



Instituto **Tecnológico**[®]
de Aguascalientes

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA
ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

DIODOS Y TRANSISTORES

OBJETIVO GENERAL DEL CURSO

Diseñar, construir y analizar circuitos de aplicación con diodos, transistores bipolares y unipolares, fuentes de alimentación utilizando herramientas computacionales.

APORTACIÓN DEL CURSO AL PERFIL PROFESIONAL

- **Diseño, análisis, simulación y construcción de circuitos electrónicos utilizando componentes discretos.**
- **Conocer los principios, características, parámetros de voltaje y corriente utilizados en el diseño de circuitos de polarización de los transistores BJT y JFET que le permitirán diseñar circuitos amplificadores.**
- **Aplica las tecnologías de la información y de la comunicación, para la adquisición y procesamiento de datos.**
- **Realiza la selección y operación del equipo de medición y prueba requeridos e identifica los parámetros eléctricos de los manuales de dispositivos o de documentos electrónicos.**

UNIDAD 1. Circuitos de aplicación con diodos.

1.1. Polarización y recta de carga.

1.2. Circuitos serie, paralelo, serie paralelo en DC.

1.3. Circuitos de:

1.3.1. Rectificación y filtrado. (media onda y onda completa).

1.3.2. Recortadores.

1.3.3. Sujetadores.

1.3.4. Multiplicadores.

1.4. Diodo Zener.

1.4.1. Circuitos reguladores.

1.5. Otros Diodos, aplicaciones.

UNIDAD 2. Transistor bipolar (BJT)

2.1. Características, parámetros y punto de operación.

2.2. Configuraciones de polarización.

2.2.1. Emisor común.

2.2.1.1. Polarización fija.

2.2.1.2. Polarización de emisor.

2.2.1.3. Polarización por divisor de voltaje.

2.2.1.4. Polarización por realimentación de colector.

2.2.2. Base común.

2.2.3. Colector común.

2.3. Conmutación.

2.4. Estabilidad.

UNIDAD 3. Transistor unipolar.

3.1. Configuraciones de polarización.

(JFET, MOSFET)

3.1.1. Fija.

3.1.2. Auto polarización.

3.2. Polarización por divisor de voltaje.

3.3. Configuración en compuerta común.

3.4. Polarización de MOSFET.

3.5. Redes combinadas.

3.6. Curva de polarización universal.

UNIDAD 4. Amplificadores con transistores BJT's y FET's.

4.1. Introducción a los Amplificadores en pequeña señal.

4.2. Amplificador con BJT.

4.2.1. Modelo re.

4.2.2. Parámetros de redes de 2 puertos.

4.2.3. Modelo Hibrido.

4.2.4. Determinación de los parámetros del amplificador en pequeña señal para las diferentes configuraciones.

4.2.5. Efecto de la resistencia R_s y R_L .

4.2.6. Análisis por computadora.

4.3. Amplificador con JFET.

4.3.1. Modelo del JFET en pequeña señal.

4.3.2. Determinación de los parámetros de un amplificador en pequeña señal. para las diferentes configuraciones de polarización.

4.3.3. Análisis de circuitos amplificadores con MOSFET.

UNIDAD 5. Proyecto Final

5.1. Diseño de una fuente de alimentación.

FUENTES DE INFORMACIÓN

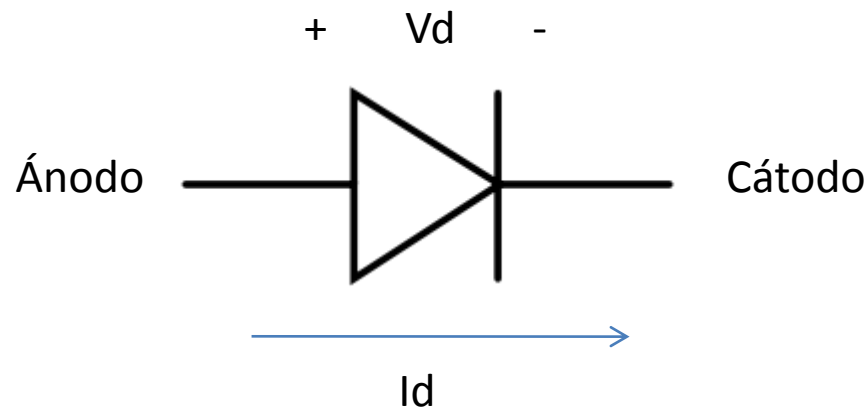
1. Boylestad Robert L., Nashelsky Louis, *Electrónica Teoría de Circuitos y Dispositivos Electrónicos*, Décima edición, Editorial Prentice Hall. México, 2009.
2. Malvino Albert Paul, *Principios de Electrónica* Ed. Mc Graw Hill.
3. Millman Jacob, Halkias Cristos C., *Electrónica integrada circuitos y sistemas analógicos y digitales*, Editorial Hispano Europea, S. A. 9ª Edición.
4. Grob. *Circuitos electrónicos y sus aplicaciones*. Ed. Mc Graw Hill.
5. Floyd, *Dispositivos Electrónicos*, Editorial Prentice Hall.
6. Savant, Roden, Carpenter. *Diseño Electrónico, Circuitos y Sistemas*. Prentice Hall.

Unidad 1. Circuitos de Aplicación con diodos

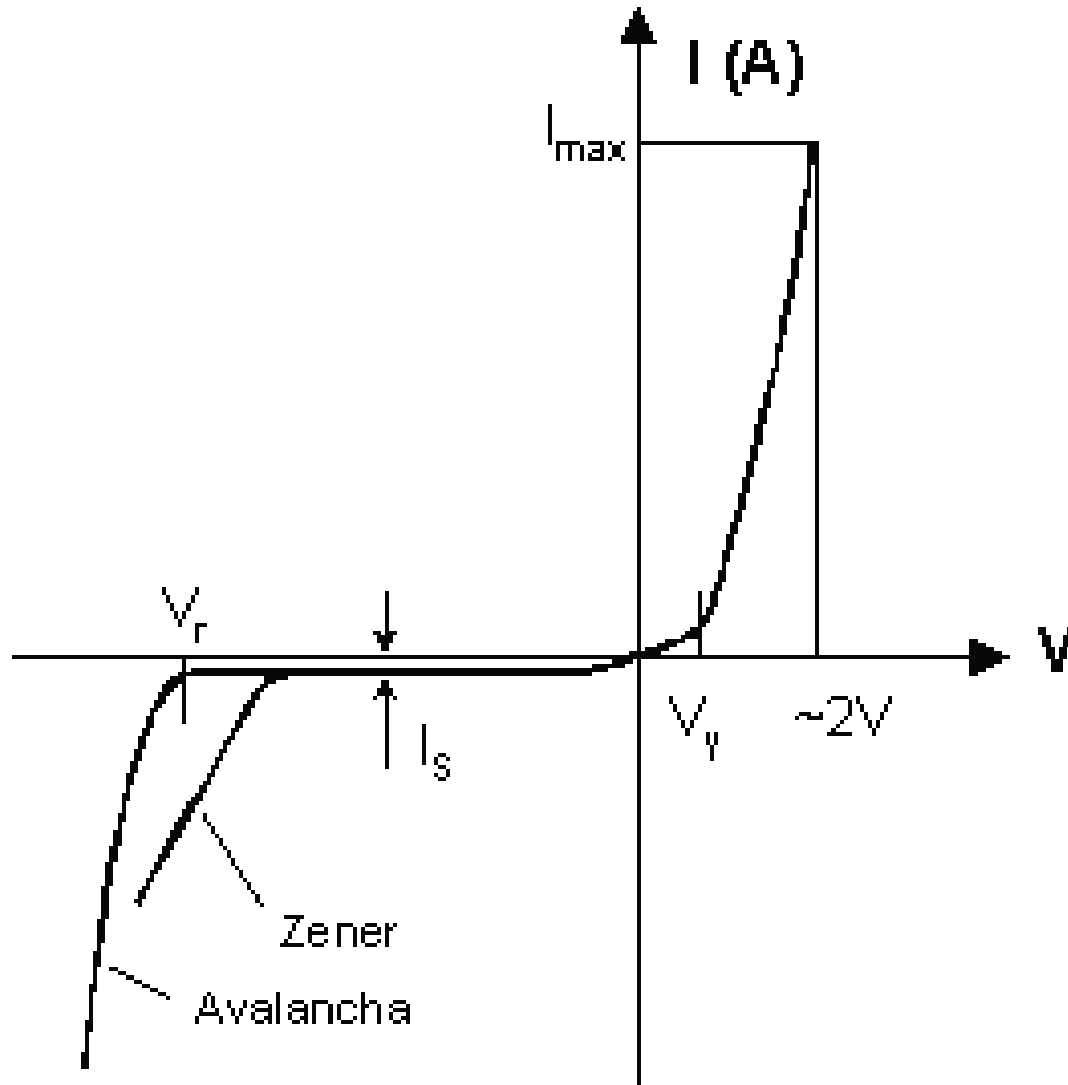
1.1 Polarización.

Un diodo (del griego: dos caminos) es un dispositivo semiconductor que permite el paso de la corriente eléctrica en una única dirección con características similares a un interruptor.

De forma simplificada, la curva característica de un diodo (I-V) consta de dos regiones: por debajo de cierto voltaje, se comporta como un circuito abierto (no conduce), y por encima de él como un circuito cerrado con una resistencia eléctrica muy pequeña.

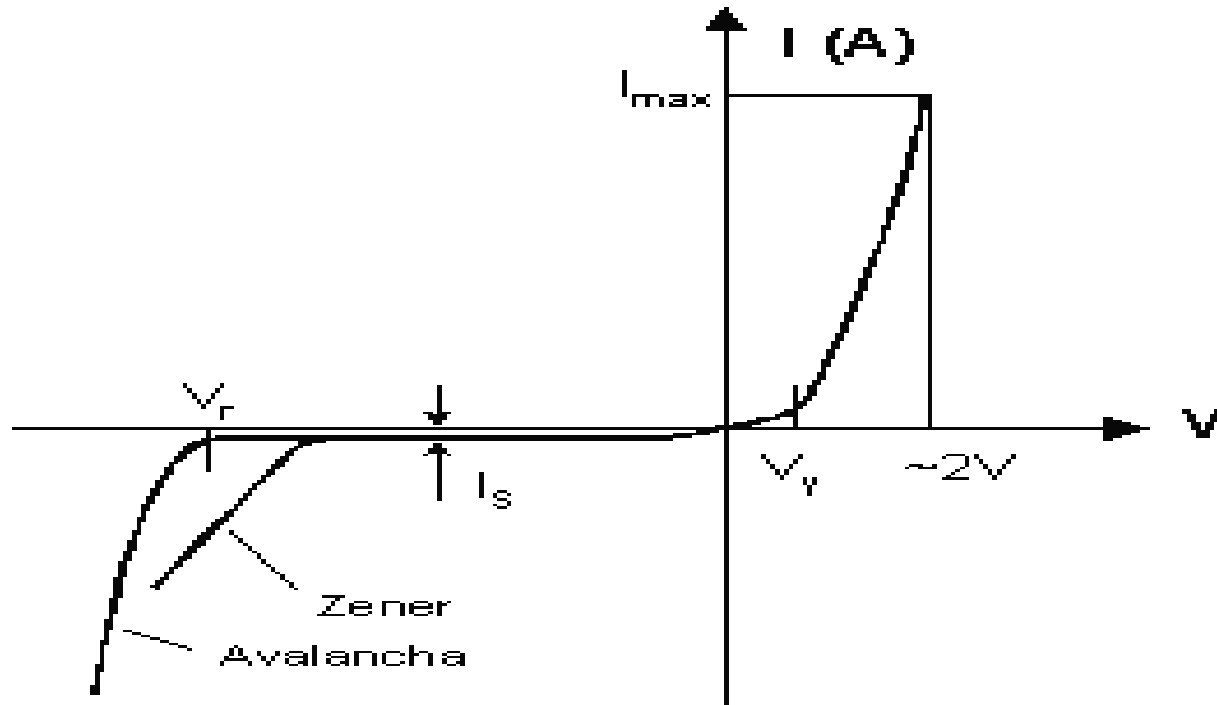


Curva característica del diodo



Voltaje umbral, de codo o de partida (V_y).

El voltaje umbral (también llamado barrera de potencial) de polarización directa coincide en valor con el voltaje de la zona de carga espacial del diodo no polarizado. Al polarizar directamente el diodo, la barrera de potencial inicial se va reduciendo, incrementando la corriente ligeramente, alrededor del 1% de la nominal. Sin embargo, cuando el voltaje externo supera el umbral, la barrera de potencial desaparece, de forma que para pequeños incrementos de voltaje producen grandes variaciones de la intensidad de corriente.

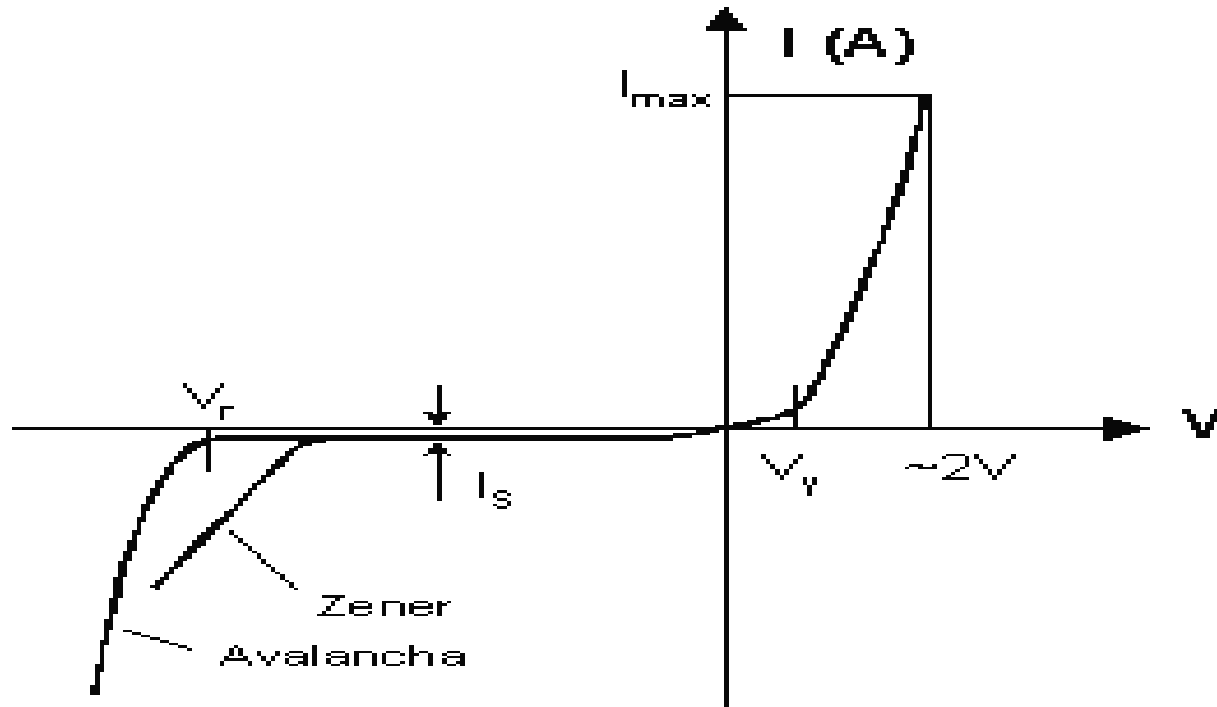


Corriente inversa de saturación (I_s).

Es la pequeña corriente que se establece al polarizar inversamente el diodo por la formación de pares electrón-hueco debido a la temperatura, admitiéndose que se duplica por cada incremento de 10 grados en la temperatura.

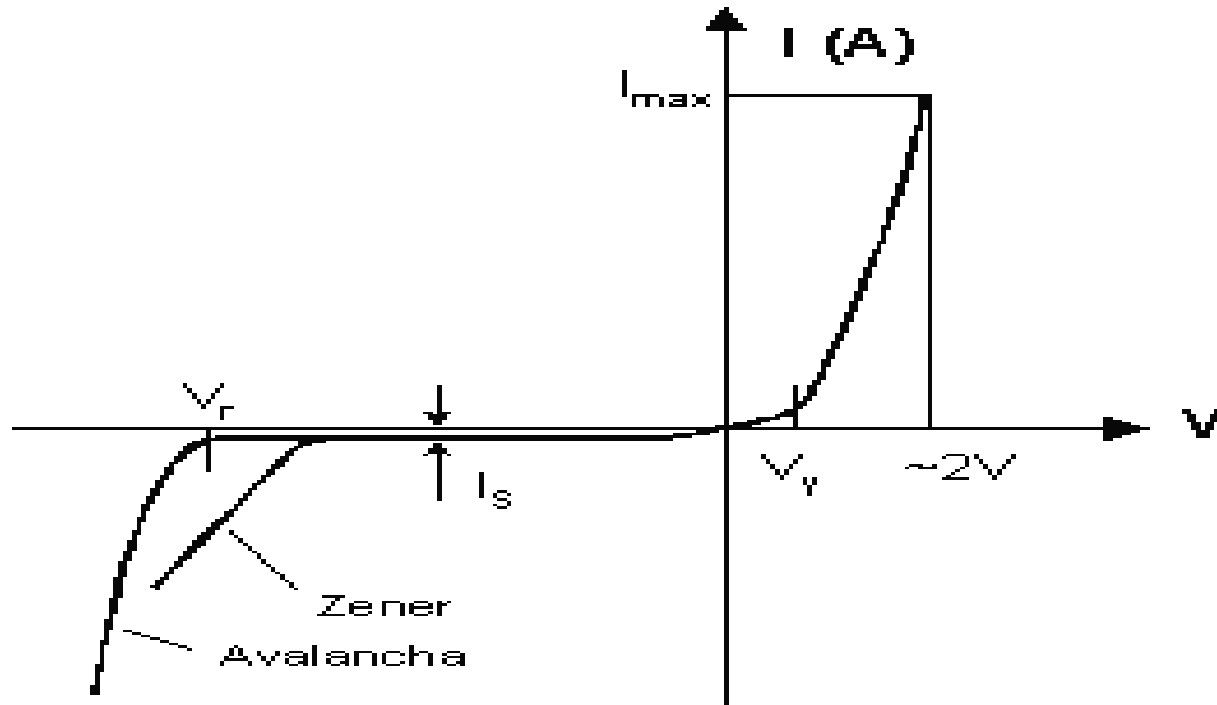
Corriente superficial de fugas.

Es la pequeña corriente que circula por la superficie del diodo (ver polarización inversa), esta corriente es función del voltaje aplicado al diodo, con lo que al aumentar el voltaje, aumenta la corriente superficial de fugas.



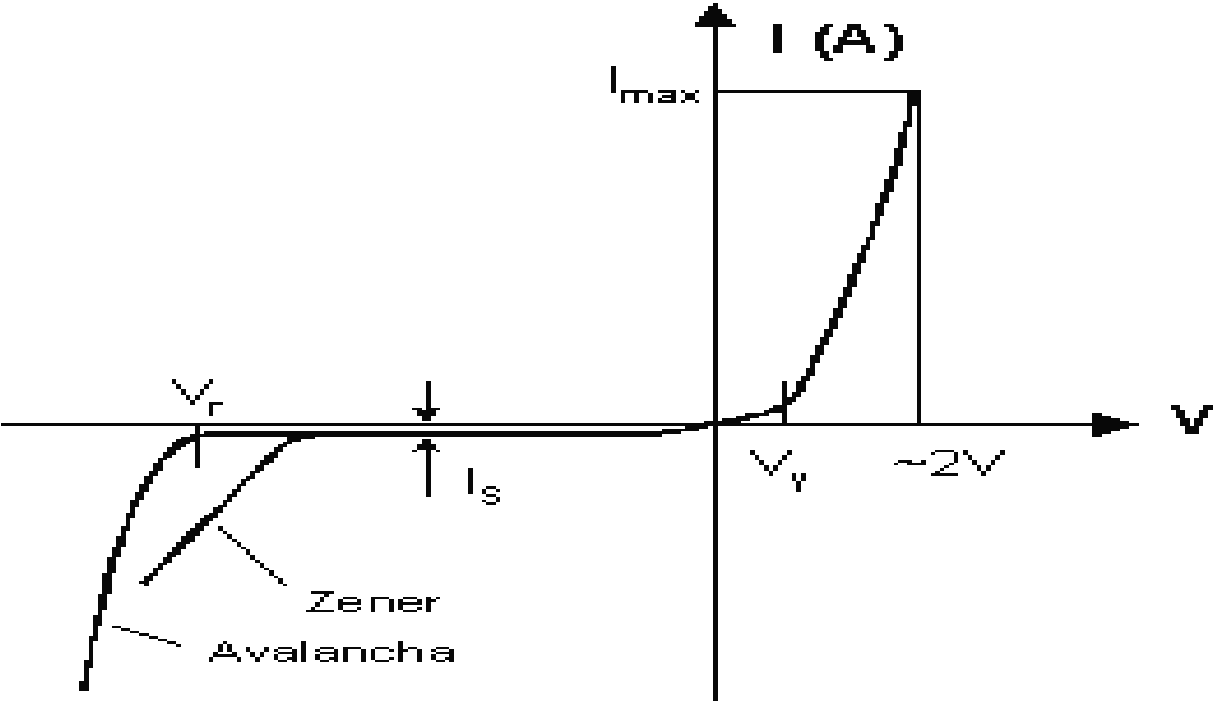
Voltaje de ruptura (V_r).

Es el voltaje inverso máximo que el diodo puede soportar antes de darse el efecto avalancha.



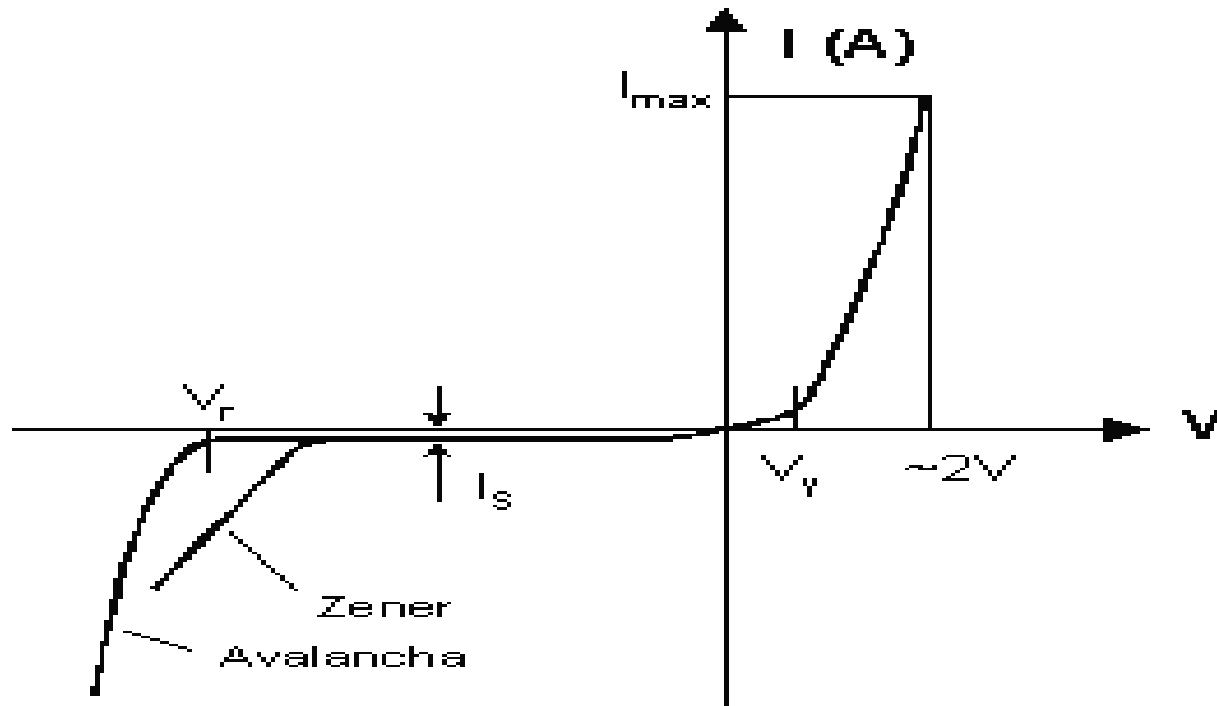
Teóricamente, al polarizar inversamente el diodo, este conducirá la corriente inversa de saturación; en la realidad, a partir de un determinado valor de voltaje, en el diodo *normal* o de *unión abrupta* la ruptura se debe al efecto avalancha; no obstante hay otro tipo de diodos, como los Zener, en los que la ruptura puede deberse a dos efectos:

Efecto avalancha (diodos poco dopados). En polarización inversa se generan pares electrón-hueco que provocan la corriente inversa de saturación; si el voltaje inverso es elevada los electrones se aceleran incrementando su energía cinética de forma que al chocar con electrones de valencia pueden provocar su salto a la banda de conducción. Estos electrones liberados, a su vez, se aceleran por efecto del voltaje, chocando con más electrones de valencia y liberándolos a su vez. El resultado es una *avalancha* de electrones que provoca una corriente grande. Este fenómeno se produce para valores de voltaje inversos superiores a 6 V.

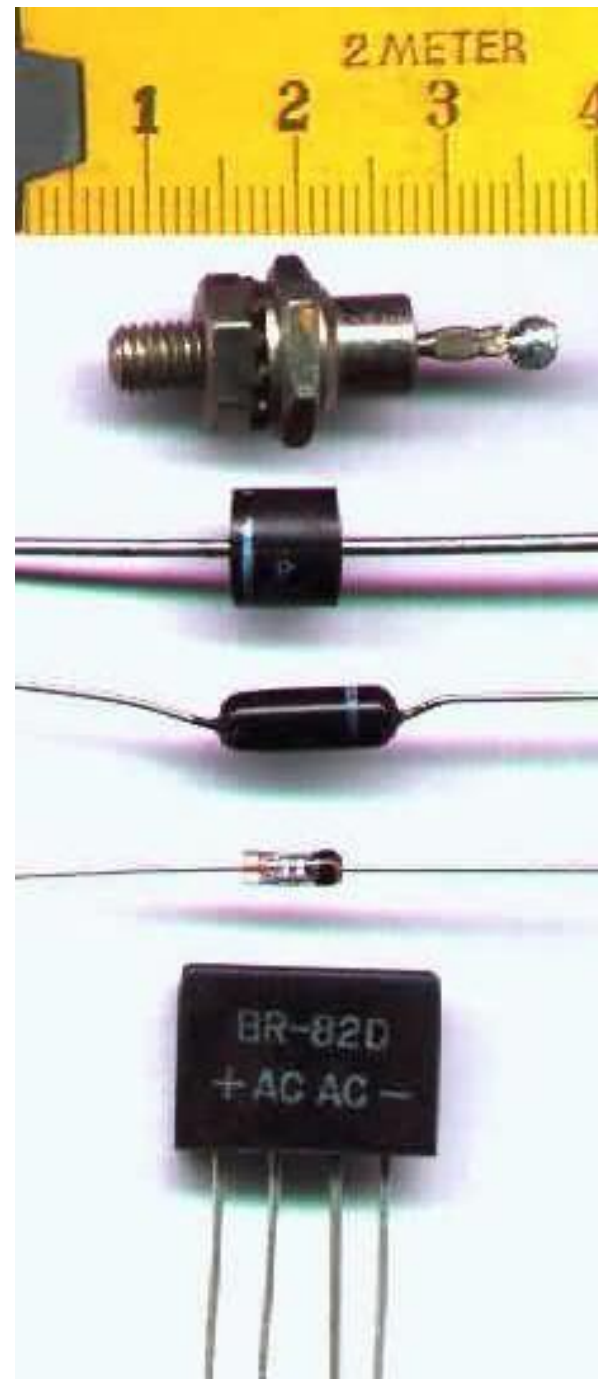


Efecto Zener (diodos muy dopados). Cuanto más dopado está el material, menor es la anchura de la zona de carga. Puesto que el campo eléctrico E puede expresarse como cociente del voltaje V entre la distancia d ; cuando el diodo esté muy dopado, y por tanto d sea pequeño, el campo eléctrico será grande, del orden de $3 \cdot 10^5$ V/cm. En estas condiciones, el propio campo puede ser capaz de arrancar electrones de valencia incrementándose la corriente. Este efecto se produce para tensiones inversas de 4 V o menores.

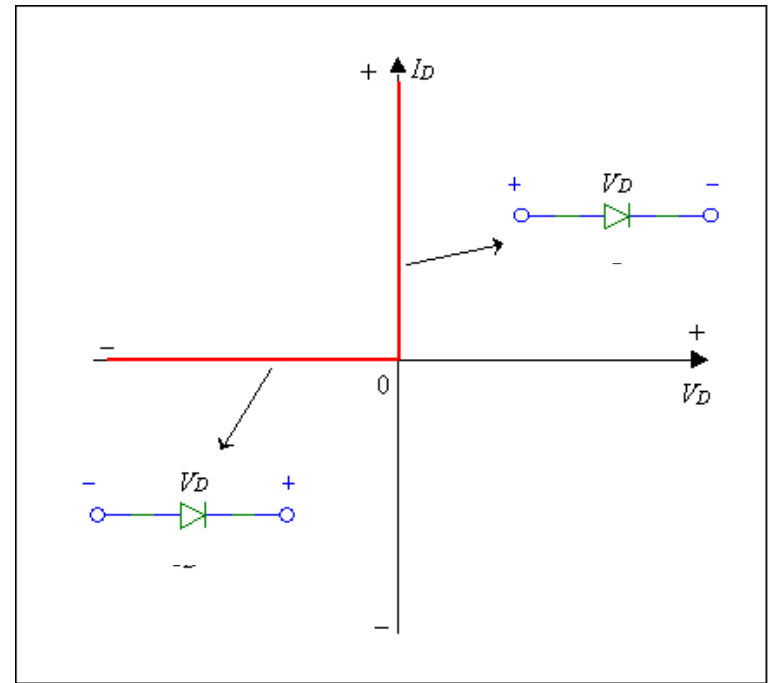
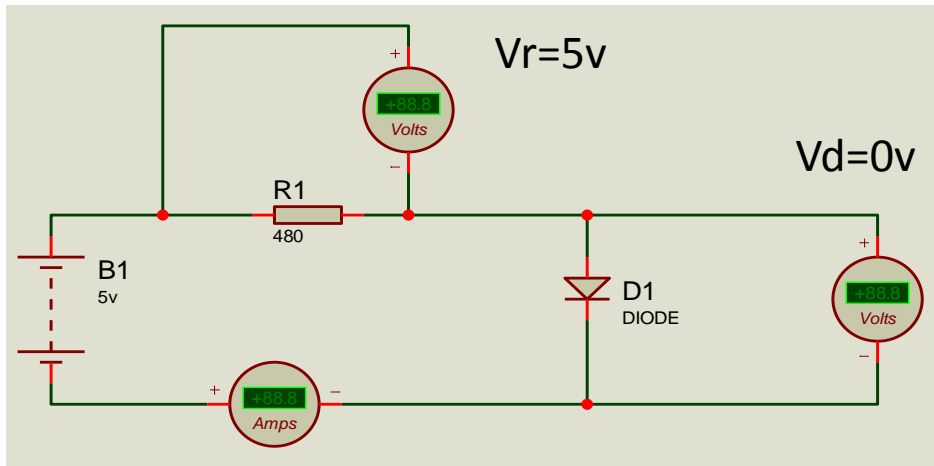
Para tensiones inversas entre 4 y 6 V la ruptura de estos diodos especiales, como los Zener, se puede producir por ambos efectos.



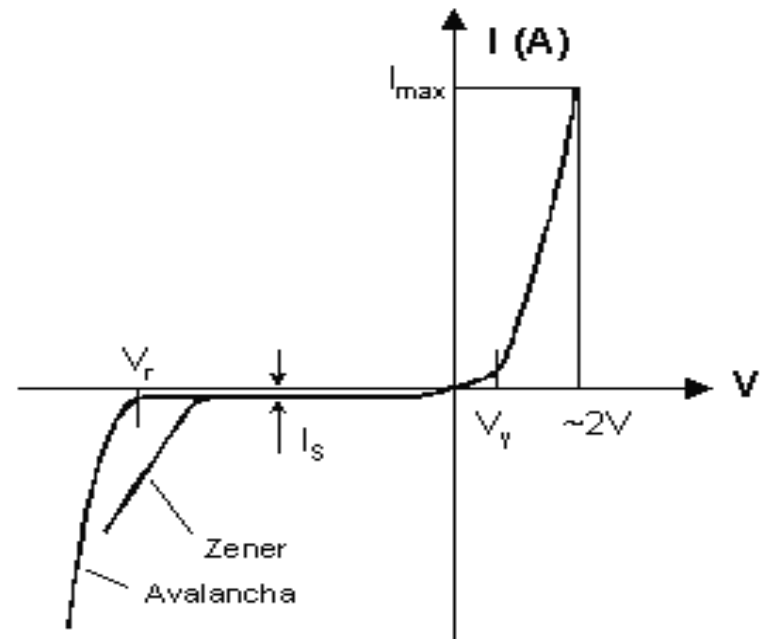
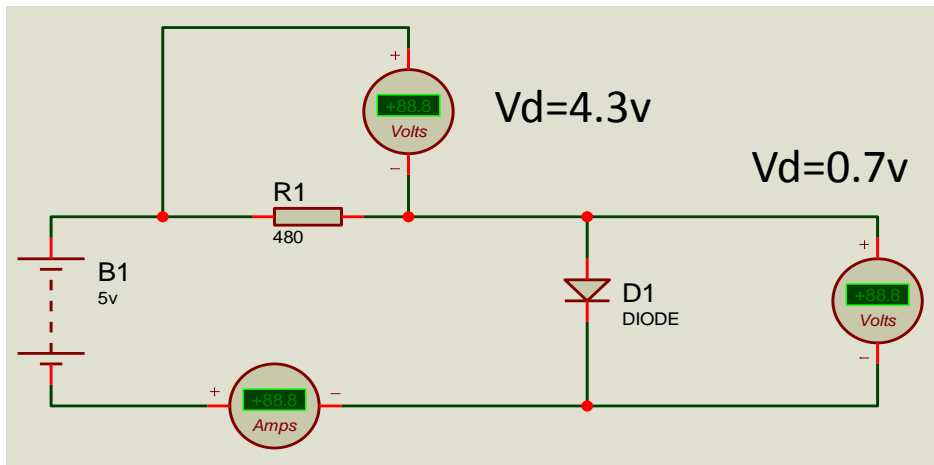
Ejemplos de diodos



Diodo Ideal



Diodo Real



Práctica # 1

“Polarización del Diodo”

1. Material Utilizado

2 Diodos semiconductores
2 Resistencias de 480Ω
Alambre para protoboard

2. Equipo Utilizado

Protoboard
Fuente de Voltaje 5vcd
Multímetro

3. Marco Teórico

4. Desarrollo

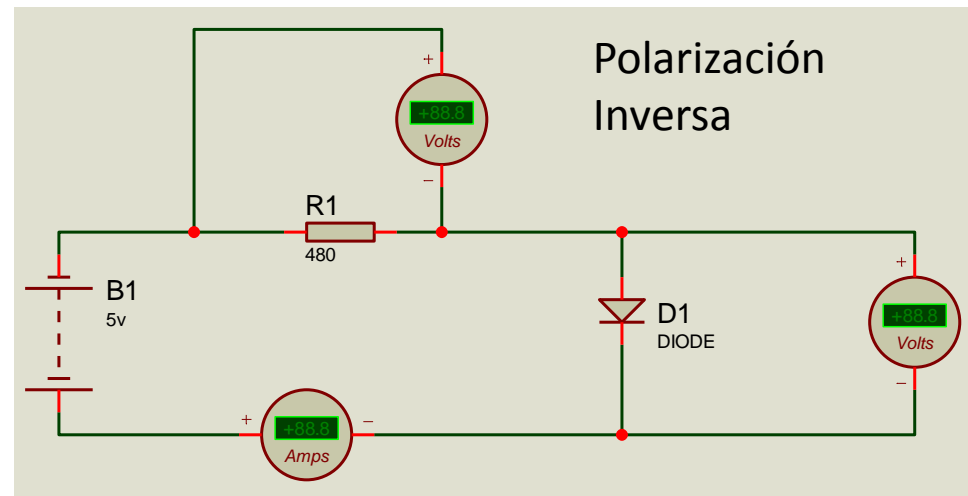
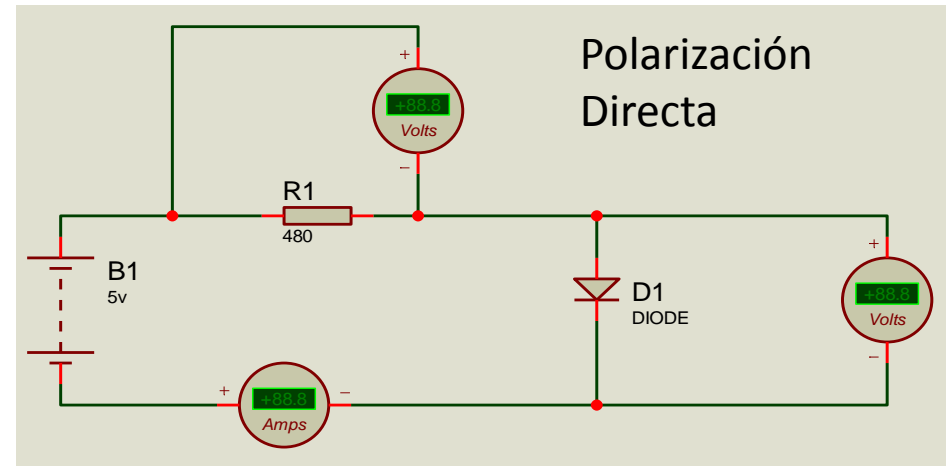
Armamos los siguientes circuitos y medimos el voltaje

$V_r =$ _____

$V_d =$ _____

$I_t =$ _____

5. Conclusiones



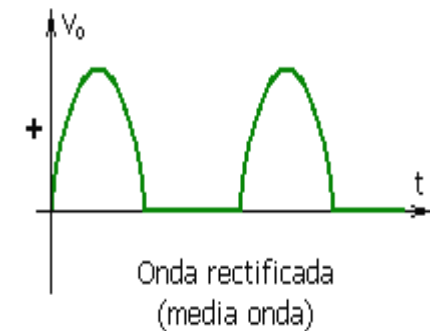
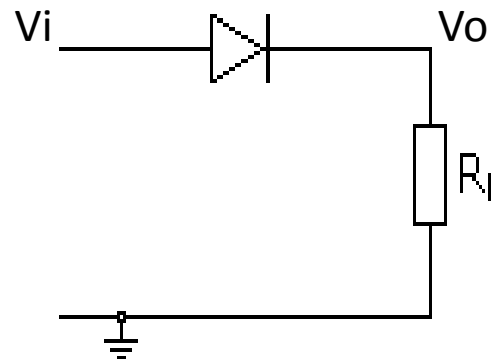
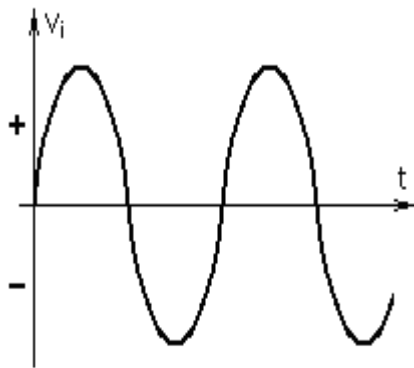
1.2 Aplicaciones

a) Diodo Rectificador

En electrónica, un rectificador es el elemento o circuito que permite convertir la corriente alterna en corriente continua. Esto se realiza actualmente por lo regular con diodos rectificadores semiconductores de estado sólido.

1. Media onda

El rectificador de media onda es un circuito empleado para eliminar la parte negativa o positiva de una señal de corriente alterna de entrada (V_i) convirtiéndola en corriente directa de salida (V_o).



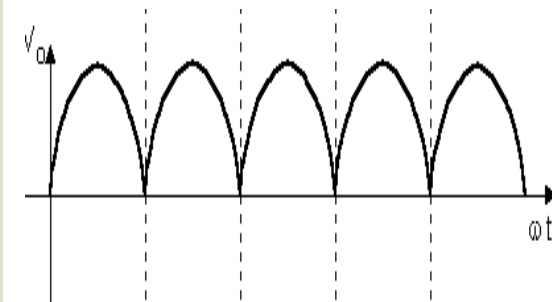
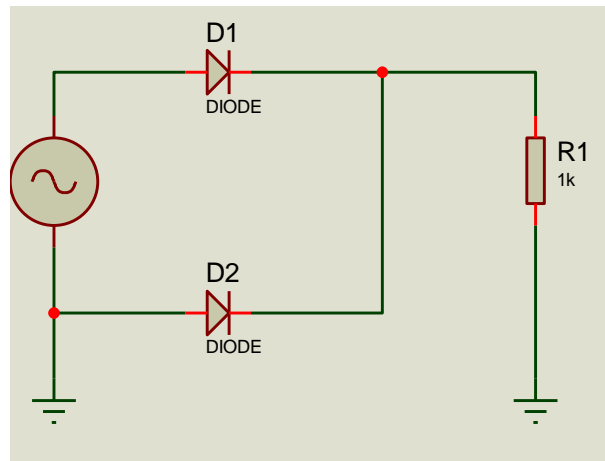
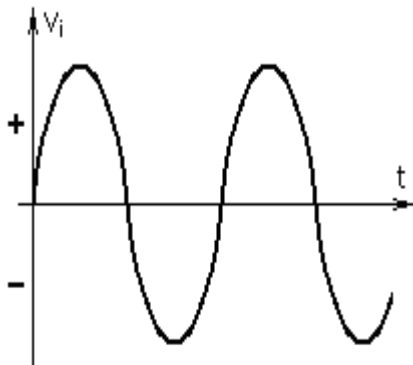
2. Onda Completa

Un Rectificador de onda completa es un circuito empleado para convertir una señal de corriente alterna de entrada (V_i) en corriente continua de salida (V_o) pulsante. A diferencia del rectificador de media onda, en este caso, la parte negativa de la señal se convierte en positiva o bien la parte positiva de la señal se convertirá en negativa, según se necesite una señal positiva o negativa de corriente continua.

Existen dos alternativas, bien empleando dos diodos o empleando cuatro (puente de Graetz).

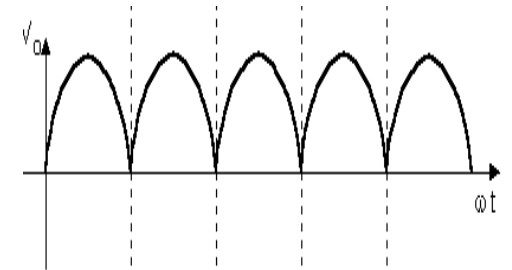
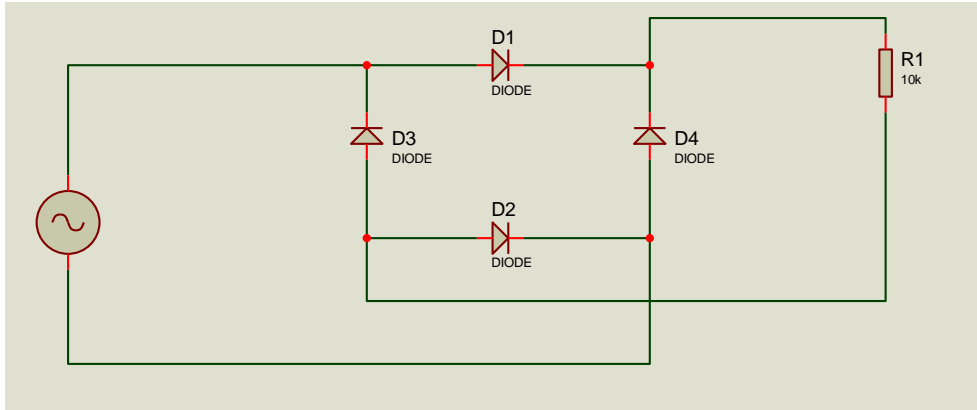
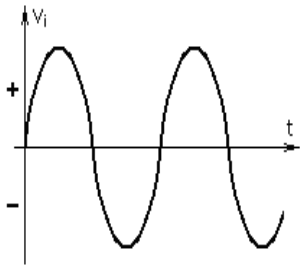
Rectificador con dos diodos.

En el circuito de la figura, ambos diodos no pueden encontrarse simultáneamente en directa o en inversa, ya que las diferencias de potencial a las que están sometidos son de signo contrario; por tanto uno se encontrará polarizado inversamente y el otro directamente.



Rectificador con 4 diodos.

En el circuito de la figura, cada nodo pudiera permitir dos caminos, pero solo queda un diodo polarizado directamente, por lo que la corriente sigue ese sentido.



Práctica # 2

“Diodo Rectificador”

1. Material Utilizado

4 Diodos semiconductores
2 Resistencias de 480Ω
Alambre telefónico

2. Equipo Utilizado

Protoboard
Generador de señal
Osciloscopio

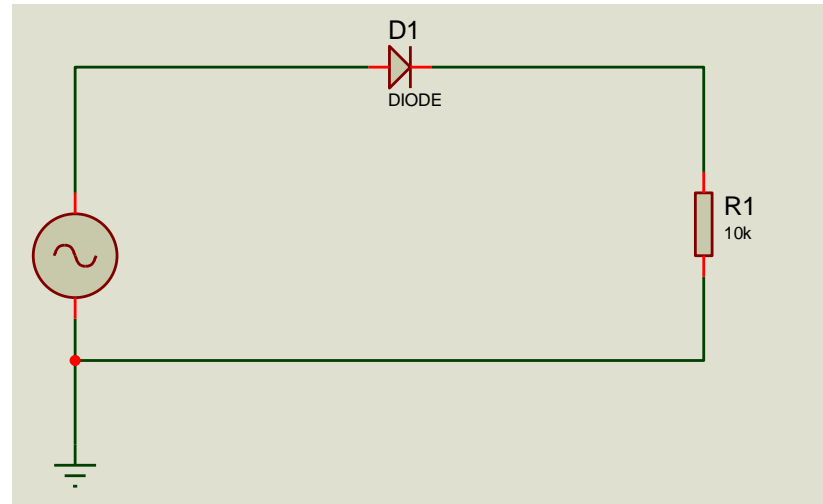
3. Marco Teórico

4. Desarrollo

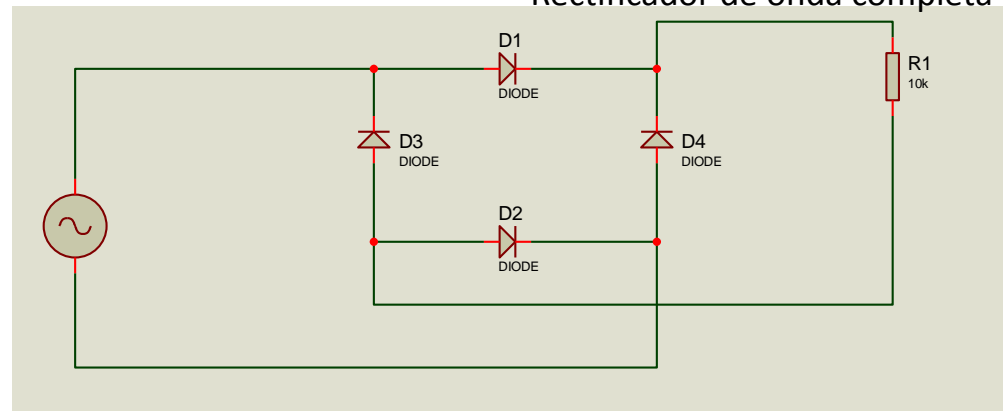
Armar los siguientes circuitos y analizar la señal de voltaje en el (los) diodo(s) y voltaje en la resistencia. Calcular el valor de la corriente y hacer las comparaciones con valores medidos.

5. Conclusiones

Rectificador $\frac{1}{2}$ onda



Rectificador de onda completa

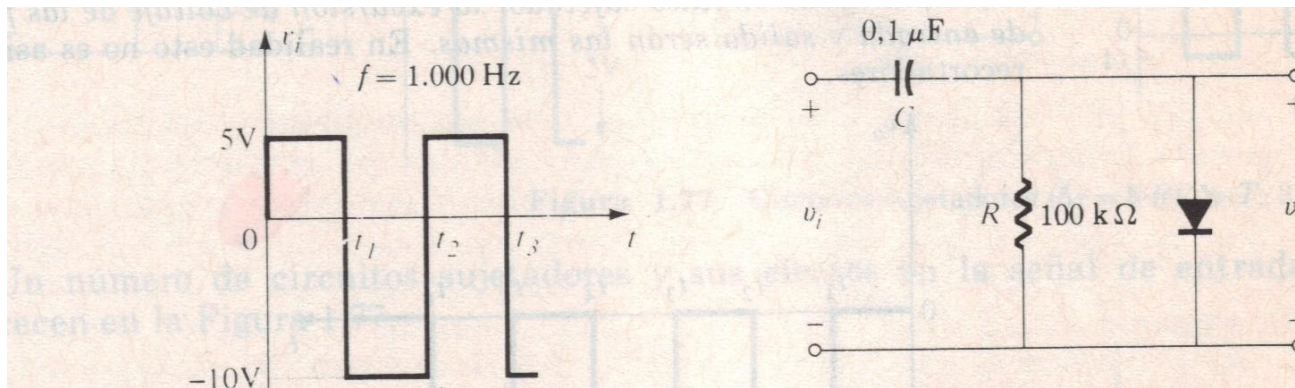


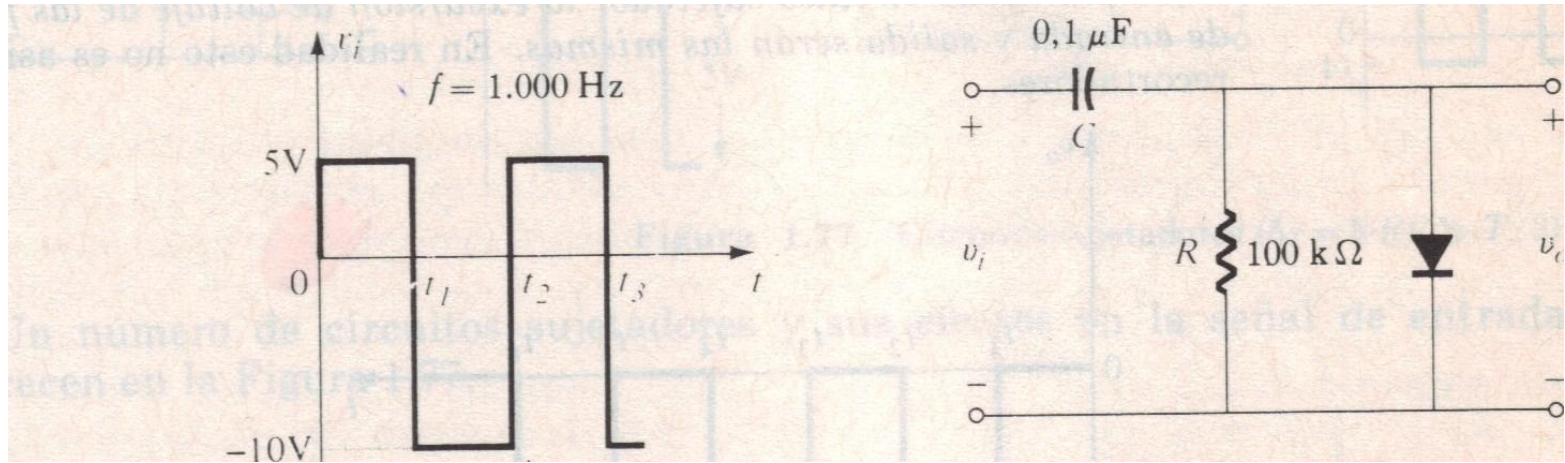
b) Sujetadores

Los circuitos sujetadores tienen un mínimo requisito de tres elementos: Un diodo, un capacitor y una resistencia. Las magnitudes de R y C pueden elegirse de tal manera que la constante de tiempo de carga del capacitor $\tau=RC$ sea suficientemente grande para garantizar que el voltaje a través del capacitor no cambia significativamente durante el intervalo de tiempo determinado por la entrada y tanto R como C afectan la forma de onda de salida.

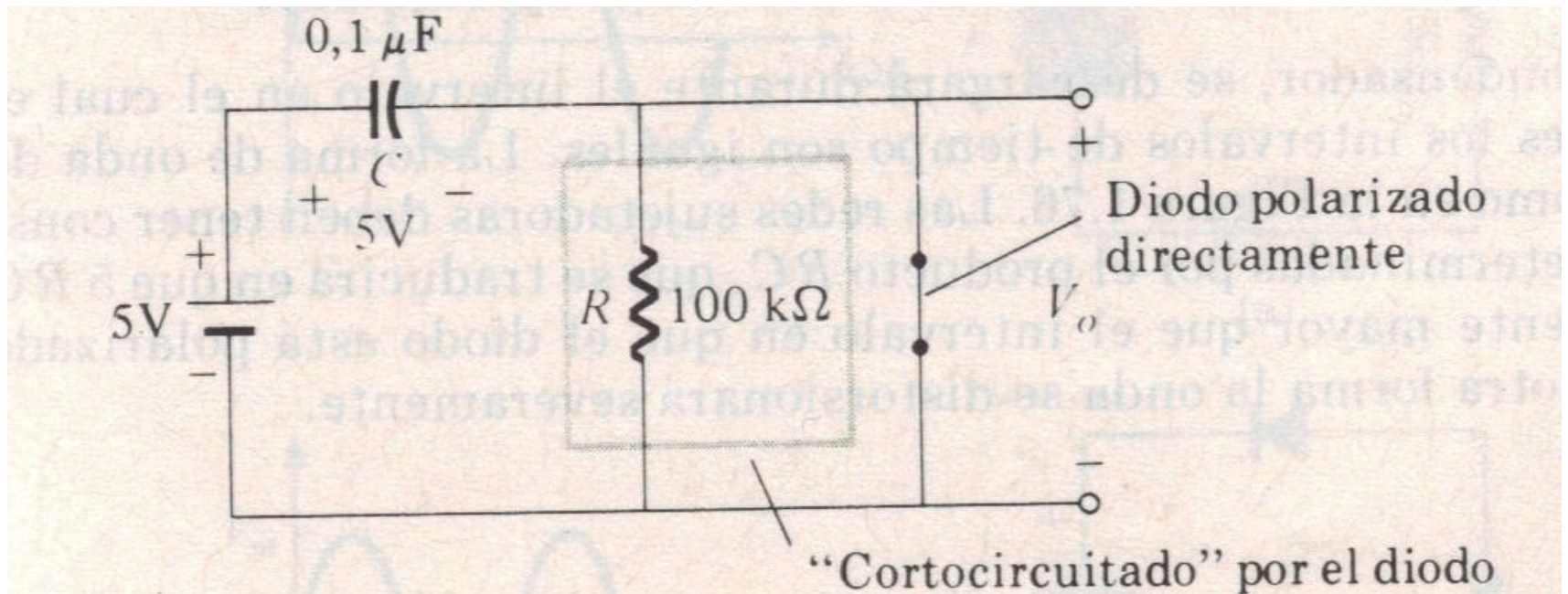
Para el análisis del siguiente circuito se supondrá que el capacitor se descargará en cinco constantes de tiempo.

Se recomienda que al hacer análisis de circuitos sujetadores se considere primero las condiciones que existen cuando la entrada es tal que el diodo está polarizado en sentido directo.

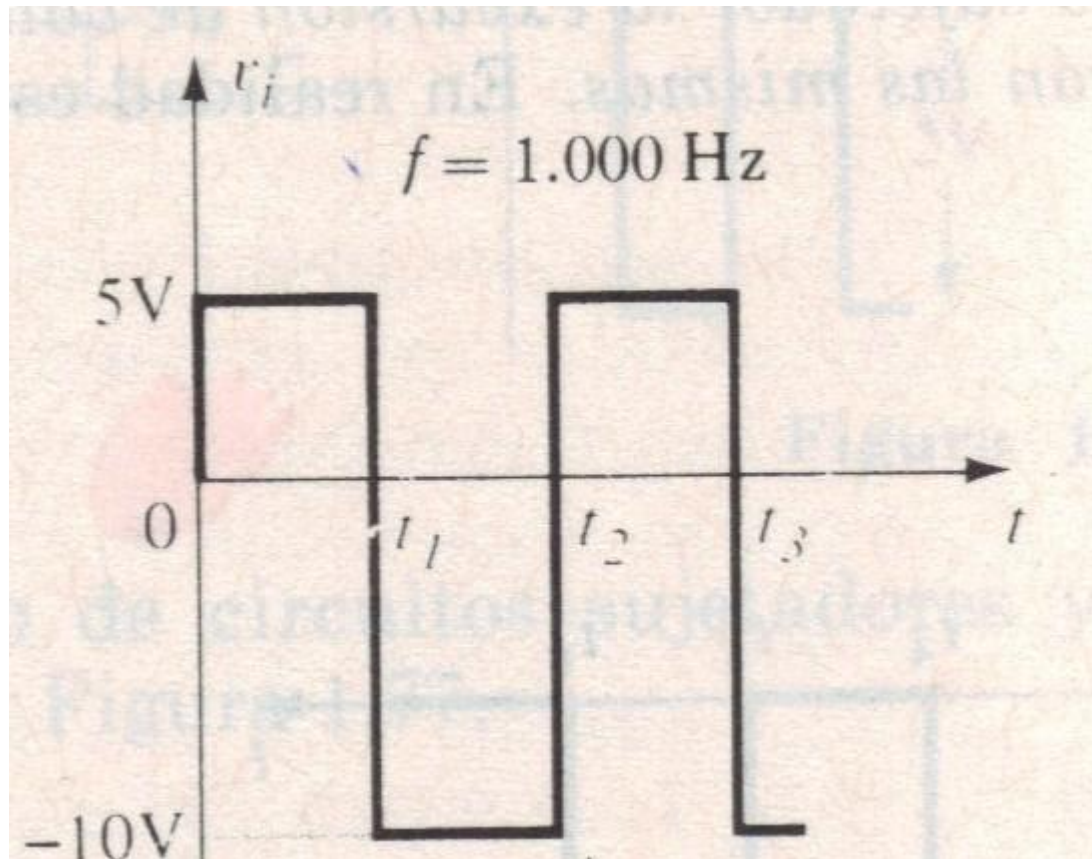




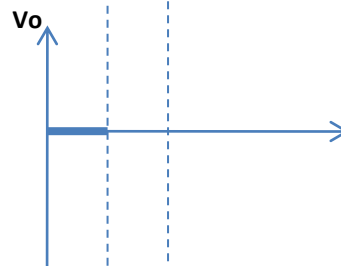
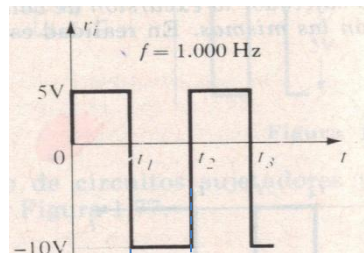
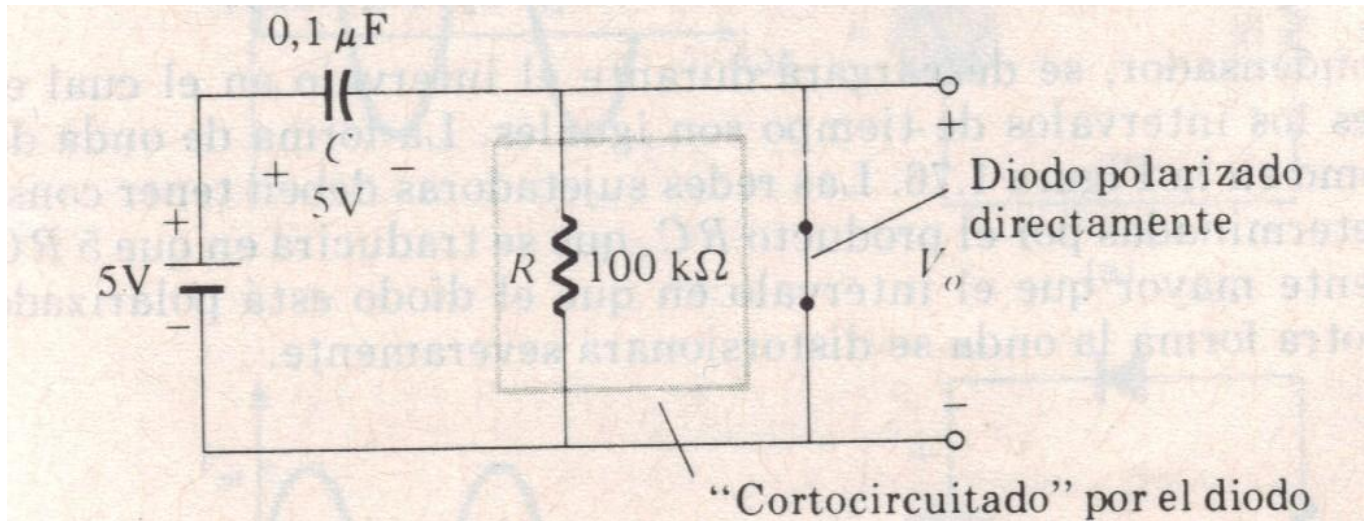
En el instante en que la entrada cambia de 0 a 5v, el circuito aparecerá así:



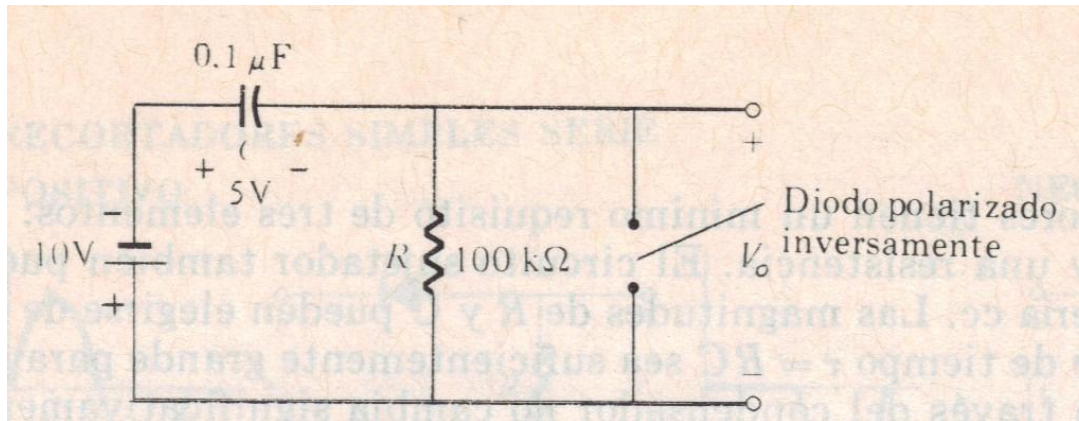
La entrada permanecerá en 5v por un intervalo de 0.5mSeg, ya que si la frecuencia es de 1000 Hz, el periodo será de $T=1/F$, o sea $T=1$ mSeg, por lo tanto la señal permanece 0.5mSeg En 5v y los otros 0.5mSeg en -10v.



Puesto que la salida que se toma directamente a través del diodo es 0v para este intervalo de tiempo, el capacitor sin embargo se cargará de inmediato, ya que $\tau=RC$ y $R=0$ ohms



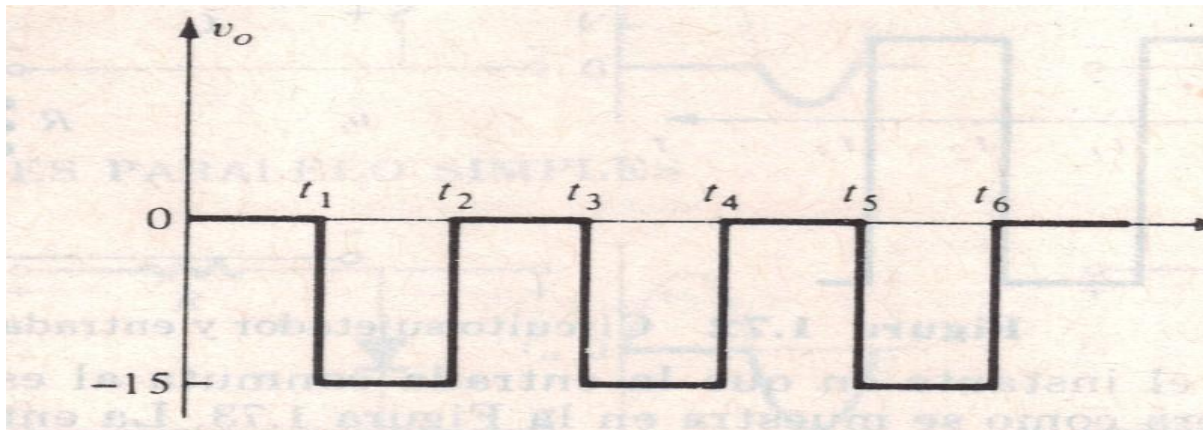
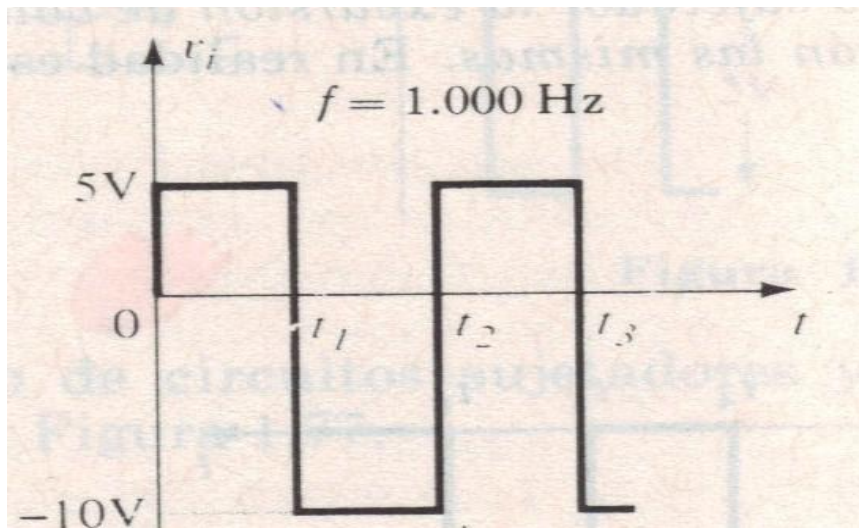
Cuando la entrada conmuta a -10v, se obtiene el siguiente circuito:



En este instante el capacitor está cargado con 5v y se tardará en descargar:

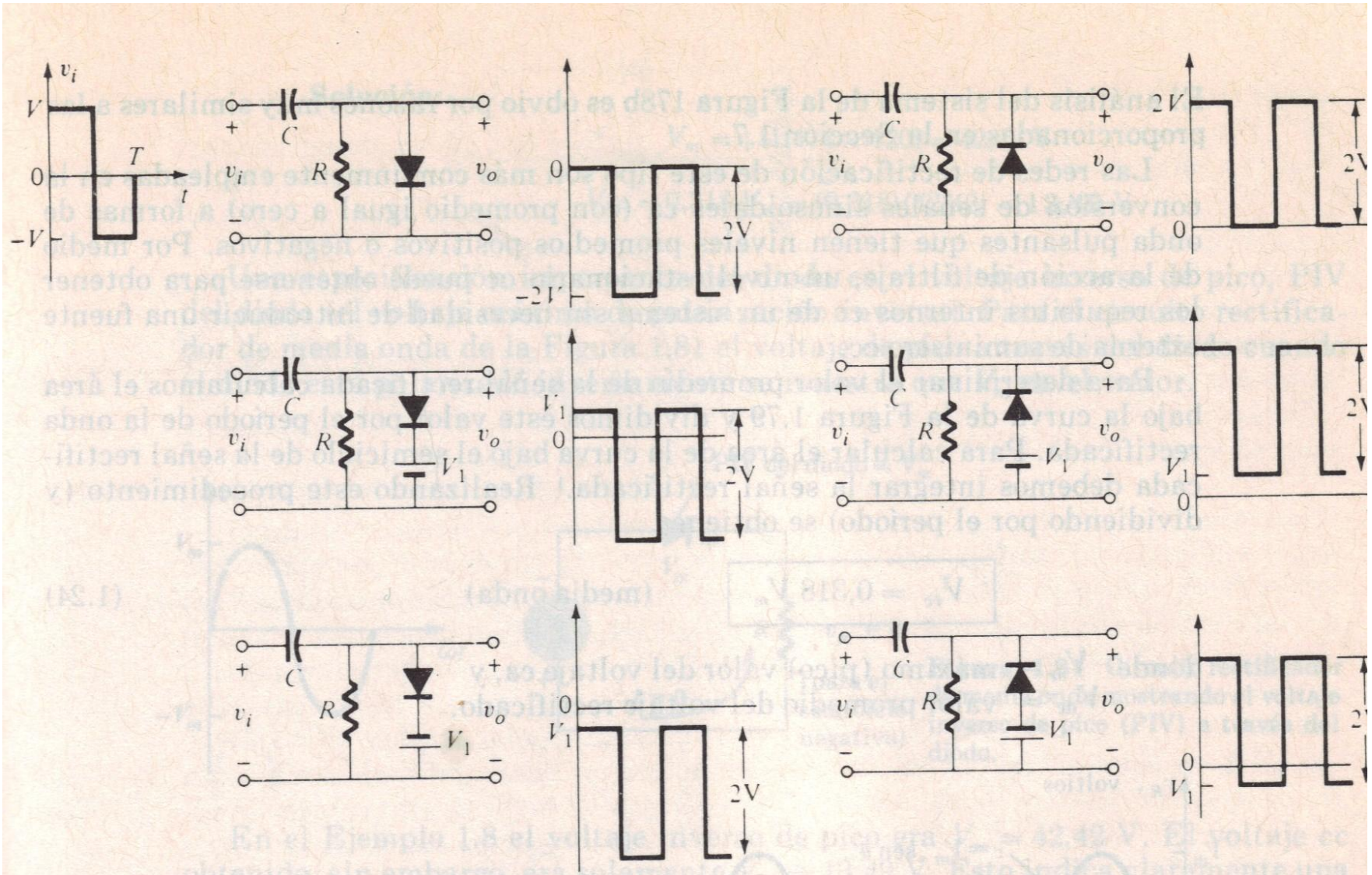
5τ , osea:

$5\tau = 5RC = 5(100,000)(0.0000001) = 50\text{mSeg}$ y esa entrada de -10v solo permanece 0.5mSeg, por lo tanto esos 5v (que sufren poco cambio) permanecen durante todo el tiempo que aparece en la entrada de -10v, así pues el voltaje en la resistencia es la suma del voltaje de entrada y el voltaje en el capacitor.



Pregunta de examen: ¿Qué sucede si se cambia el valor de la resistencia por una de 1k?

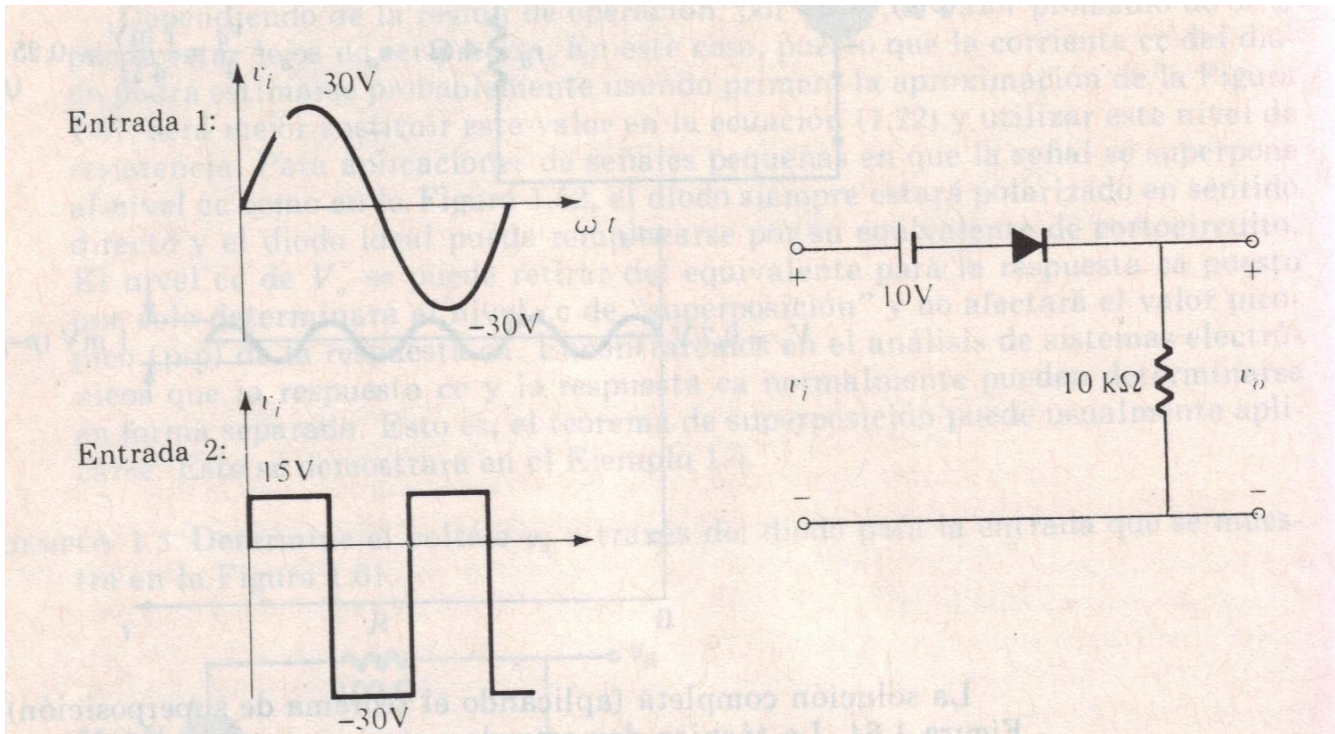
Otros ejemplos de sujetadores

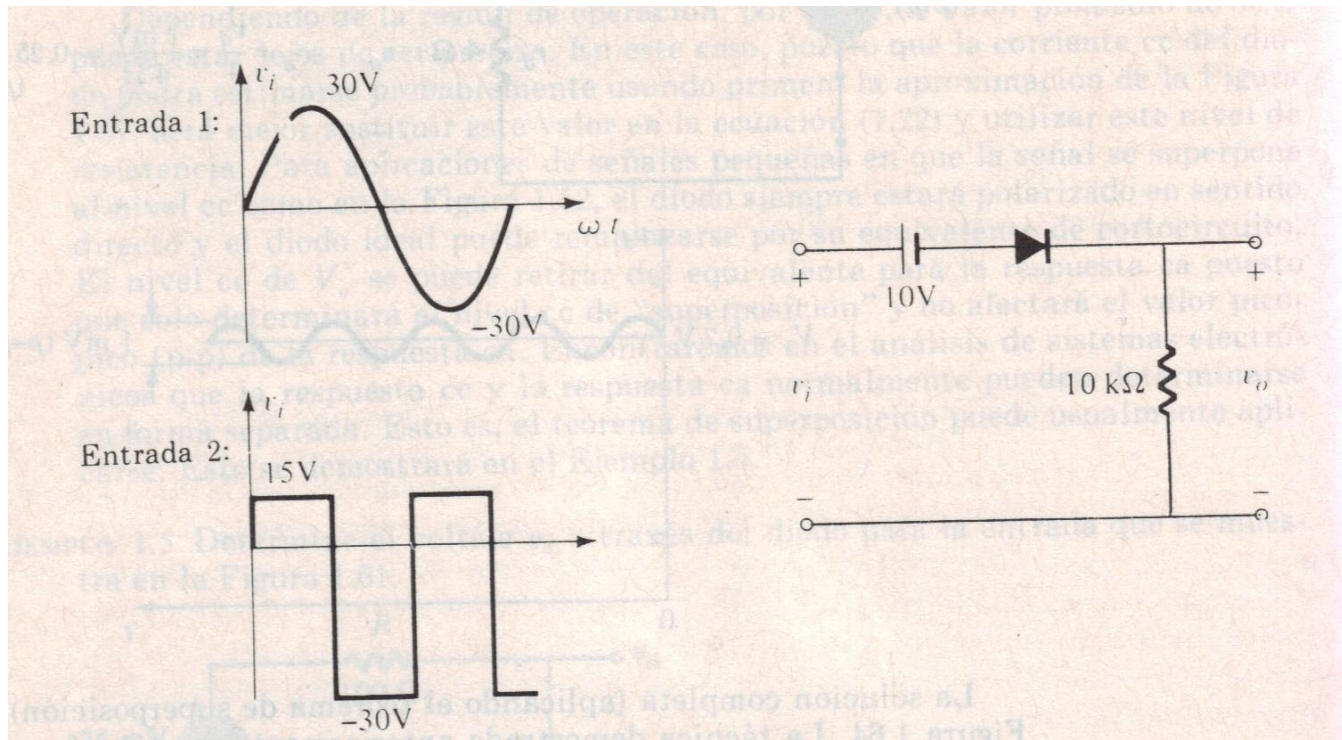


c) Recortadores

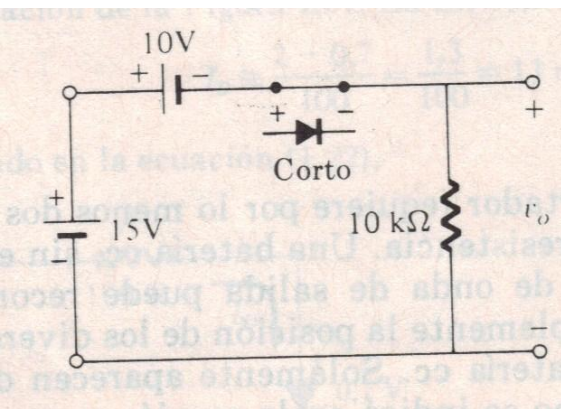
Un circuito recortador requiere por lo menos de 2 componentes fundamentales, un diodo y una resistencia, sin embargo se utiliza frecuentemente de una batería de cd. La forma de onda de salida puede recortarse a niveles diferentes intercambiando simplemente la posición de diversos elementos y cambiando la magnitud de la batería. Para redes de CA es útil considerar instantes particulares de señales de entrada que varían con el tiempo para determinar el estado del diodo.

Encuentre la forma de onda de salida V_o para las entradas que se muestran.



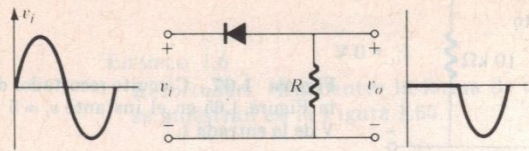


Entrada 2

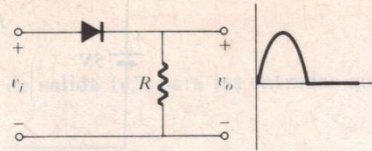


RECORTADORES SIMPLES SERIE

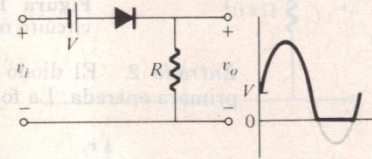
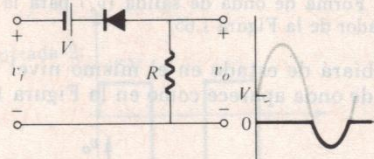
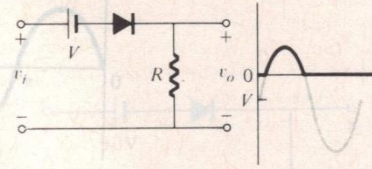
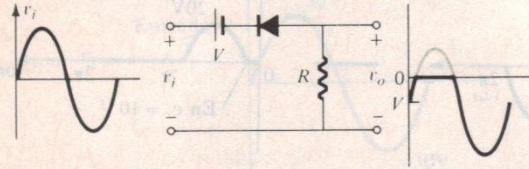
POSITIVO



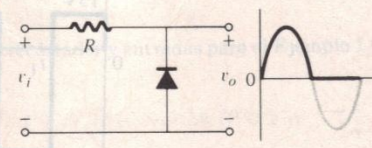
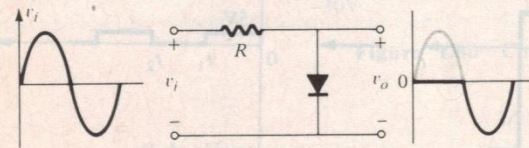
NEGATIVO



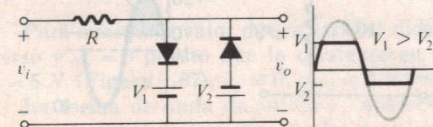
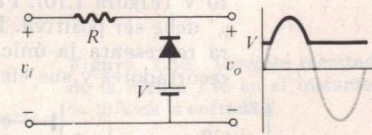
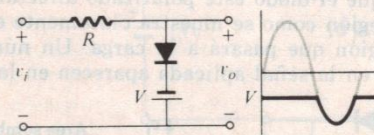
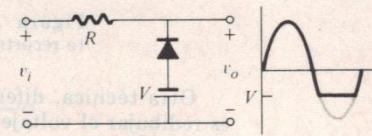
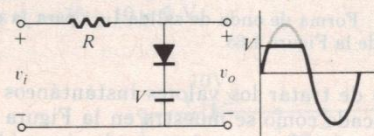
RECORTADORES SERIE POLARIZADO



RECORTADORES PARALELO SIMPLES



RECORTADORES PARALELO POLARIZADOS



Práctica # 3

“Sujetadores”

Material utilizado

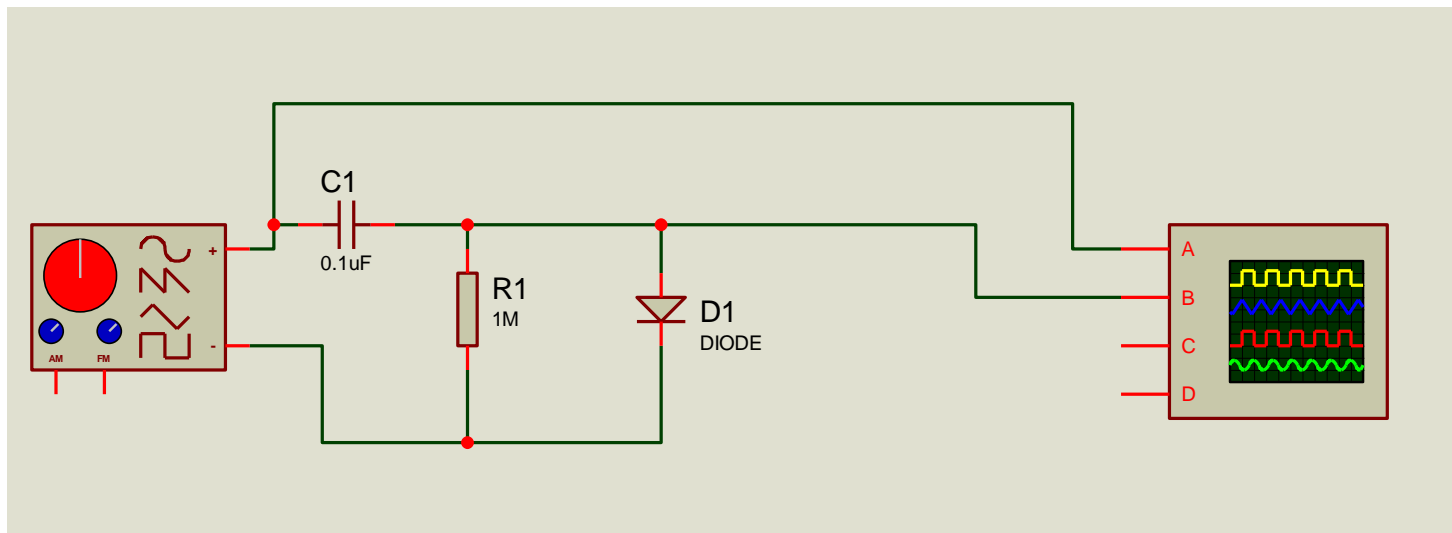
- 1 Capacitor de $0.1\mu\text{F}$
- 1 Resistencia de 1k
- 1 Resistencia de 1M
- 1 Diodo semiconductor

Equipo Utilizado

- 1 Generador de señal
- 1 Osciloscopio

Desarrollo

- 1.- Arme el siguiente circuito y aplique una señal CA a 1 KHz .
- 2.- Compruebe que la señal de salida se ha sujetado a la parte negativa.
- 3.- Dibuje la señal de entrada vs la señal de salida.
- 4.- De sus conclusiones
- 5.- Cambie la resistencia por una de 1k y de sus conclusiones.



Práctica # 3 Cont....

“Sujetadores”

Material utilizado

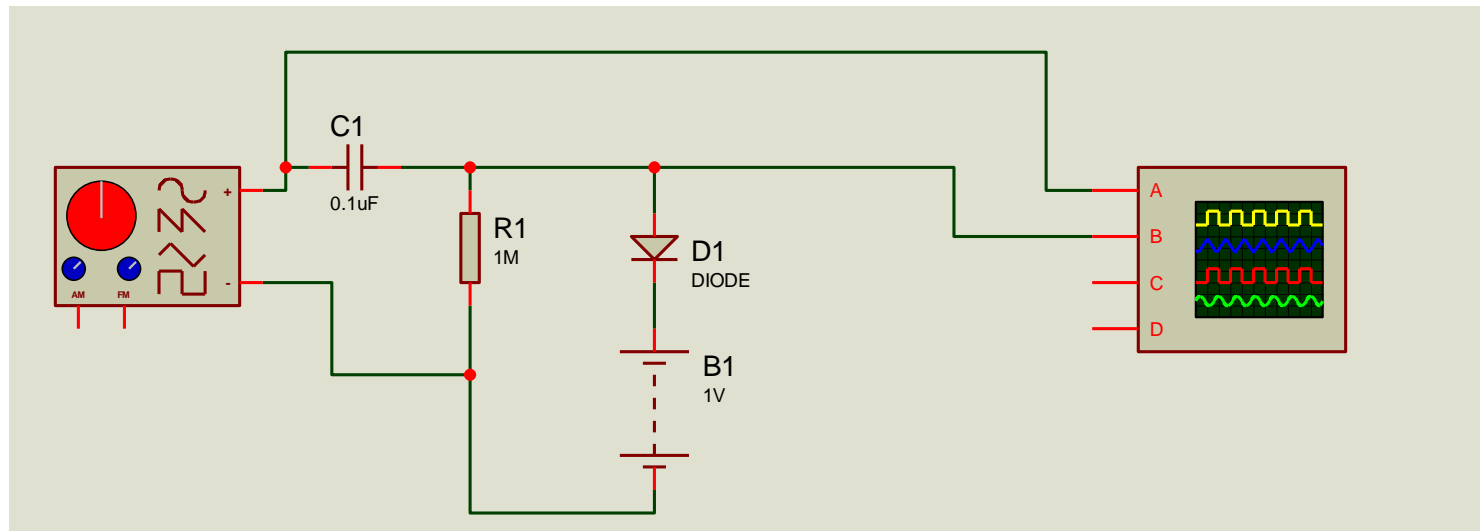
- 1 Capacitor de $0.1\mu\text{F}$
- 1 Resistencia de 1k
- 1 Resistencia de 1M
- 1 Diodo semiconductor

Equipo Utilizado

- 1 Generador de señal
- 1 Osciloscopio

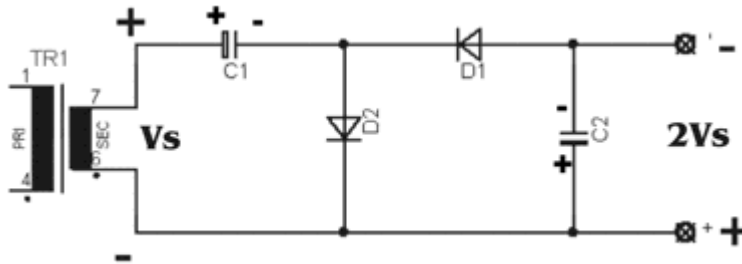
Desarrollo

- 1.- Arme el siguiente circuito y aplique una señal CA a 1 KHz .
- 2.- Compruebe que la señal de salida se ha sujetado al voltaje indicado por B1.
- 3.- Dibuje la señal de entrada vs la señal de salida.
- 4.- De sus conclusiones



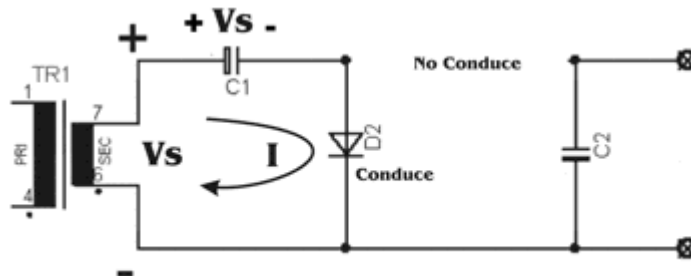
D) DOBLADOR

En la siguiente figura, vemos un Doblador de media onda:

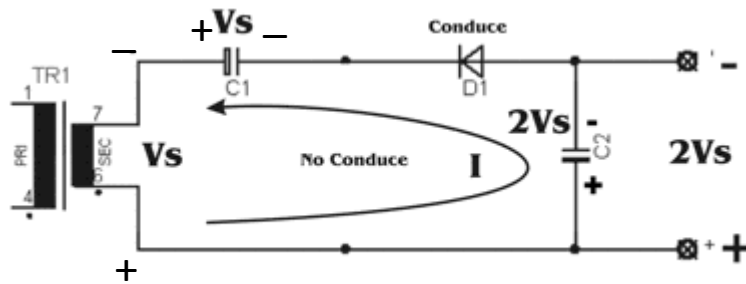


Cuando el circuito es alimentado por el semiciclo positivo de la tensión AC del secundario del transformador, D_1 está en corte y D_2 está en conducción, por lo que cargará el condensador C_1 hasta V_s .

La polaridad de la tensión de carga de C_1 se muestra en el siguiente circuito equivalente:



Cuando le toca el turno al ciclo negativo de la onda de tensión AC, los diodos cambian su condición en forma opuesta es decir, D1 entra en conducción y D2 pasa a modo de no conducción.



Si hacemos la ecuación de tensiones según Kirchoff tenemos que:

$$V_s + V_{C1} - V_{C2} = 0 \quad (V_{C1} \text{ y } V_{C2} \text{ son las caídas de tensión en los condensadores})$$

Sustituyendo V_{C1} tenemos que:

$$V_s + V_s - V_{C2} = 0 \quad \text{con lo que obtenemos que } V_{C2} = 2V_s$$

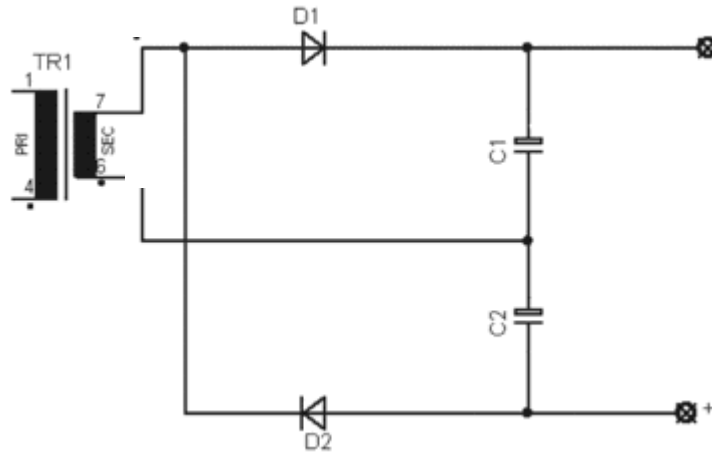
Cuando conectamos la carga en los terminales, C2 se descargará en el semiciclo positivo de la tensión AC y se recargará a $2V_s$ en el negativo, suministrando esa tensión a la carga.

Las condiciones de diseño serán:

Una tensión inversa pico igual a 2Vs para los diodos y una tensión de alimentación de 2Vs al menos para los condensadores.

Como señal de salida obtendremos algo similar a un rectificador de media onda con filtro condensador.

Otro circuito doblador

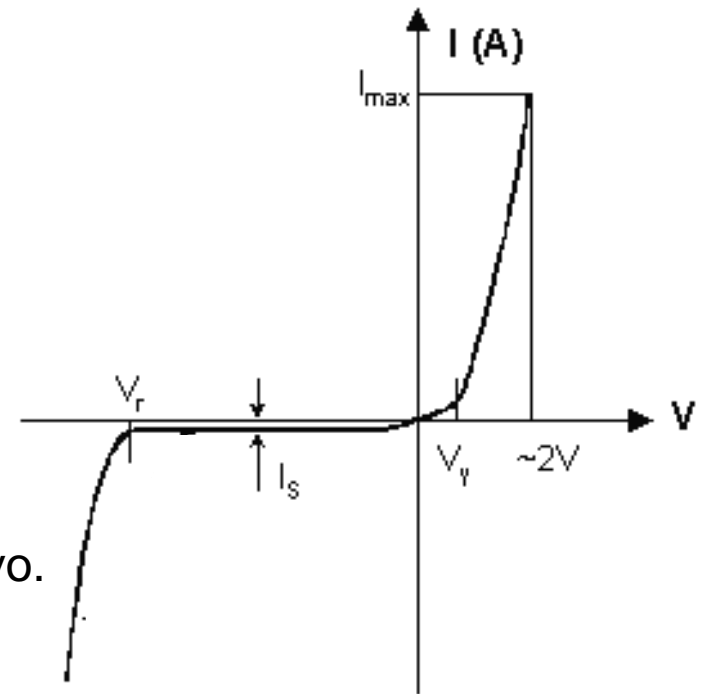


Actividad: Realizar el análisis respectivo.

E) El diodo Zener

Este tipo de diodos está diseñado para trabajar en la zona de ruptura en polarización negativa.

Es decir, que cuando se alcanza el voltaje de ruptura, la caída de voltaje en los bornes del zener prácticamente es constante, y este valor depende de los parámetros propios del dispositivo.

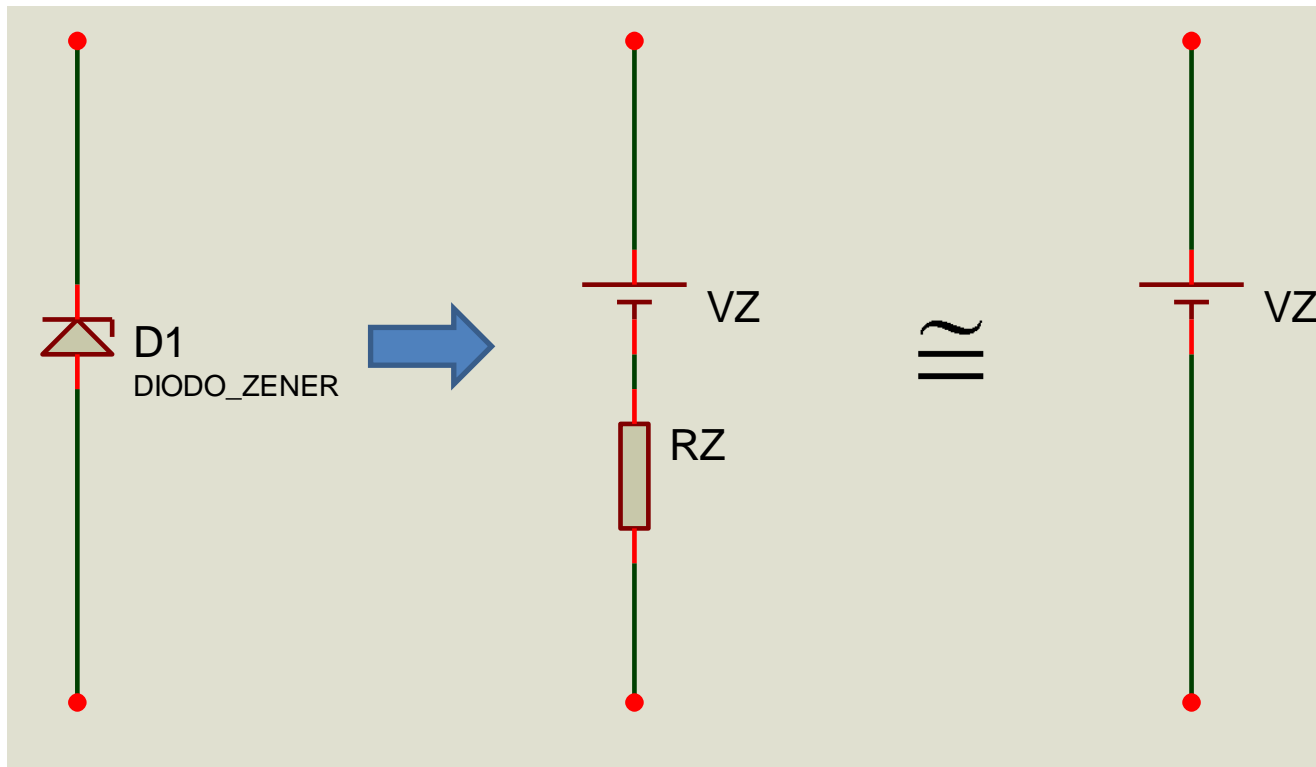


D1

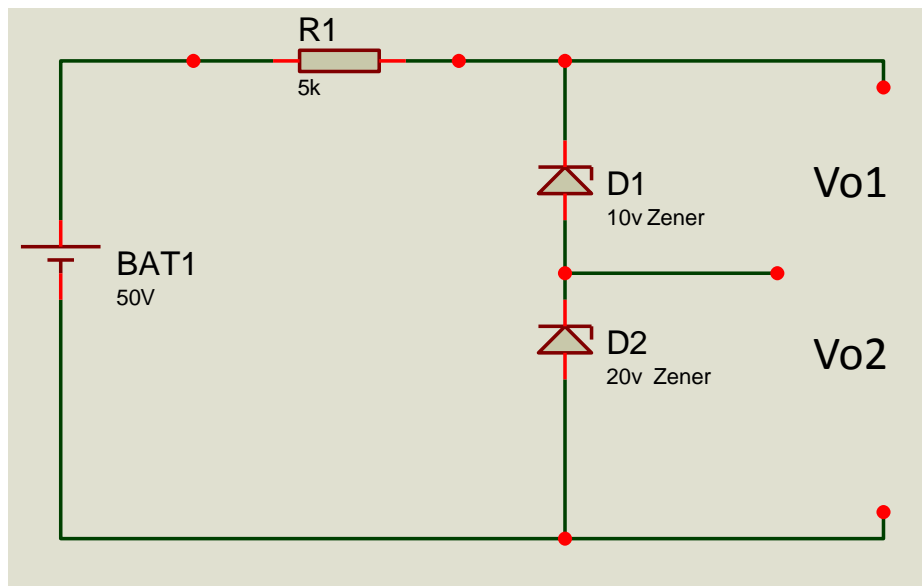
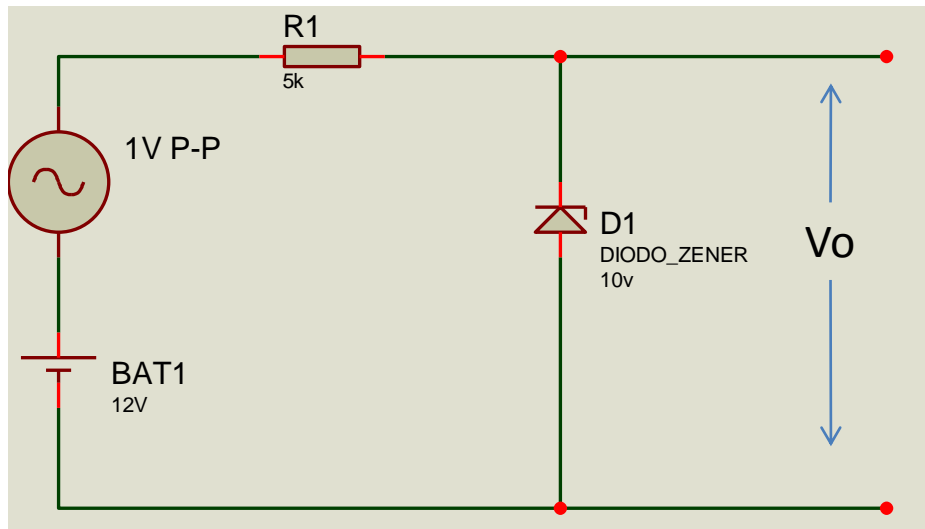
DIODO_ZENER

Circuito equivalente

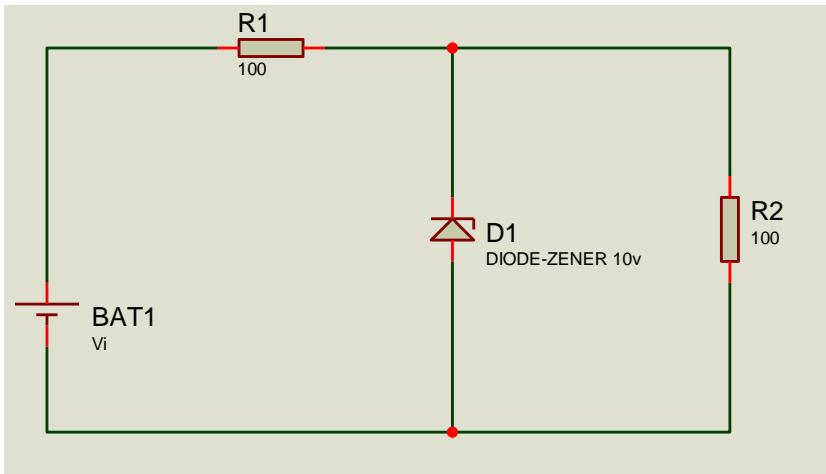
El circuito equivalente de un zener comprende una pequeña resistencia dinámica y una batería cd igual al potencial zener.



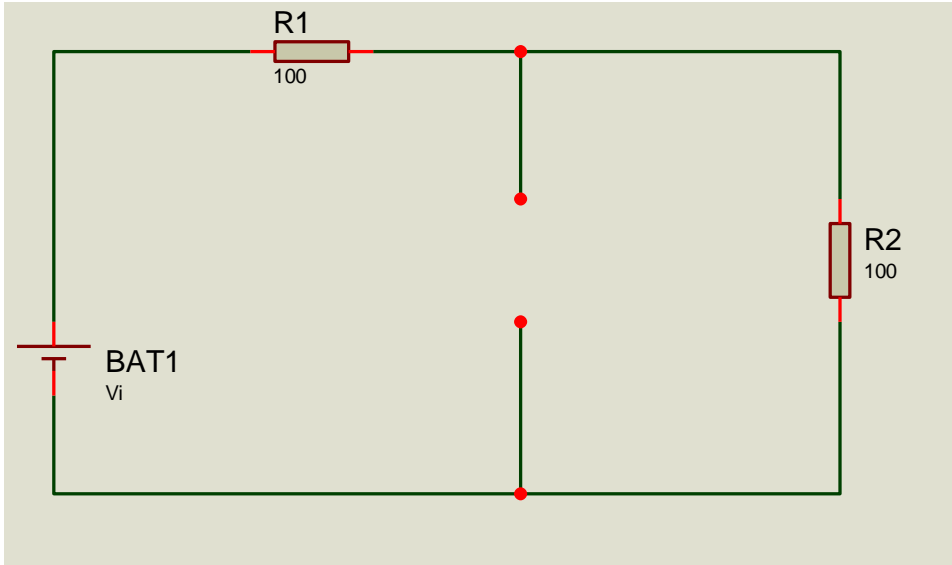
Analice los siguientes circuitos y obtenga la señal de salida V_o y en la resistencia R_1



¿Cuánto voltaje cae en el diodo zener, si $V_i=12v$?



Encuentre el voltaje mínimo para que exista una caída de al menos 10v en el diodo zener

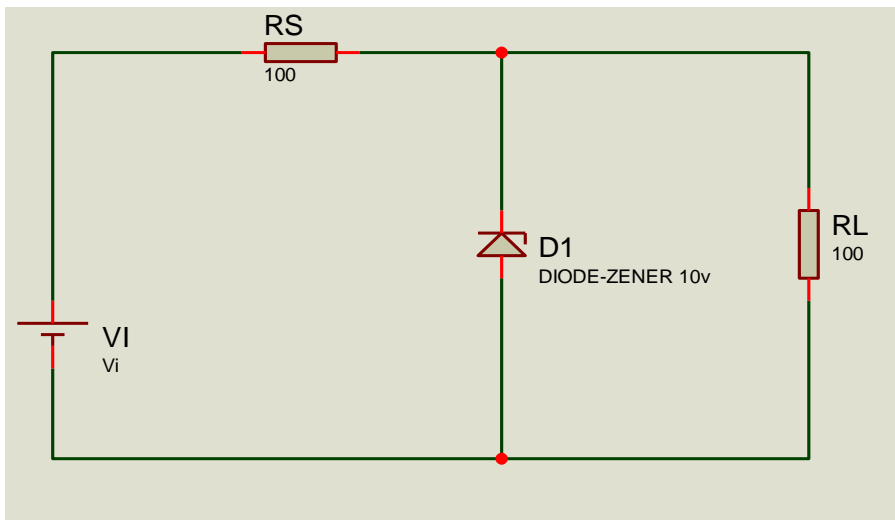


$$V_z = 10 = \frac{100(V_i)}{100 + 100}$$

Despejando V_i

$$V_i = 20v$$

Que sucede con la potencia en el Zener si $V_i = 100v$



$$V_{rs} = 100 - 10 = 90v$$

$$I_s = \frac{90}{100} = 900mAmp$$

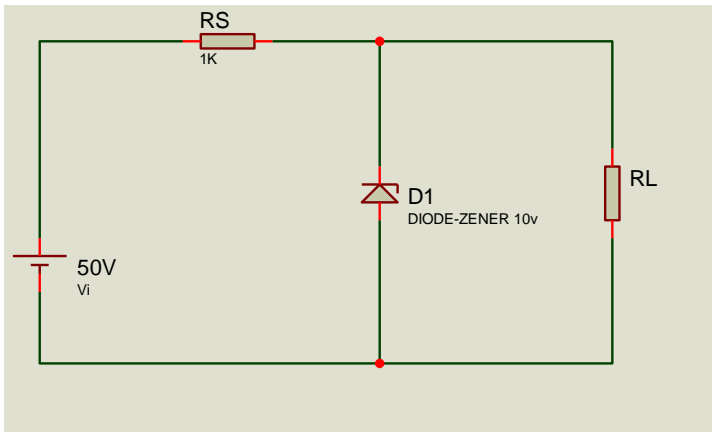
$$I_l = \frac{10}{100} = 100mAmp$$

$$I_s = I_z + I_l$$

$$I_z = I_s - I_l = 0.9 - 0.1 = 800mAmp$$

$$P_z = V_z I_z = (10v)(800mAmp) = 8Watts$$

Determine el valor de la resistencia de carga mínima que haga que el voltaje en ella misma se mantenga en 10v



$$V_{rl} = V_z = 10v = \frac{Rl(\min)(50v)}{Rl(\min) + 1000}$$

Despejando

$$(10)(Rl(\min) + 1000) = (Rl(\min))(50)$$

$$10Rl(\min) + 10,000 = 50Rl(\min)$$

$$10,000 = 40Rl(\min)$$

$$Rl(\min) = 250\Omega$$

Práctica # 4

“Diodo Zener”

Material utilizado

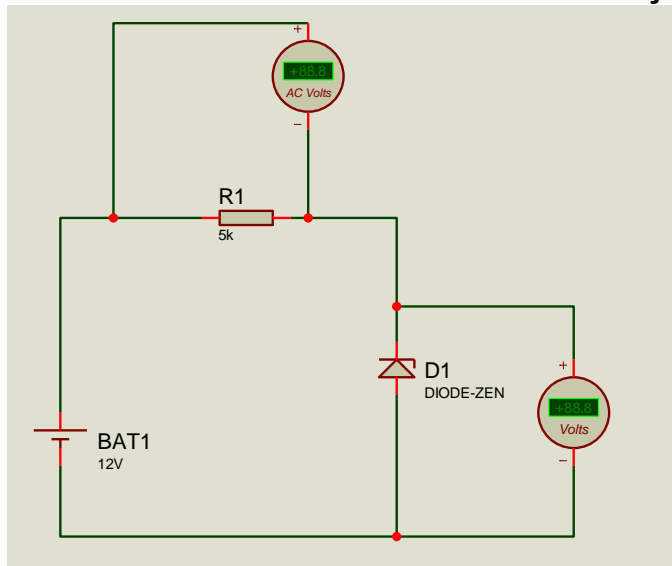
- 2 Diodos Zener de diferente valor (6 y 10v)
- 1 Resistencia de 5k

Equipo Utilizado

- 1 Multímetro
- 1 Protoboard
- 1 Fuente de alimentación

Desarrollo

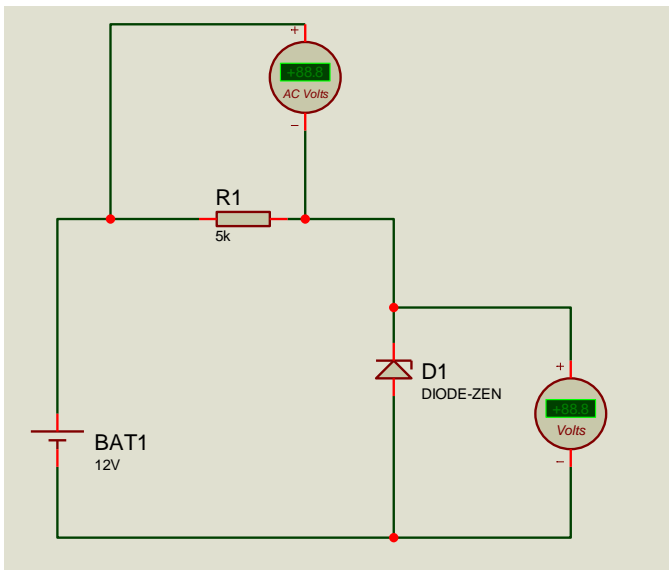
- 1.- Arme el siguiente circuito.
- 2.- Compruebe que la señal de salida sea del valor nominal del diodo zener.
- 3.- Compruebe la ley de Kirchhoff. $V_t = V_r + V_z$
- 4.- Que sucede si aumenta el voltaje de entrada a 15 volts.



- 5.- Compruebe ahora la ley de Kirchhoff.

Desarrollo

- 1.- Arme el siguiente circuito, utilizando el otro diodo zener.
- 2.- Compruebe que la señal de salida sea del valor nominal del diodo zener.
- 3.- Compruebe la ley de Kirchhoff. $V_t = V_r + V_z$
- 4.- Que sucede si aumenta el voltaje de entrada a 15 volts.
- 5.- Compruebe ahora la ley de Kirchhoff.



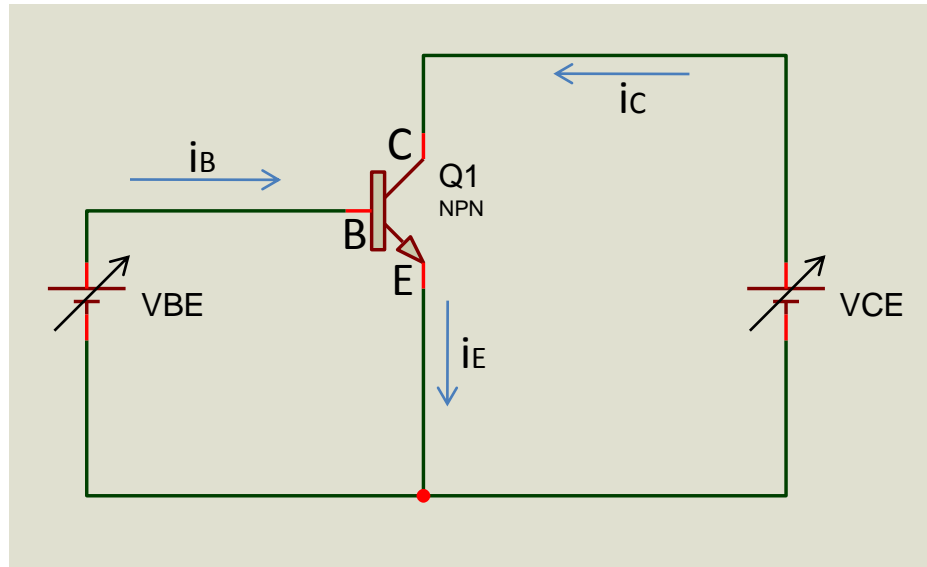
Unidad 2. TRANSISTOR BIPOLAR (BJT)

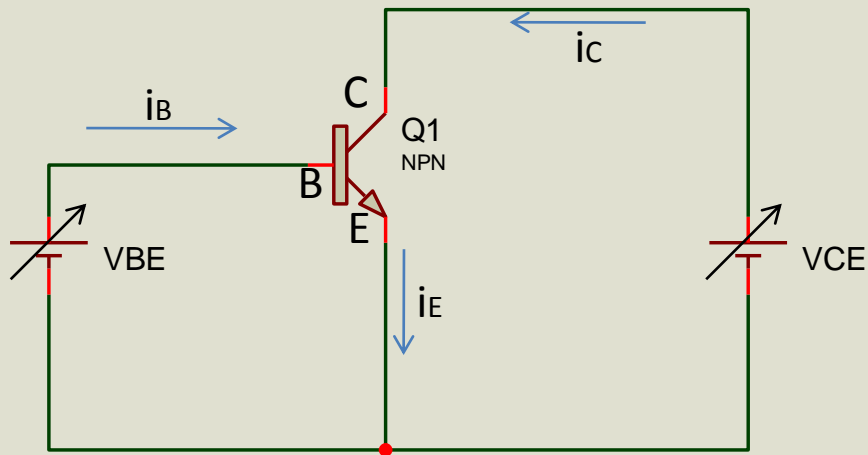
2.1 Características y parámetros.

Funcionamiento básico en la región activa.

Veamos como están relacionados los voltajes y las corrientes en los bipolares.

En la siguiente figura, se ve un transistor npn conectado a fuentes de voltaje variables. Como el emisor es un punto que comparten ambas fuentes, se dice que es una configuración “Emisor común”





Funcionando como amplificador, la unión base-emisor está polarizada directamente y la unión base-colector está inversamente polarizada. A esta condición se le llama **REGIÓN ACTIVA DE FUNCIONAMIENTO**.

El funcionamiento en esta región se consigue aplicando un valor $V_{BE} \approx 0.6\text{v}$ para polarizar en directa la unión base-emisor. Entonces si $V_{BE} > V_{CE}$, la unión colector-base está inversamente polarizada, ya que el voltaje que pasa por ella se calcula por medio de la malla:

$$V_{BE} = V_{BC} + V_{CE}$$

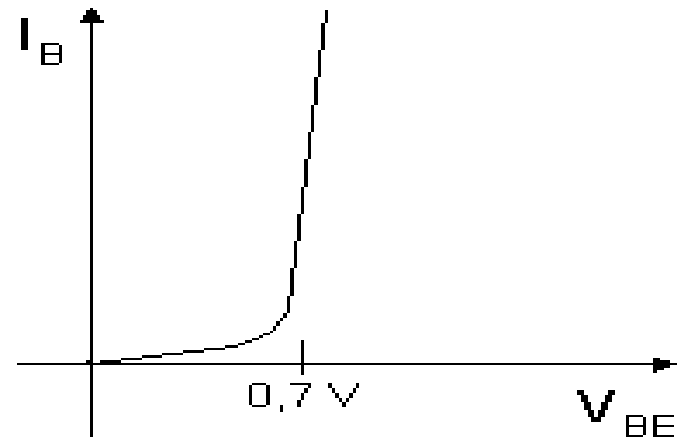
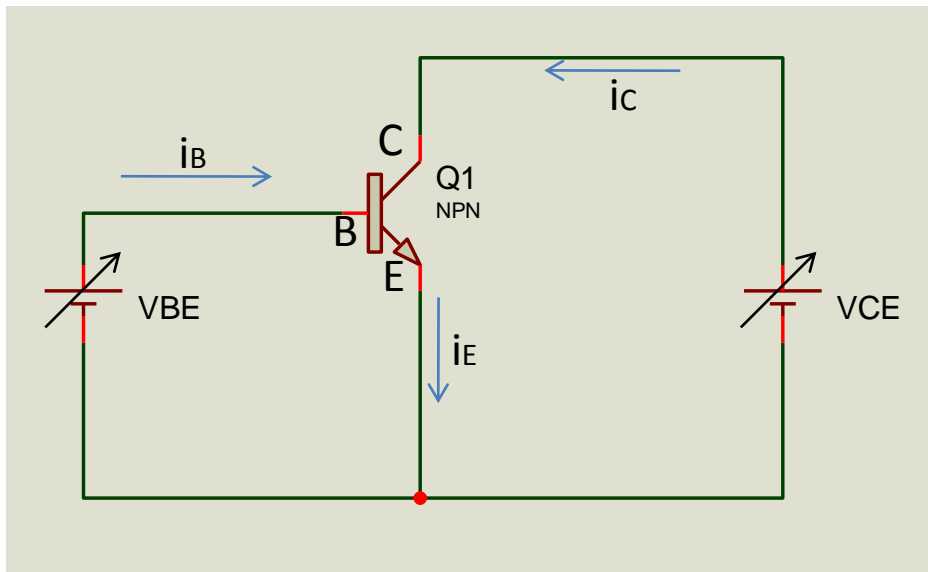
$$V_{BC} = V_{BE} - V_{CE}$$

Resumiendo, al aplicar una polarización directa a la unión base-emisor, se produce un flujo de corriente a través de la unión. Sin embargo, la mayor parte de esta corriente la aporta i_c mas que i_B . Con un circuito adecuado, este efecto permite amplificar una señal que se aplique a la unión base-emisor.

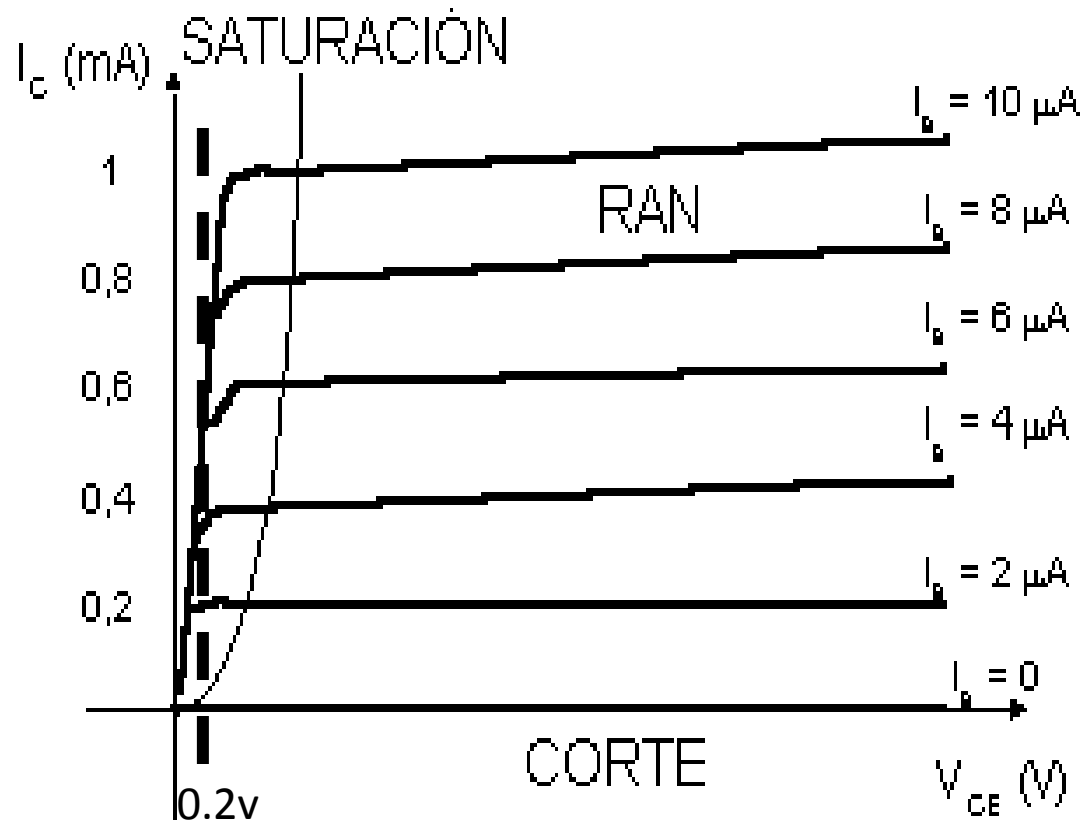
Curvas características básicas en emisor común

Las siguientes gráficas son las curvas características de un bipolar típico, estas curvas están idealizadas, de manera que solo se muestran las características principales.

Observe que la curva característica de la entrada (I_B en función de V_{BE}) es similar a la curva característica en polarización directa de la unión PN.

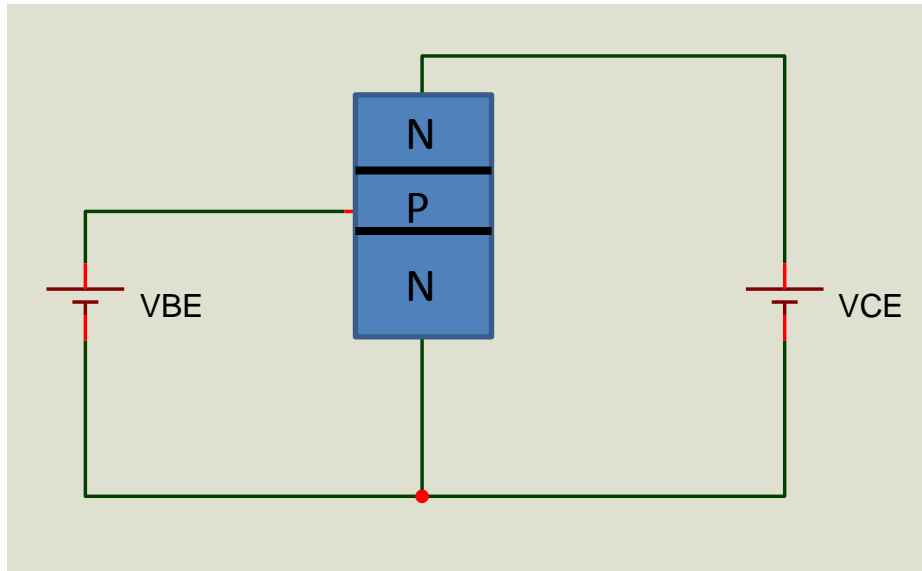


Las curvas características de salida muestran que la corriente de colector es independiente del voltaje colector-emisor V_{CE} , mientras V_{CE} sea mayor de unos 0.2v.



Porque?????

En primer lugar supongamos que V_{CE} es mayor que V_{BE} , de manera que la unión del colector está polarizada en inversa. En estas condiciones, los electrones no pueden cruzar del colector a la base.



Para $0.2\text{v} < V_{CE} < V_{BE}$, la unión de colector se halla polarizada en directa, pero solo por algunas décimas de volt, no lo suficiente como para causar una corriente directa significativa. Por lo tanto la corriente de colector es constante para un V_{CE} superior a aproximadamente 0.2v .

