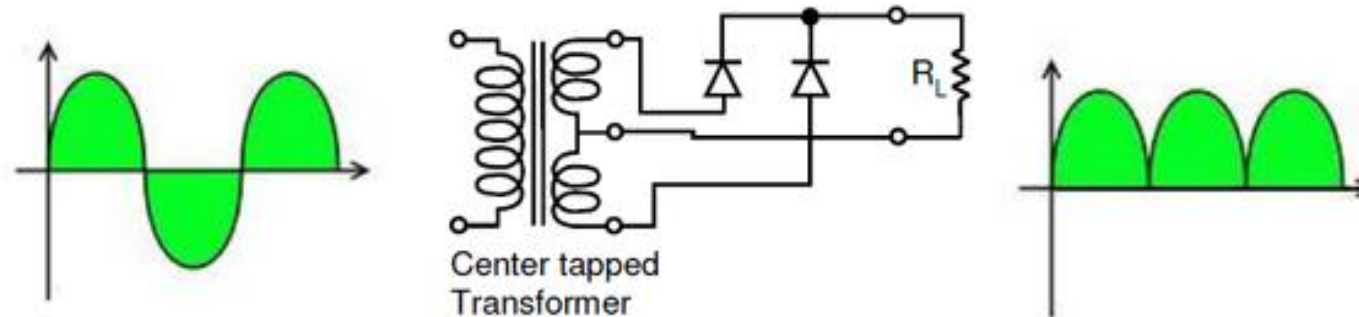
Notes: (1) Device mounted on 250mm x 250mm x 20mm aluminum plate heatsink.



Rectificador de onda completa de doble polaridad que utiliza un transformador con toma central y 4 diodos

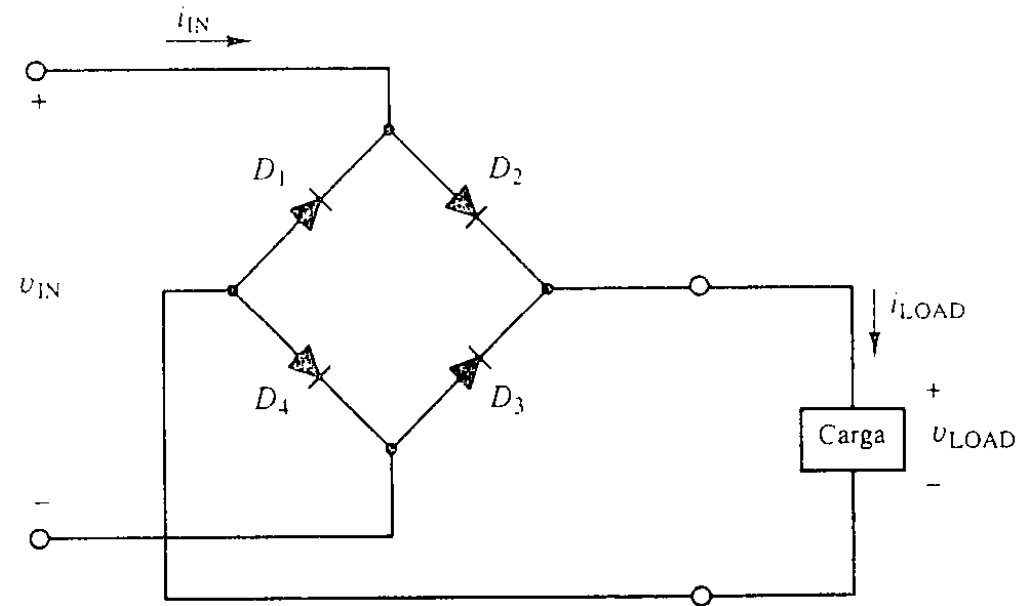


Rectificador de onda completa que utiliza un transformador con toma central y 2 diodos



# RECTIFICACIÓN DE ONDA COMPLETA

## Puente de diodos

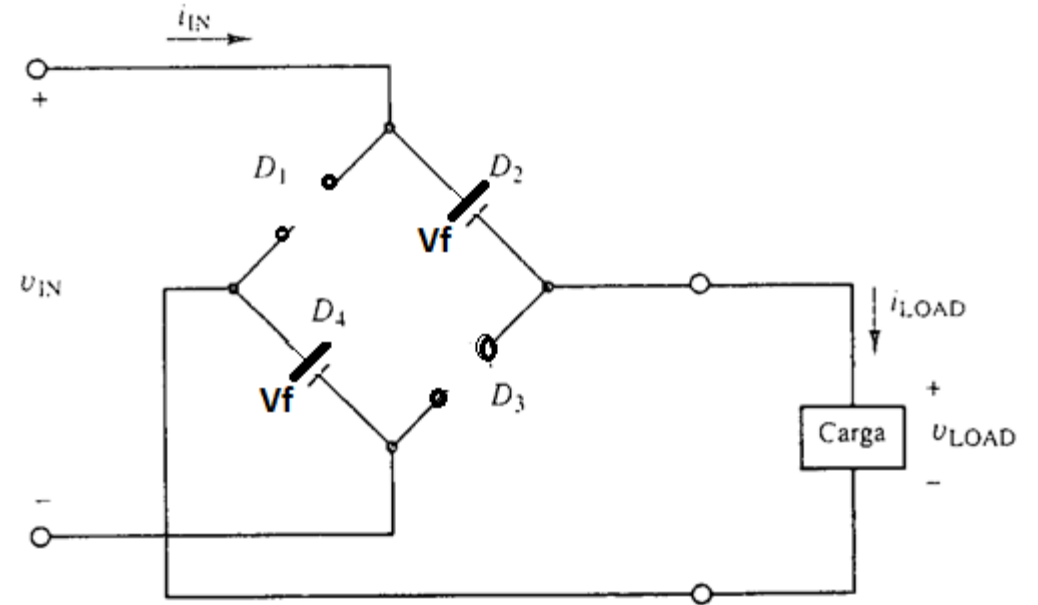
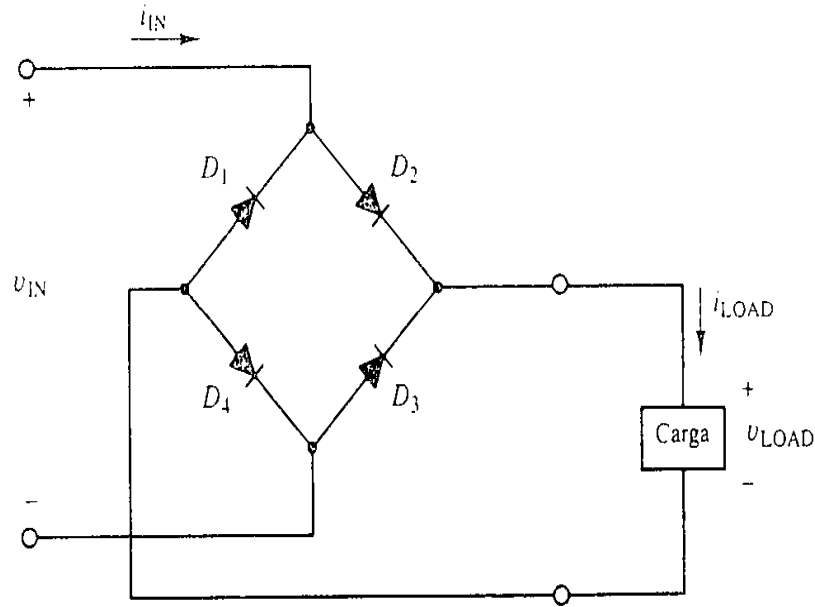


## Ciclo Positivo

La corriente sale de  $V_i$  y al llegar al nodo, allí se divide en una corriente que va hacia  $D_2$ , donde se encuentra el ánodo de dicho diodo y lo enciende. Recuerde que el diodo encendido se comporta como una fuente en DC con valor de  $V_f$ .

La otra corriente sale hacia  $D_1$  y se encuentra con un cátodo, no permitiendo el paso de esta corriente y convirtiendo el nodo en un circuito abierto.

La corriente que sale de  $D_2$  sigue su curso hasta el siguiente nodo y una parte de ella va hacia  $D_3$  y se encuentra con un cátodo el cual no permite el paso de esta y dicho nodo se comporta como un circuito abierto.

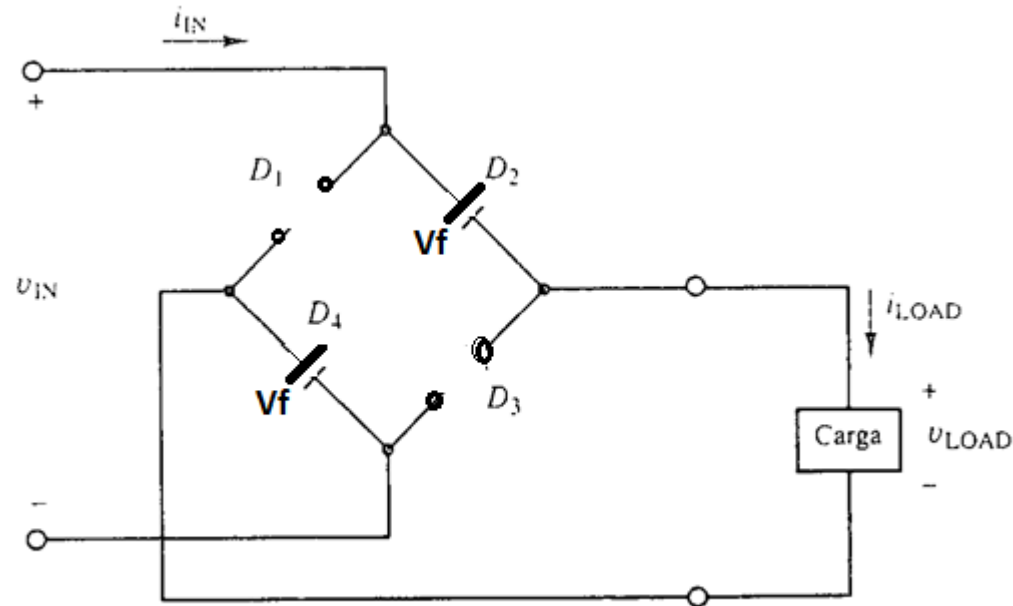


## Ciclo Positivo

La otra corriente sale del nodo hacia la carga y llega hasta el siguiente nodo.

Cuando llega encuentra que un ramal está abierto "D1" y el otro encuentra el ánodo del diodo D4, encendiéndolo y convirtiéndolo en una fuente en DC con valor de  $V_f$ .

La corriente sale de D4 y retorna a la fuente.



Recuerda que  $V_i$  debe ser mayor a  $2V_f$  para que se enciendan los diodos D2 y D4.

$$- V_i + V_f + V_{load} + V_f = 0$$

$$- V_i + V_{load} + 2V_f = 0$$

$$V_{load} = V_i - 2V_f$$

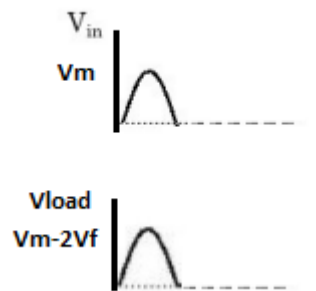
Si  $V_i = 20 \cdot \sin(\omega t)$ ,  $V_i$  varía entre 1,4, 20 y 1,4 de bajada

$$V_{load} = V_i - 2V_f$$

$$V_{load} = 1,4 - 2 \cdot 0,7 = 0 \text{ V}$$

$$V_{load} = 20 - 2 \cdot 0,7 = 18,6 \text{ V}$$

$$V_{load} = 1,4 - 2 \cdot 0,7 = 0 \text{ V}$$



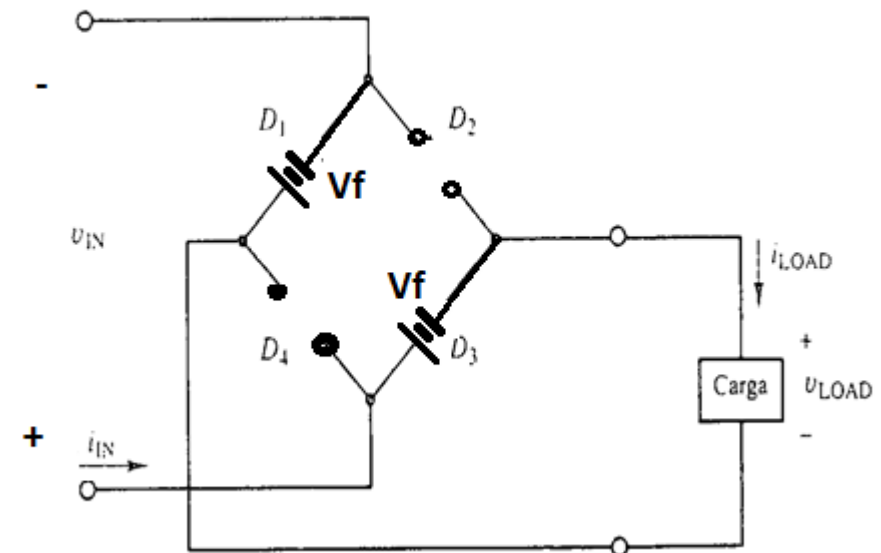
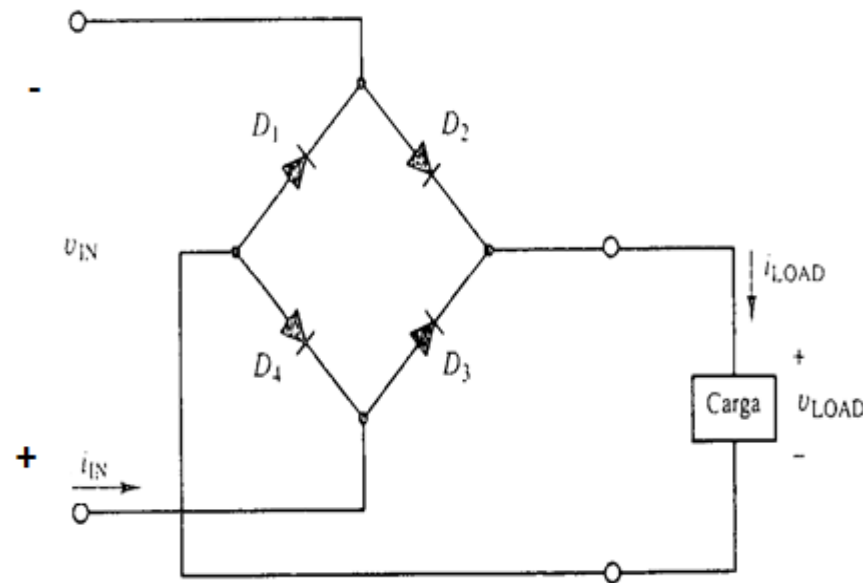


## Ciclo Negativo

En el ciclo negativo se invierte la polaridad de la fuente. La corriente sale de  $V_i$  por su polaridad positiva y al llegar al nodo, allí se divide en una corriente que va hacia  $D_3$ , donde se encuentra el ánodo de dicho diodo y lo enciende y el diodo encendido se comporta como una fuente en DC con valor de  $V_f$ .

La otra corriente sale hacia  $D_4$  y se encuentra con un cátodo, no permitiendo el paso de esta corriente y convirtiendo el nodo en un circuito abierto.

La corriente que sale de  $D_3$  sigue su curso hasta el siguiente nodo y una parte de ella va hacia  $D_2$  y se encuentra con un cátodo el cual no permite el paso de esta y dicho nodo se comporta como un circuito abierto.

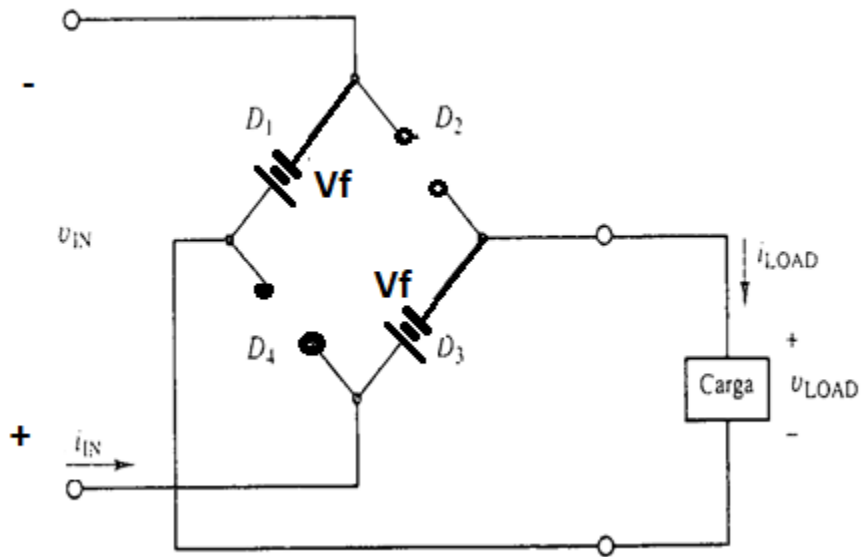


## Ciclo Negativo

La otra corriente sale del nodo hacia la carga y llega hasta el siguiente nodo.

Cuando llega encuentra que un ramal está abierto "D4" y el otro encuentra el ánodo del diodo D1, encendiéndolo y convirtiéndolo en una fuente en DC con valor de  $V_f$ .

La corriente sale de D1 y retorna a la fuente.



Si  $V_i = 20 \cdot \text{Sen}(\omega t)$ ,  $V_i$  varía entre -1,4, -20 y -1,4 de subida

$$V_{\text{load}} = -V_i - 2V_f$$

$$V_{\text{load}} = -(-1,4) - 2 \cdot 0,7 = 0 \text{ v}$$

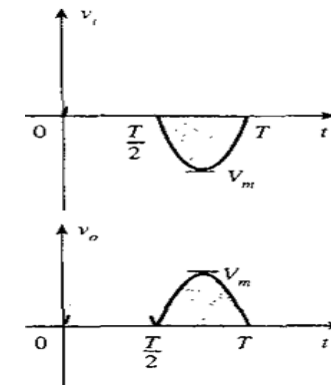
$$V_{\text{load}} = -(-20) - 2 \cdot 0,7 = 18,6 \text{ v}$$

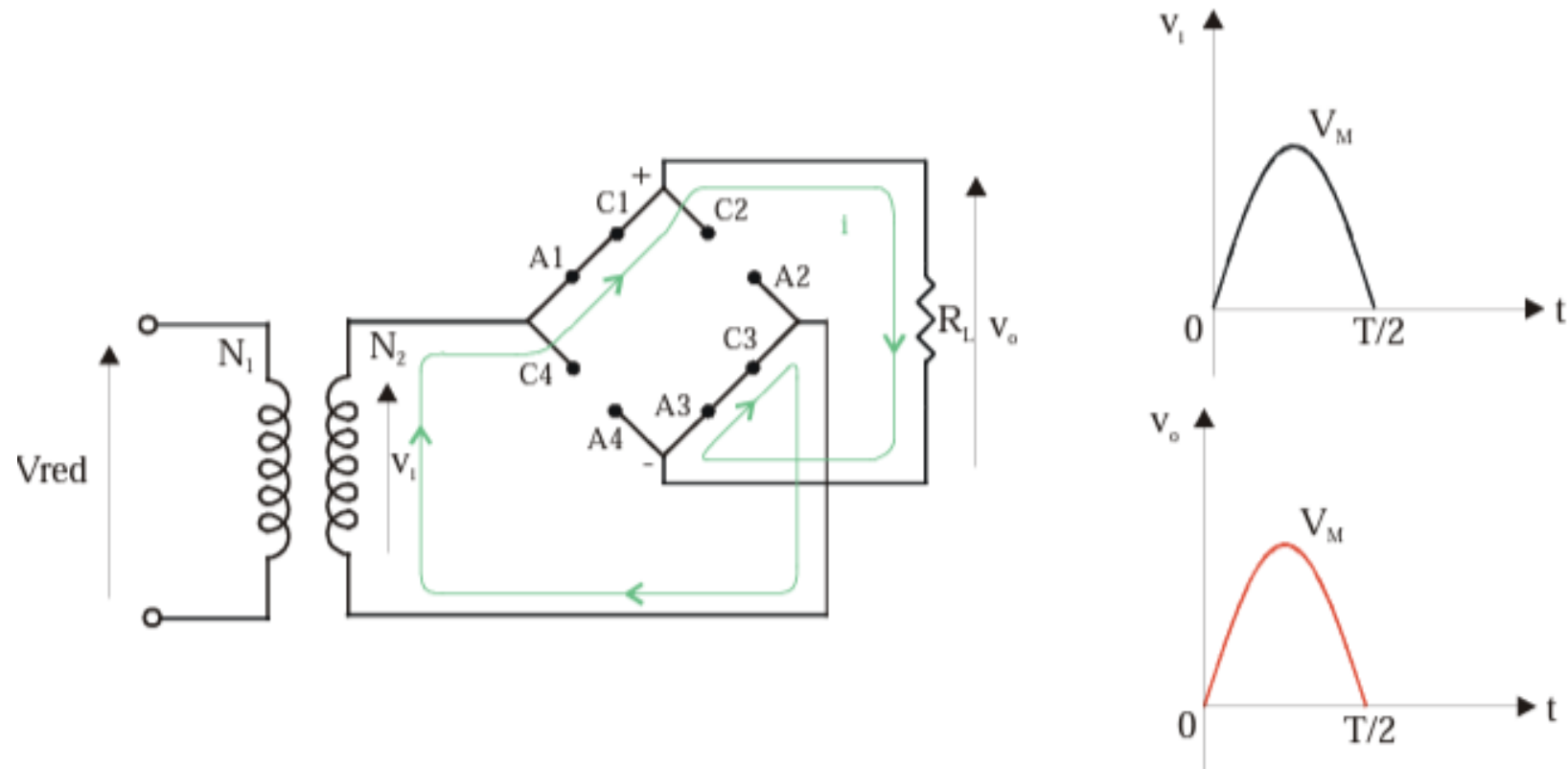
$$V_{\text{load}} = -(-1,4) - 2 \cdot 0,7 = 0 \text{ v}$$

$V_i - V_f - V_{\text{load}} - V_f = 0$  como la  $i_{\text{load}}$  va en sentido contrario

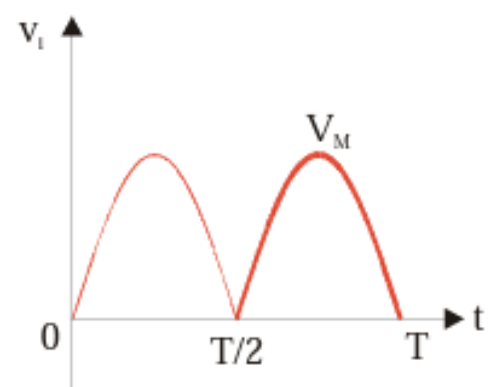
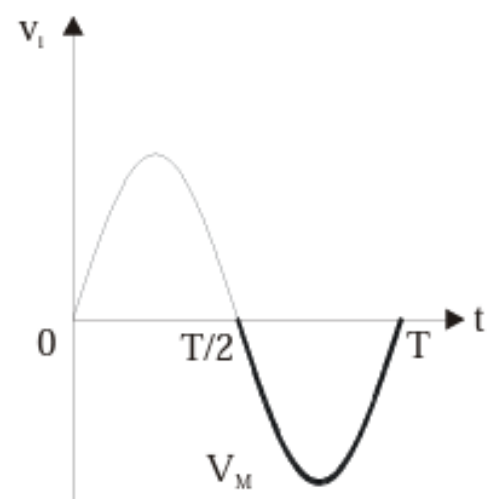
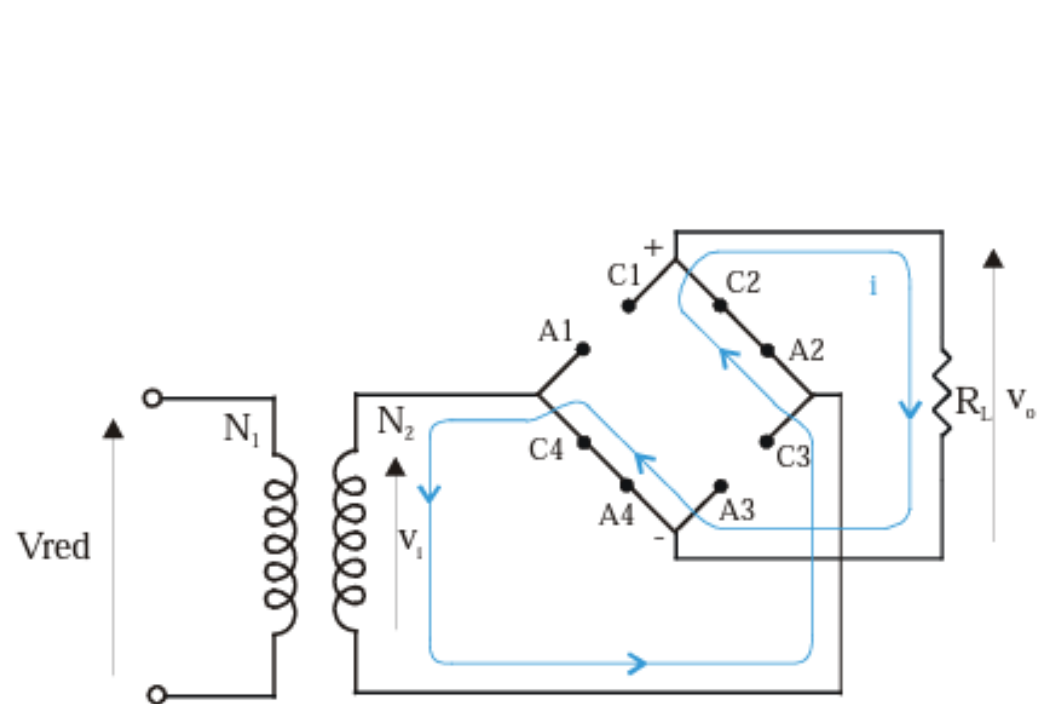
$$V_i - V_f + V_{\text{load}} - V_f = 0$$

$$V_{\text{load}} = -V_i - 2V_f$$





Para este caso  $v_o = v_i$



Para este caso  $v_o = -v_i$

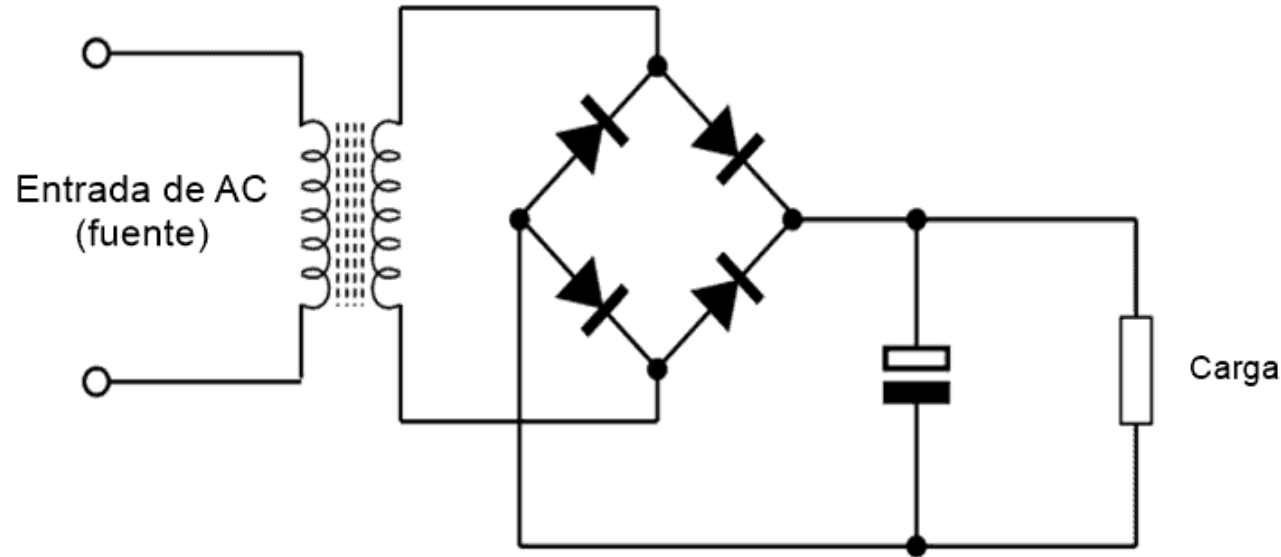
## **SUAVIZADO DE SALIDA DEL RECTIFICADOR**

En una fuente de alimentación en DC, que utiliza una fuente de entrada de AC y rectificadores de diodo, la salida rectificada en bruto se suaviza normalmente utilizando un condensador antes de aplicarla a cualquier regulador u otro circuito electrónico similar.

Los condensadores electrolíticos de aluminio son ideales para actuar como condensadores de suavizado.

Básicamente, el circuito de suavizado rellena las principales caídas de la forma de onda rectificada en bruto para que el regulador lineal o los circuitos de la fuente de alimentación conmutada puedan funcionar correctamente.

## SUAVIZADO DE SALIDA DEL RECTIFICADOR



$$V_{rizado} = 0,5 * 16,97 = 8,48 \text{ v}$$

$$V_L(dc) = 16,97 / 3,1416 = 4,50 \text{ v}$$

$$I_{dc} = V_L(dc) / R_L$$

La frecuencia se duplica en un rectificador de onda completa debido a los dos semiciclos  $f_2 = 2f_1$

$$V_c = V_{rms} / 0,707 - 2V_f = V_p - 1.4$$

$$V_{rizado} = 5\% V_p$$

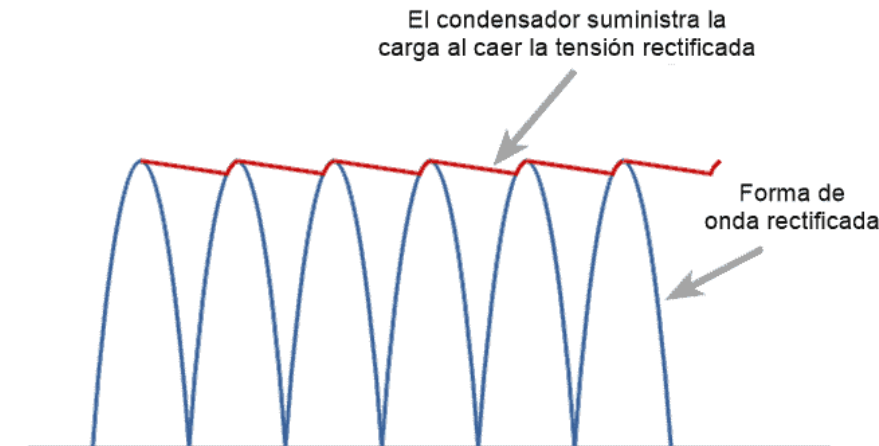
$$C = I_{dc} / f * V_{rizo}$$

$$V_{load} = V_i - 2V_f$$

$$V_{load} = V_p - 2V_f$$

$$V_{load} = 12 / 0,707 - 2 * 0,7 = 16,97 \text{ v}$$

$$V_c = V_{load} = 16,97 \text{ v}$$



## Consideraciones de diseño del capacitor

La capacidad del condensador se puede calcular a partir del porcentaje de rizado, como:

$$C = \frac{100}{2 \cdot f \cdot R_C \cdot P_r (\%)} \quad (\text{para media onda})$$
$$C = \frac{100}{4 \cdot f \cdot R_C \cdot P_r (\%)} \quad (\text{para onda completa})$$

También es recomendable colocar un pequeño condensador, entre 10 y 100 nF, en paralelo con el considerado como filtro, para eliminar las altas frecuencias (parásitos de red, ruido eléctrico, interferencias, etc.),

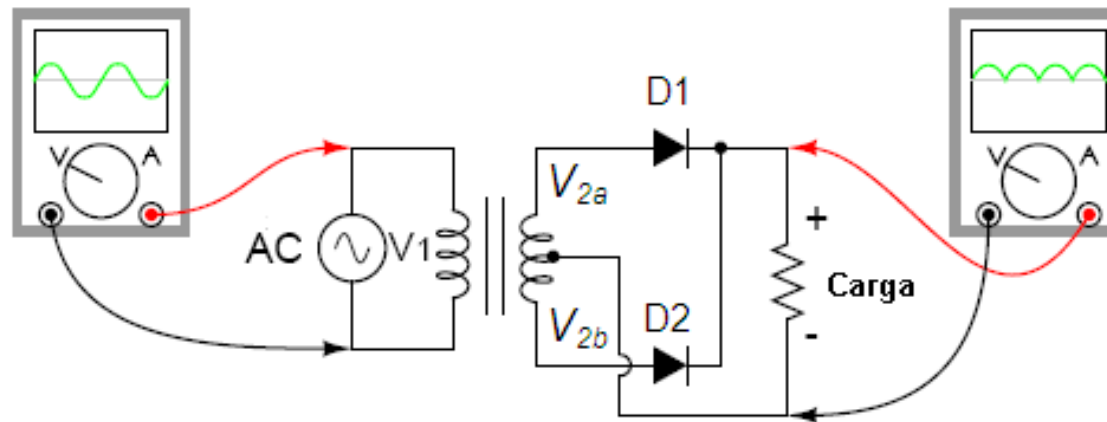
### Ejemplo

¿Qué valor debe tener un condensador de filtro que forma parte de una fuente de alimentación con rectificador de media onda, cuya carga es de 1k Y el porcentaje de rizado menor de 5%?

$$C = \frac{100}{2 \cdot f \cdot R_C \cdot P_r (\%)} = \frac{100}{2 \cdot 50 \cdot 1 \cdot 10^3 \cdot 5} = 200 \mu F$$

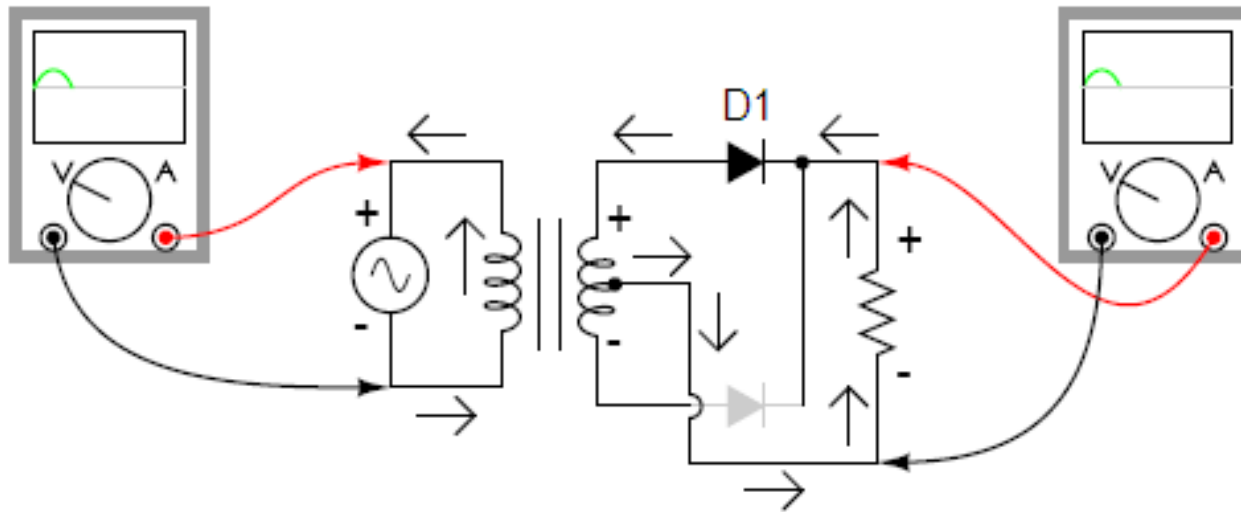
## RECTIFICADOR DE ONDA COMPLETA CON TAP CENTRAL

La peculiaridad de este circuito estriba en la necesidad de disponer de dos tensiones de entrada ( $V_{2a}$  y  $V_{2b}$ ) de igual amplitud, pero desfasadas  $180^\circ$ ; este propósito generalmente se consigue empleando un *transformador con toma central* y haciendo de ésta la tierra o punto de referencia.

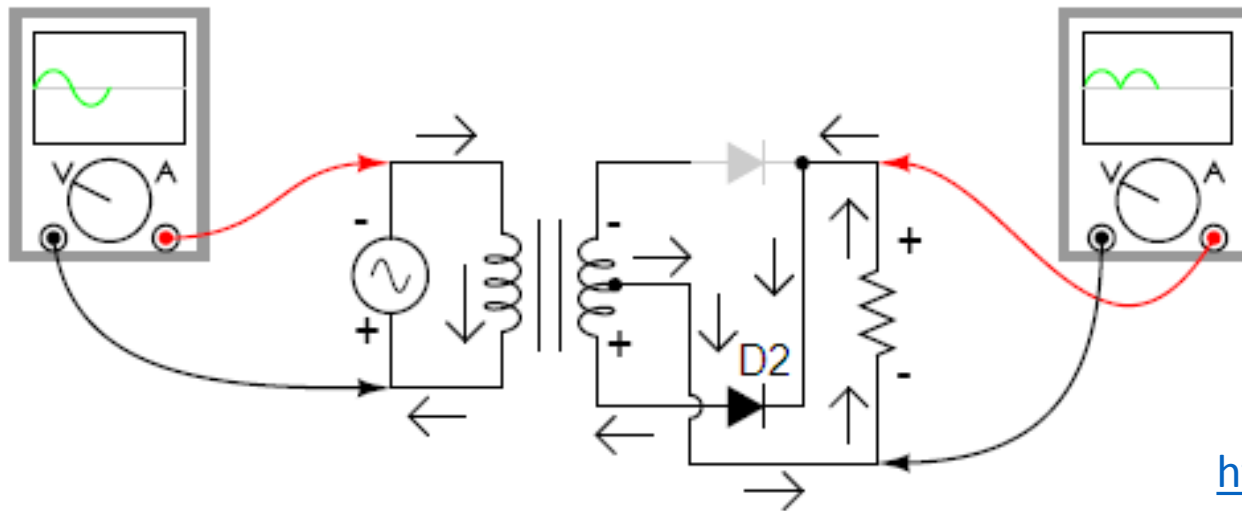


Durante los semiciclos positivos de la tensión de entrada,  $V_{2a}$  es positiva y  $V_{2b}$  es negativa. Por tanto, conduce el diodo D1. Durante los semiciclos negativos,  $V_{2a}$  es negativa y  $V_{2b}$  es positiva. Por tanto, conduce el diodo D2.





a)



b)

El voltaje de CC pulsante, obtenido a la salida del rectificador de onda completa tiene una frecuencia (f) igual al doble de la tensión de la red. es decir 120Hz, y una amplitud igual al valor pico ( $V_p$ ) de la tensión en el secundario.

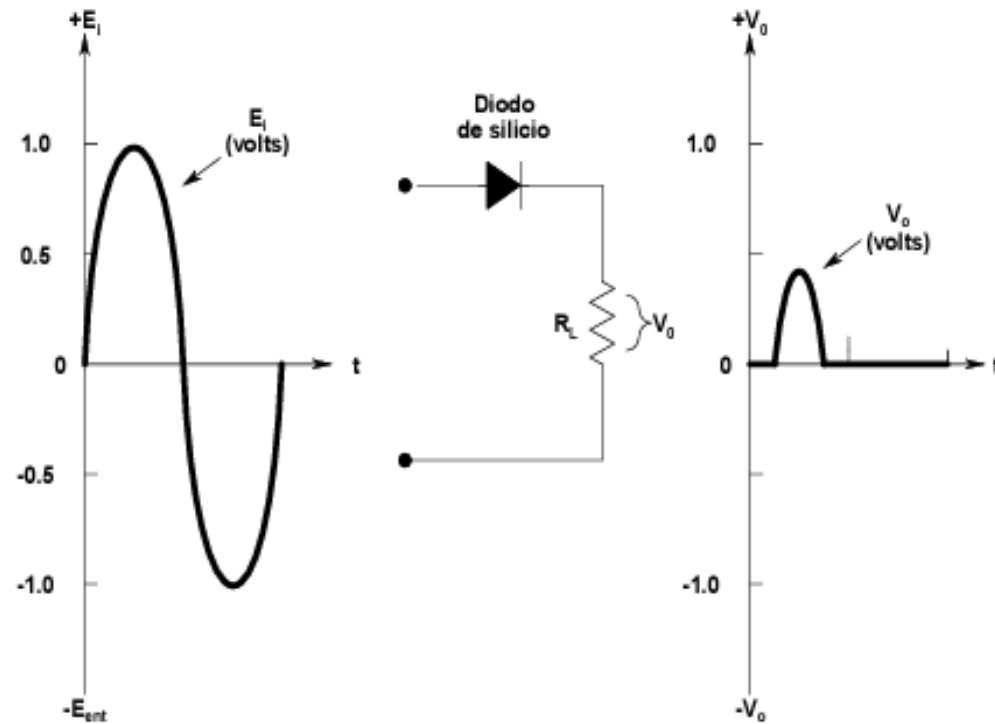
$$V_{CC} = \frac{2V_P}{\pi} = 0.636 \cdot V_P$$

$$V_{CC} = 0.636 \cdot V_P$$

[https://repository.unad.edu.co/reproductor-ova/10596\\_23273/contenido.html](https://repository.unad.edu.co/reproductor-ova/10596_23273/contenido.html)

## RECTIFICADORES DE PRECISIÓN

La principal limitación de los diodos de silicio comunes es que no son capaces de rectificar voltajes por debajo de 0.6 V. Por ejemplo, en la figura se muestra que  $V_o$  no responde a entradas positivas inferiores a 0.6 V, para el caso de un rectificador de media onda construido con un diodo de silicio ordinario.



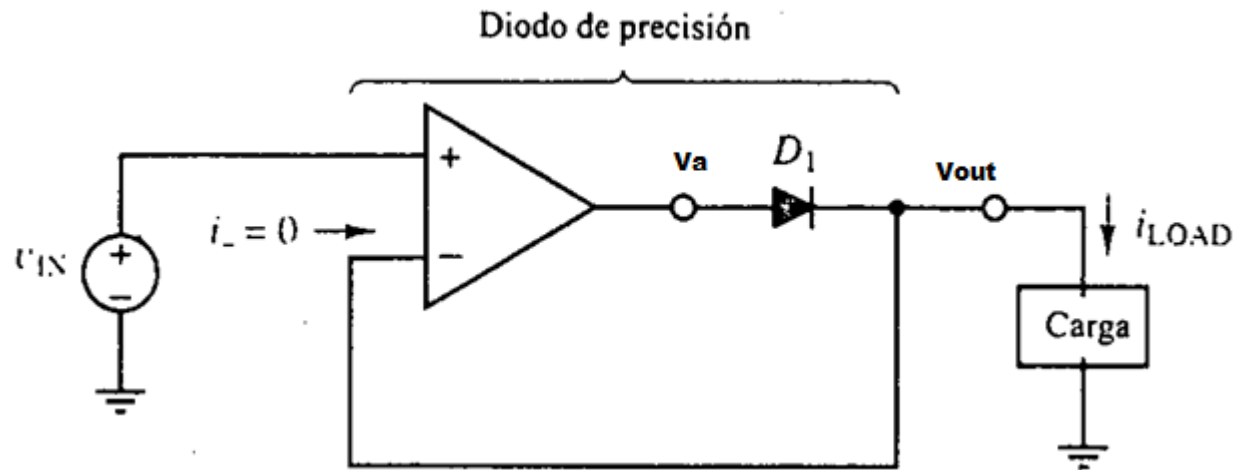
Los amplificadores operacionales de precisión se utilizan principalmente entre sensores como los calibradores de tensión, transductores piezoeléctricos ultrasónicos y fotodetectores para capturar las señales de salida sin cargar la salida del transductor.

Por lo tanto, los amplificadores operacionales transmiten con precisión esa señal condicionada al resto de la cadena de señal analógica, la cual generalmente concluye con un convertidor de analógico a digital (ADC).

Entre las aplicaciones de los rectificadores lineales de media onda y de onda completa de precisión figuran:

1. Detección de señales de amplitud modulada.
2. Circuitos de zona muerta.
3. Circuitos recortadores o de límite preciso.
4. Interruptores de corriente.
5. Formadores de onda.
6. Indicadores de valor pico.
7. Circuitos de muestreo y retención.
8. Circuitos de valor absoluto
9. Circuitos promediadores
10. Detectores de polaridad de señal
11. Convertidores de ca a cd

# Rectificador de media onda de precisión



Si  $V_i > 0$   $D_1$  ON debido a que

$$V_a - V_{out} - V_f = 0$$

$$V_{out} = V_a - V_f$$

$$\text{Como } V_a = A(V_+ - V_-)$$

$$V_+ = V_i \quad V_- = V_{out}$$

$$V_a = A(V_i - V_{out})$$

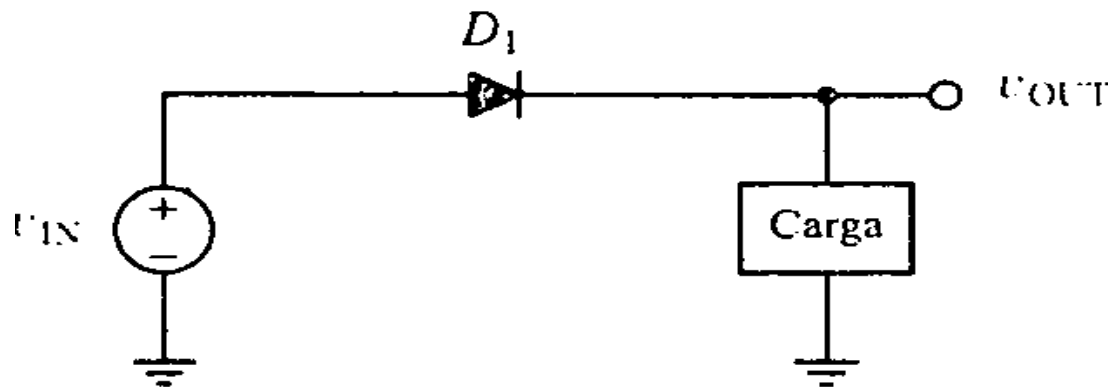
$$V_{out} = A(V_i - V_{out}) - V_f$$

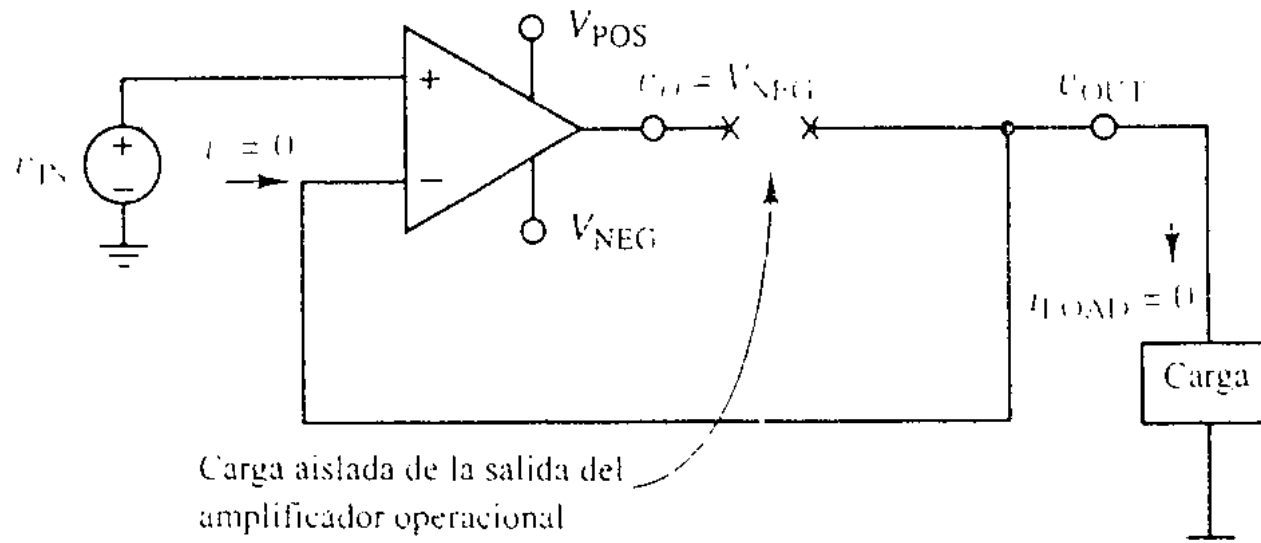
$$V_{out}(1+A) = AV_i - V_f$$

$$V_{out} = AV_i / (1+A) - V_f / (1+A)$$

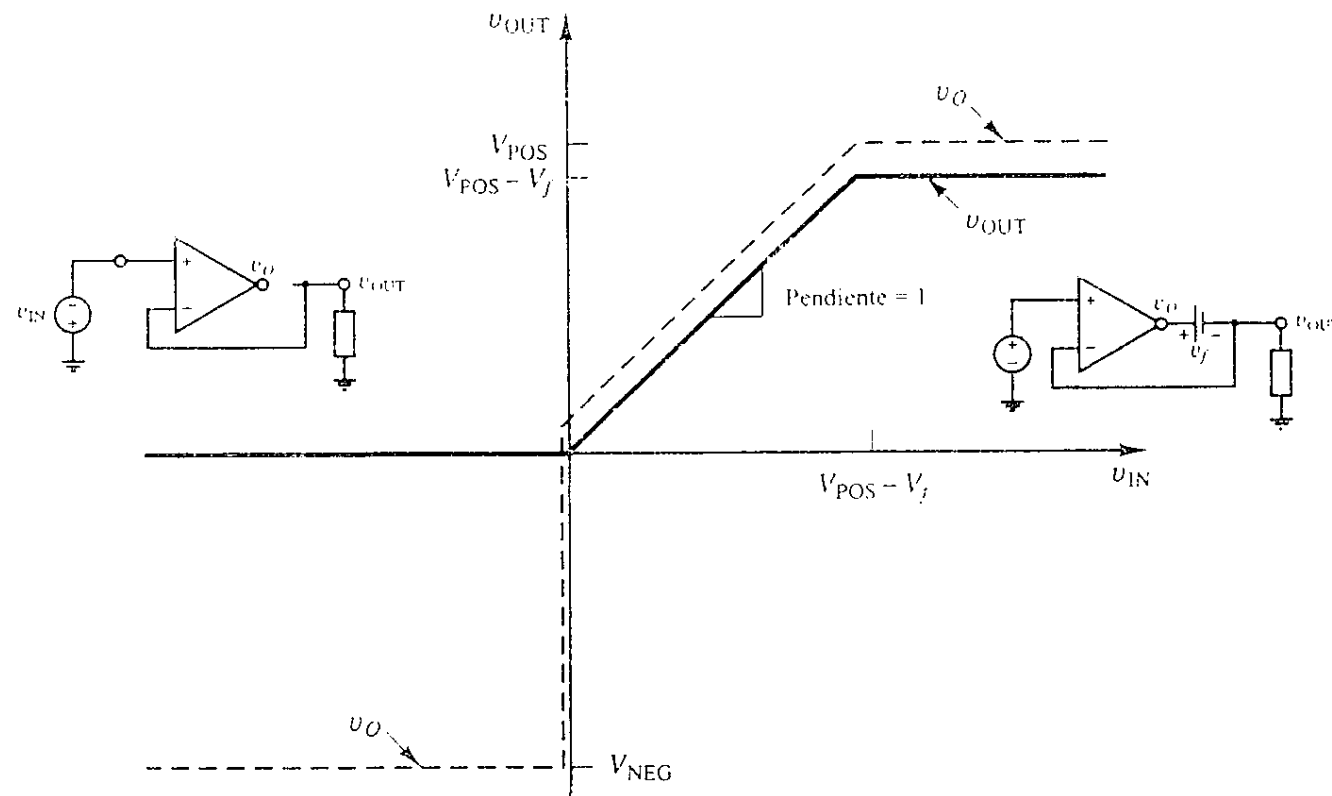
$$V_{out} = V_i - V_f/A \quad A \text{ muy grande}$$

$$V_{out} = V_i$$



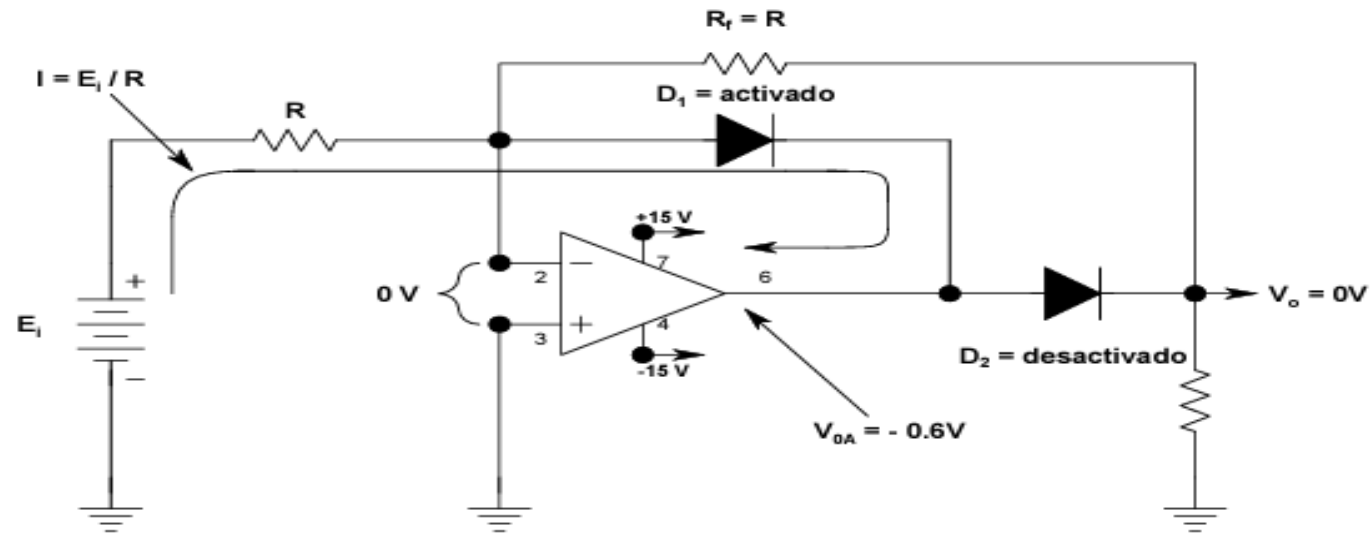


Si  $V_i < 0$  D1 OFF  
 Al no circular  
 corriente hacia el  
 terminal negativo  
 del amp op,  
 $V_{out} = 0$

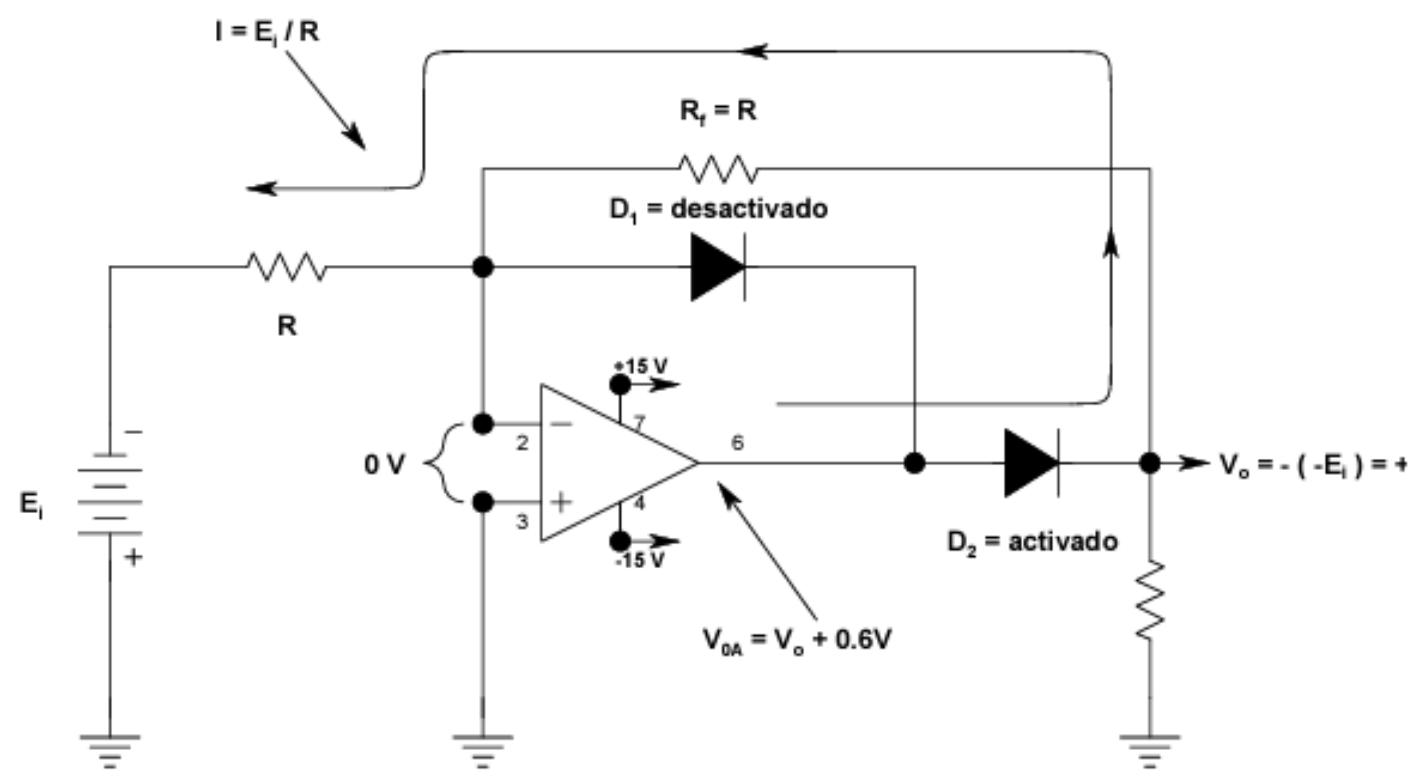


## Rectificador inversor de media onda lineal con salida positiva

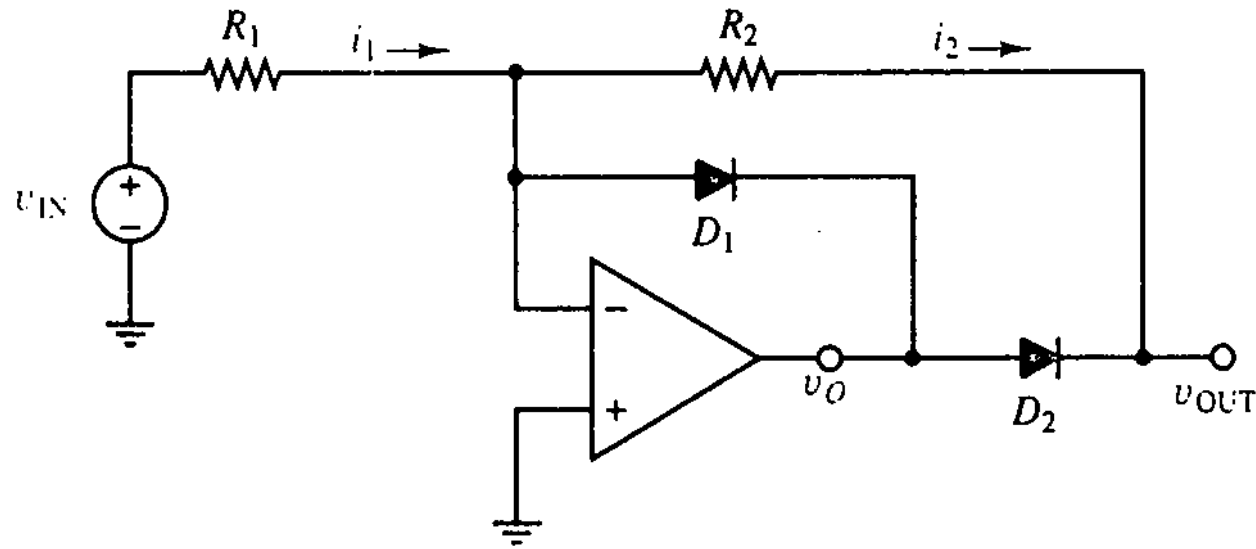
Cuando  $E_i$  es positivo, el diodo  $D_1$  conduce, con lo que el voltaje de salida del amplificador operacional, VOA, se vuelve negativo en una caída de voltaje de un diodo ( $\approx 0.6\text{ V}$ ). Lo anterior polariza inversamente al diodo  $D_2$ . El voltaje de salida del circuito  $V_o$  es igual a cero debido a que la corriente de entrada  $I$  fluye a través de  $D_1$ . Para propósitos prácticos, no fluye corriente por  $R_f$  y, por lo tanto,  $V_o = 0$ . Observe que la carga se modela por medio de una resistencia  $R_L$ , la cual siempre deberá ser resistiva. Si la carga es un capacitor, un voltaje o una fuente de corriente,  $V_o$  no es igual a cero.



(a) La salida  $V_o$  está limitada a  $0\text{ V}$  para todos los voltajes de entrada positivos.



## Rectificador de media onda de precisión modificado con ganancia



$$v_{OUT} = -\frac{R_2}{R_1} v_{IN}$$

Cuando  $v_{IN}$  es positiva, el diodo  $D_1$  tiene polarización directa, cerrando así el lazo de retroalimentación

$$v_O = -V_f.$$

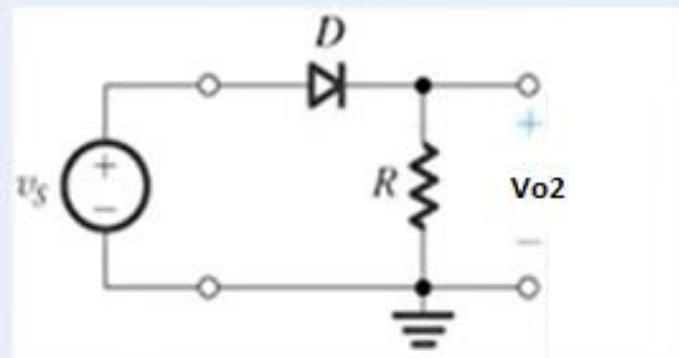
$D_2$  pasa a estar en polarización inversa, cortándose la conexión entre  $v_O$  y  $v_{OUT}$

cuando  $v_{IN}$  es negativo  $v_O$  se hace positiva, dándole polarización inversa a  $D_1$  directa

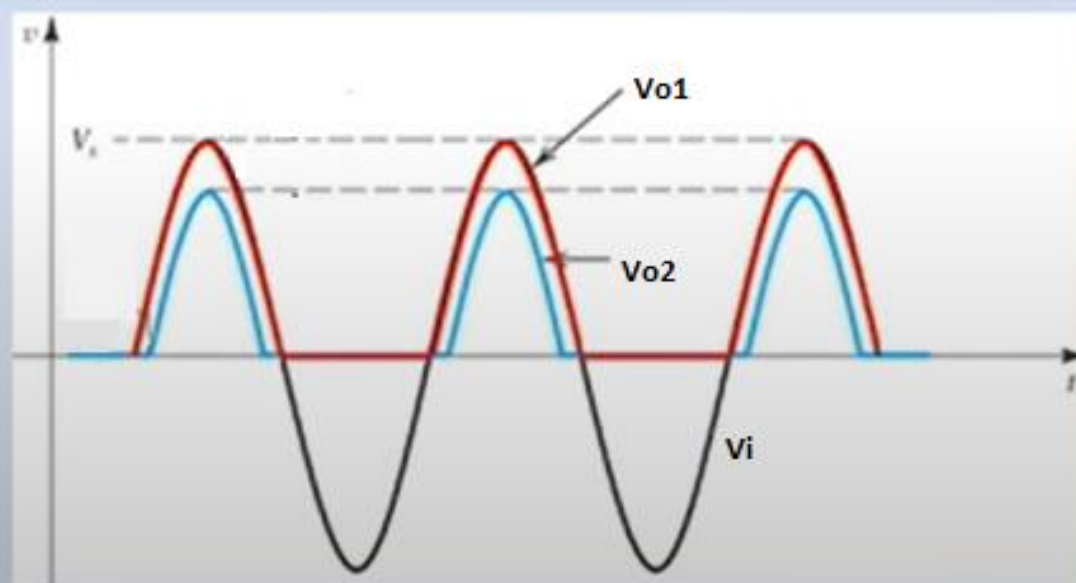
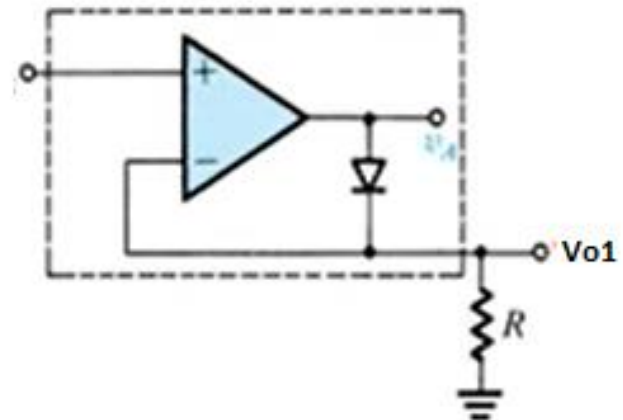
$D_2$ , y cerrando el lazo alterno de retroalimentación a través de  $R_2$ .



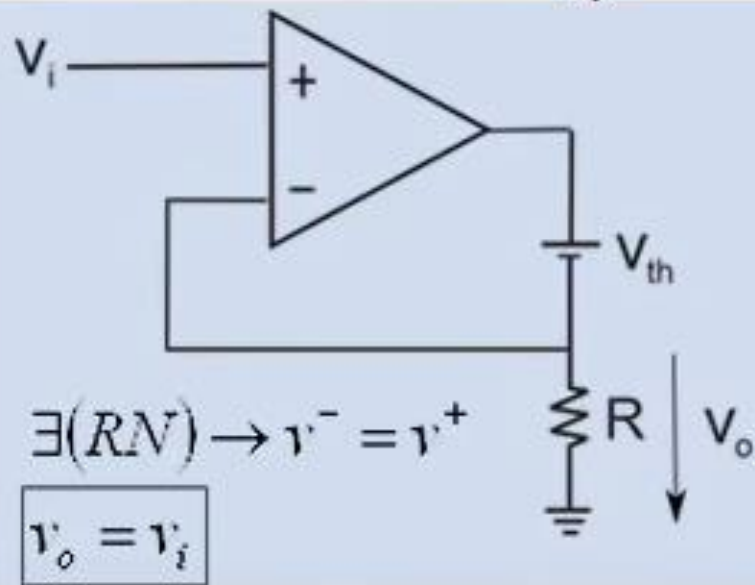
Rectificador de media onda



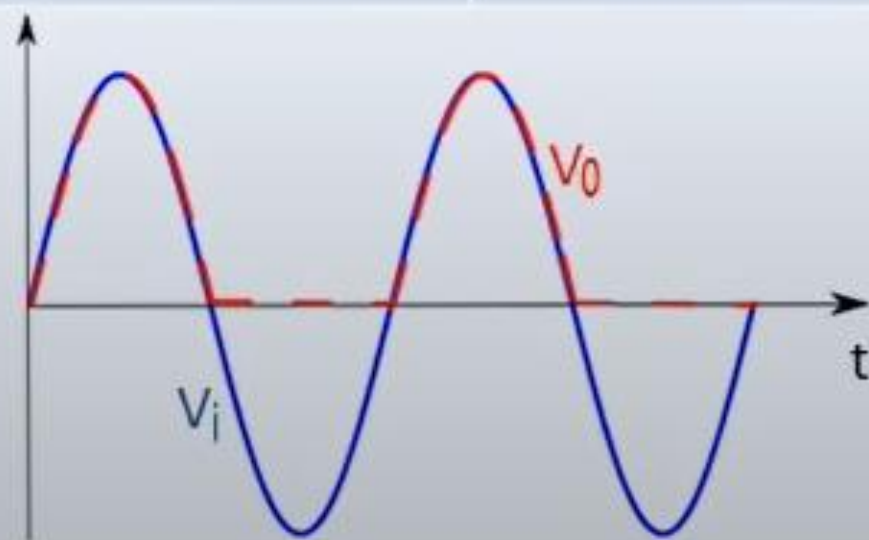
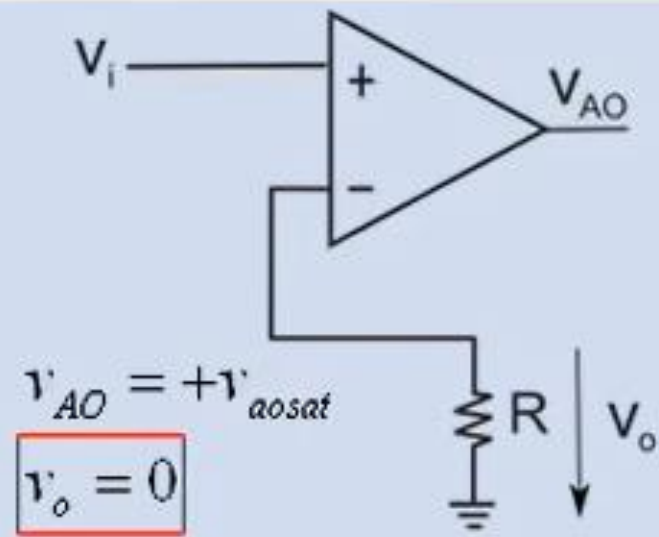
Rectificador de precisión media onda



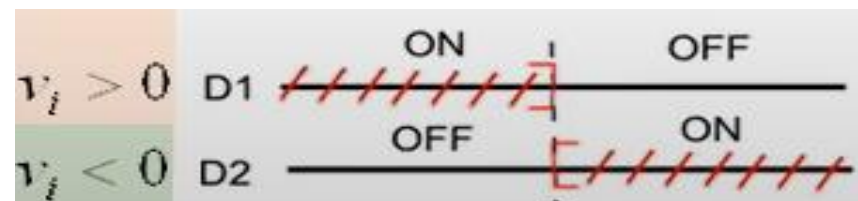
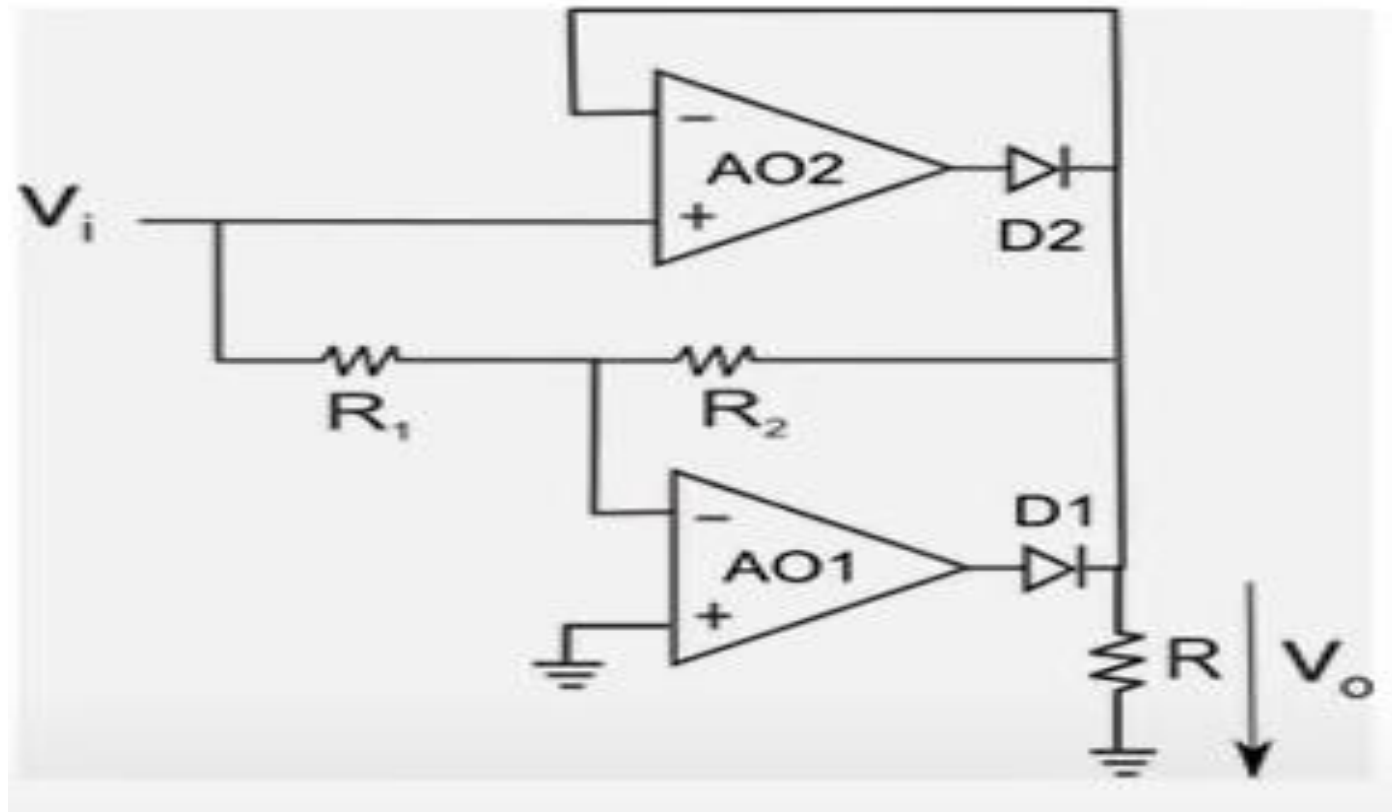
$v_i > 0$  D ON



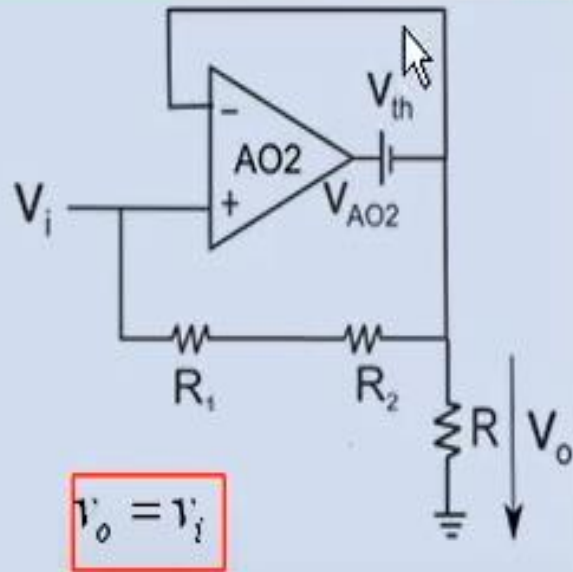
$v_i < 0$  D OFF



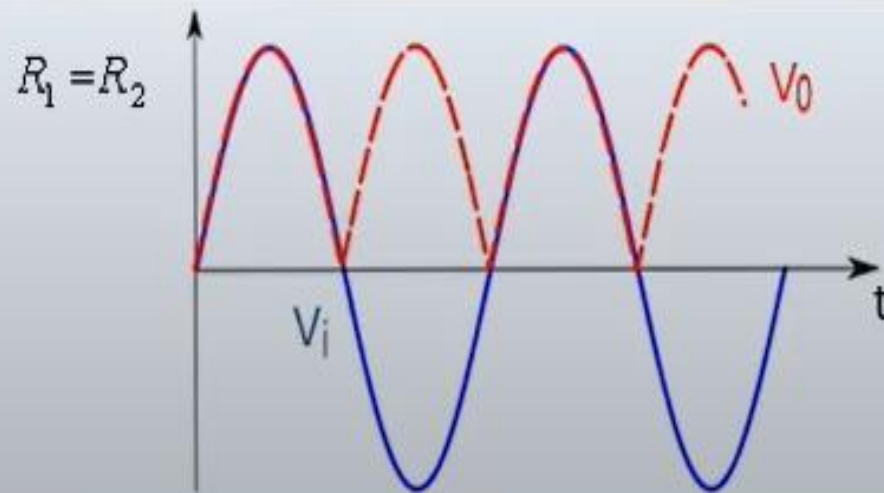
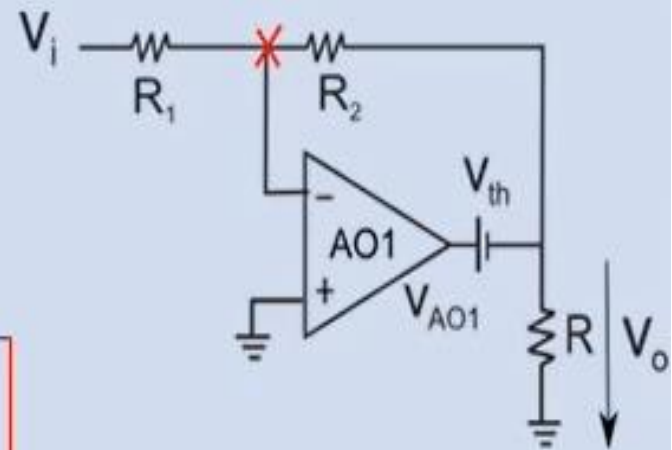
## Rectificador de precisión de onda completa



$v_i > 0$  D1 OFF D2 ON



$v_i < 0$  D1 ON D2 OFF

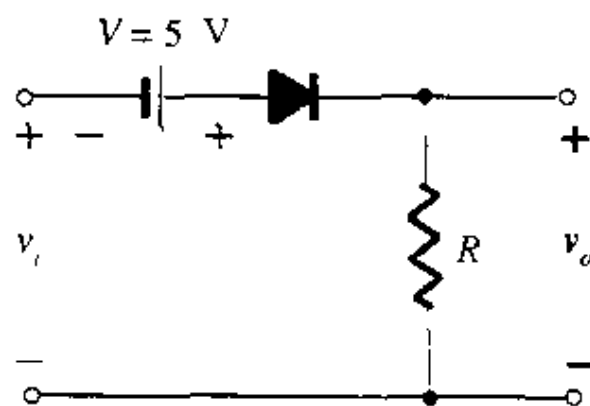
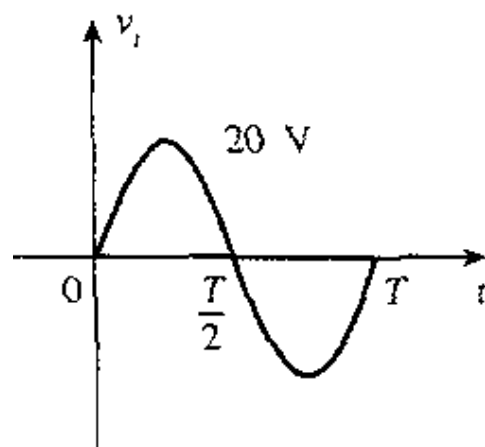


# RECORTADORES

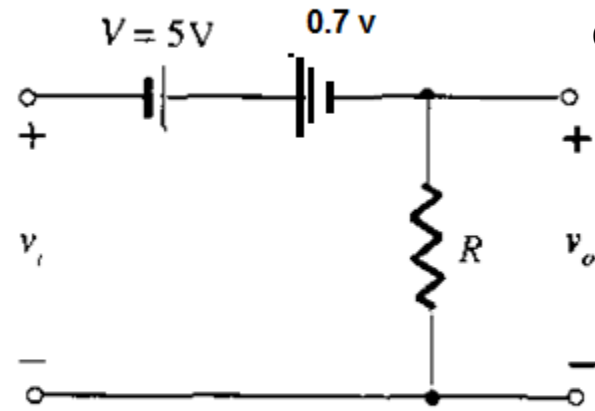
Existe una variedad de redes de diodos que se llaman *recortadores* y tienen la capacidad de “recortar” una porción de la señal de entrada sin distorsionar la parte restante de la forma de onda alterna.

Existen dos categorías generales de recortadores: en *serie* y en *paralelo*. La configuración en serie es donde el diodo está en serie con la carga, mientras que en paralelo tiene un diodo en una trayectoria paralela a la carga.

Determinar la forma de la onda de salida para la red de la figura



$$0 < V_i < 5$$



$$\begin{aligned} -V_i - 5 + 0.7 + V_o &= 0 \\ V_o &= V_i + 5 - 0.7 \\ V_o &= V_i + 4.3 \end{aligned}$$

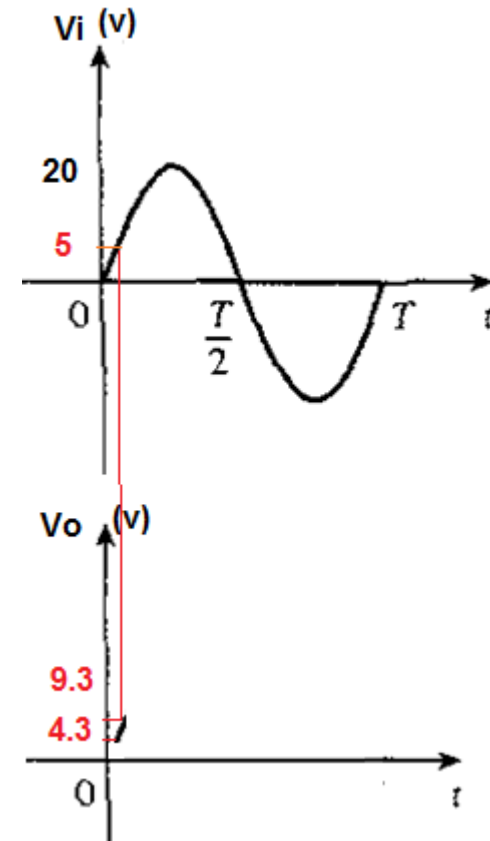
En este periodo el diodo ya se encuentra encendido por la fuente de 5 v y la corriente de la fuente  $V_i$  fluye hacia el ánodo del diodo, indicando que contribuye al encendido del mismo.

Recuerda que  $V_i$  varia entre 0 y 5 v, lo que indica:

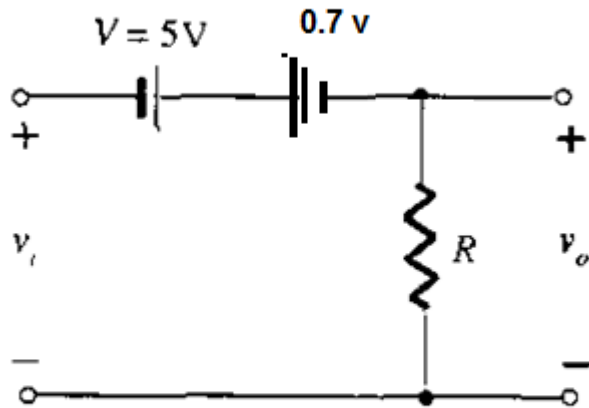
$$V_o = V_i + 4,3$$

$$V_o = 0 + 4,3 = 4,3 \text{ v}$$

$$V_o = 5 + 4,3 = 9,3 \text{ v}$$



5 <  $V_i$  > 5 en bajada ciclo positivo



$$\begin{aligned} -V_i - 5 + 0.7 + V_o &= 0 \\ V_o &= V_i + 5 - 0.7 \\ V_o &= V_i + 4.3 \end{aligned}$$

En este periodo el diodo sigue encendido tanto por la fuente de 5 v y la fuente  $V_i$ .

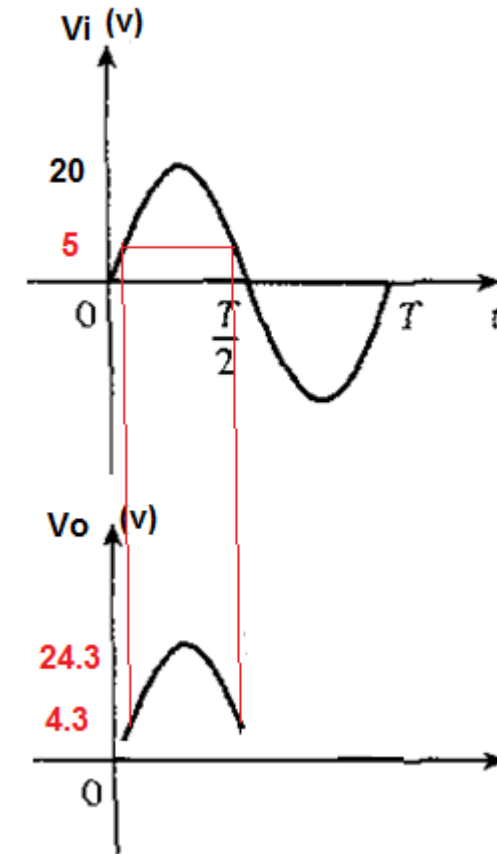
Recuerda que  $V_i$  varia entre 5, 20 y 5 v, lo que indica:

$$V_o = V_i + 4,3$$

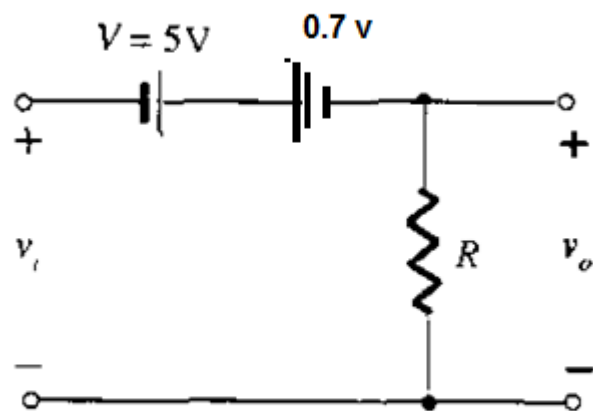
$$V_o = 5 + 4,3 = 9,3 \text{ v}$$

$$V_o = 20 + 4,3 = 24,3 \text{ v}$$

$$V_o = 5 + 4,3 = 9,3 \text{ v}$$



5 en bajada  $> V_i > 0$



$$\begin{aligned} -V_i - 5 + 0.7 + V_o &= 0 \\ V_o &= V_i + 5 - 0.7 \\ V_o &= V_i + 4.3 \end{aligned}$$

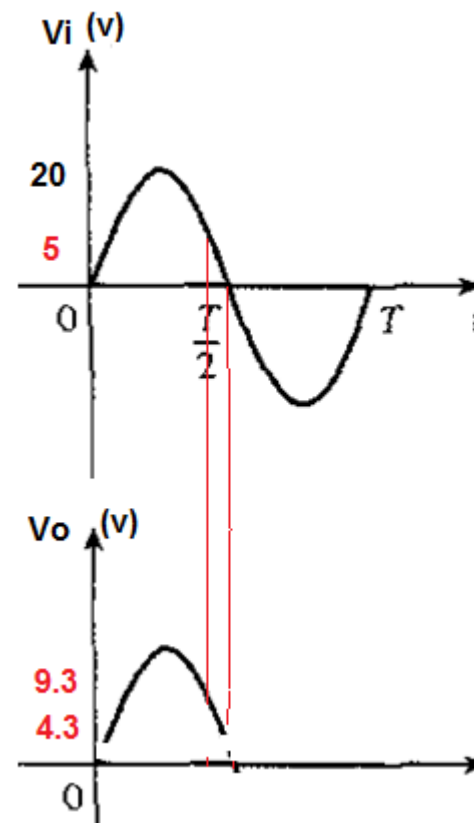
Recuerda que  $V_i$  varia entre 5 y 0 v, lo que indica:

$$V_o = V_i + 4,3$$

$$V_o = 5 + 4,3 = 9,3 \text{ v}$$

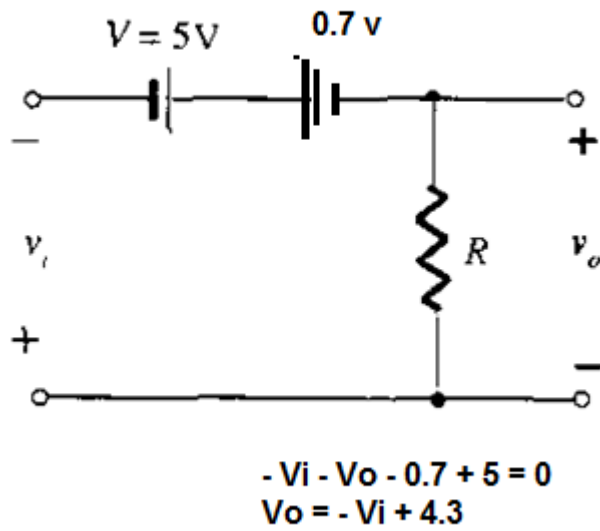
$$V_o = 0 + 4,3 = 4,3 \text{ v}$$

En este periodo el diodo sigue encendido tanto por la fuente de 5 v y la fuente  $V_i$ .





$$0 > V_i > -5$$

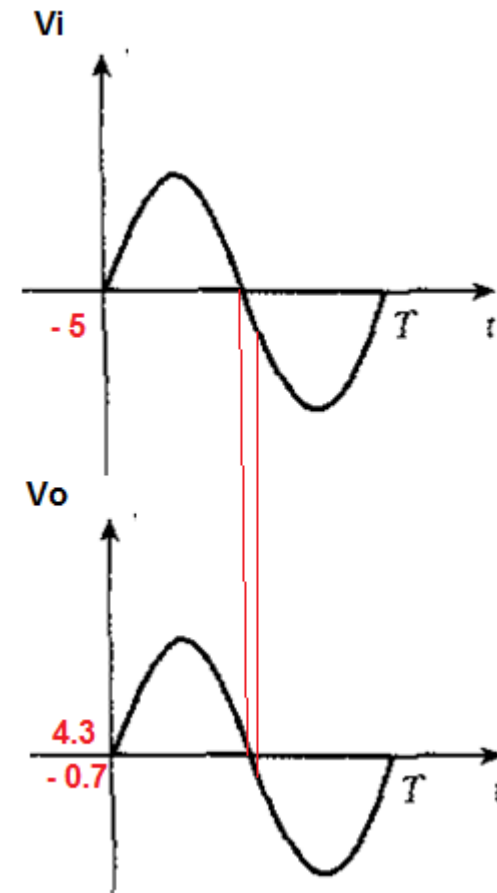


En este periodo la fuente  $V_i$  cambia de polaridad, haciendo que la corriente cambie de sentido. Como  $V_i$  varia entre 0 y  $-5V$ , no logra apagar el diodo debido a que su volteje es menor que el de la fuente de  $5V$ .

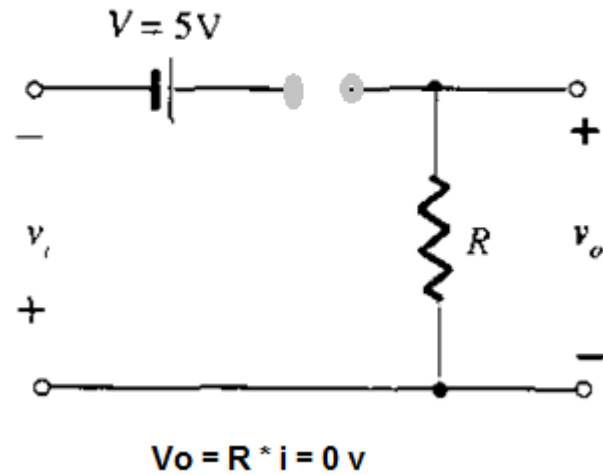
Recuerda que  $V_i$  varia entre 0 y  $-5V$ , lo que indica:

$$V_o = 0 + 4.3 = 4.3V$$

$$V_o = -5 + 4.3 = -0.7V$$

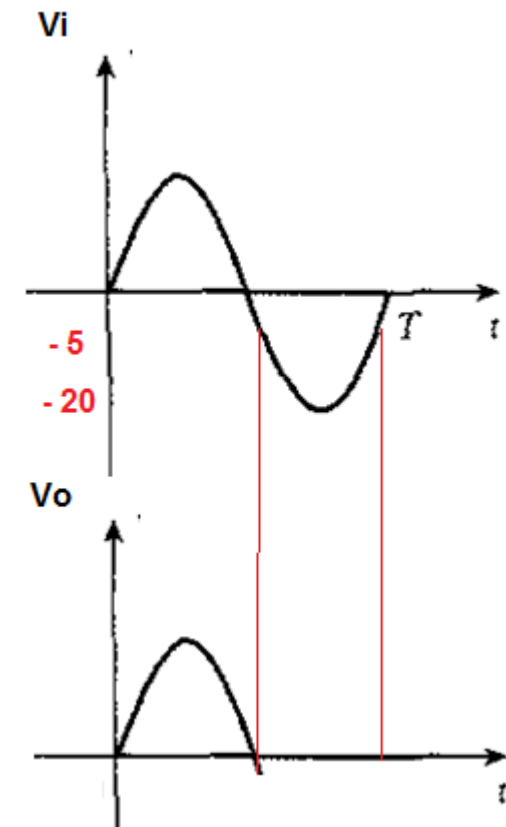


- 5 >  $V_i$  > - 5 en subida ciclo negativo

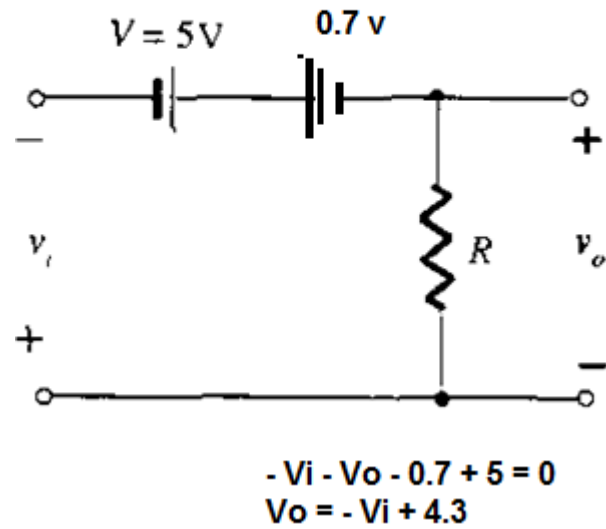


Como  $V_i$  varia entre - 5 y - 5 v en subida, apaga el diodo debido a que su voltaje es mayor que el de la fuente de 5 v.

$V_o = 0 \text{ v}$  Cero porque no pasa corriente debido al circuito abierto.



- 5 <  $V_i$  < 0 de subida en ciclo negativo

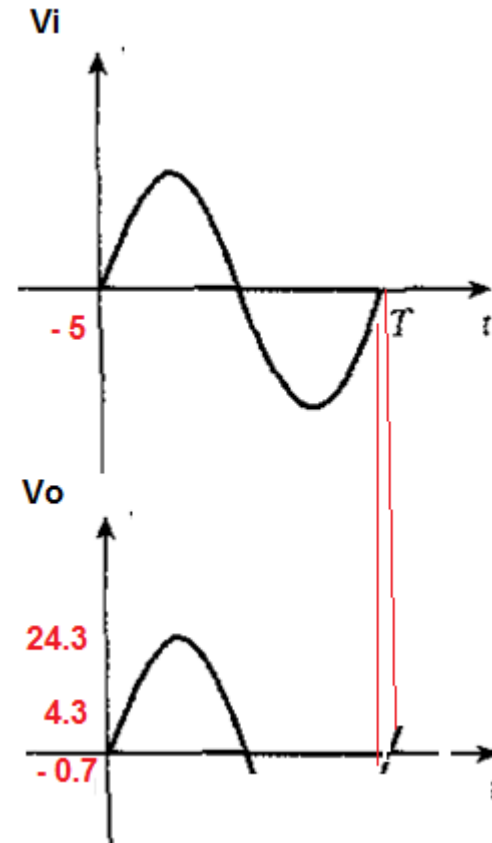


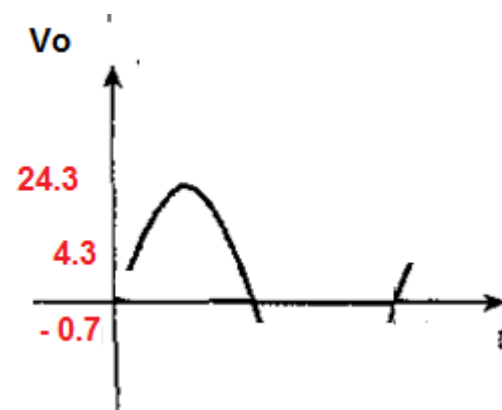
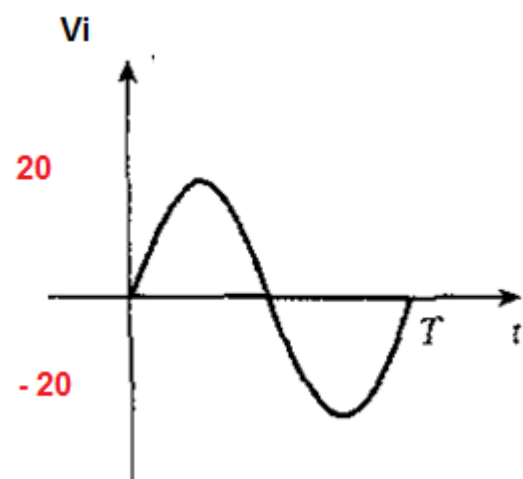
Recuerda que  $V_i$  varia entre - 5 y 0 v, lo que indica:

$$V_o = -5 + 4,3 = -0,7 \text{ v}$$

$$V_o = 0 + 4,3 = 4,3 \text{ v}$$

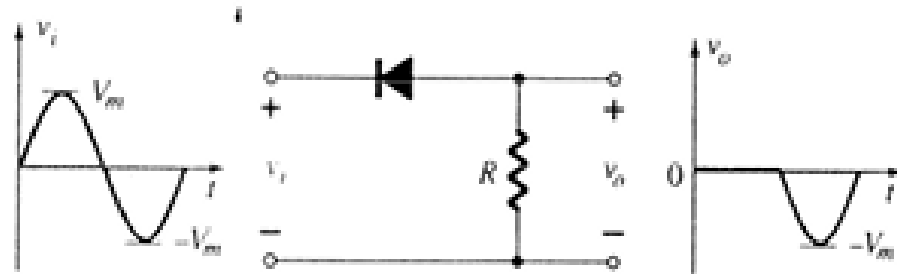
Como  $V_i$  varia entre - 5 y 0 v en subida, el diodo se vuelve a encender debido a que  $V_i$  es menor que el de la fuente de 5 v.



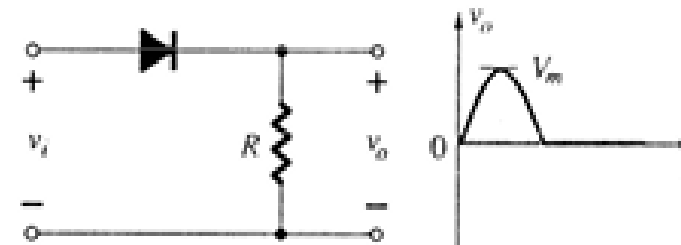


## Recortadores simples en serie (diodos ideales)

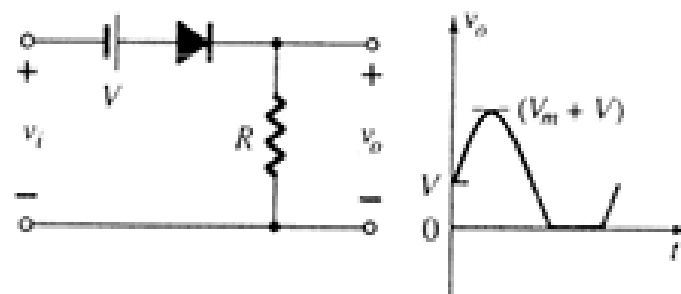
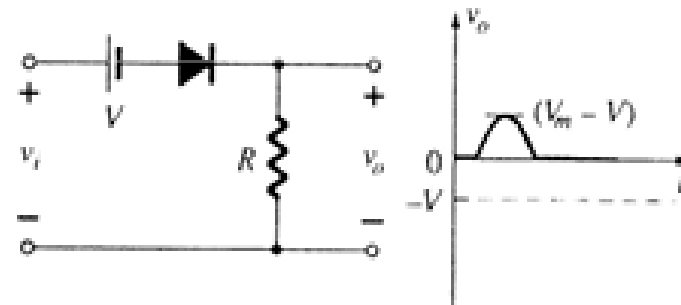
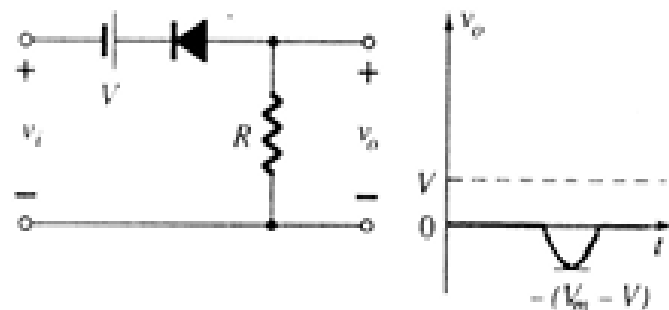
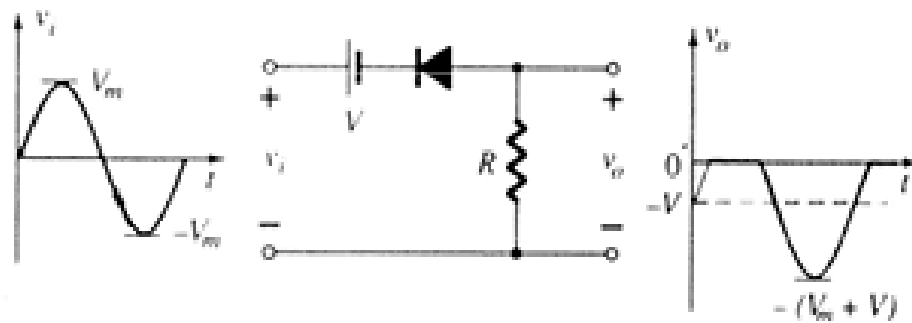
POSITIVO



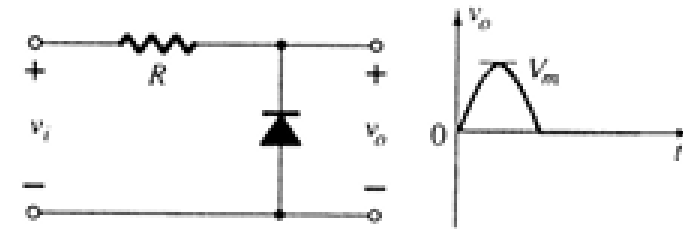
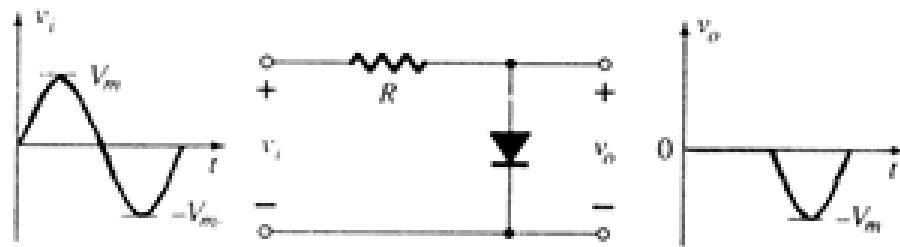
NEGATIVO



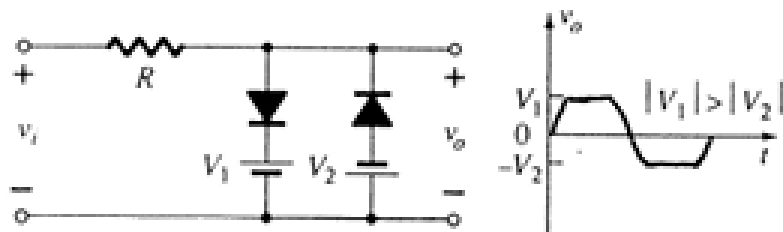
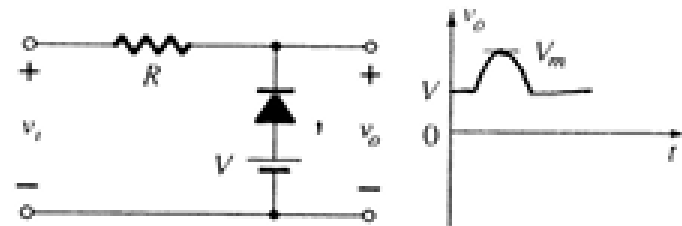
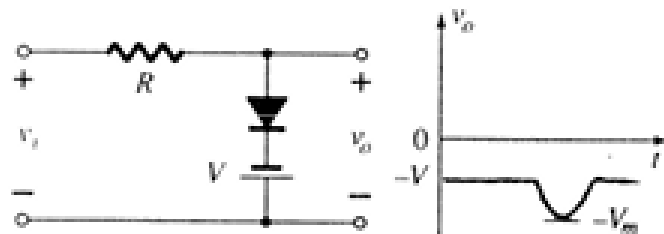
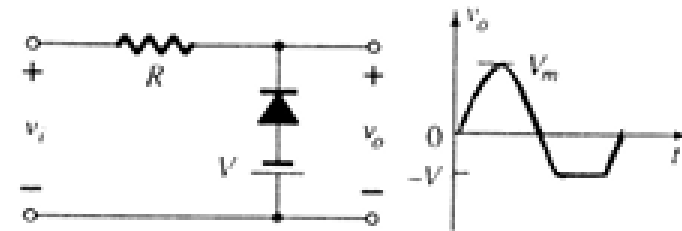
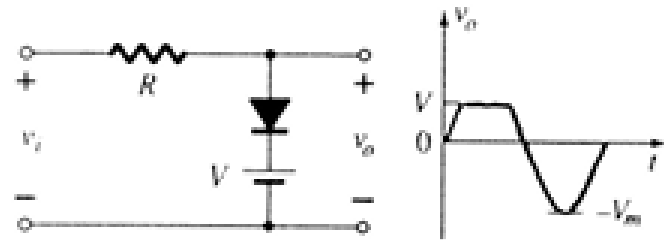
## Recortadores polarizados en serie (diodos ideales)



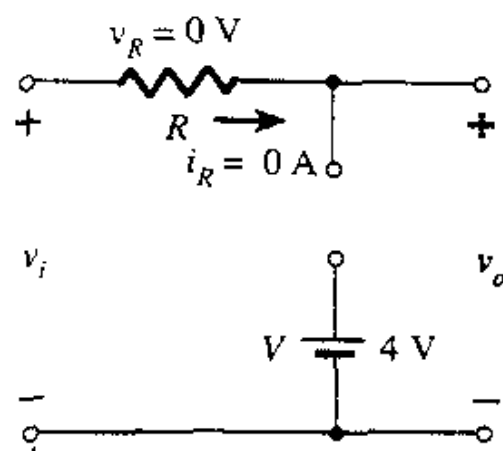
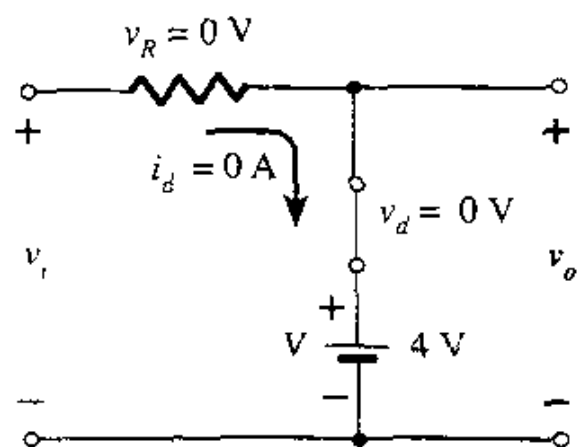
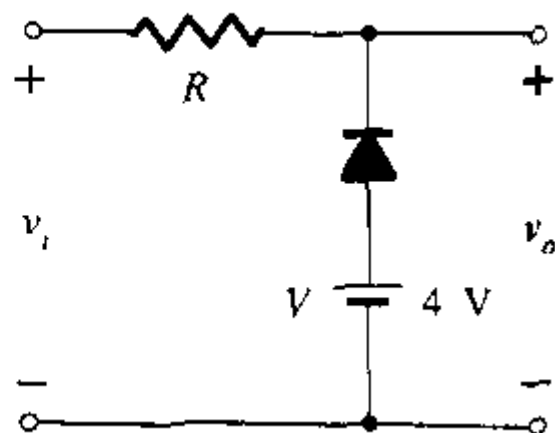
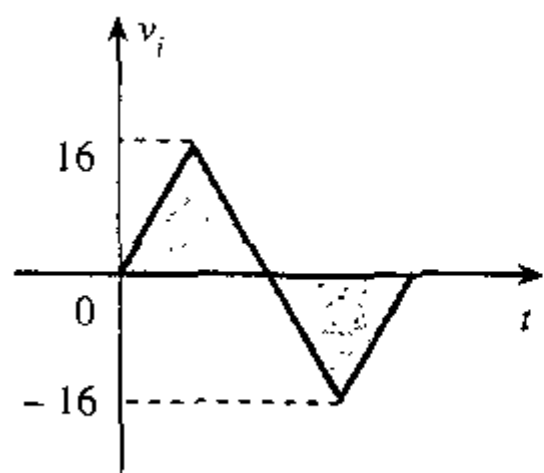
### Recortadores simples en paralelo (diodos ideales)

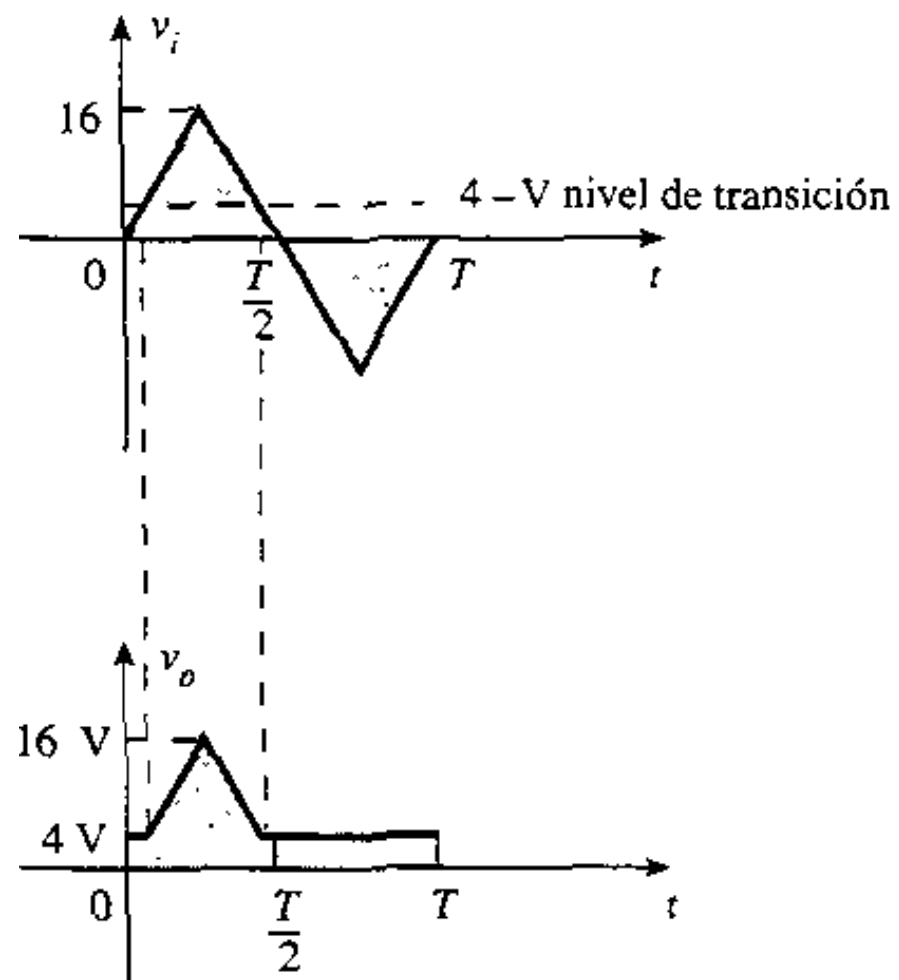


### Recortadores polarizados en paralelo (diodos ideales)



Determinar  $v_o$  para la red de la figura

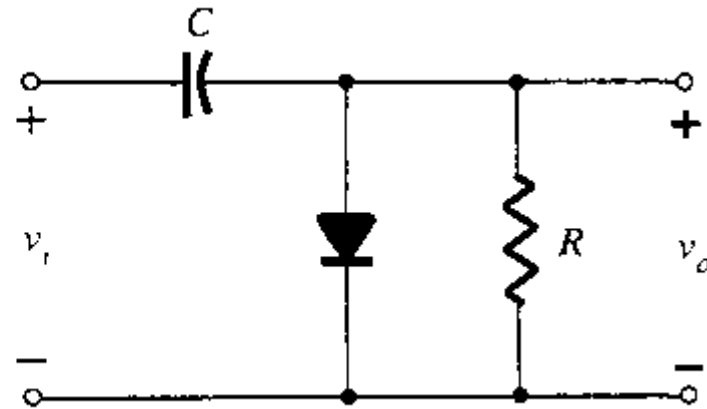
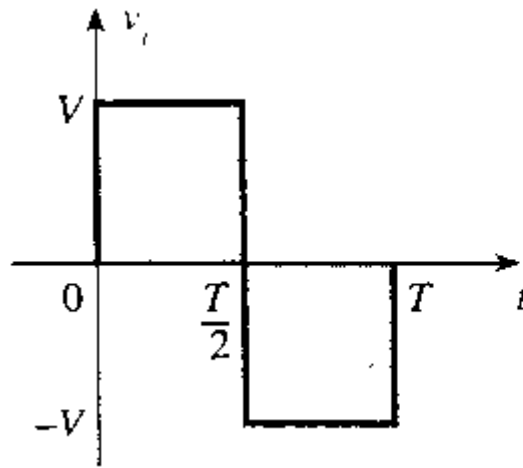




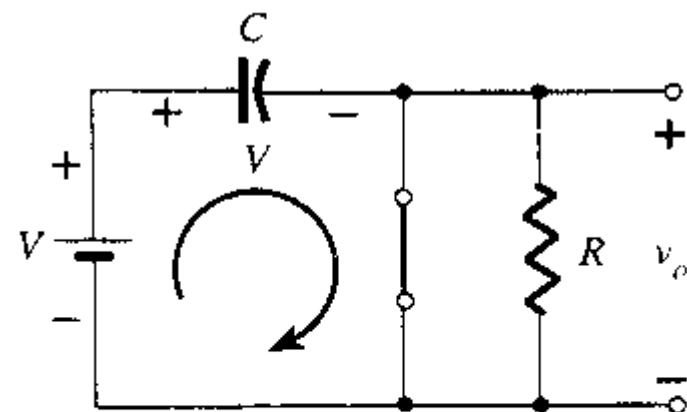


## CLAMP O CAMBIADORS DE NIVEL

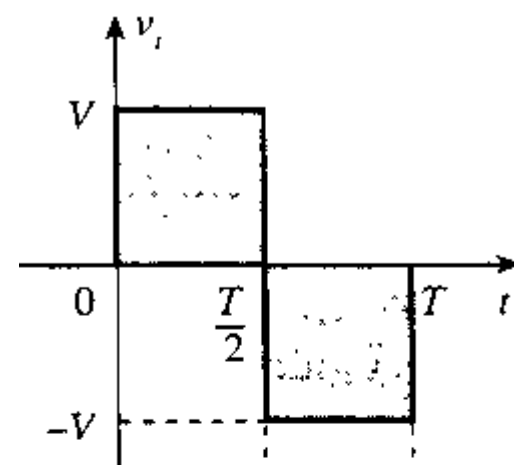
Una red de *cambiadora de nivel* es la que “cambia” una señal a un nivel de dc diferente. La red debe tener un capacitor, un diodo y un elemento resistivo; pero también puede usar una fuente de dc independiente para introducir un cambio de nivel de dc adicional. La magnitud de  $R$  y  $C$  debe elegirse de tal forma que la constante de tiempo  $\tau = RC$  es lo suficiente grande para asegurar que el voltaje a través del capacitor no se descarga de manera significativa, durante el intervalo en que el diodo no está conduciendo. A través de todo el análisis se asumirá que para propósitos prácticos, el capacitor se cargará o descargará totalmente en cinco constantes de tiempo.



Durante el intervalo  $0 \rightarrow T/2$

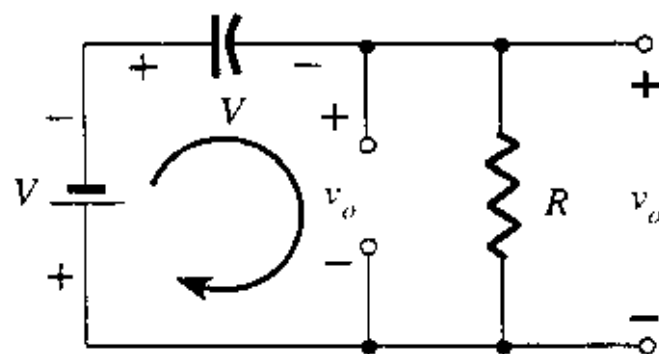


$$v_o = 0 \text{ V.}$$

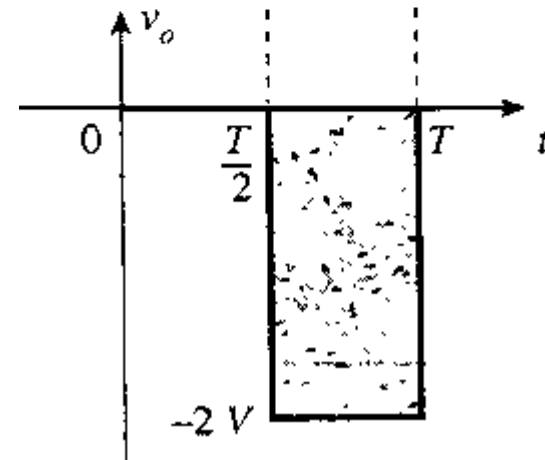


**Figura 2.93** Diodo en “encendido” y el capacitor cargando a  $V$  volts.

Cuando la entrada cambia al estado  $-V$

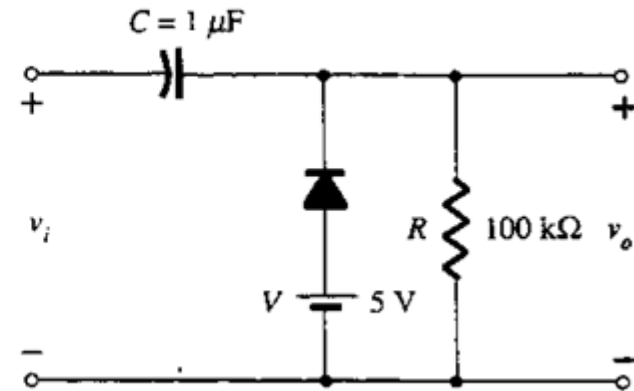
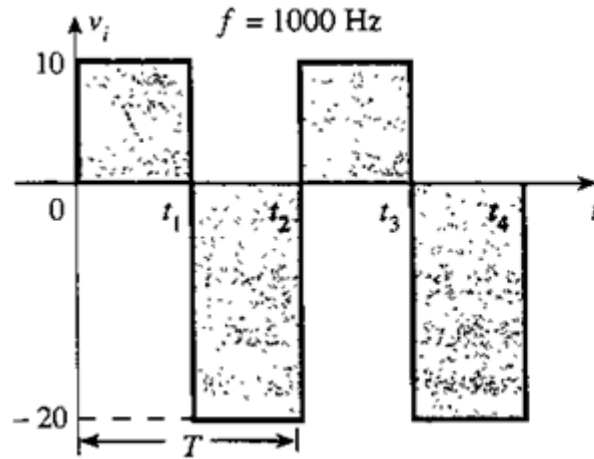


$$\begin{aligned} -V - V - v_o &= 0 \\ v_o &= -2V \end{aligned}$$



**Figura 2.94** Determinación de  $v_o$  con el diodo en “apagado”.

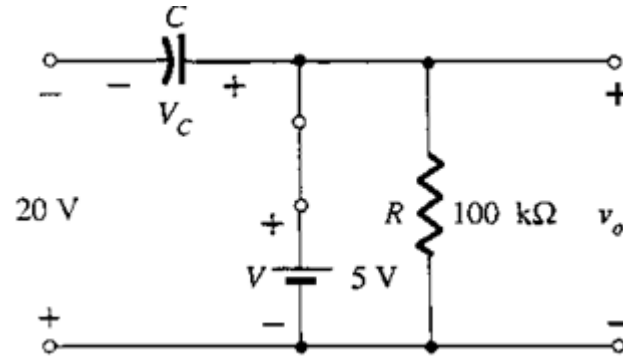
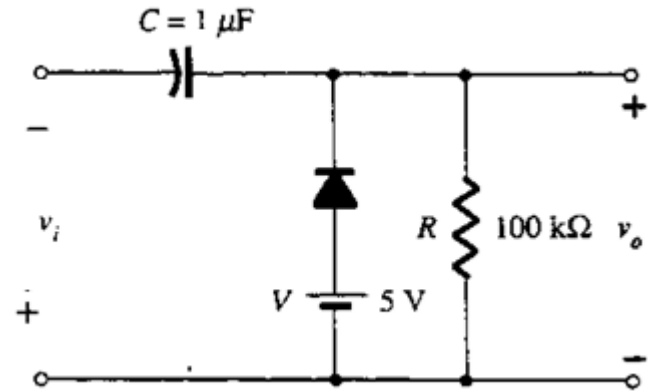
Determinar  $v_o$  para la red de la figura



Obsérvese que la frecuencia es de  $1\,000 \text{ Hz}$ , que resulta en un periodo de  $1 \text{ ms}$  y un intervalo de  $0.5 \text{ ms}$  entre niveles. El análisis comenzará con el periodo  $t_1 \rightarrow t_2$  de la señal de entrada debido a que el diodo está en estado de corto circuito

Debido a que el capacitor se carga en el ciclo negativo, deberemos hacer el calculo en ese semiciclo para obtener su valor de carga  $V_c$

periodo  $t_1 \rightarrow t_2$



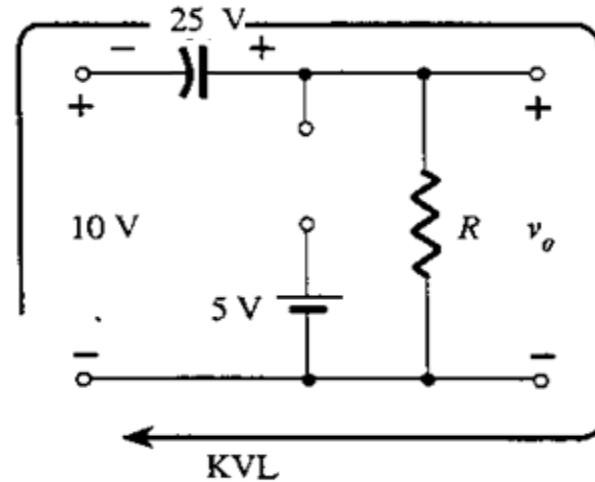
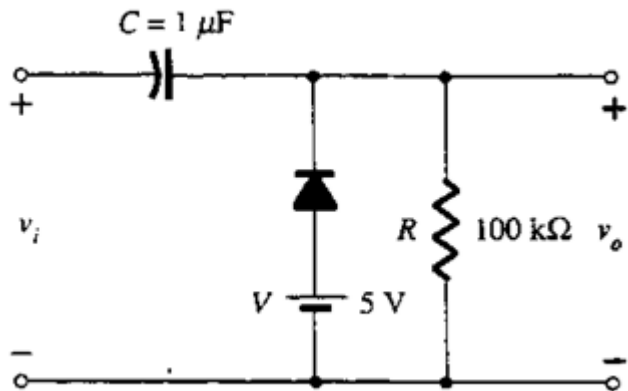
$$v_o = 5 \text{ V}$$

$$-20 \text{ V} - 5 \text{ V} + V_C = 0$$

$$V_C = 25 \text{ V}$$

Por tanto, el capacitor se cargará hasta 25 V

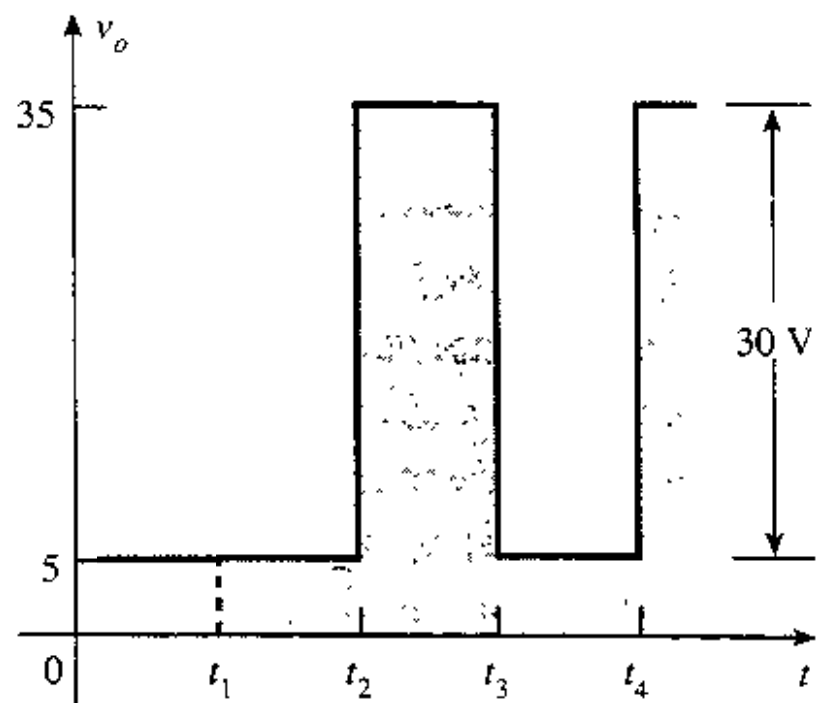
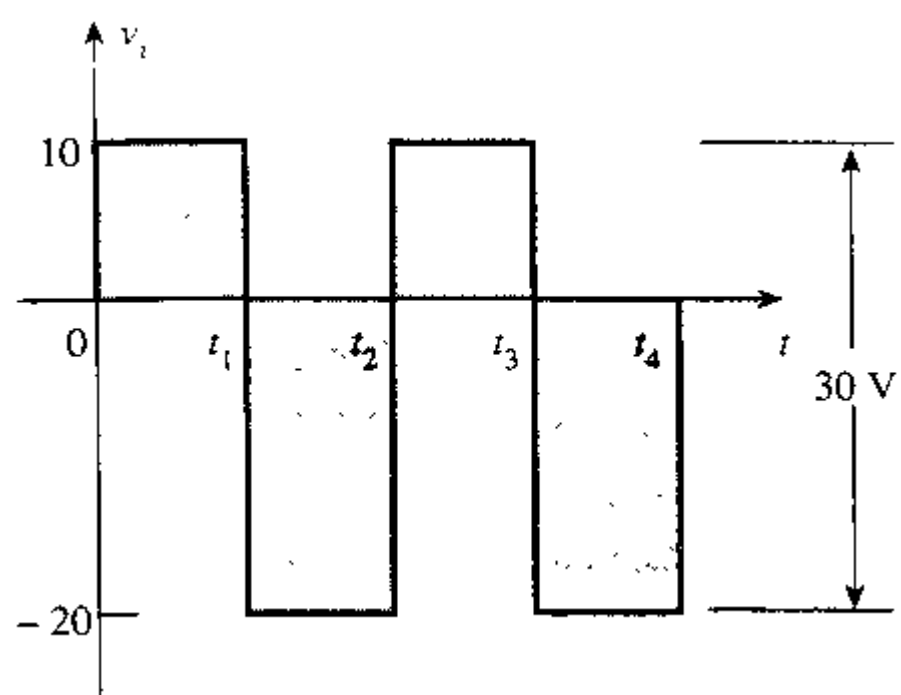
Para el periodo  $t_2 \rightarrow t_3$

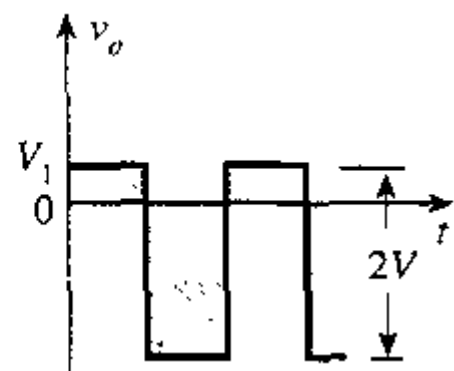
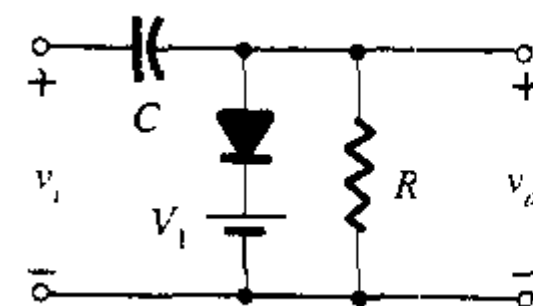
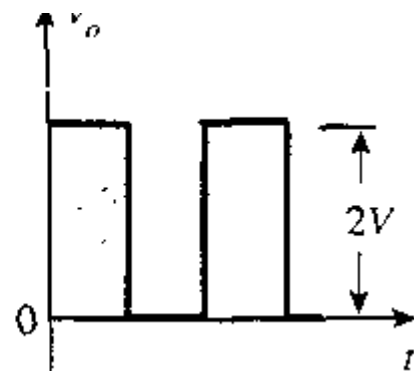
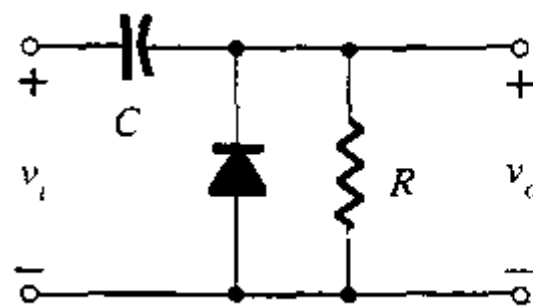
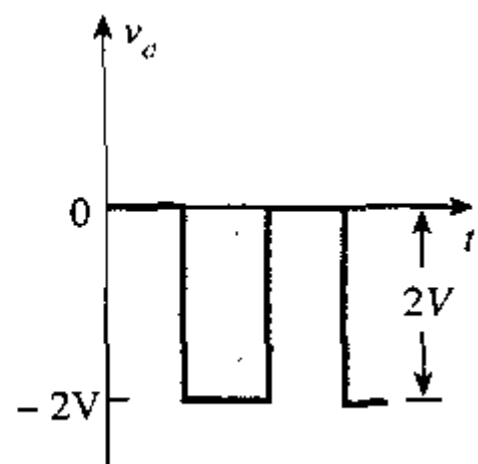
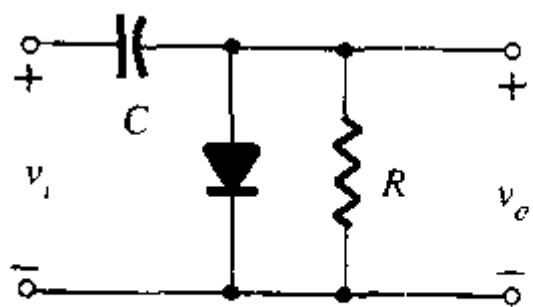
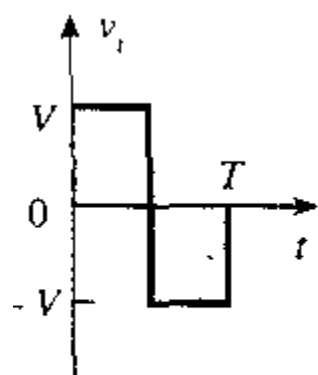


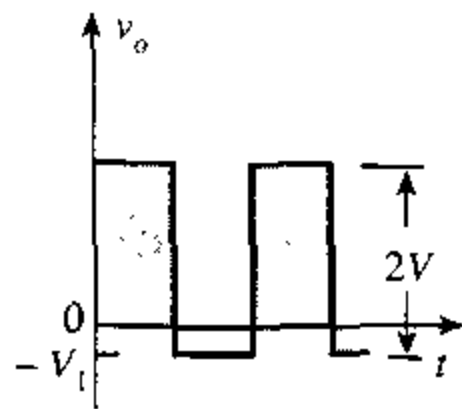
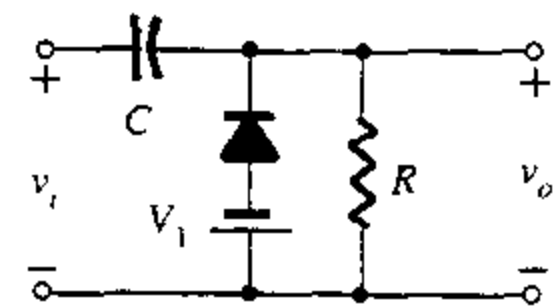
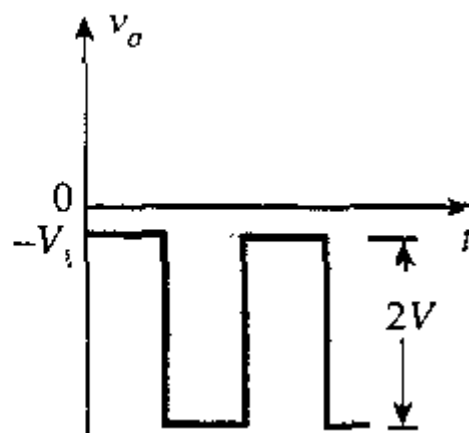
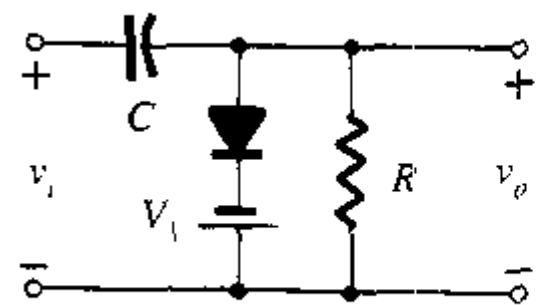
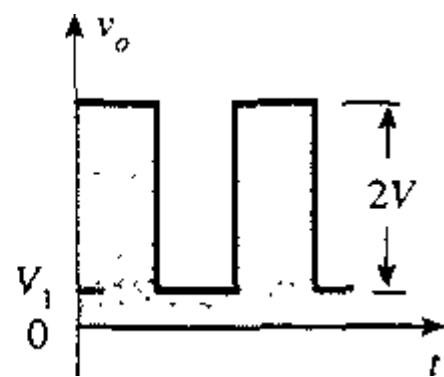
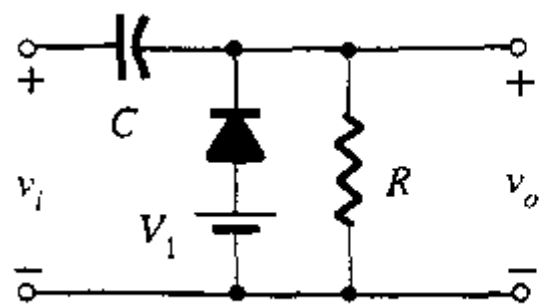
$$-10 - 25 + V_o = 0$$

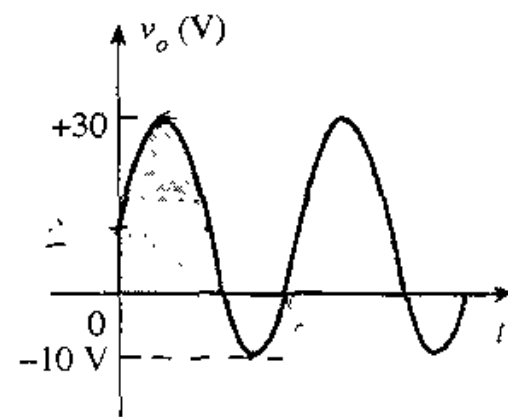
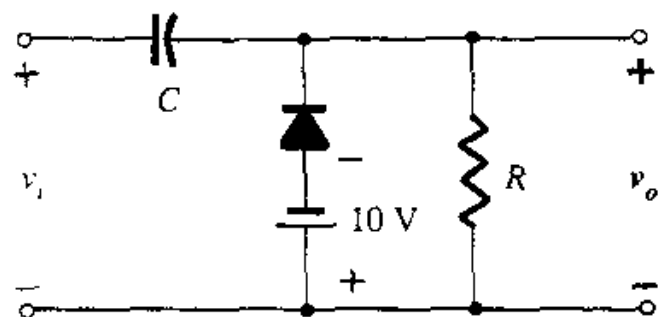
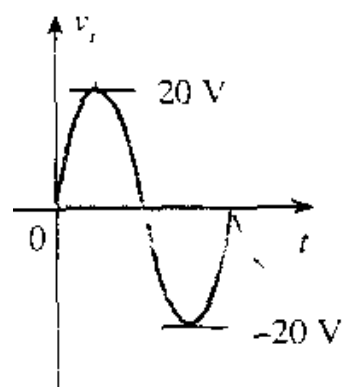
$$V_o = 35 \text{ v}$$

$$\tau = RC = (100 \text{ k}\Omega)(0.1 \text{ }\mu\text{F}) = 0.01 \text{ s} = 10 \text{ ms}$$



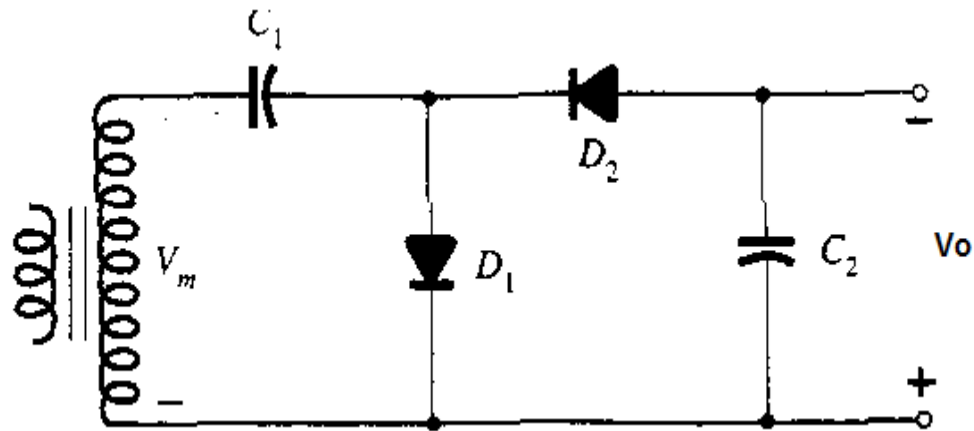






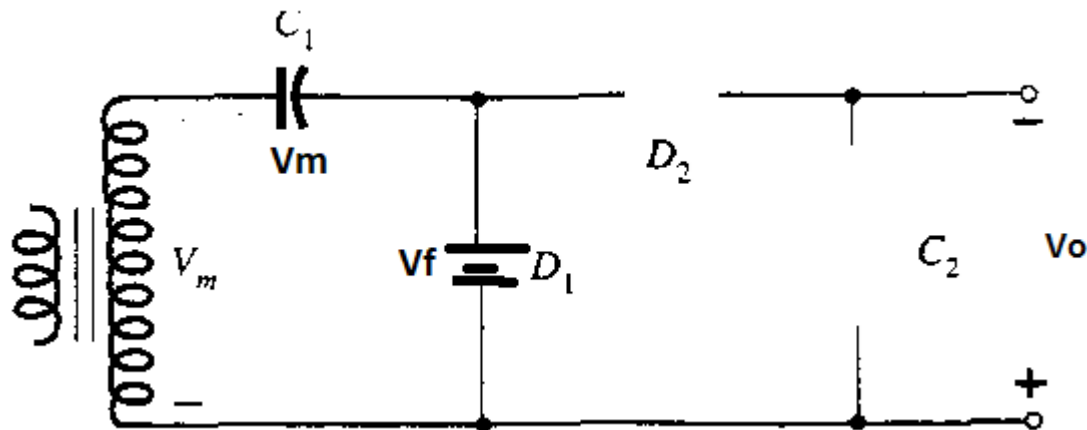


# Doblador de voltaje



## Ciclo Positivo

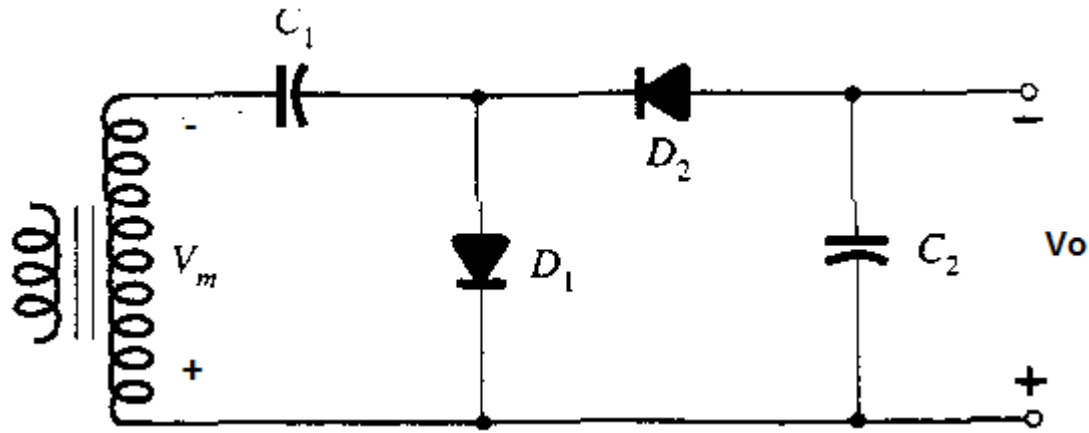
El diodo  $D_1$  se enciende y  $D_2$  se apaga, el capacitor se carga al valor de la fuente  $V_m$ .



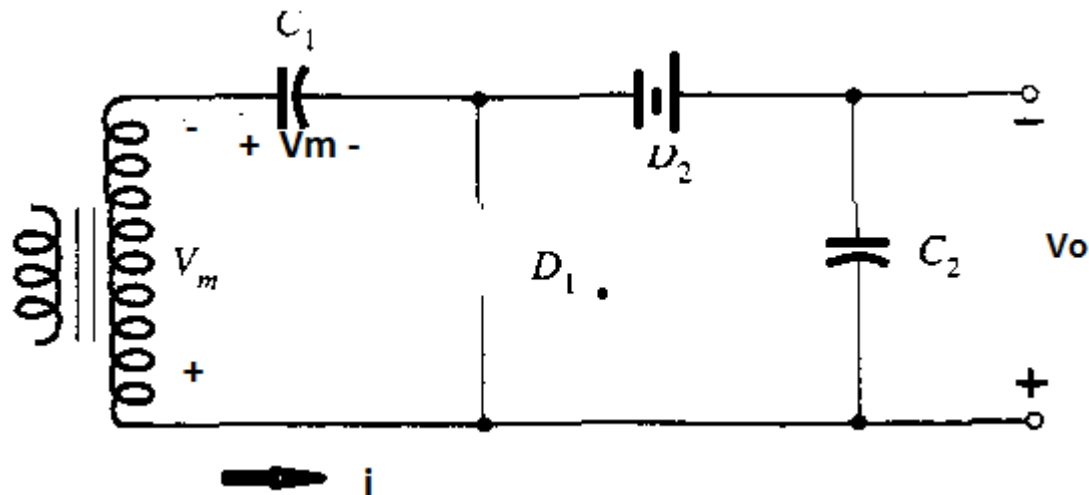
$$V_o = V_f$$

$$V_c = V_m$$

## Ciclo negativo

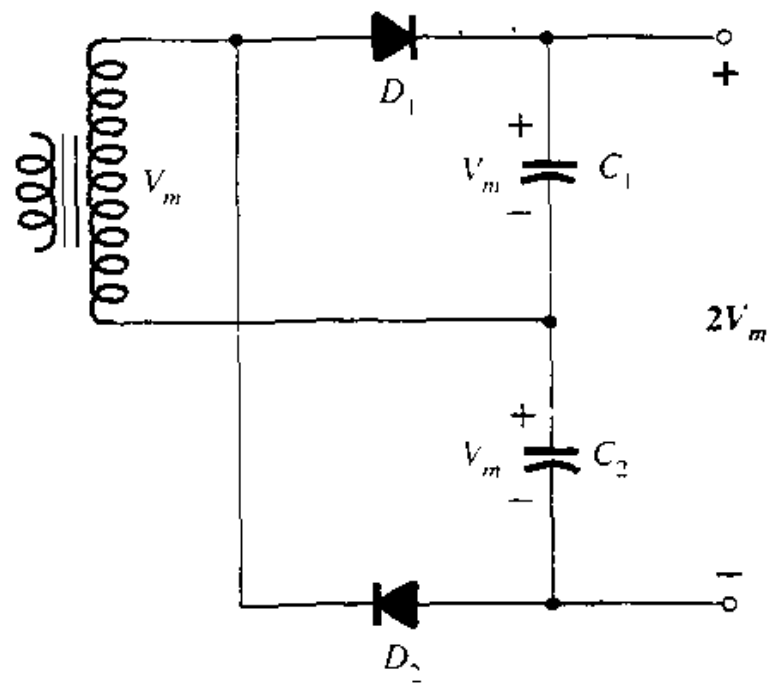


El diodo  $D_2$  se enciende y  $D_1$  se apaga, el capacitor  $C_2$  se carga al valor de la fuente  $V_m$ .

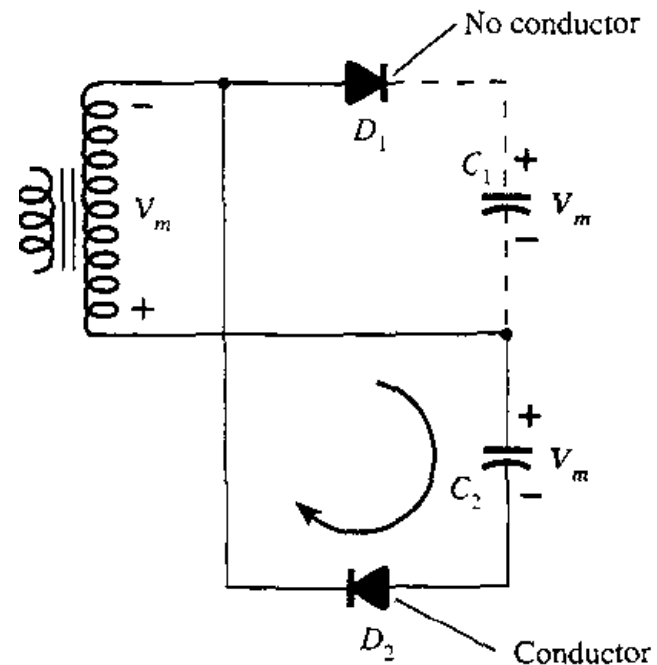
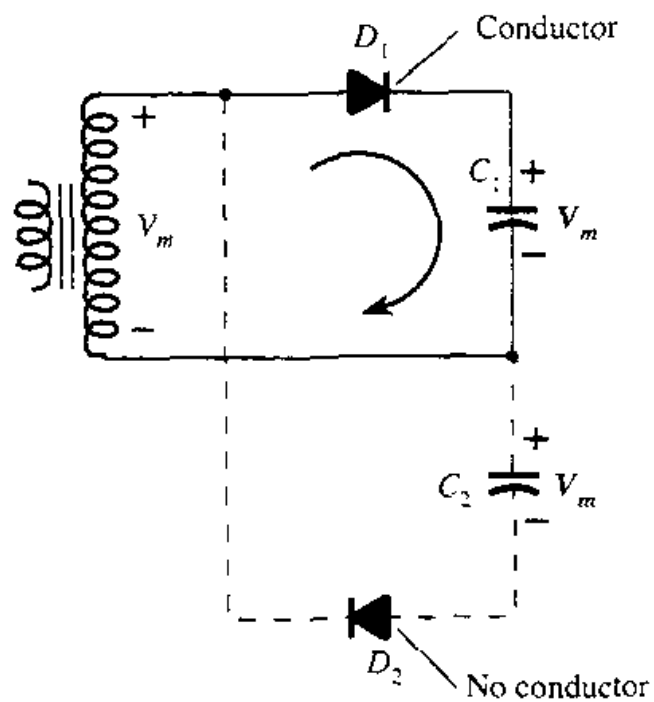


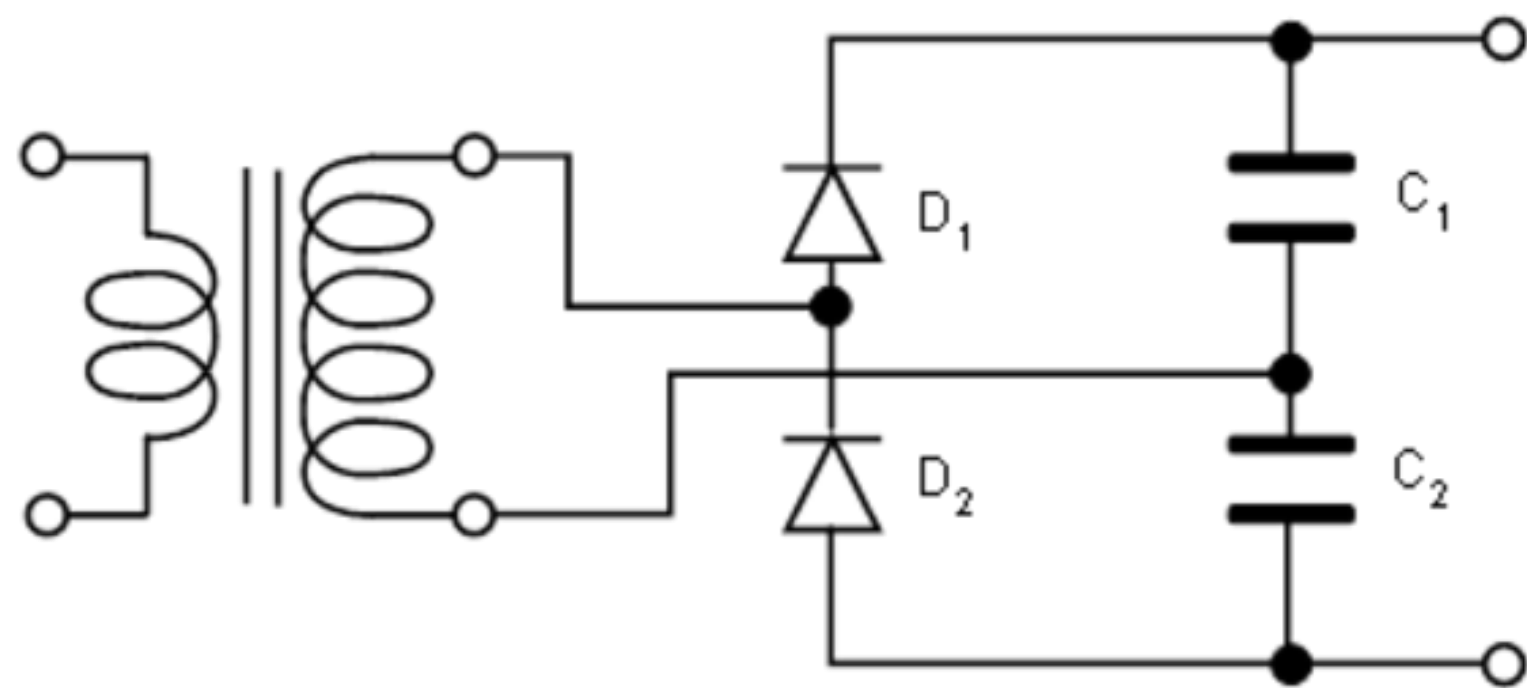
$$-V_m + V_o + v_f - V_m = 0$$

$$V_o = 2V_m - V_f$$



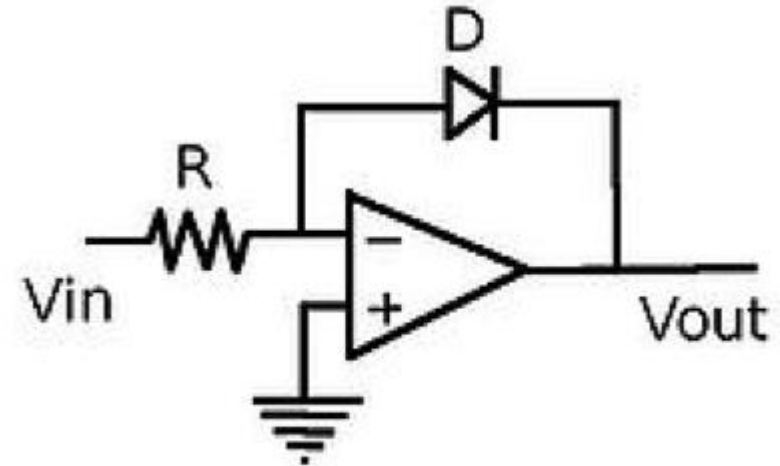
Doblador de voltaje  
de onda completa.





## Amplificador logarítmico

El logaritmo y su función inversa, la función exponencial, son ejemplos también de configuraciones no lineales, las cuales aprovechan el funcionamiento exponencial del diodo, logrando una señal de salida proporcional al logaritmo o a la función exponencial a la señal de entrada.



AN

$$(V_n - v_i)/R + i_n + i_d = 0$$

$$(0 - v_i)/R + 0 + i_d = 0$$

$$v_i/R = i_d$$

$$v_i/R = i_s [\exp(-v_o/nv_t) - 1]$$

$$v_i/R * R + 1 = \exp(-v_o/nv_t)$$

$$\log_n(v_i/R * R + 1) = \log_n[\exp(-v_o/nv_t)]$$

$$\log_n(v_i/R * R + 1) = -v_o/nv_t$$

$$-n * V_t * \log_n(v_i/R * R + 1) = V_o$$

$$I_d = I_s [\exp(v_d/nv_t) - 1]$$

$$I_d = I_s [\exp(-v_o/nv_t) - 1]$$

Como  $v_n - v_o - v_d = 0$

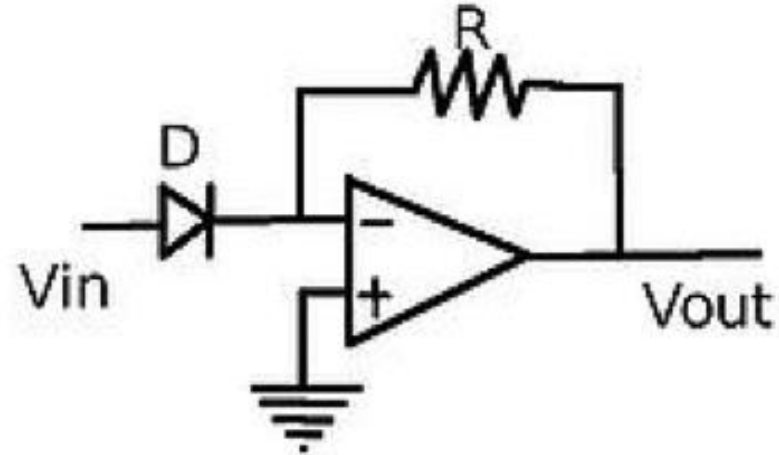
Por regla  $v_n = 0$

$$V_d = -V_o$$

## Amplificador antilogarítmico o exponencial

AN

- $I_d + i_n + (v_n - v_o)/R = 0$
- $i_s[\exp(v_i/nv_t) - 1] + 0 + (0 - v_o)/R = 0$
- $i_s[\exp(v_i/nv_t) - 1] - v_o/R = 0$
- **$R \cdot i_s[\exp(v_i/nv_t) - 1] = v_o$**



Como  $v_n - v_i + v_d = 0$

Por regla  $v_n = 0$

$V_d = V_i$

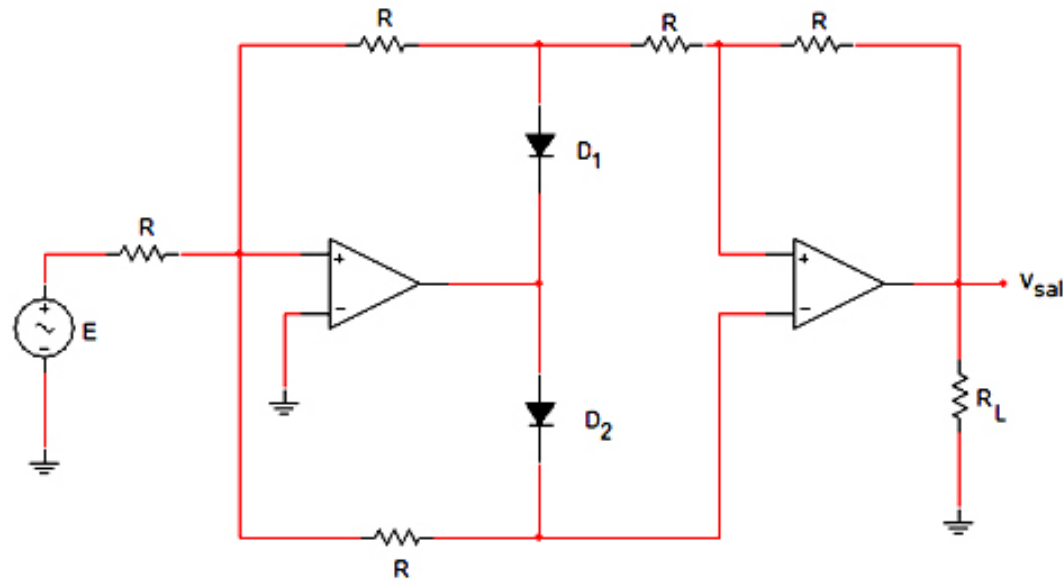
$I_d = i_s[\exp(v_d/nv_t) - 1]$

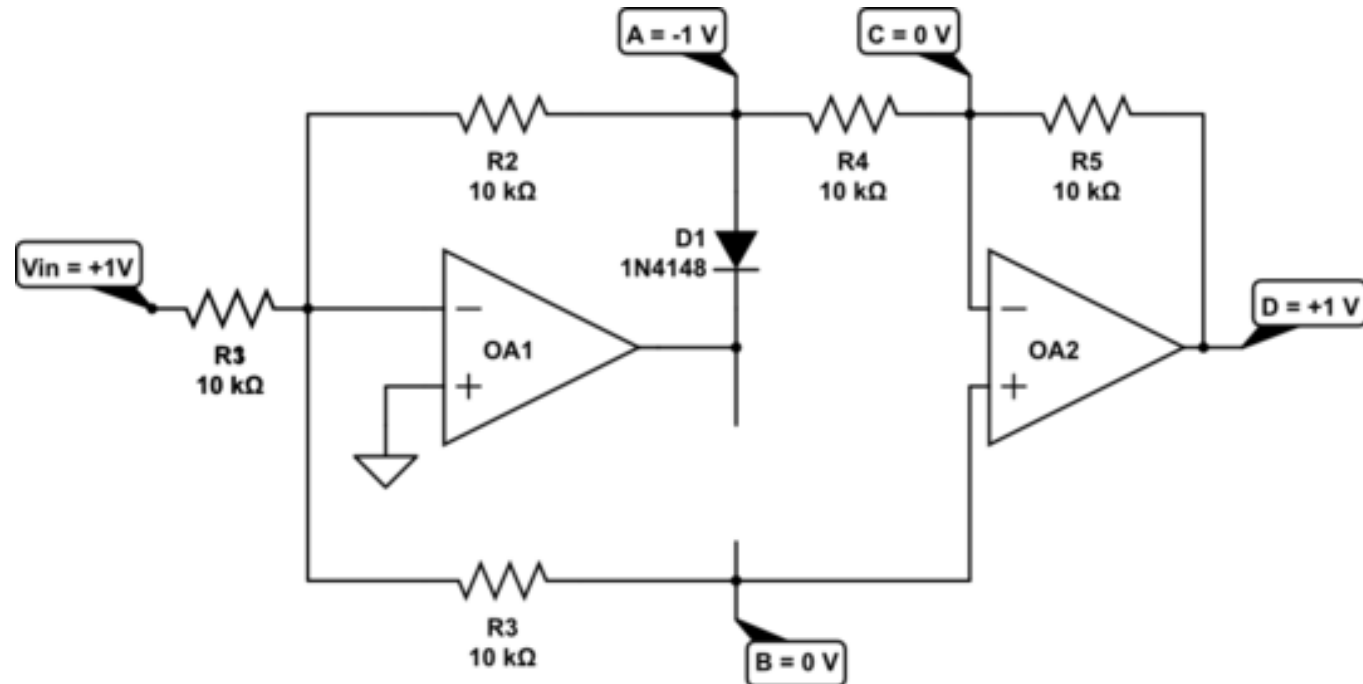
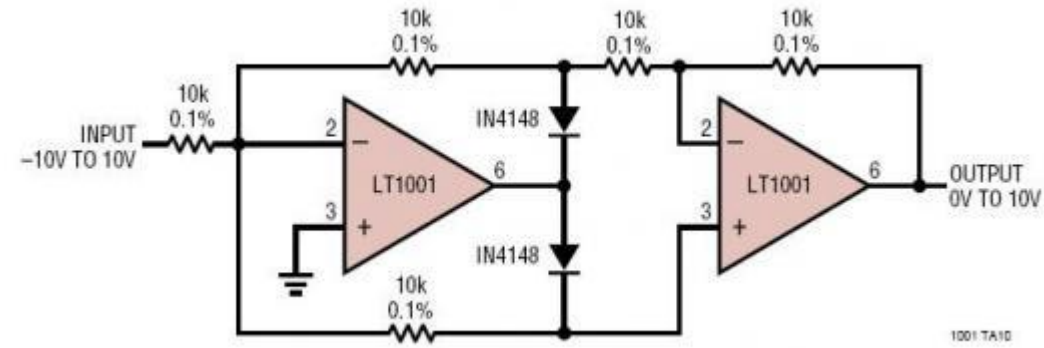
$I_d = i_s[\exp(v_i/nv_t) - 1]$

## CIRCUITO DE VALOR ABSOLUTO

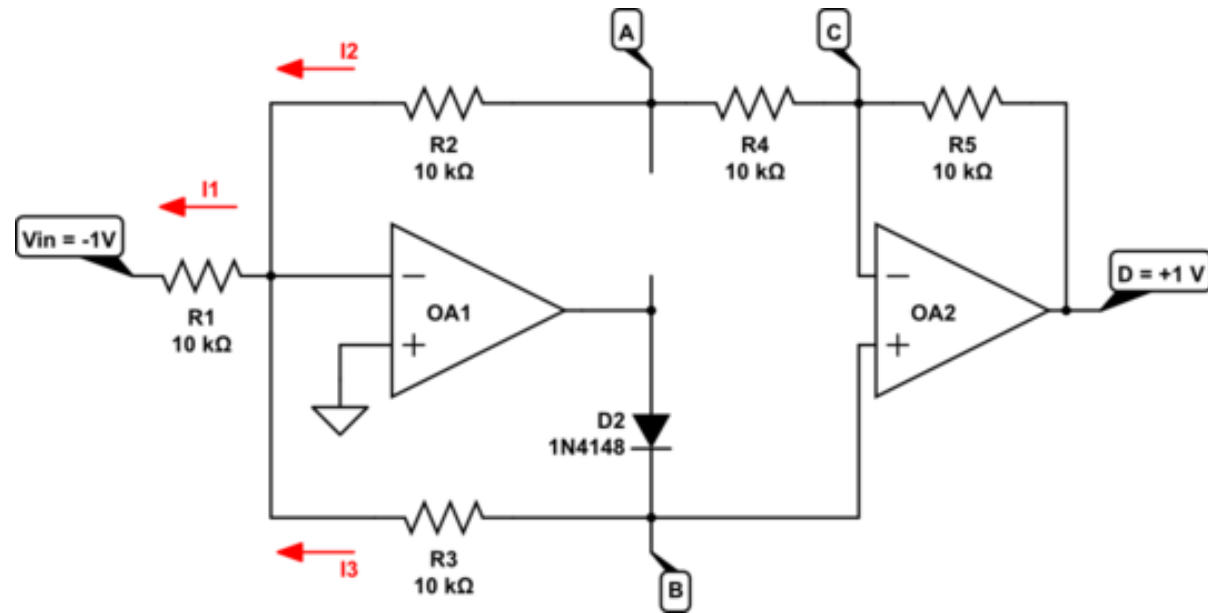
El circuito de valor absoluto también es conocido como rectificador de onda completa.

En este circuito, la incursión negativa de la señal senoidal de entrada, se invierte de polaridad. Estos circuitos se utilizan para encontrar promedios, multiplicaciones y en las comunicaciones, como moduladores y demoduladores.









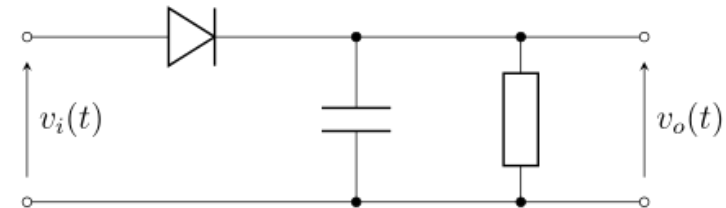
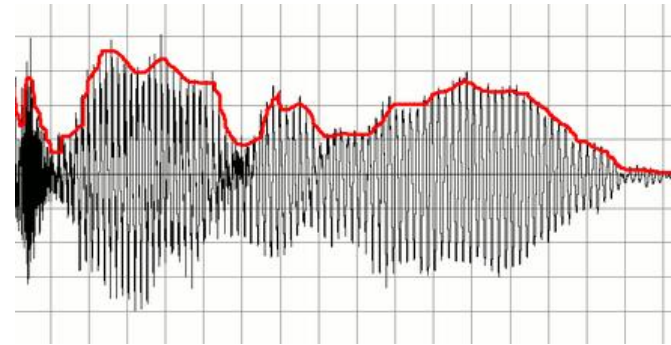
t

## DETECTOR DE ENVOLVENTE

Un detector de envoltente es un circuito eléctrico que tiene como entrada una señal de alta frecuencia, y como salida la envoltente de la señal de entrada.

El condensador en el circuito de la imagen almacena carga cuando la señal de entrada crece, y se descarga muy lentamente a través del resistor cuando ésta decrece.

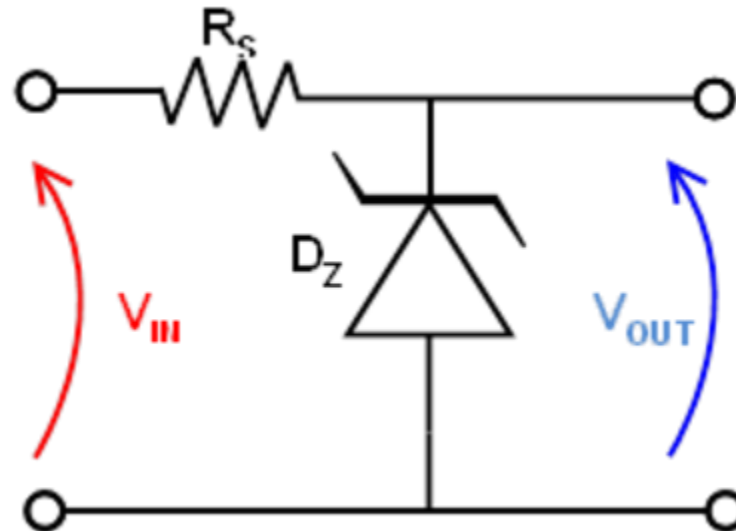
El diodo conectado en serie asegura que la corriente no circule en sentido contrario hacia la entrada del circuito. La mayoría de los detectores de envoltente prácticos usan rectificación de media onda o de onda completa de la señal para convertir la entrada de AC de audio en la señal de DC de pulsos. Luego se usa filtrado para alisar el resultado final.



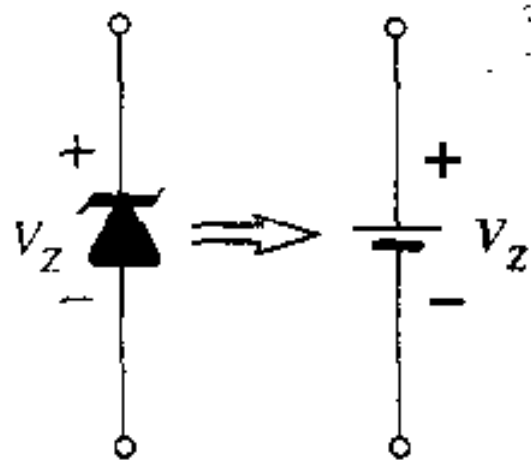
## DIODO ZENER COMO REGULADOR DE VOLTAJE

Los diodos Zener se usan ampliamente como referencias de voltaje y como reguladores del voltaje en circuitos pequeños.

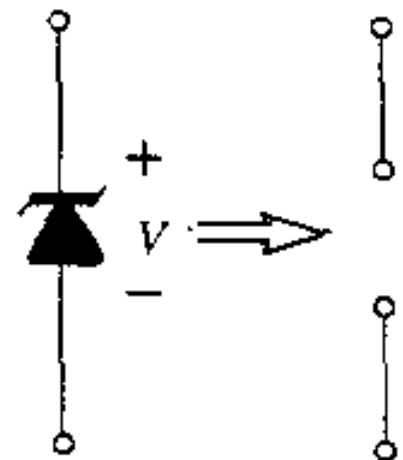
Cuando se conecta en paralelo con una fuente de voltaje variable, como el rectificador de diodo que acabamos de discutir, de modo que tenga polarización inversa, el diodo zener conduce cuando el voltaje alcanza el voltaje de ruptura inversa del diodo. A partir de ese momento, la impedancia relativamente baja del diodo mantiene el voltaje a través del diodo en ese valor.



# DIODOS ZENER

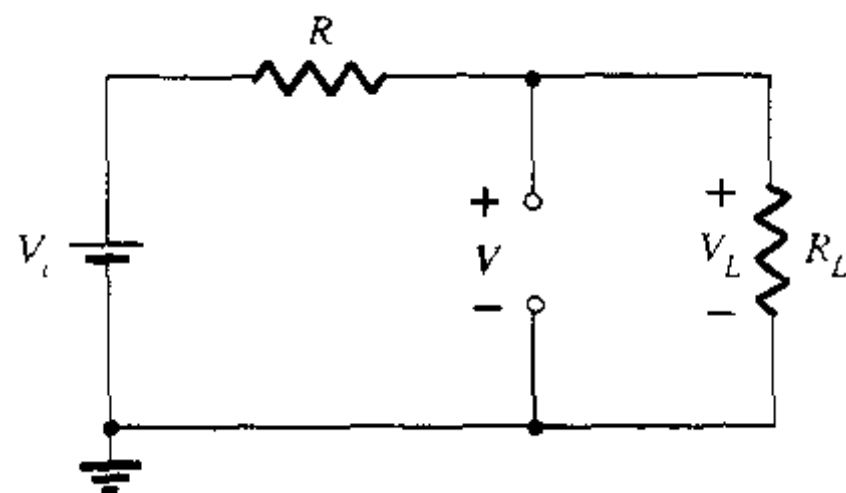
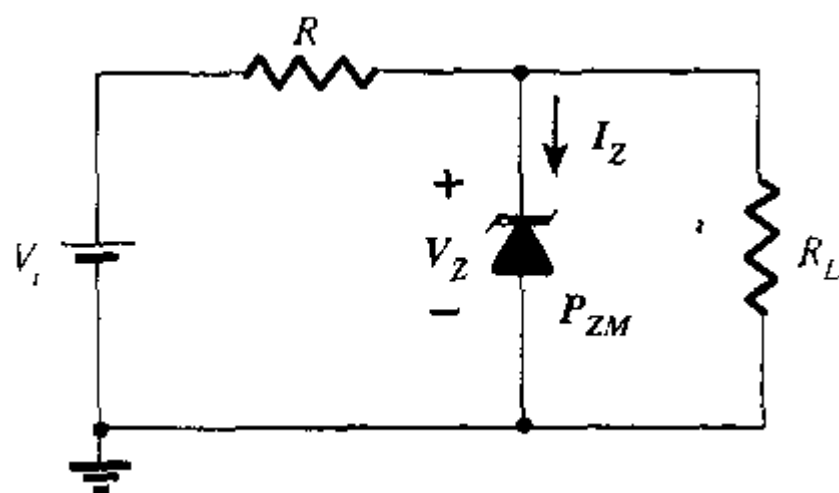


“encendido”



$(V_Z > V > 0 \text{ V})$

“apagado”



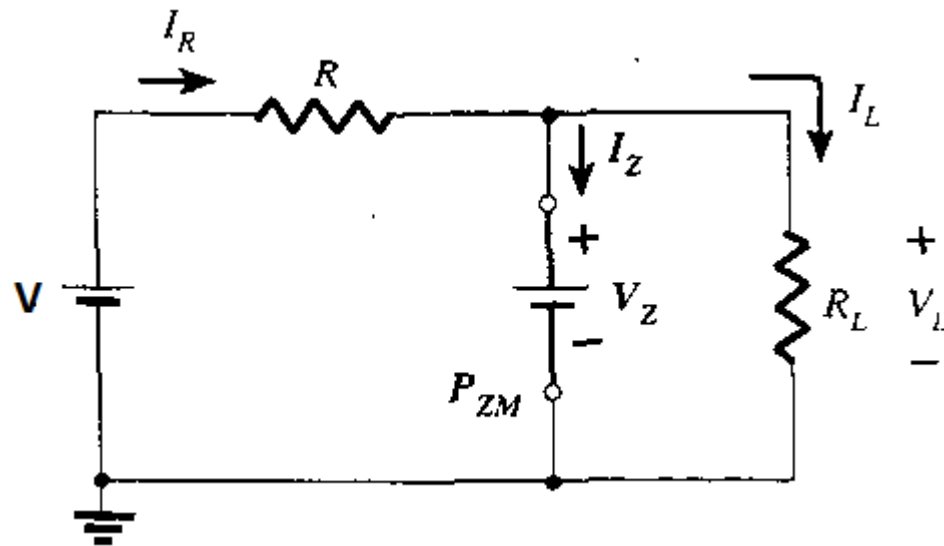
1. *Determinar el estado del diodo Zener mediante su eliminación de la red y calculando el voltaje a través del circuito abierto resultante.*

$$V = V_L = \frac{R_L V_i}{R + R_L}$$

2. *Sustituir el circuito equivalente adecuado y resolverlo para las incógnitas deseadas.*

Si  $V \geq V_Z$ , el diodo Zener está en estado “encendido” y se puede sustituir el modelo

Si  $V < V_Z$ , el diodo está en “apagado” y se sustituye la equivalencia



$$V_L = V_Z$$

$$I_R = I_Z + I_L$$

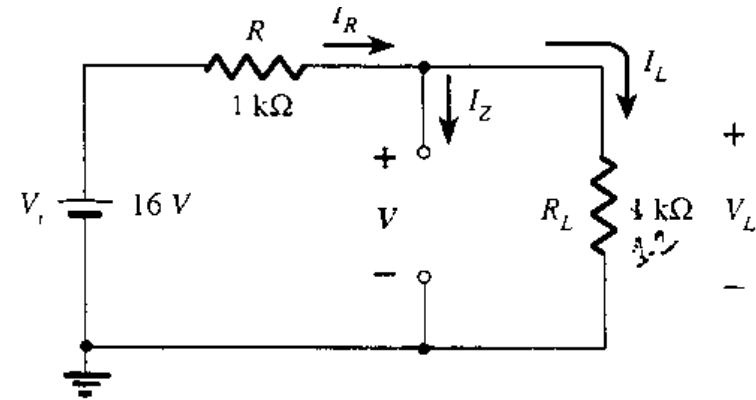
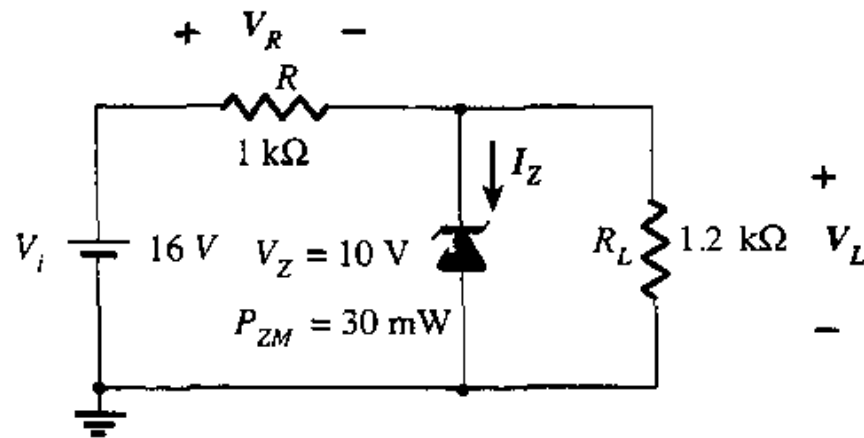
$$I_Z = I_R - I_L$$

$$I_L = \frac{V_L}{R_L} \quad \text{e} \quad I_R = \frac{V_R}{R} = \frac{V_i - V_L}{R}$$

$$P_Z = V_Z I_Z$$

### Ejemplo

- a) Para la red de diodo Zener de la figura determinar  $V_L$ ,  $V_R$ ,  $I_Z$  y  $P_Z$ .  
b) Repetir el inciso a con  $R_L = 3 \text{ k}\Omega$ .



$$V = \frac{R_L V_i}{R + R_L} = \frac{1.2 \text{ k}\Omega (16 \text{ V})}{1 \text{ k}\Omega + 1.2 \text{ k}\Omega} = 8.73 \text{ V}$$

Dado que  $V = 8.73 \text{ V}$  es menor que  $V_Z = 10 \text{ V}$ , el diodo está en estado “apagado”,

$$V_L = V = 8.73 \text{ V}$$

$$V_R = V_i - V_L = 16 \text{ V} - 8.73 \text{ V} = 7.27 \text{ V}$$

$$I_Z = 0 \text{ A}$$

$$P_Z = V_Z I_Z = V_Z (0 \text{ A}) = 0 \text{ W}$$

b) Repetir el inciso *a* con  $R_L = 3 \text{ k}\Omega$ .

$$V = \frac{R_L V_i}{R + R_L} = \frac{3 \text{ k}\Omega (16 \text{ V})}{1 \text{ k}\Omega + 3 \text{ k}\Omega} = 12 \text{ V}$$

Debido a que  $V = 12 \text{ V}$  es mayor que  $V_Z = 10 \text{ V}$ , el diodo está en estado “encendido”

$$V_L = V_Z = 10 \text{ V}$$

$$V_R = V_i - V_L = 16 \text{ V} - 10 \text{ V} = 6 \text{ V}$$

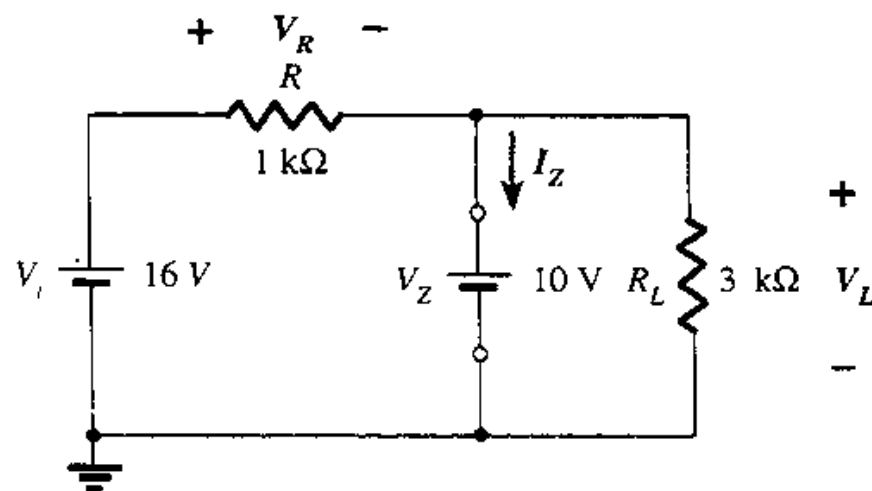
$$I_L = \frac{V_L}{R_L} = \frac{10 \text{ V}}{3 \text{ k}\Omega} = 3.33 \text{ mA}$$

$$I_R = \frac{V_R}{R} = \frac{6 \text{ V}}{1 \text{ k}\Omega} = 6 \text{ mA}$$

$$I_Z = I_R - I_L = 6 \text{ mA} - 3.33 \text{ mA} = 2.67 \text{ mA}$$

$$P_Z = V_Z I_Z = (10 \text{ V})(2.67 \text{ mA}) = 26.7 \text{ mW}$$

la cual es menor que la especificada  $P_{ZM} = 30 \text{ mW}$ .





Para mantener el zener encendido se consideran dos opciones:

- a. Mantener fija la alimentación  $V_i$  y variar la resistencia de la carga  $R_l$ .
- b. Mantener fija la Resistencia de carga y variar la fuente de alimentación.

**$V_i$  fijo,  $R_L$  variable**

$$V_L = V_Z = \frac{R_L V_i}{R_L + R}$$

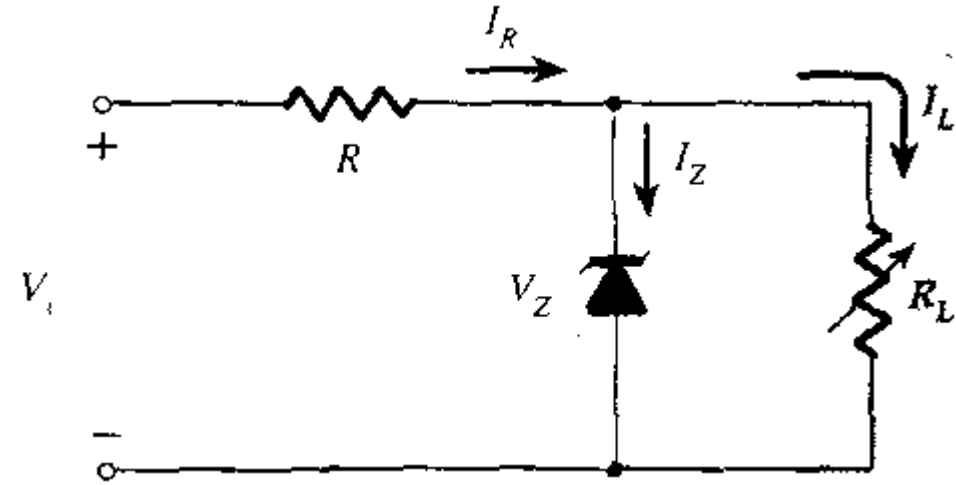
$$V_Z \cdot R_I + V_Z R = R_I \cdot V_i$$

$$V_Z R = R_I \cdot V_i - V_Z \cdot R_I$$

$$V_Z \cdot R = R_I (V_i - V_Z)$$

$$R_I = V_Z R / (V_i - V_Z)$$

$$R_{L_{\min}} = \frac{R V_Z}{V_i - V_Z}$$

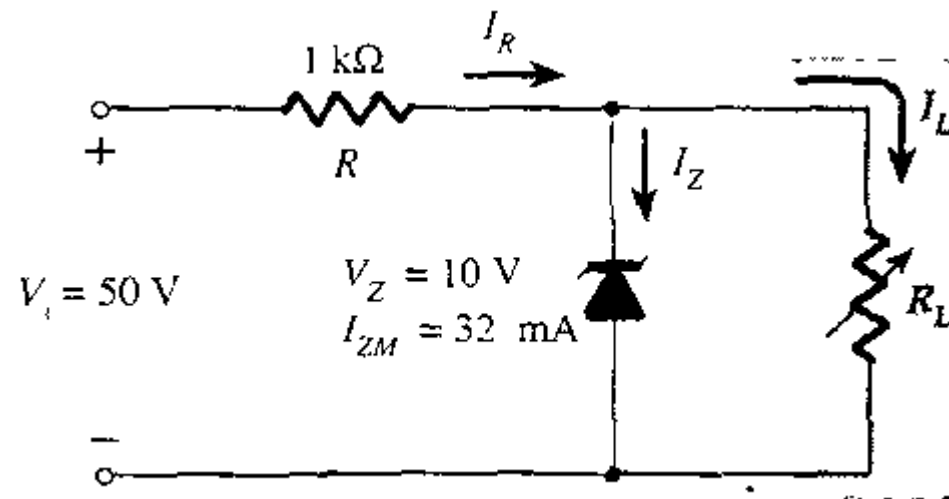


Una vez que el diodo está en estado “encendido”, el voltaje a través de  $R$

$$V_R = V_i - V_Z \quad I_R = \frac{V_R}{R}$$

$$I_{L_{\min}} = I_R - I_{ZM} \quad R_{L_{\max}} = \frac{V_Z}{I_{L_{\min}}}$$

- Para la red de la figura 2.113, determinar el rango de  $R_L$  y de  $I_L$  que resultará que  $V_{R_L}$  se mantenga en 10 V.
- Determinar el valor de la disipación máxima en watts del diodo.



Para determinar el valor de  $R_L$  que encenderá el diodo Zener

$$R_{L_{\min}} = \frac{RV_Z}{V_i - V_Z} = \frac{(1\text{ k}\Omega)(10\text{ V})}{50\text{ V} - 10\text{ V}} = \frac{10\text{ k}\Omega}{40} = 250\ \Omega$$

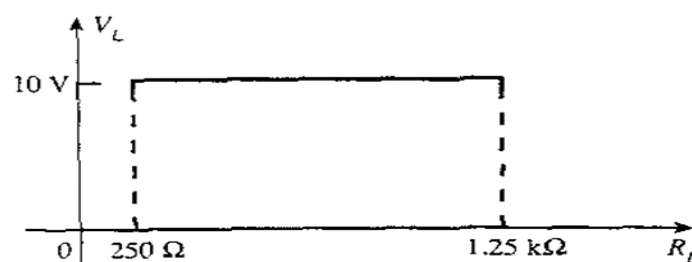
$$V_R = V_i - V_Z = 50 \text{ V} - 10 \text{ V} = \mathbf{40 \text{ V}}$$

$$I_R = \frac{V_R}{R} = \frac{40 \text{ V}}{1 \text{ k}\Omega} = \mathbf{40 \text{ mA}}$$

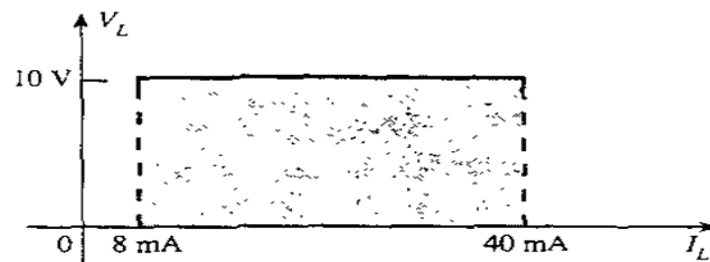
$$I_{L_{\min}} = I_R - I_{ZM} = 40 \text{ mA} - 32 \text{ mA} = \mathbf{8 \text{ mA}}$$

$$R_{L_{\max}} = \frac{V_Z}{I_{L_{\min}}} = \frac{10 \text{ V}}{8 \text{ mA}} = \mathbf{1.25 \text{ k}\Omega}$$

$$P_{\max} = V_Z I_{ZM} = (10 \text{ V})(32 \text{ mA}) = \mathbf{320 \text{ mW}}$$



(a)



(b)

## **$R_L$ fija, $V_i$ variable**

Para los valores fijos de  $R_L$ , el voltaje  $V_i$  debe ser lo suficientemente grande para encender el diodo Zener. El voltaje de encendido mínimo  $V_i = V_{i_{\min}}$  está determinado por

$$V_L = V_Z = \frac{R_L V_i}{R_L + R}$$

$$\begin{aligned} V_Z(R_L + R) &= R_L V_i \\ V_i &= V_Z(R_L + R) / R_L \end{aligned}$$

$$V_{i_{\min}} = \frac{(R_L + R)V_Z}{R_L}$$

El valor máximo de  $V_i$  está limitado por la corriente Zener máxima  $I_{ZM}$ . Debido a que

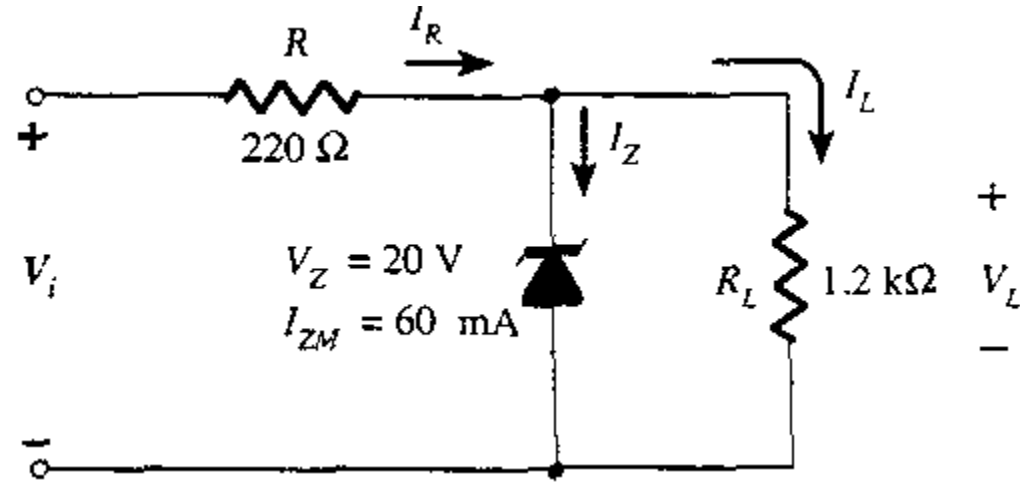
$$I_{ZM} = I_R - I_L$$

$$V_{i_{\max}} = V_{R_{\max}} + V_Z$$

$$I_{R_{\max}} = I_{ZM} + I_L$$

$$V_{i_{\max}} = I_{R_{\max}} R + V_Z$$

Determinar el rango de valores de  $V_i$  que mantendrán el diodo Zener de la figura estado “encendido”.



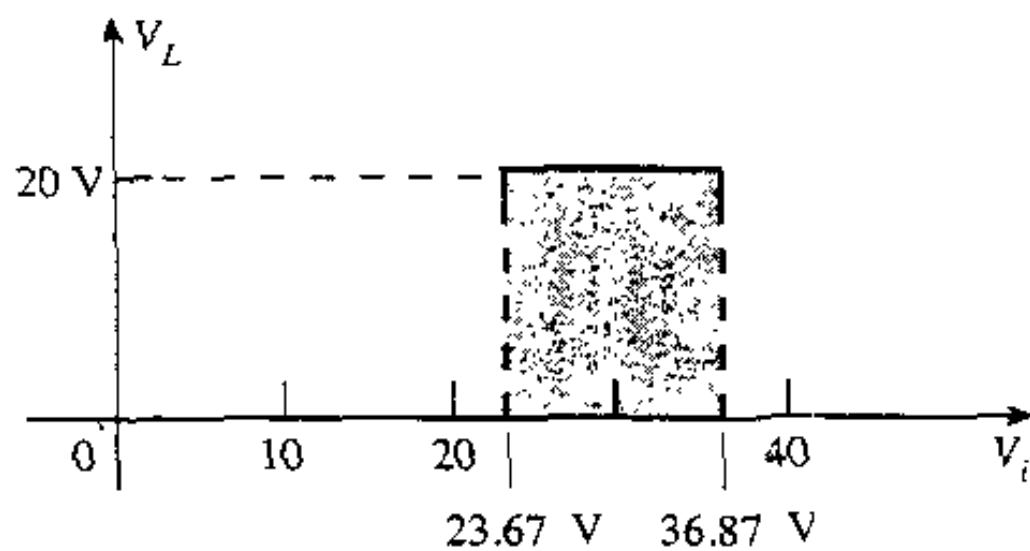
$$V_{i_{\min}} = \frac{(R_L + R)V_Z}{R_L} = \frac{(1200 \, \Omega + 220 \, \Omega)(20 \, \text{V})}{1200 \, \Omega} = 23.67 \, \text{V}$$

$$I_L = \frac{V_L}{R_L} = \frac{V_Z}{R_L} = \frac{20 \, \text{V}}{1.2 \, \text{k}\Omega} = 16.67 \, \text{mA}$$

$$I_{\text{rmax}} = I_{\text{zm}} + I_L = 60 + 16.67 = 76.67 \, \text{mA}$$

$$V_{i\text{ máx}} = I_{R\text{ máx}} R + V_Z = (76.67\text{ mA})(0.22\text{ k}\Omega) + 20\text{ V}$$

$$= \mathbf{36.87\text{ V}}$$



# TABLA DE DIODOS ZENER

Vz	0.4 Watt		0.5 Watt		1 Watt		5 Watt		Vz
2.4			1N5221	1N4617		UZ87=UZ88		UZ51=52=53	2.4
2.5			1N5222			UZ81=UZ82		UZ57=58=59	2.5
2.7			1N5223	1N4618					2.7
2.8			1N5224						2.8
3.0			1N5225	1N4619					3.0
3.3	1N746		1N5226	1N4620	1N4728		1N5333		3.3
3.6	1N747		1N5227	1N4621	1N4729		1N5334		3.6
3.9	1N748		1N5228	1N4622	1N4730		1N5335		3.9
4.3	1N749		1N5229	1N4623	1N4731		1N5336		4.3
4.7	1N750		1N5230	1N4624	1N4732		1N5337		4.7
5.1	1N751		1N5231	1N4625	1N4733		1N5338		5.1
5.6	1N752		1N5232	1N4626	1N4734		1N5339		5.6
6.0			1N5233	1N469			1N5340		6.0
6.2	1N753		1N5234	1N4627	1N4735		1N5341		6.2
6.8	1N754	1N957	1N5235	1N4628	1N4736	UZ8806	1N5342	UZ5806	6.8
7.5	1N755	1N958	1N5236	1N4629	1N4737	UZ8807	1N5343	UZ5807	7.5
8.2	1N756	1N959	1N5237	1N4630	1N4738	UZ8808	1N5344	UZ5808	8.2
8.7			1N5238	1N4695			1N5345		8.7
9.1	1N757	1N960	1N5239	1N4631	1N4739	UZ8809	1N5346	UZ5809	9.1
10.0	1N758	1N961	1N5240	1N4632	1N4740	UZ8810	1N5347	UZ5810	10.0
11.0		1N962	1N5241	1N4633	1N4741		1N5348		11.0
12.0	1N759	1N963	1N5242	1N4634	1N4742	UZ8812	1N5349	UZ5812	12.0
13.0	1N717	1N964	1N5243	1N4635	1N4743	UZ8813	1N5350	UZ5813	13.0
14.0			1N5244				1N5351	UZ5814	14.0
15.0	1N718	1N965	1N5245	1N4636	1N4744	UZ8815	1N5352	UZ5815	15.0
16.0	1N719	1N966	1N5246	1N4637	1N4745	UZ8816	1N5353	UZ5816	16.0
17.0			1N5247				1N5354		17.0
18.0	1N720	1N967	1N5248	1N4638	1N4746	UZ8818	1N5355	UZ5818	18.0
19.0			1N5249				1N5356		19.0
20.0	1N721	1N968	1N5250	1N4639	1N4747	UZ8820	1N5357	UZ5820	20.0
22.0	1N722	1N969	1N5251	1N4640	1N4748	UZ8822	1N5358	UZ5822	22.0
24.0	1N723	1N970	1N5252	1N4641	1N4749	UZ8824	1N5359	UZ5824	24.0
25.0			1N5253				1N5360		25.0
27.0	1N724	1N971	1N5254	1N4642	1N4750	UZ8827	1N5361	UZ5827	27.0
28.0			1N5255				1N5362		28.0
30.0	1N725	1N972	1N5256	1N4643	1N4751	UZ8830	1N5363	UZ5830	30.0
33.0	1N726	1N973	1N5257	1N4644	1N4752	UZ8833	1N5364	UZ5833	33.0
36.0	1N727	1N974	1N5258	1N4645	1N4753	UZ8836	1N5365	UZ5836	36.0
39.0	1N728	1N975	1N5259	1N4646	1N4754	UZ8840	1N5366	UZ5840	39.0
43.0	1N729	1N976	1N5260	1N4647	1N4755		1N5367		43.0
47.0	1N730	1N977	1N5261	1N4648	1N4756	UZ8845	1N5368		47.0
51.0	1N731	1N978	1N5262		1N4757	UZ8850	1N5369	UZ5850	51.0
56.0	1N732	1N979	1N5263		1N4758	UZ8856	1N5370	UZ5856	56.0
60.0			1N5264				1N5371	UZ5860	60.0
62.0	1N733	1N980	1N5265		1N4759	UZ8860	1N5372		62.0
68.0	1N734	1N981	1N5266		1N4760	UZ8870	1N5373		68.0
75.0	1N735	1N982	1N5267		1N4761	UZ8875	1N5374	UZ5875	75.0
82.0	1N736	1N983	1N5268		1N4762	UZ8880	1N5375	UZ5880	82.0
87.0			1N5269				1N5376		87.0
91.0	1N737	1N984	1N5270		1N4763	UZ8890	1N5377	UZ5890	91.0
100.0	1N738	1N985	1N5271		1N4764	UZ8110	1N5378	UZ5310	100.0
110.0	1N739	1N986	1N5272			UZ8111	1N5379	UZ5311	110.0
120.0	1N740	1N987	1N5273			UZ8112	1N5380	UZ5312	120.0
130.0	1N741	1N988	1N5274			UZ8113	1N5381	UZ5313	130.0
140.0			1N5275			UZ8114	1N5382	UZ5314	140.0
150.0	1N742	1N989	1N5276			UZ8115	1N5383	UZ5315	150.0
160.0	1N743	1N990	1N5277			UZ8116	1N5384	UZ5316	160.0
170.0			1N5278			UZ8117	1N5385	UZ5317	170.0
180.0	1N744	1N991	1N5279			UZ8118	1N5386	UZ5318	180.0
190.0			1N5280			UZ8119	1N5387	UZ5319	190.0
200.0	1N745	1N992	1N5281			UZ8120	1N5388	UZ5320	200.0



## REGULADOR DE VOLTAJE CON CIRCUITO INTEGRADO

Un regulador de tensión o regulador de voltaje es un dispositivo electrónico diseñado para mantener un nivel de tensión constante o regulable, en algunos casos, con un circuito integrado.

Un regulador de voltaje es un circuito que, sin importar lo que conectes a su salida, mantendrá un voltaje constante en sus terminales.

Existen dos tipos: reguladores positivos o negativos.

En el caso de los reguladores negativos no hay muchas variantes.  
En el caso positivo los hay fijos y variables.

El fijo ofrece un voltaje constante especificado en su especificación técnica; la serie 78xx y 79xx son ejemplos de este tipo de reguladores.

Los variables son dispositivos que permiten ajustar el voltaje de salida mediante elementos externos, como resistores; los conocidos integrados 317 Y 337 son ejemplos de reguladores variables positivos y negativos, respectivamente.

## **Regulador Lineal**

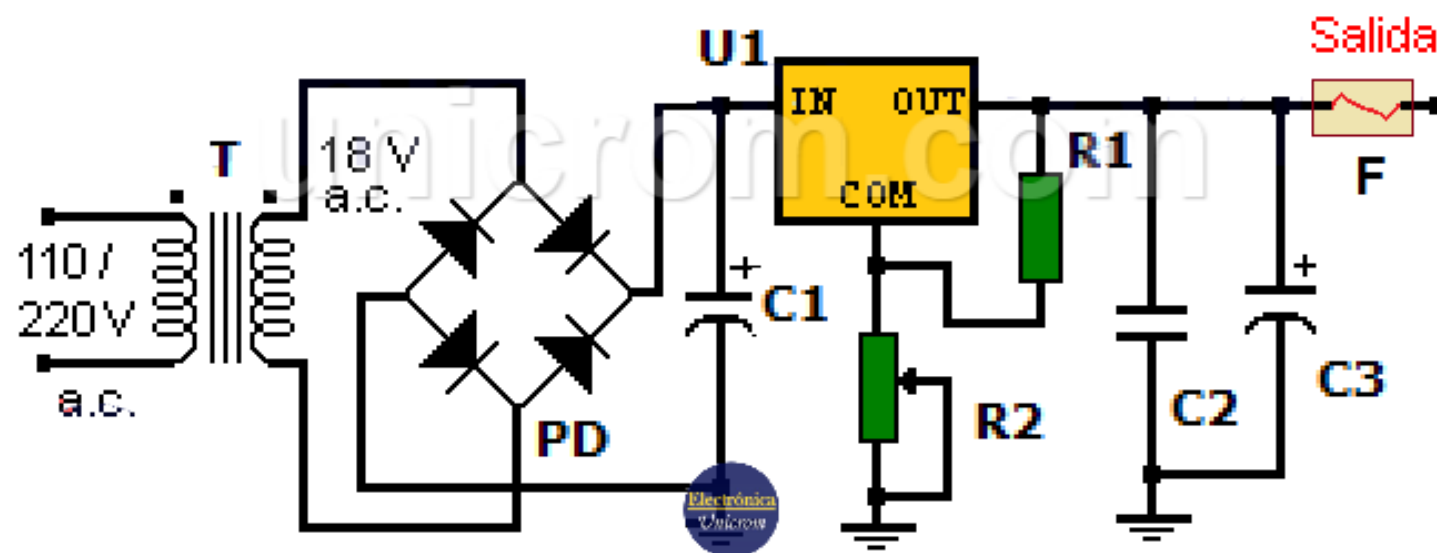
Son especialmente útiles dada su circuitería simple y facilidad de uso. Los reguladores lineales son elementos de 3 terminales, generalmente. Están basados en circuitos analógicos con realimentación que ajustan el voltaje de salida dependiendo de la señal de realimentación.

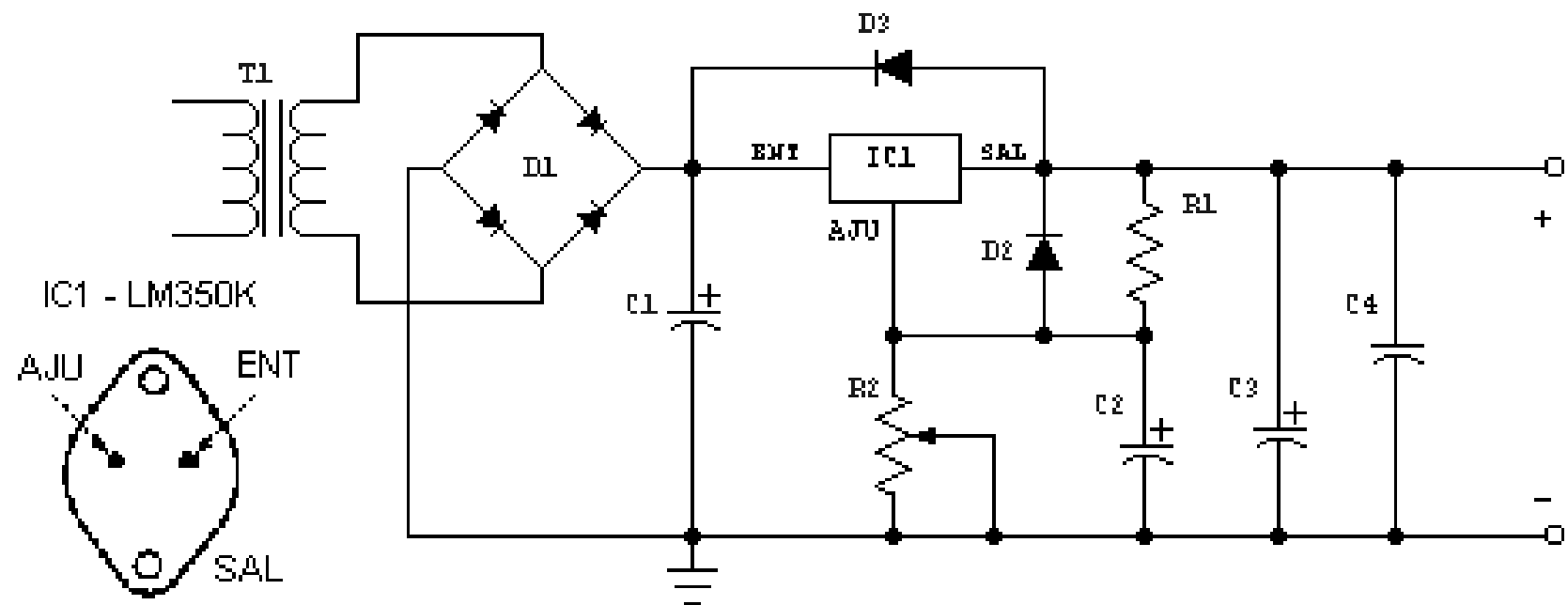
## **Reguladores por conmutación**

Los reguladores por conmutación son más eficientes que los lineales dado que los transistores funcionan en saturación o corte (encendido-apagado) en vez de en su región lineal (como un resistor variable), minimizando la pérdida de potencia. Además, el tamaño de la fuente de alimentación se reduce, dado que se requiere disipar menos calor.

Suponiendo una fuente con un voltaje de entrada de 12V con salida de 3.3V, un regulador de conmutación puede alcanzar una eficiencia de más del 90%, respecto al 27.5% de un regulador lineal. Esto se puede interpretar como una reducción del tamaño de cuando menos 8 veces respecto al lineal.

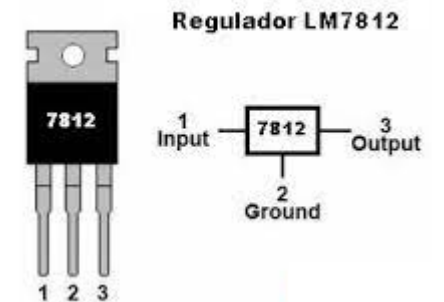
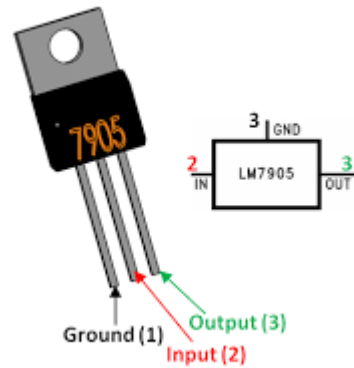
## Fuente de Voltaje Regulable con **LM317**





Designación	Tensión de salida (V)	Rango de entrada (V)
LM7805	5	7 – 25
LM7806	6	8 – 25
LM7808	8	10,5 – 25
LM7809	9	11,5 – 25
LM7810	10	12,5 – 25
LM7812	12	14,5 – 30
LM7815	15	17,5 – 30
LM7818	18	21 – 33
LM7824	24	27 – 38

Circuito integrado	Voltaje de salida (V)	$V_i$ mínimo (V)
7905	-5	-7.3
7906	-6	-8.4
7908	-8	-10.5
7909	-9	-11.5
7912	-12	-14.6
7915	-15	-17.7
7918	-18	-20.8
7924	-24	-27.1



# FOTORESISTORES

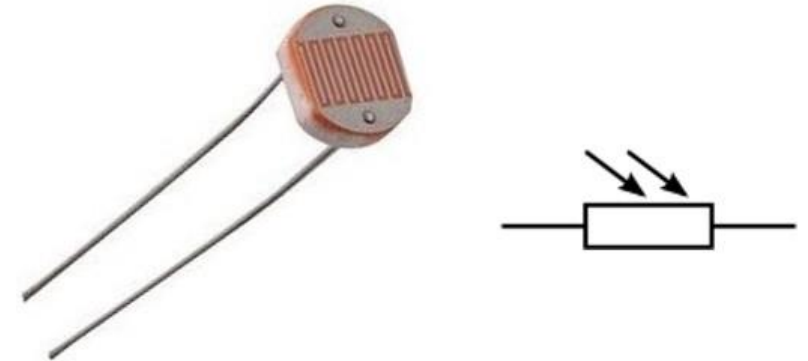
El LDR por sus siglas en inglés (Light Dependent Resistor) o fotoresistor es una resistencia eléctrica la cual varía su valor en función de la cantidad de luz que incide sobre su superficie.

Cuanto mayor sea la intensidad de luz que incide en la superficie del LDR menor será su resistencia y en cuanto menor sea la luz que incida sobre éste mayor será su resistencia.

Cuando el LDR(fotoresistor) no está expuesto a radiaciones luminosas, los electrones están firmemente unidos en los átomos que lo conforman no permitiendo el paso de la corriente, pero cuando sobre él inciden radiaciones luminosas, esta energía libera electrones con lo cual el material se hace más conductor, permite el paso de corriente.

Las resistencias LDR solamente reducen su resistencia con una radiación luminosa situada dentro de una determinada banda de longitudes de onda.

El fotoresistor construido con sulfuro de cadmio son sensibles a todas las radiaciones luminosas visibles y las construidas con sulfuro de plomo solamente son sensibles a las radiaciones infrarrojas.



+ LUZ = - RESISTENCIA

Los materiales de cristal semiconductor fotosensible más utilizados para la fabricación de las resistencias LDR son el sulfuro de talio, el sulfuro de cadmio, el sulfuro de plomo, y el seleniuro de cadmio.

- Sulfuro de cadmio:** Las fotoresistencias elaboradas con este químico son extremadamente sensibles a todo tipo de radiaciones luminosas que son visibles en el espectro del ser humano.

- Sulfuro de plomo:** Las fotoresistencias elaboradas con este químico son especialmente sensibles a las radiaciones infrarrojas.

Existen dos formas básicas para la conexión de nuestra LDR, pueden ser utilizadas dependiendo del fin deseado. Si disponemos de un controlador es posible modificar los resultados mediante programación.

**1.Mayor luz, mayor voltaje:** Al conectar la fotoresistencia al nodo positivo de nuestra fuente de voltaje tendremos que, al incidir una mayor cantidad de luz provocará una menor caída de voltaje o diferencial de potencial entre la fuente y el pin de referencia (Vout), por lo tanto se tendrá una lectura mayor.

**2.Mayor luz, menor voltaje:** En pocas palabras la fotoresistencia se conecta al nodo de GND y provocará un comportamiento opuesto al punto 1.

3mm LDR sensor PDF ↓



【MJ3516】	5-10K $\Omega$
【MJ3517】	10-20K $\Omega$
【MJ3528】	20-30K $\Omega$
【MJ3537】	30-50K $\Omega$
【MJ3539】	50-100K $\Omega$
【MJ3549】	100-200K $\Omega$

4mm ldr sensor PDF ↓



【MJ4516】	5-10K $\Omega$
【MJ4517】	10-20K $\Omega$
【MJ4528】	20-30K $\Omega$
【MJ4537】	30-50K $\Omega$
【MJ4539】	50-100K $\Omega$
【MJ4549】	100-200K $\Omega$

5mm photoresist film PDF ↓



【MJ5516】	5-10K $\Omega$
【MJ5517】	10-20K $\Omega$
【MJ5528】	20-30K $\Omega$
【MJ5537】	30-50K $\Omega$
【MJ5539】	50-100K $\Omega$
【MJ5549】	100-200K $\Omega$

7mm dry photoresist PDF ↓



【MJ7516】	5-10K $\Omega$
【MJ7517】	10-20K $\Omega$
【MJ7528】	20-30K $\Omega$
【MJ7537】	30-50K $\Omega$
【MJ7539】	50-100K $\Omega$

11mm LDR sensor PDF ↓



【MJ11516】	5-10K $\Omega$
【MJ11517】	10-20K $\Omega$
【MJ11528】	20-30K $\Omega$
【MJ11537】	30-50K $\Omega$
【MJ11539】	50-100K $\Omega$

12mm LDR PDF ↓



【MJ12516】	5-10K $\Omega$
【MJ12517】	10-20K $\Omega$
【MJ12528】	20-30K $\Omega$
【MJ12537】	30-50K $\Omega$
【MJ12539】	50-100K $\Omega$



## **APLICACIONES:**

### **1. Detector de oscuridad**

La mayoría de las aplicaciones de las fotorresistencias se basan en un sistema de iluminación. Un ejemplo es el encendido de luces que se encuentran en la calle que a medida que se acerca la noche las luces se encienden. La fotorresistencia se utiliza como un detector de oscuridad a modo de interruptor.

### **2. Compresor de audio**

Algunos compresores utilizan fotorresistencias y una pequeña lámpara conectados a la fuente de señal para crear cambios en la ganancia de señal. Los compresores de audio son dispositivos que reducen la ganancia del amplificador de audio cuando la amplitud de la señal está por encima de un valor establecido; para realizar esto se necesitan fotorresistencias

### **3. Detector de humo**

Existen diversos tipos de detectores de humo pero hay uno que depende de la luz y es la que utiliza fotorresistencias. Si hay humo, este entra a la base de la alarma se dispersa y es cuando se activa una corriente eléctrica y suena la alarma.

### **4. Circuito de alarma antirrobo**

etc

## **Luz nocturna automática con 555 y relé**

<https://unicrom.com/luz-nocturna-automatica-con-555-rele/>

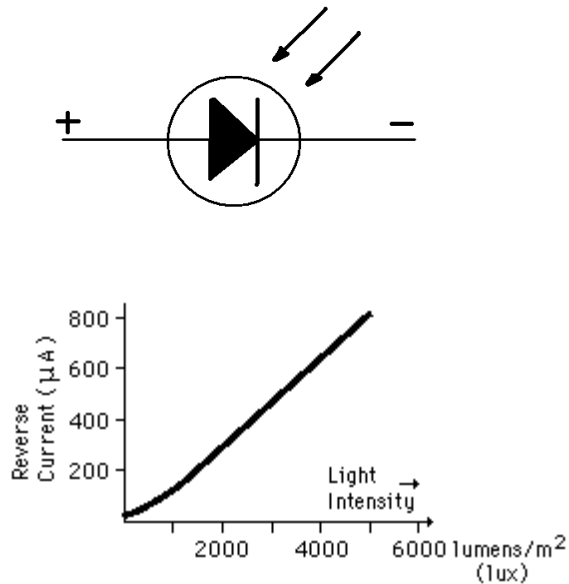
## **CIRCUITO INTEGRADO 555**

<https://www.areatecnologia.com/electronica/circuito-integrado-555.html>

## FOTODIODOS

Un fotodiodo es un dispositivo de fotounión. Es un diodo normal con su unión PN expuesta a la luz a través de una caja o una lente transparentes. Estos diodos tienen las mismas características de voltaje-corriente que cualquier otro diodo normal de unión. Pero tienen una conductividad más alta que los diodos convencionales porque su unión está abierta a la exposición a la luz.

Para que su funcionamiento sea correcto se polariza inversamente, con lo que se producirá una cierta circulación de corriente cuando sea excitado por la luz.



Los materiales empleados en la composición de un fotodiodo suelen estar compuestos de silicio, sensible a la luz visible (longitud de onda de hasta  $1\mu\text{m}$ ); germanio para luz infrarroja (longitud de onda hasta aprox.  $1,8\mu\text{m}$ ); o de cualquier otro material semiconductor.

También es posible la fabricación de fotodiodos para su uso en el campo de los infrarrojos medios (longitud de onda entre 5 y  $20\mu\text{m}$ ), pero estos requieren refrigeración por nitrógeno líquido.

Material	Longitud de onda (nm)
<a href="#">Silicio</a>	190–1100
<a href="#">Germanio</a>	800–1700
<a href="#">Indio galio arsénico (InGaAs)</a>	800–2600
<a href="#">sulfuro de plomo</a>	<1000-3500



•A diferencia del LDR , el fotodiodo responde a los cambios de oscuridad a iluminación y viceversa con mucha más velocidad, y puede utilizarse en circuitos con tiempo de respuesta más pequeño.

## **USOS**

- **Sensores**
  - Proximidad
  - Detección remota
- **Recepción o lectura de datos**
  - Control remoto
  - Lectores código de barras
  - Lectores CD y DVD
- **Medición de luz**
  - Fotometría
  - Espectrometría
- **Usados en fibra óptica**

### **Detectores y sensores ópticos**

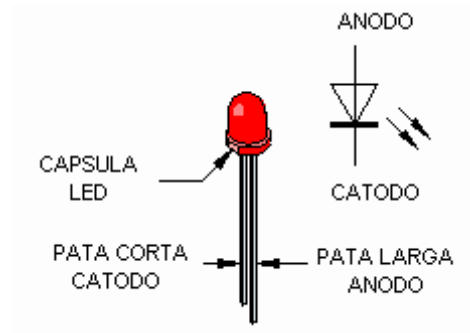
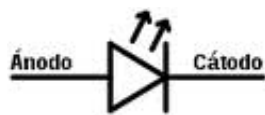
<https://www.mouser.hn/c/ds/optoelectronics/optical-detectors-and-sensors/>

## DIODO LED

El diodo emisor de luz o LED (light-emitting diode) es un fuente de luz que emite fotones cuando se recibe una corriente eléctrica de muy baja intensidad.

El LED por lo general se encierra en un material plástico de color que acentúa la longitud de onda generada por el diodo y ayuda a enfocar la luz en un haz. En la Figura se muestra un diodo emisor de luz típico y su símbolo esquemático.

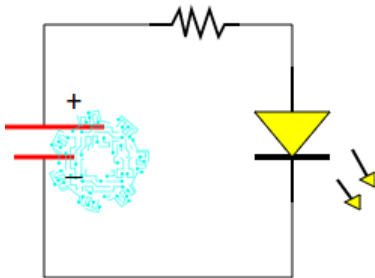
La terminal positiva, o ánodo, por lo general es la más larga de las dos terminales, algunos diodos leds tienen una base plana que sirve para identificar la terminal negativa, o cátodo



Conforme se va incrementando la tensión de polarización se aumenta la intensidad de luz emitida, Es importante recordar que un LED tiene una caída de voltaje de 1.5 a 2.5V al ser polarizado directamente (La caída de voltaje varía dependiendo del tamaño del led, color, composición).

Es importante incluir una resistencia limitante de corriente en serie en el circuito para evitar una excesiva corriente hacia adelante, lo que puede dañar al diodo LED. (En circuitos en los cuales se utiliza una tensión de 5V es común utilizar un resistor de 330Ω).

Algunas consideraciones aproximadas para el valor de tensión dependiendo del color son:



$$R = (V_i - V_{led}) / i$$

Color	Tensión umbral (V)	Tensión máxima (V)	Corriente media (mA)	Corriente máxima (mA)
Rojo	1.8	2.2	5 - 10	20
verde	2	3.5	5 - 10	20
amarillo	2	3.5	5 - 10	20
naranja	2.1	2.2	5 - 10	20

Existen LEDs de potencia que permiten un flujo de corriente de 150mA hasta 1000mA, es por ello que debemos revisar las características de nuestro componente.

## **LED DE MUCHOS COLORES O RGB**

Uno de los LEDs más populares es el LED RGB, el cual es muy utilizado para paneles publicitarios, ya que permiten reproducir cualquier color de manera perfecta.

Estos son diodos que tienen 3 semiconductores cada uno con un color diferente, considerando los colores primarios Rojo (Red), Verde (Green) y Azul (Blue). Si controlamos esta mezcla de colores, podemos obtener una gama inmensa de colores en los leds.

Para controlar los colores solo hace falta hacer pasar más o menos corriente por uno u otro semiconductor. Por ejemplo si solo pasa corriente por el rojo y por el verde el color que obtenemos será el amarillo.

Los ledes RGB son capaces de producir una amplia gama de colores. A diferencia de los ledes dedicados a un solo color

Los ledes se emplean en todo tipo de indicadores de estado (encendido/apagado) en dispositivos de señalización (de tránsito, de emergencia, etc.) y en paneles informativos (el mayor del mundo, del NASDAQ, tiene 36,6 metros de altura y está en Times Square, Manhattan).

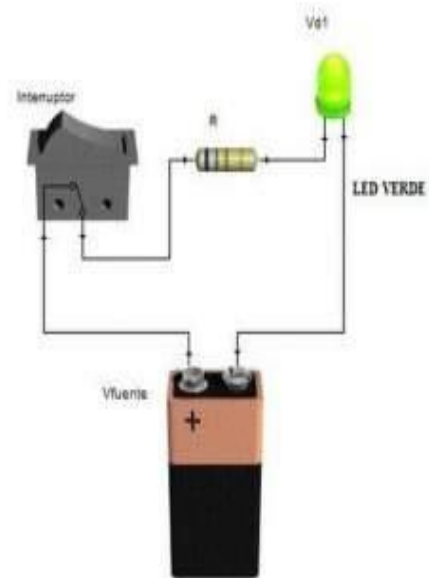
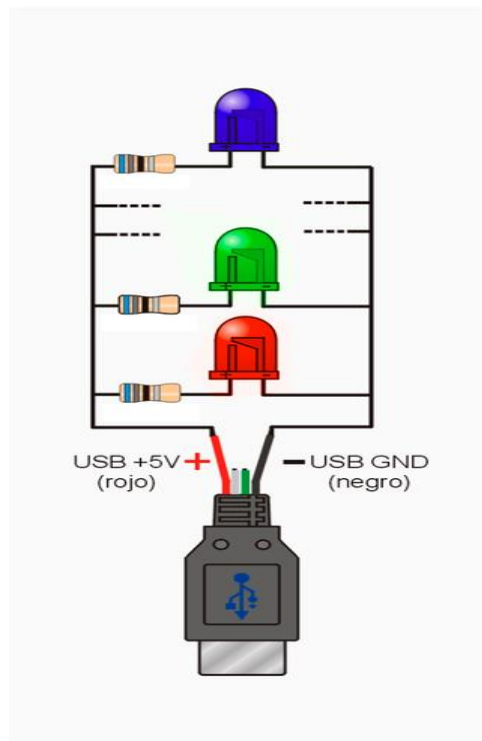
También se emplean en el alumbrado de pantallas de cristal líquido de teléfonos móviles, calculadoras, agendas electrónicas, etc.,. Existen además impresoras con ledes.

El uso de ledes en el ámbito de la iluminación (incluyendo la señalización de tráfico) es moderado y es previsible que se incremente en el futuro, ya que sus prestaciones son superiores a las de la lámpara incandescente y la lámpara fluorescente.

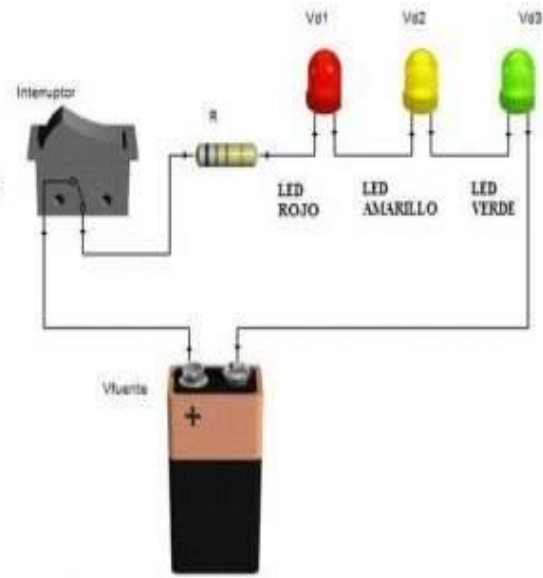
También se utilizo en la emisión de señales de luz que se trasmiten a través de fibra óptica. Sin embargo esta aplicación está en desuso ya que actualmente se opta por tecnología láser que focaliza más las señales de luz y permite un mayor alcance de la misma utilizando el mismo cable.

Pantalla de ledes: pantalla muy brillante, formada por filas de ledes verdes, azules y rojos, ordenados según la arquitectura RGB.





Circuito básico de polarización directa de un LED



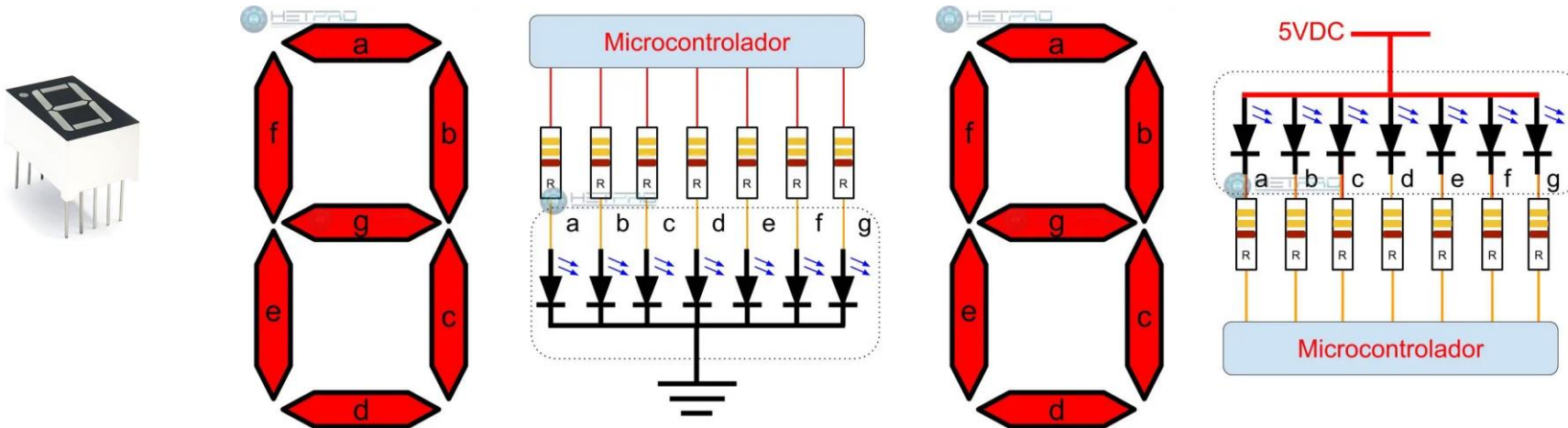
Circuito básico para polarizar de forma directa varios LEDs

## DISPLAY

Display significa visualizador en ingles. Pues eso, un display es un dispositivo electrónica que visualiza información.

El display 7 Segmentos es un dispositivo opto-electrónico que permite visualizar números del 0 al 9. Existen dos tipos de display, de cátodo común y de ánodo común.

Este tipo de elemento de salida digital o display, se utilizabá en los primeros dispositivos electrónicos de la década de los 70's y 80's. Hoy en día es muy utilizadon en proyectos educativos



## Encapsulados típicos en diodos



AXIAL



DO-27  
9,5 X 5,3 mm.



DO-41  
5,2 X 2,7 mm.



DO-201  
9,5 X 6,3 mm.



DO-4



DO-5



TO-220

CATODO COMUN



TO-3P  
TO-247

CATODO COMUN



SOD-123



SOD-323



SOT-23



SMA/DO 214AC



TO-251  
3,8 X 5,6 mm.

## Algunos tipos de encapsulados en Puentes Rectificadores:

