

Tema 12: Diodos y circuitos con diodos

Fundamentos Físicos y Electrónicos de la Informática

Introducción

En este tema estudiaremos los diodos, sus tipos y circuitos que se basan en ellos. Entre las aplicaciones principales de los diodos encontramos

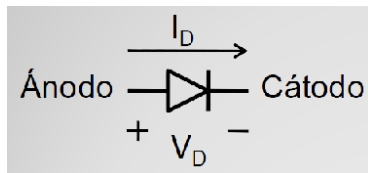
- ▶ Rectificación = Obtener una corriente continua a partir de una corriente alterna
- ▶ Alimentación de cualquier equipo electrónico
- ▶ Demodulación de señales AM
- ▶ Distribución de energía eléctrica submarina, para ferrocarriles, usos industriales especiales...

Diodo ideal

Diodo ideal

Dispositivo que sólo permite el paso de corriente eléctrica a través de él en un sentido

- La corriente fluye en la dirección que indica la flecha
- Un diodo tiene dos terminales: **ánodo y cátodo**



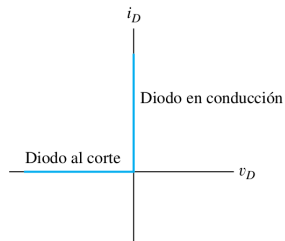
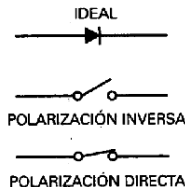
- Se dice que un diodo está **polarizado directamente** si $V_D > 0$, esto es, si el ánodo está a mayor potencial que el cátodo.
- Se dice que un diodo está **polarizado inversamente** si $V_D < 0$, esto es, si el ánodo está a menor potencial que el cátodo.

Diodo ideal

Un diodo ideal se comporta como

- ▶ Un conductor perfecto ($R = 0$) si $V_D > 0$ (polarización directa) → *Cortocircuito*
- ▶ Un aislante perfecto ($R \sim \infty$) si $V_D < 0$ (polarización inversa) → *Circuito abierto*

• Un diodo ideal se comporta como un interruptor que se cierra al tener polarización directa y se abre con polarización inversa.

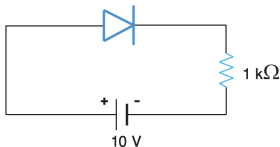


Curva característica tensión-corriente del diodo ideal

Diodo ideal

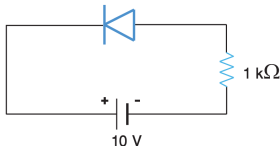
Ejemplo 1: Calcular la corriente y caída de potencial la resistencia en el circuito de la figura.

Sol. $V = 10\text{ V}$, $I = 10\text{ mA}$.



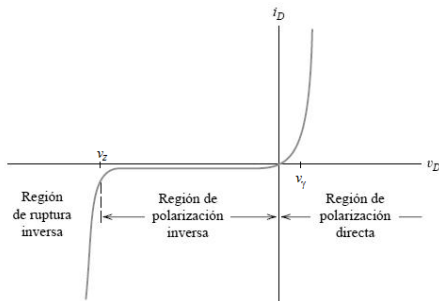
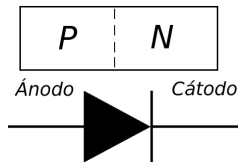
Ejemplo 2: Calcular la corriente y caída de potencial la resistencia en el circuito de la figura.

Sol. $I = 0$.



Diodo de unión PN

- Aunque no existen dispositivos que se comporten exactamente como un diodo ideal, algunos sistemas como el diodo de unión PN tiene un comportamiento que se aproxima mucho.
- Un diodo de unión PN está constituido por la unión de dos materiales semiconductores, uno tipo N (cátodo) y otro tipo P (ánodo). Las propiedades de estos materiales hacen que este dispositivo conduzca en un sentido y no lo haga en el otro.



Curva característica I - D para un diodo de unión PN

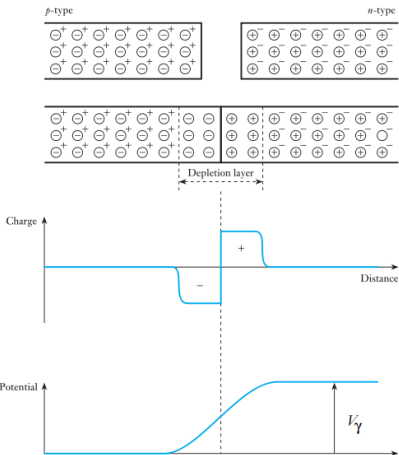
Diodo de unión PN

- Cuando un semiconductor tipo N y otro P se ponen en contacto, los portadores de cada uno (electrones y huecos) interaccionan en la región de unión.
- Hay difusión de electrones y huecos, que se recombinan
- Esto produce una región en la unión que tiene muy pocos portadores libres (zona de depleción o zona de carga espacial o región de vaciamiento)
- La existencia de cargas positivas y negativas a cada lado de la unión, produce una barrera de potencia (V_γ).
- Si una carga quiere cruzar la unión deben vencer esta barrera

Diodo de unión PN

- Región de deplexión (espesor $\sim 1\mu\text{m}$)
- Barrera de potencial
- Diodos Si $\rightarrow V_\gamma \approx 0.7\text{V}$
- Diodos Ge $\rightarrow V_\gamma \approx 0.3\text{V}$

A pn junction.



Diodo de unión PN

Polarización

En electrónica la polarización es uso de un voltaje de cc para establecer ciertas condiciones de operación en un dispositivo electrónico

Polarización directa ($V_D > 0$)

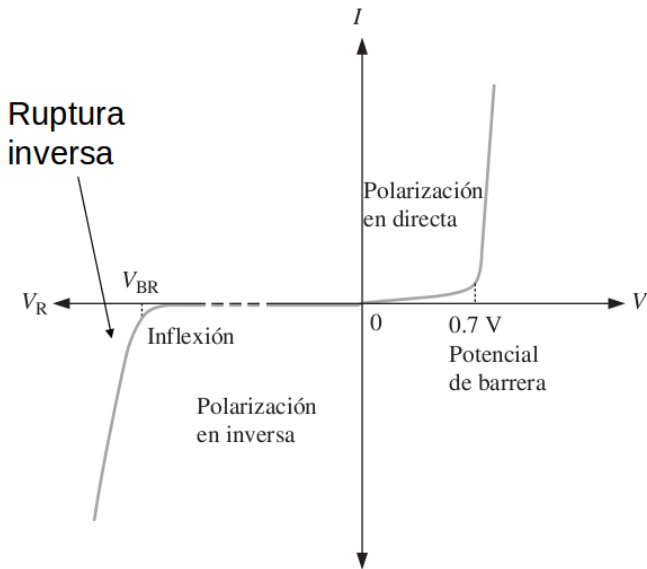
- Si se aplica una tensión positiva al lado P respecto del lado N , la unión pn se polariza directamente
- La tensión externa reduce la región de deplexión, y la altura de de la barrera de potencial. Cuando $V_D > V_\gamma$ no hay región de deplexión y los portadores mayoritarios pueden circular

Polarización inversa ($V_D < 0$)

- La región de deplexión aumenta
- Se aplica una fuente de tensión externa con la polaridad positiva aplicada al lado N respecto al lado P

Diodo de unión PN

Curva característica I - D para un diodo de unión PN



Diodo de unión PN

La corriente a través de una unión PN se relaciona con la tensión aplicada mediante la ecuación de Shockley

Ecuación de Shockley

$$I = I_s \left(e^{\frac{q_e V_D}{kT}} - 1 \right)$$

- Corriente inversa de saturación I_s , del orden de los nA y μA
- La constante de Boltzmann k
- T = temperatura
- q_e carga del electrón

- Si $V_D < 0 \Rightarrow I \approx -I_s \Rightarrow$ Con polarización inversa apenas hay corriente

- Si $V_D > 0,1 \text{ V} \Rightarrow I \approx e^{\frac{q_e V_D}{kT}} \Rightarrow$ Con polarización directa la corriente crece exponencialmente con la tensión

Diodo de unión PN

Polarización inversa ($V_D < 0$)

No existe apenas conducción ($I_S \approx \text{nA} - \mu\text{A}$) \rightarrow Se dice que el diodo está **bloqueado** o en **corte**.

Polarización directa ($V_D > 0$)

Para que exista conducción no solo $V_D > 0$, sino que $V_D > V_\gamma$.

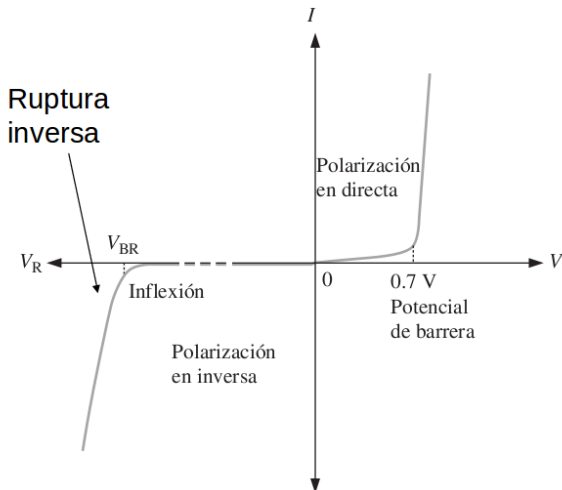
Tensión umbral (V_γ) = Tensión mínima para que se produzca conducción.

Ej. Para el silicio $V_\gamma = 0.6-0.7 \text{ V}$

• **Ruptura inversa:** Si aumentamos la tensión inversa, llega a un punto (V_{BR}) a partir del cual la intensidad del diodo aumenta drásticamente

Diodo de unión PN

Curva característica I - D para un diodo de unión PN



Relación complicada entre el voltaje y la corriente, para muchas aplicaciones usamos aproximaciones

Modelos equivalentes

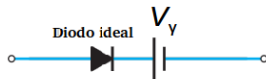
A veces necesitamos modelos más simples para analizar con rapidez circuitos que contengan diodos reales (de unión PN)

- Si diodo está bloqueado $V_D < V_\gamma$ el circuito equivalente es un circuito abierto.
- Cuando el diodo conduce $V_D > V_\gamma$, existen varias opciones de circuito equivalente:

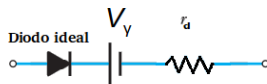
i) Si las tensiones son mucho mayores que la tensión umbral, se usa el modelo de diodo ideal.



ii) Si las tensiones son comparables a la tensión umbral, se usa el modelo de diodo ideal más un generador de fem de voltaje V_γ

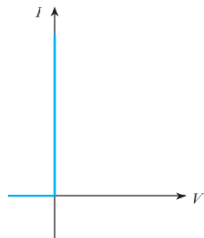


iii) Para calculos precisos, se usa el modelo de diodo ideal más un generador de fem V_γ y una resistencia en serie r_D

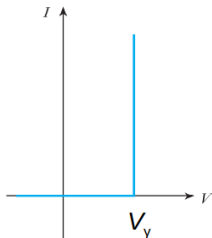


Modelos equivalentes

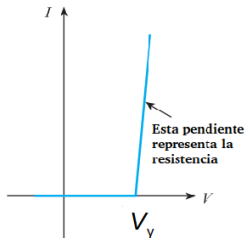
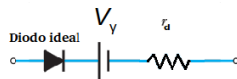
i) Si las tensiones son mucho mayores que la tensión umbral, se usa el modelo de diodo ideal.



ii) Si las tensiones son comparables a la tensión umbral, se usa diodo ideal más un generador de voltaje V_γ



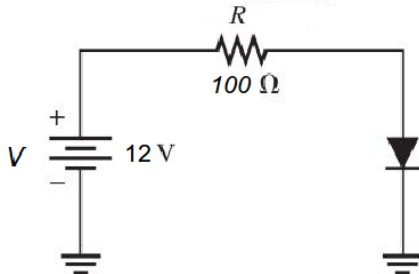
iii) Para calculos precisos, diodo ideal más un generador de fem V_γ y una resistencia r_D



Modelos equivalentes

Ejemplo 3: Determine el voltaje y la corriente a través del diodo para cada uno de los modelos del diodo. También determine el voltaje a través del resistor en cada caso. Suponga que la resistencia del diodo $r_D = 10\ \Omega$ y que $V_\gamma = 1.0\text{ V}$.

Sol. i) $I_D = 0.12\text{ A}$, $V_R = 12\text{ V}$; ii) $I_D = 0.11\text{ A}$, $V_R = 11\text{ V}$; iii) $I_D = 0.10\text{ A}$, $V_R = 10\text{ V}$



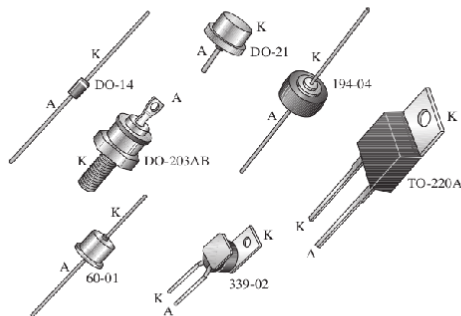
Límites y características de los diodos

- Tensión inversa de ruptura (V_{BR}). Si se supera:
 - ▶ Se produce una brusca conducción inversa
 - ▶ Generalmente el dispositivo se destruye
- Corriente directa máxima (I_{FM}). Si se supera, el dispositivo se destruye.
- La disipación de potencia en un diodo viene dada por $P_D = I_D V_D$

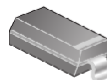
Límites y características de los diodos

Encapsulados típicos de diodos

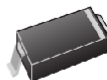
- El cátodo (K) normalmente se marca con una banda, una pestaña o algún otro elemento



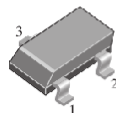
Encapsulados de diodos para montaje superficial



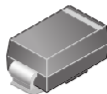
SOD-123



SOD-323



SOT-23



SMA/DO-214AC

Circuitos con diodos ideales

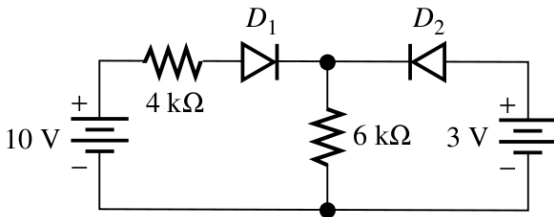
Al analizar un circuito con diodos ideales, puede que inicialmente no sepamos qué diodos están en conducción y cuáles al corte. Los pasos a seguir para resolver un circuito con diodos ideales son

- ▶ **Paso 1:** Suponer unos estados para los diodos.
- ▶ **Paso 2:** Resolver el circuito hallando I_D para los diodos que se suponen en conducción y V_D para los que se suponen al corte.
- ▶ **Paso 3:** Comprobar si I_D es positiva en los diodos que se suponen en conducción, y si V_D es negativa en todos los que se suponen al corte. Si lo son, ya tenemos la solución. Si no, volver al paso 1.

Circuitos con diodos ideales

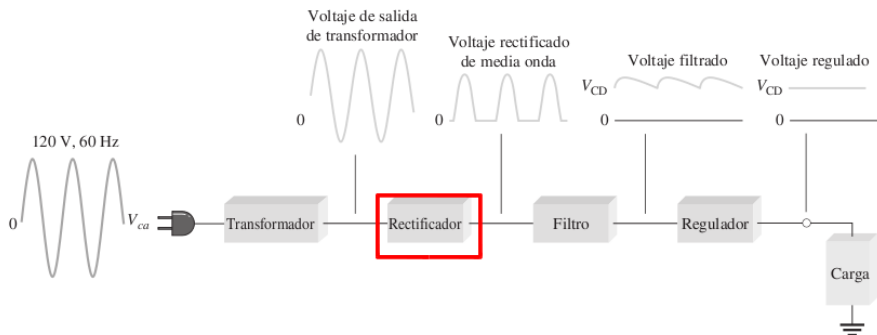
Ejemplo 4: Analizar el circuito de la figura usando el modelo de diodo ideal.

Sol. D_1 conduce, D_2 en corte: $V_{D2} = -3\text{ V}$, $I_{D1} = 1\text{ mA}$.

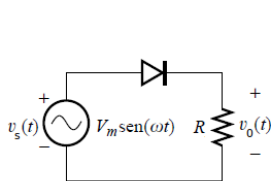


Rectificación

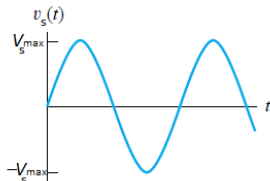
- Por su capacidad para conducir corriente en una dirección y bloquearla en la otra, los diodos se utilizan en circuitos llamados rectificadores que convierten voltaje de ca en voltaje de cd.
- Se encuentran rectificadores en todas las fuentes de alimentación que convierten el voltaje de ca en un voltaje cd constante.



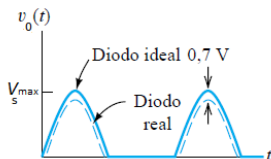
Rectificador de media onda



(a) Diagrama del circuito



(b) Tensión de la fuente en función del tiempo



(c) Tensión de la carga en función del tiempo

- Sólo los semiciclos positivos de la fuente pasaran por la resistencia (*carga*). El diodo sólo conduce durante las mitades positivas de los ciclos.
- Si $v_s < 0 \rightarrow$ diodo está polarizado en inversa ($i = 0$).
- Si $v_s > 0 \rightarrow$ diodo está polarizado en directa.
- Esto produce una corriente en una sola dirección (continua) en la resistencia.

Rectificador de media onda

Voltaje de la fuente de ca

$$v_s(t) = V_{s,max} \text{sen}(\omega t)$$

Voltaje máximo en la carga

$$V_{o,max} = V_{s,max} - V_F$$

V_F = Caída de tensión en conducción

(podemos tomar $V_F \approx V_\gamma$)

Voltaje mínimo en la carga

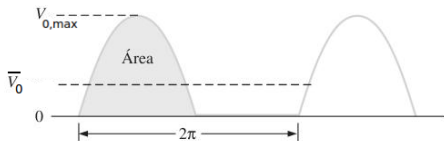
$$V_{o,min} = 0$$

Oscilación de la tensión de salida

$$\Delta V_o = V_{o,max}$$

Valor promedio del voltaje de salida de media onda

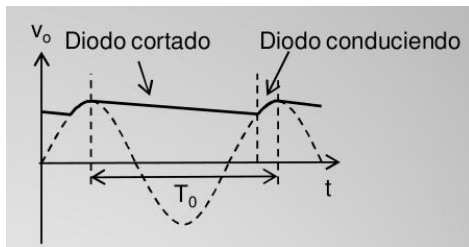
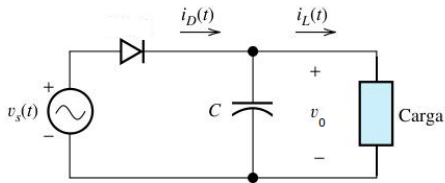
$$\bar{V}_o = \frac{1}{T_0} \int_0^{T_0} v_o(t) dt = \frac{V_{o,max}}{\pi}$$



Rectificador de media onda

Rectificador de media onda con condensador de filtrado

- Si queremos obtener una tensión de salida casi constante, se puede lograr situando una gran capacidad en paralelo con la carga.
- Cuando v_S llega a un pico positivo, el condensador queda cargado con la tensión del pico (diodo ideal).
- Cuando la v_S es menor que la tensión almacenada en el condensador, el diodo se polariza en inversa y es el condensador el que proporciona corriente a la carga



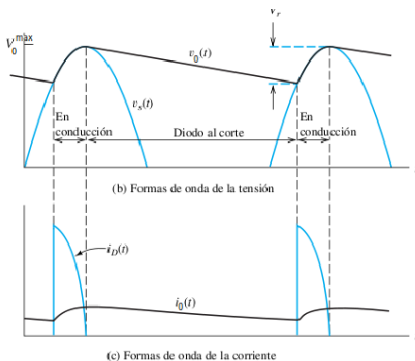
Rectificador de media onda

Rectificador de media onda con condensador de filtrado

- El condensador se carga mientras el diodo conduce, y mantiene el voltaje de salida cuando el diodo entra en corte

- En esta situación, el diodo sólo conduce durante cortos periodos de tiempo, en los que la corriente son muy altas

- Aunque v_o es más estable, posee un rizado



Rectificador de media onda con condensador de filtrado.

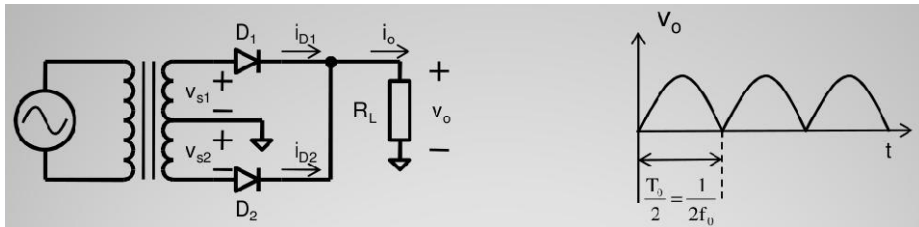
Rectificador de media onda

Ejemplo 4: Un rectificador de media onda está alimentado con una tensión senoidal de valor eficaz 12V y frecuencia 50Hz, y suministra energía a una resistencia de carga de 100Ω . Dibuja el esquema del circuito, calcula el valor medio de la tensión y de la corriente de salida, así como la oscilación de la tensión de salida. Tome $V_F = 1V$.

Sol. $\bar{V}_o = 5.1V$, $\bar{I}_o = 51\text{ mA}$, $\Delta V_o = 16V$

Rectificador de onda completa

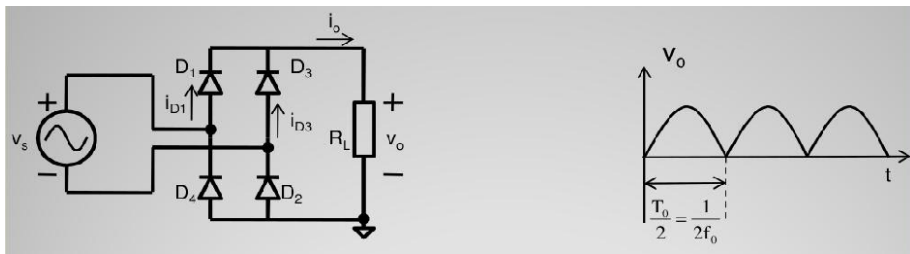
Con toma central en el transformador



- Cada diodo conduce un semiciclo de v_s
- La corriente en la carga no cambia de sentido
- La frecuencia de v_o es el doble de la de v_s
- Se necesita un transformador con toma central, que aísla la carga de la línea de corriente alterna
- Este circuito es equivalente a 2 rectificadores de media onda
- La corriente en la carga circula durante ambos semiciclos
- Durante ambos semiciclos v_o tiene la misma polaridad

Rectificador de onda completa

En puente

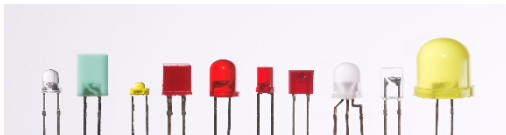
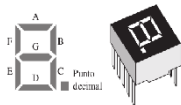
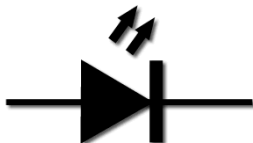


- Semiciclo positivo: conducen D_1 y D_2
- Semiciclo negativo: conducen D_3 y D_4
- La pérdida de tensión en los diodos se dobla
- No se necesita transformador

Otros diodos

Diodo LED (Light-Emitting Diode)

- ▶ Emiten luz al estar polarizados en directa
- ▶ Los e- se recombinan con los huecos liberando fotones
- ▶ Se usan en displays, móviles, control remoto, faros de coche, ...



Otros diodos

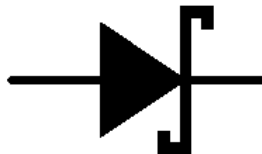
Fotodiodo

- ▶ Se emplea como sensor de luz
- ▶ Funciona en inversa. Su corriente inversa de saturación varía con la luz incidente



Diodo Schottky

- ▶ Formado por la unión metal-semiconductor
- ▶ Usados en aplicaciones de alta frecuencia y conmutación rápida



Otros diodos

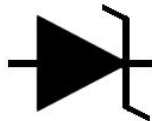
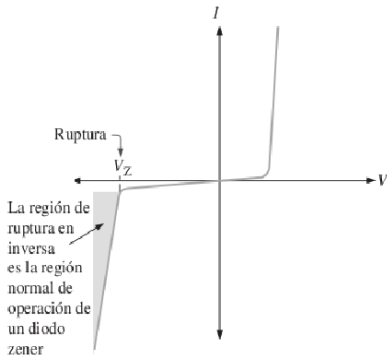
Voltaje de ruptura $V_Z (V_{BR})$

Si el voltaje de polarización en inversa externo se incrementa a un valor llamado voltaje de ruptura, la corriente en inversa se incrementará drásticamente

- Cuando alcanza la ruptura en inversa su voltaje permanece casi constante aun cuando la corriente cambie drásticamente (los diodos zener se basan en este efecto)

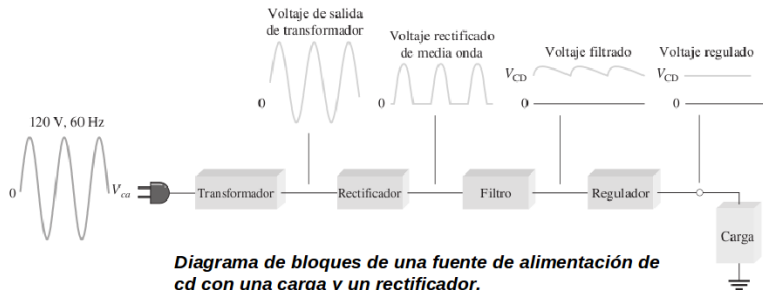
Diodo Zener

Dispositivo diseñado para trabajar en la región de ruptura inversa



Fuente de alimentación DC

- Tensión de entrada: Típicamente senoidal, 230 V eficaces, 50Hz
- Tensión de salida: Se indica su valor medio



Regulación de tensión: Mantener constante una tensión frente a variaciones de carga, alimentación, etc.

Un Zener puede actuar como regulador porque mantiene un voltaje casi constante a través de sus terminales para un intervalo de valores de corriente en inversa.