

Diodos Rectificadores

Dispositivos Electrónicos

Ing. Luis A. Guanuco



Universidad Tecnológica Nacional
Facultad Regional Córdoba

29 de abril de 2024

Tabla de contenidos

1 Semiconductor

2 Diodo Semiconductor

3 Diodo Zener

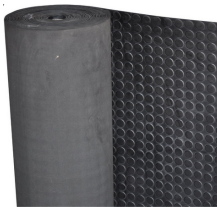
- Diseño de circuitos con zener
- Ejemplo

Sección 1

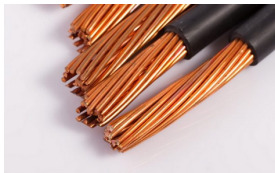
Semiconductor

Clasificación de los materiales

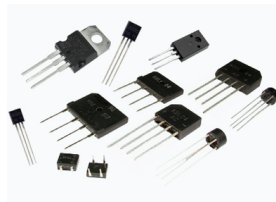
Todos los materiales están compuestos por átomos; éstos contribuyen a las propiedades eléctricas de un material, incluida su capacidad de conducir corriente eléctrica. Estos se clasifican en:



(a) Aislante



(b) Conductor



(c) Semiconductores

Figura: Clasificación de materiales

Clasificación de los materiales

Aislantes no conduce corriente eléctrica en condiciones normales. La mayoría de los buenos aislantes son materiales compuestos. Los electrones de valencia están estrechamente enlazados a los átomos.

Conductores conduce corriente eléctrica fácilmente. La mayoría de los metales son buenos conductores. Los mejores conductores son materiales de sólo un elemento. Tienen electrones de valencia flojamente enlazados y terminan convirtiéndose en electrones libres.

Semiconductores se encuentran entre aislantes y conductores, en lo que respecta a su capacidad de conducir corriente eléctrica. Los semiconductores de un solo elemento están caracterizados por átomos con *cuatro electrones de valencia*.

Estructura atómica

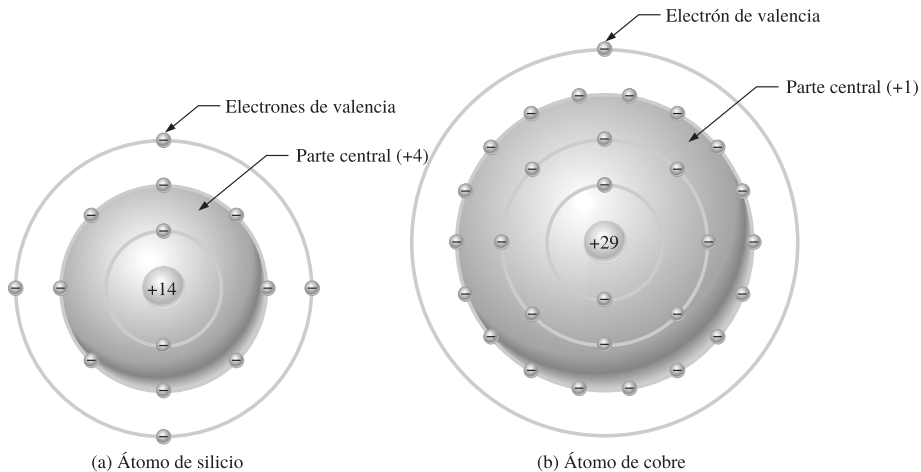


Figura: Comparación de las estructuras atómicas del Silicio y el Cobre.

Bandas de energía

Recuerde que la capa de valencia de un átomo representa una *banda de energía* y que los electrones de valencia están confinados a dicha banda. Cuando un electrón adquiere suficiente energía adicional para abandonar la capa de valencia se convierte en un *electrón libre*. El electrón ahora se encuentra en lo que se conoce como *banda de conducción*.

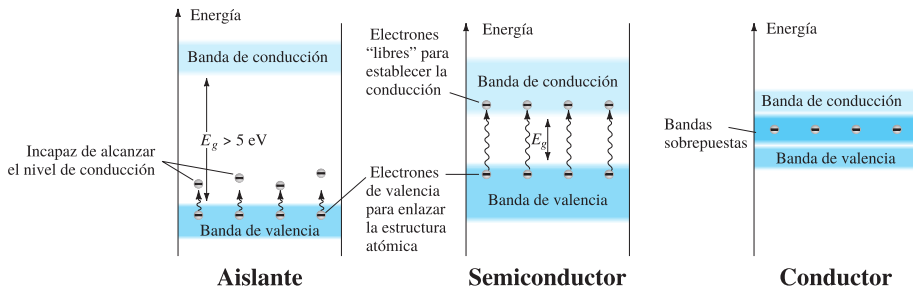


Figura: Diagrama de energía para los tres tipos de materiales.

Semiconductor intrínsecos

Los semiconductores más utilizados en la industria electrónica son:

- Silicio (Si)
- Germanio (Ge)

Estos materiales tienen una estructura cristalina y libres de impurezas y se los conoce como *intrínsecos*.

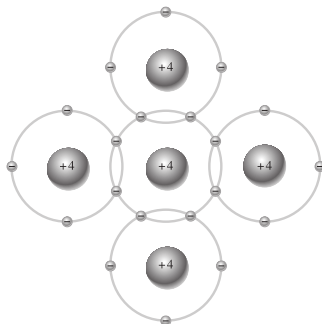


Figura: Estructura cristalina del silicio y sus enlaces covalentes.

Semiconductor extrínsecos

Los materiales semiconductores en su estado intrínseco no conducen bien la corriente y su valor es limitado. Esto se debe al número limitado de electrones libres presentes en la banda de conducción y huecos presentes en la banda de valencia.

Dopado

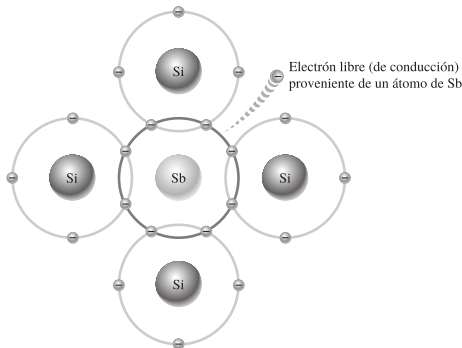
La conductividad del Si y Ge se incrementa drásticamente mediante la adición controlada de impurezas al material semiconductor intrínseco. Los dos portadores de impureza son del tipo N y el tipo P .

Semiconductor tipo *N*

Para incrementar el número de electrones de banda de conducción en silicio intrínseco se agrega átomos de impureza *pentavalente*. Estos son átomos de cinco e^- de valencia tales como el Arsénico (As), Fósforo (P), Bismuto (Bi) y Antimonio (Sb).

Los electrones se conocen como *portadores mayoritarios* en el material tipo *N*.

Los huecos en el material tipo *N* reciben el nombre de *portadores minoritarios*.



Semiconductor tipo *P*

Para incrementar el número de huecos en el silicio intrínseco, se agregan átomos de impureza *trivalentes*: átomos con tres electrones de valencia tales como Boro (B), Indio (In) y Galio (Ga).

Los huecos son los *portadores mayoritarios* en un material tipo *P*.
Los electrones de banda de conducción en un material tipo *P* son los *portadores minoritarios*.

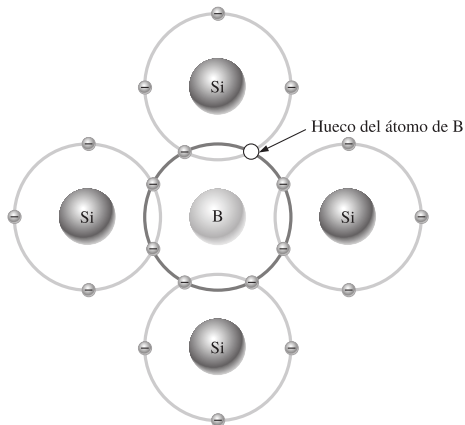


Tabla de contenidos

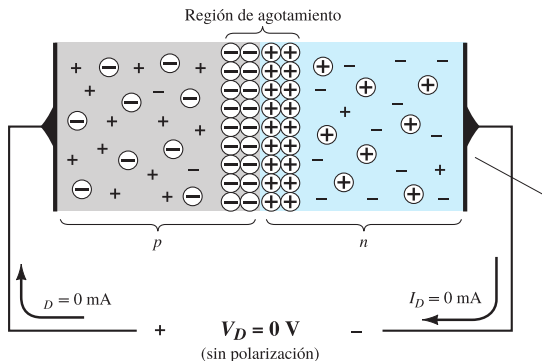
- 1 Semiconductor
- 2 Diodo Semiconductor**
- 3 Diodo Zener
 - Diseño de circuitos con zener
 - Ejemplo

Sección 2

Diodo Semiconductor

Diodo semiconductor

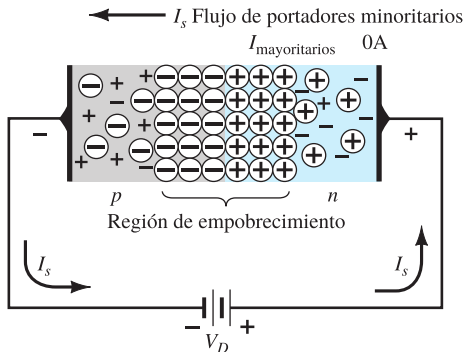
Ahora que los materiales tipo n como tipo p están disponibles, podemos crear el diodo semiconductor. Esto se forma uniendo un material tipo n a un material tipo p .



Sin ninguna polarización aplicada a través de un diodo semiconductor, el flujo neto de carga en una dirección es cero.

Polarización inversa ($V_D < 0V$)

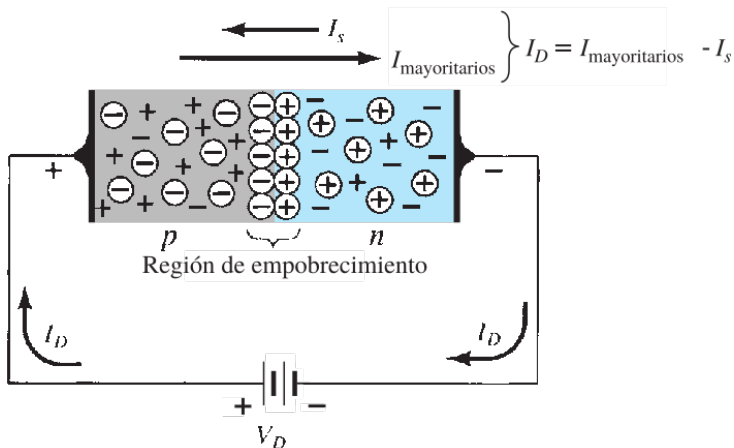
Esta polarización genera una mayor apertura de la región de empobrecimiento, la cual crea una barrera demasiado grande para que los portadores mayoritarios la puedan superar.



La corriente en condiciones de polarización en inversa se llama corriente de saturación en inversa y está representada por I_s

Polarización directa ($V_D > 0V$)

Al incrementar la magnitud de la polarización aplicada, el ancho de la región de empobrecimiento continuará reduciéndose hasta que un flujo de electrones pueda atravesar la unión.

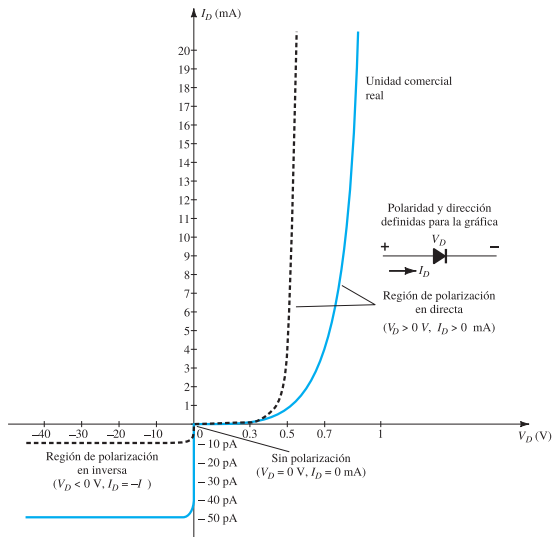


Curva característica del diodo: Polarización Directa

Algunas características:

Tensión umbral depende del material,
 $Ge = 0,2V$ y
 $Si = 0,7V$.

Corriente Máxima depende del fabricante (potencia).

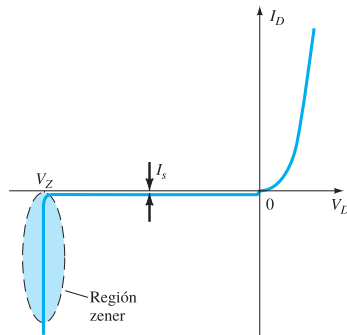


Curva característica del diodo: Polarización Inversa

Algunas características:

Tensión de ruptura Tensión que produce la avalancha de electrones.

Corriente inversa circulación mínima
(despreciable para
nosotros).



Análisis de hoja de datos

Los fabricantes proporcionan toda la información necesaria para la implementación de los diodos. Veremos qué datos son útiles y como pueden compararse dos diodos según la aplicación:

1N4007 https://ar.mouser.com/datasheet/2/308/1N4001_D-1801424.pdf

1N4148 https://ar.mouser.com/datasheet/2/308/1N914_D-1801484.pdf

Tabla de contenidos

- 1 Semiconductor
- 2 Diodo Semiconductor
- 3 Diodo Zener
 - Diseño de circuitos con zener
 - Ejemplo

Sección 3

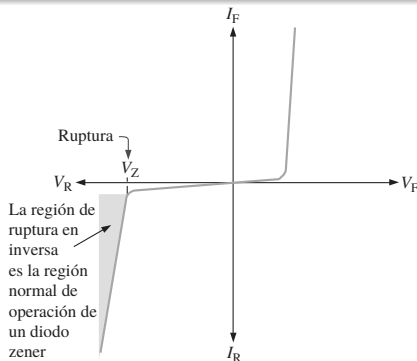
Diodo Zener

Diodo Zener

Descripción

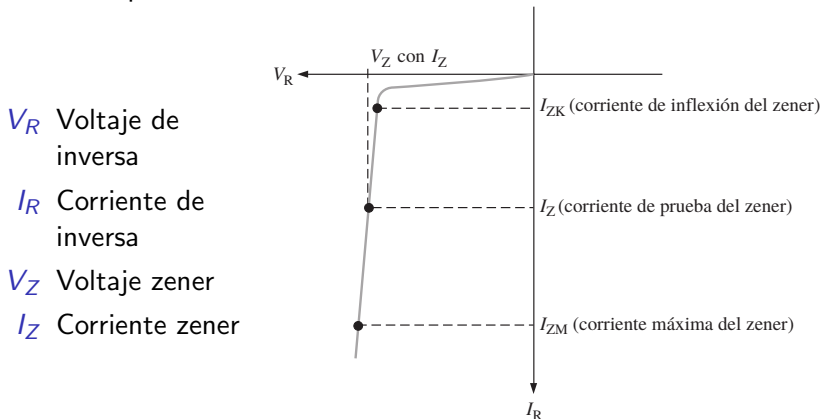
Un diodo zener es un dispositivo de silicio con unión *pn* diseñado para operar en la región de ruptura en inversa.

El voltaje de ruptura del diodo zener se ajusta controlando cuidadosamente el nivel de dopado durante su fabricación. Este dopado es en exceso y genera una región de empobrecimiento más estrecho.



Característica de ruptura

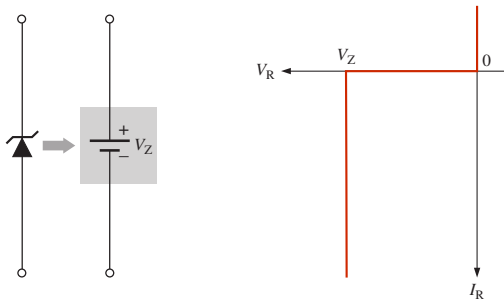
En condiciones de polarización inversa del diodo zener tenemos,



¿Qué limita el funcionamiento como regulador de tensión al diodo zener?

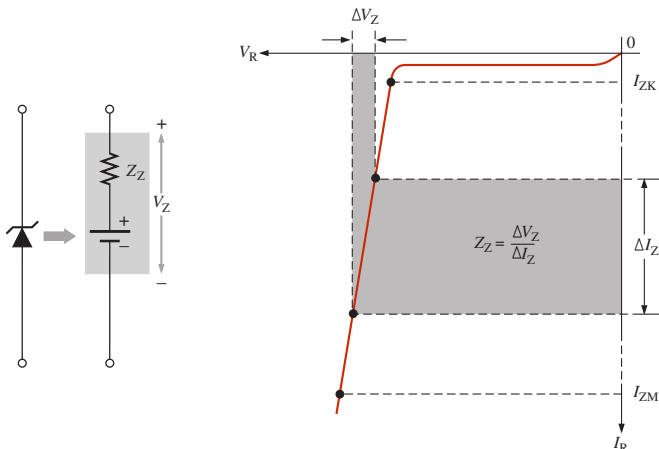
Circuito equivalente ideal

Sí suponemos un comportamiento ideal del diodo zener como en polarización inversa, tendríamos una fuente de tensión constante



Circuito equivalente real

En la realidad, no se tiene un comportamiento idealmente vertical. Un cambio de corriente (ΔI_Z) produce un pequeño cambio de voltaje zener (ΔV_Z).

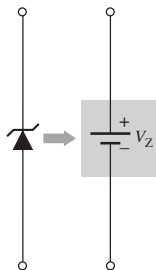


Diodo Zener

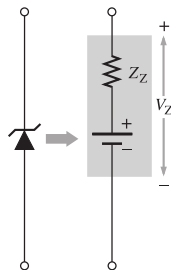
Considerando los anteriores circuitos equivalentes,

Pregunta

¿Qué modelo se utiliza para los cálculos?



(a) Ideal

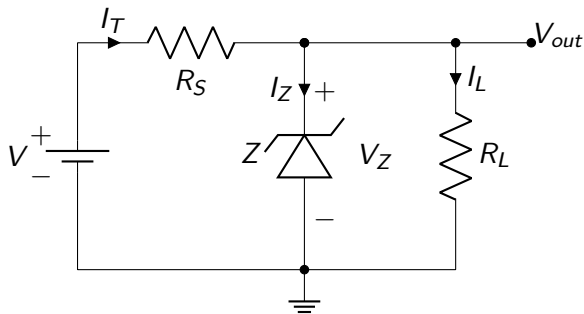


(b) Real

Figura: Circuitos equivalentes del zener

Diodo Zener

Al igual que en el caso de los circuitos con diodos rectificadores, se utiliza el *modelo ideal* para el diseño de circuitos *reales*. Pero es fundamental *implementar criterios de diseño*.



Datos para el diseño,

- $V > V_Z$
- $V_{out} = V_Z$ es un dato conocido
- R_S depende del Z (V_Z y I_Z).
- Algún parámetro de la salida se debe disponer R_L y/o I_L

¿Qué otro dato necesitaríamos para el diseño?

Cálculo de R_S

Sumado a los planteos anteriores, vamos a tomar diferentes *criterios de diseño* para obtener toda la información necesaria.

Los parámetros máximos deben ser extraídos del diodo zener.

Recuerde la curva de polarización inversa del zener,

$$P_Z = V_Z \times I_Z$$

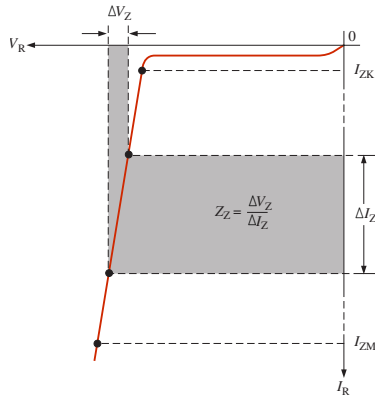
$$P_{Z(MAX)} = V_Z \times I_{Z(MAX)}$$

Podemos obtener:

$$I_{Z(MAX)} = \frac{P_{Z(MAX)}}{V_Z}$$

Además, consideramos:

$$I_{Z(MIN)} = 10\% I_{Z(MAX)}$$



Diodo Zener

Utilizando las leyes de corriente y tensión de Kirchhoff podemos encontrar las diferentes ecuaciones necesarias para nuestra resolución
Las corrientes en el nodo A son,

$$I_T = I_Z + I_L ; \text{ donde } I_L = \frac{V_{out}}{R_L}$$

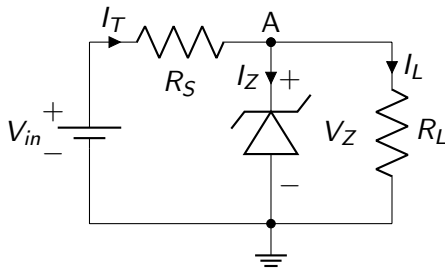
La sumatoria de tensiones es,

$$V_{in} = (R_S \times I_T) + V_Z$$

Finalmente podemos obtener R_S ,

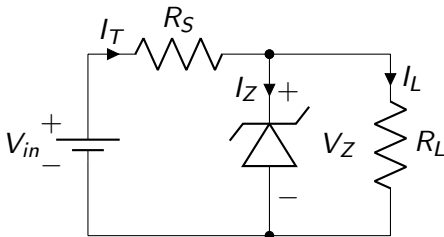
$$R_S = \frac{V_{in} - V_Z}{I_T}$$

La resolución del problema está en *elegir* correctamente la I_{ZQ} .



Diodo Zener: Cálculo de R_S

Encontrar el resistor R_S para el siguiente circuito regulador



- $V_{in} = 12V$
- $P_Z = 0.5W$
- $R_L = 150\Omega$
- $V_Z = 6.8V$

Diodo Zener: Capacidad de estabilización

Consideremos una situación real (con $R_S = 56\Omega$), en la que la fuente de entrada $V_{in} = 12V$ varía un $\pm 10\%$:

$$V_{in(MAX)} = V_{in} + 10\% = 13,2V$$

$$I_{T(MAX)} = \frac{V_{in(MAX)} - V_Z}{R_S}$$

$$I_{T(MAX)} = \frac{13,2V - 6,8V}{56\Omega}$$

$$I_{T(MAX)} = 114,2mA$$

$$I_Z = I_{T(MAX)} - I_L$$

$$I_Z = 114,2mA - 45,3mA$$

$$I_Z \Big|_{V_{in}=13,2V} = 68,9mA$$

$$V_{in(MIN)} = V_{in} - 10\% = 10,9V$$

$$I_{T(MIN)} = \frac{V_{in(MIN)} - V_Z}{R_S}$$

$$I_{T(MIN)} = \frac{10,9V - 6,8V}{56\Omega}$$

$$I_{T(MIN)} = 73,2mA$$

$$I_Z = I_{T(MIN)} - I_L$$

$$I_Z = 73,2mA - 45,3mA$$

$$I_Z \Big|_{V_{in}=10,9V} = 27,9mA$$

Diodo Zener: conclusión

Se consideró una variación de tensión de entrada ($\pm 10\%$). Se calcularon las corrientes que circulará en el zener en estas condiciones. En la gráfica se presentan los resultados.

- Las variaciones en V_{in} provocan modificaciones en las corrientes I_T y I_Z .
- La corriente I_Z se mantiene constante pues depende de V_Z y R_L
- Las variaciones de I_Z se encuentran contempladas entre la $I_{Z(MIN)}$ y $I_{Z(MAX)}$ por lo que se considera que V_Z se mantiene constante.

