

# Circuitos y Sistemas Digitales

## Semiconductores

### Clase 4



## 1. Introducción

Los semiconductores son materiales fundamentales en la electrónica moderna, ya que poseen propiedades eléctricas intermedias entre los conductores y los aislantes. Su comportamiento puede controlarse mediante la adición de impurezas (dopaje), lo que permite la creación de dispositivos esenciales como diodos, transistores y circuitos integrados. En esta clase, nos enfocaremos en el diodo, uno de los componentes más básicos y versátiles de la electrónica, el cual permite el flujo de corriente en una sola dirección y encuentra aplicaciones en rectificación, conmutación y protección de circuitos.

Dentro del estudio del diodo, exploraremos su funcionamiento como recortador de señales, un circuito que limita el voltaje de salida a un nivel determinado. Además, analizaremos el diodo Zener, una variante especial diseñada para operar en la región de ruptura, lo que lo hace ideal para aplicaciones de regulación de voltaje y recorte preciso. Estos conceptos son clave para entender el diseño de fuentes de alimentación, protecciones contra sobretensiones y el procesamiento de señales en sistemas electrónicos.

### Clase 4: Semiconductores.

Resultado o resultados de aprendizaje que será abordado con el contenido de la clase. **(No agregue los criterios)**

Utilizar los componentes electrónicos básicos para circuitos digitales combinacionales.

### 2.1. El diodo.

Los semiconductores, como el silicio (Si), se fabrican a partir de materiales cristalinos altamente purificados. El silicio, que se obtiene de la arena (dióxido de silicio,  $\text{SiO}_2$ ), se refina mediante procesos químicos y físicos hasta alcanzar una pureza del 99.9999% (grado "semiconductor"). Este material puro, llamado silicio intrínseco, tiene una estructura cristalina donde cada átomo comparte sus cuatro electrones de valencia con sus vecinos, formando enlaces covalentes. A temperatura ambiente, algunos electrones pueden liberarse, generando pares electrón-hueco, pero su conductividad es muy baja.

Para mejorar su conductividad y permitir su uso en dispositivos electrónicos, el silicio se dopa (impurifica) con elementos del grupo III o V de la tabla periódica. Si se añaden átomos con cinco electrones de valencia (como fósforo o arsénico), se obtiene un semiconductor tipo N, donde los electrones son los portadores mayoritarios. En cambio, si se dopa con átomos de tres electrones de valencia (como boro o galio), se forma un semiconductor tipo P, donde los huecos actúan como portadores mayoritarios. La unión de estos materiales (P-N) es la base de dispositivos como diodos, transistores y circuitos integrados. La Figura 1 muestra estos elementos y su ubicación en la tabla periódica.

Figura 1

Vista parcial de la tabla periódica resaltando los elementos usados para fabricar semiconductores tipo N y tipo P

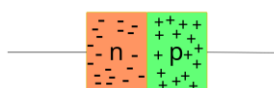
|                                |                               |                               |                             |
|--------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-----------------------------|
| 5<br>B<br>Boro<br>10,81        | 6<br>C<br>Carbono<br>12,011   | 7<br>N<br>Nitrógeno<br>14,007 | 8<br>O<br>Oxígeno<br>15,999 |
| 13<br>Al<br>Aluminio<br>26,982 | 14<br>Si<br>Silicio<br>28,085 | 15<br>P<br>Fósforo<br>30,974  | 16<br>S<br>Azufre<br>32,06  |
| 31                             | 32                            | 33                            | 34                          |

Nota: Fuente PTABLE, 2025.

Los diodos son dispositivos electrónicos formados por la unión de un material semiconductor tipo P y otro tipo N, lo que se conoce como unión PN. Esta estructura permite que la corriente fluya en una sola dirección (polarización directa) mientras la bloquea en la inversa (polarización inversa).

Figura 2

Unión NP de un diodo.

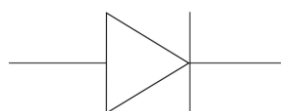


Nota: Elaborado por Escobar C. (2025)

La Figura 2 muestra la unión de semiconductores N y P para fabricar un diodo. La representación esquemática del diodo es una flecha que indica el sentido del flujo al que puede circular la corriente y una barra que muestra la oposición al flujo de la corriente, como se muestra en la Figura 3 :

Figura 3

Representación esquemática del diodo.



Nota: Elaborado por Escobar C. (2025)

Los diodos permiten que la corriente fluya en una sola dirección (polarización directa) mientras la bloquea en la inversa (polarización inversa).

### 2.1.1. Polarización Directa (P positivo, N negativo)

- Al aplicar un voltaje externo donde el lado P se conecta al positivo y el N al negativo, es decir en el sentido de la flecha de el diodo, el campo eléctrico externo reduce la barrera de potencial.
- Si el voltaje supera la barrera ( $\geq 0.7$  V), los electrones del N y los huecos del P pueden cruzar la unión, permitiendo una corriente directa ( $I_f$ ) elevada.
- El diodo se comporta como un interruptor cerrado (con baja resistencia).

### 2.1.2 Polarización Inversa (P negativo, N positivo)

- Al invertir la polaridad, es decir al intentar que la corriente fluya en sentido contrario a la flecha del diodo, el campo externo amplía la zona de agotamiento, reforzando la barrera de potencial.
- Los portadores mayoritarios (huecos en P y electrones en N) son alejados de la unión, y solo fluye una minúscula corriente inversa ( $I_s$ ) debido a portadores minoritarios.
- El diodo actúa como un interruptor abierto (alta resistencia), hasta que un voltaje inverso excesivo causa ruptura y destrucción del diodo (efecto Zener o avalancha).

Figura 4

Región de agotamiento de un diodo.



Nota: Elaborado por Escobar C. (2025)

En la Figura 4 se puede apreciar la unión de las regiones p y n de un diodo donde se identifica la zona o región de agotamiento que se produce cuando los electrones libres de la región n son atraídos por los huecos de la región p y saltan y los llenan hasta un punto que los huecos, de la región p, que quedan del otro lado de la región de agotamiento ya no tienen la suficiente fuerza para atraer mas electrones de la región n y se establece una barrera natural que impide el flujo de electrones en polarización directa, el cual para fluir debe tener la suficiente diferencia de potencial que le permita superar esta barrera que en los diodos de silicio es de 0.7V y en los de germanio de 0.3V.

Los diodos pueden ser usados para varias aplicaciones y existen varios tipos de ellos, entre los que podemos mencionar:

- diodo
- diodo zener
- diodo led

### 2.1.3. Diodos de propósito general

El diodo de propósito general es aquel que permite el flujo de corriente en un sentido cuando se polariza directamente y lo bloquea en sentido contrario cuando se polariza de manera inversa.

Figura 5

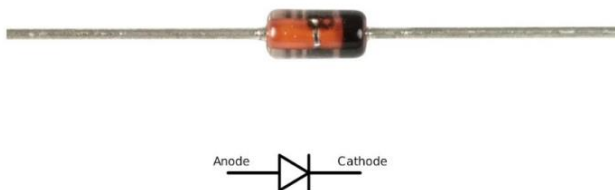
Diodo rectificador 1N4007.



Nota: Fuente Isaac et al., 2025.

Figura 6

Diodo 1N4148.



Nota: Fuente Isaac et al., 2025

De manera ilustrativa, las Figura 5 y Figura 6 muestran el diodo rectificador 1N4007 y el diodo de propósito general 1N4148, los cuales tienen recubrimiento de resina negra y cristal

respectivamente, mientras que en la parte inferior se muestra el esquemático de este elemento. Nótese que el ánodo se encuentra en el lado izquierdo del esquemático y es por dónde ingresa la corriente cuando el diodo es polarizado directamente.

#### 2.1.4. Diodos LED

Los LEDs (Diodos Emisores de Luz) son dispositivos semiconductores que convierten energía eléctrica en luz mediante un fenómeno llamado electroluminiscencia. A diferencia de los diodos convencionales, los LEDs emiten fotones (luz) cuando los electrones y huecos se recombinan en la unión PN.

[En este sitio puede ver con mayor detalle como se construyen los diodos LED para conseguir los distintos colores, así como aplicaciones de este elemento.](#)

Figura 7

Light Emitter Diode o diodo emisor de luz LED.



Nota: Tomado de Isaac et al., 2025.

La Figura 7 muestra varios diodos LED con su encapsulamiento de varios colores

Para conseguir el efecto de electroluminiscencia los LEDs pueden ser fabricados, de acuerdo a las características que se quiera darles, con semiconductores compuestos, como:

- Arseniuro de Galio (GaAs) → Infrarrojos (IR)
- Fosfuro de Galio (GaP) → Verde, rojo, amarillo
- Nitruro de Galio (GaN) → Azul, blanco, UV
- Carburo de Silicio (SiC) → LEDs de alta potencia

Durante décadas se investigó como fabricar un LED que pueda emitir el color azul, ya que en complemento con los diodos rojo y verde pueden generar cualquier color y aplicarse en las pantallas y dispositivos emisores de luz.

[En este documental puede ver cómo se fabricó el diodo emisor de luz azul y por qué por este descubrimiento le confirieron a su inventor el premio Nobel.](#)

### 2.1.5. Diodos Zener

Los diodos Zener son componentes semiconductores especializados diseñados para operar en polarización inversa, manteniendo un voltaje constante (llamado voltaje Zener,  $V_z$ ) cuando se alcanza su tensión de ruptura. A diferencia de los diodos convencionales (que se dañan en ruptura inversa), los Zener están fabricados para funcionar de manera estable en esta región, lo que los hace ideales para:

- Regulación de voltaje.
- Protección contra sobretensiones.
- Circuitos de referencia de voltaje.

Características de los diodos zener

- **Voltaje Zener ( $V_z$ ):** Rango típico desde 2.4 V hasta 200 V (ejemplos comunes: 3.3 V, 5.1 V, 12 V).
- **Tolerancia:** Precisión del  $\pm 1\%$  al  $\pm 20\%$  según el modelo.
- **Potencia máxima:** Desde 0.5 W (diodos pequeños) hasta 50 W (para aplicaciones de alta corriente).
- **Coefficiente de temperatura:** Algunos Zener tienen compensación térmica para evitar deriva en el voltaje.

Cuando el diodo zener se polariza directamente funciona como un diodo de propósito general, pero a diferencia de este, cuando se polariza inversamente, el diodo zener tiene un comportamiento por debajo del voltaje zener y otro cuando lo supera, como se detalla a continuación:

#### Por debajo de $V_z$ :

- El Zener actúa como un diodo normal en inversa, bloqueando casi toda la corriente (solo fluye una mínima corriente de fuga).

#### Al alcanzar $V_z$ :

- Entra en ruptura controlada, permitiendo que la corriente inversa aumente significativamente sin que el voltaje supere  $V_z$ .
- Dos mecanismos de ruptura:
  - Efecto Zener (en diodos con  $V_z < 5$  V): Dominante por tunelización cuántica.
  - Efecto Avalancha (en diodos con  $V_z > 5$  V): Portadores ganan energía y liberan más electrones por impacto.

Figura 8

Diodo zener 1N5349B 5W 12 V.

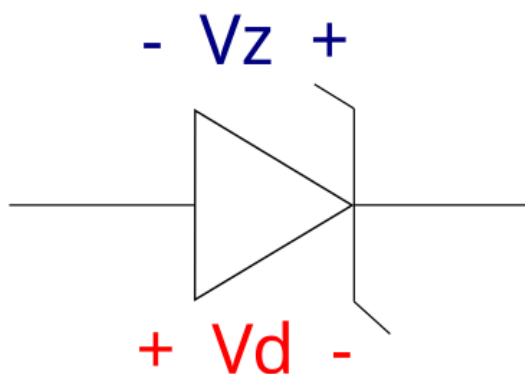


Nota: Tomado de Aukenien, 2025.

Aunque en apariencia, como se puede apreciar en la Figura 8, el empaquetamiento de un diodo zener no tiene muchas diferencias de un diodo común, como vimos previamente funciona de manera distinta y su esquemático tiene diferencias tal como se muestra en la Figura 9 dónde se puede apreciar el voltaje del zener  $V_z$  que es el voltaje de polarización inversa o de regulación y el voltaje de polarización directa  $V_d$ , que al igual que los diodos comunes es de 0.7 V para diodos de silicio.

Figura 9

Esquemático del diodo zener y su voltaje  $V_z$  y de polarización directa  $V_d$ .



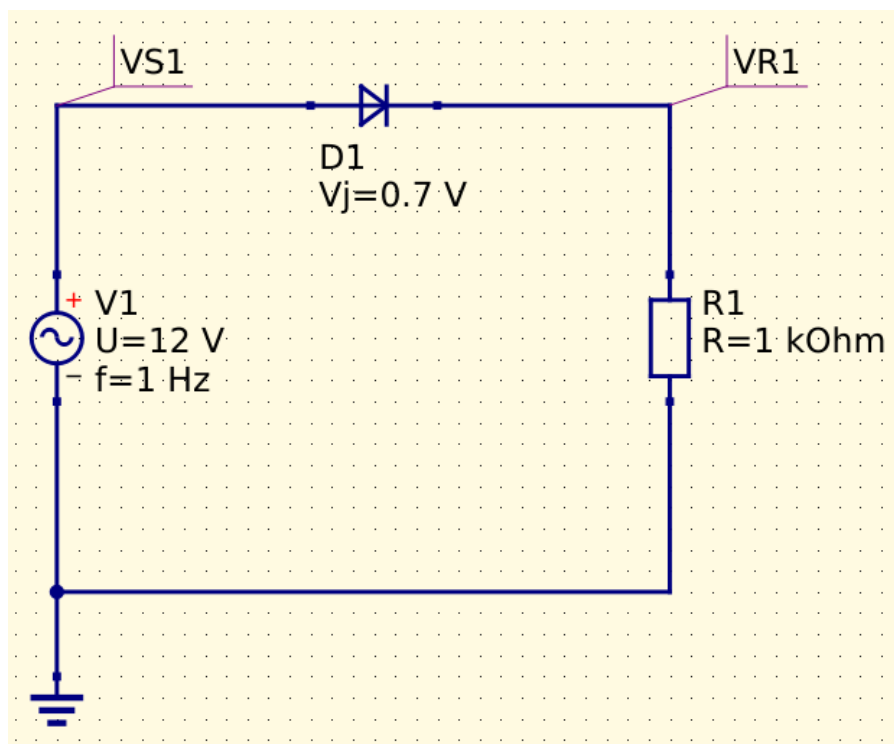
Nota: Elaborado por Escobar C. (2025)

## 2.2. El diodo como recortador.

En el circuito de la Figura 10 se puede observar al diodo D1, con voltaje de juntura  $V_j$  de 0.7 V, conectado a una fuente alterna sinusoidal de 12 V con frecuencia de 1 Hz y una carga R1 de 1 kOhm, Considerando que el diodo solo permite el flujo de corriente cuando está polarizado directamente, la corriente solo fluirá en el ciclo positivo de la señal sinusoidal de la fuente.

Figura 10

Diodo polarizado directamente con el ciclo positivo de la fuente.



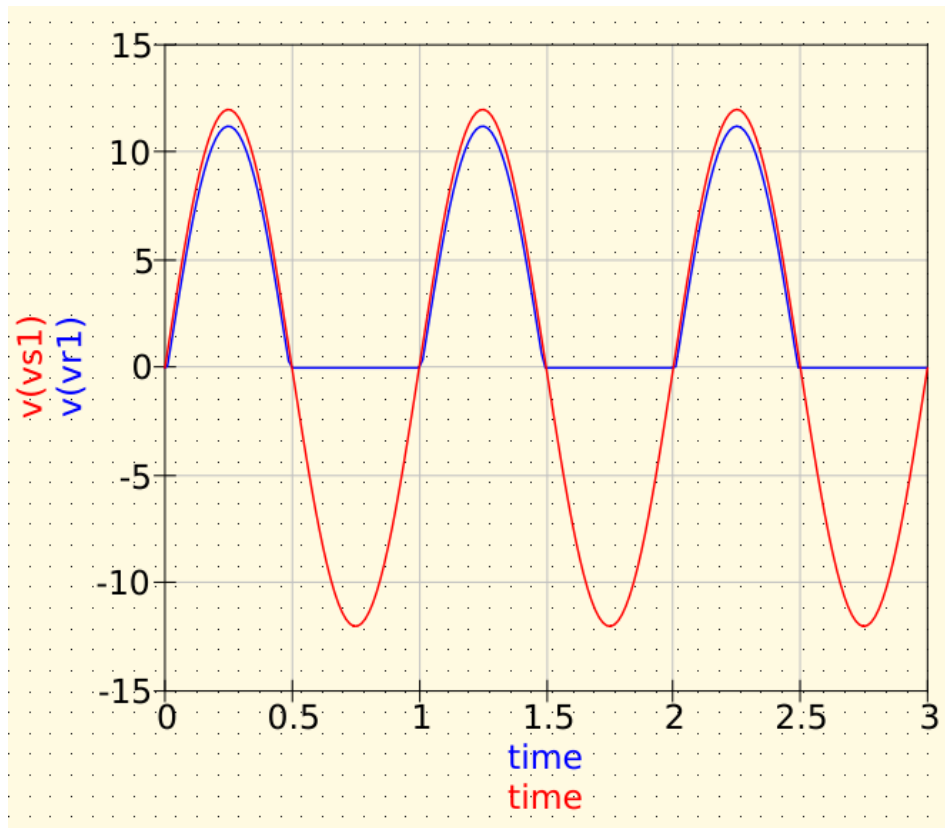
Nota: Elaborado por Escobar C. (2025)

En el circuito de la Figura 10 se ha definido el nivel de referencia o tierra, así como las etiquetas VS1 y VR1 para que la simulación realizada en QUCS-S® muestre tanto la señal a la salida de la fuente como después del diodo.

Las formas de onda resultado de la simulación se muestran la Figura 11 dónde se puede apreciar el voltaje de la fuente VS1 como una señal sinusoidal de color rojo mientras que la señal después del diodo VR1 se muestra en color azul. Observe que la señal azul ha sido recortada por el diodo, el cual solo permite que pase el ciclo positivo de la sinusoide, mientras que en el ciclo negativo el voltaje de la señal azul es de 0V. Adicionalmente se puede apreciar que el pico positivo de la señal azul es menor que la de la fuente, ya que tiene la caída de 0.7V de el diodo.

Figura 11

Resultado de la simulación en QUCS-S (R)

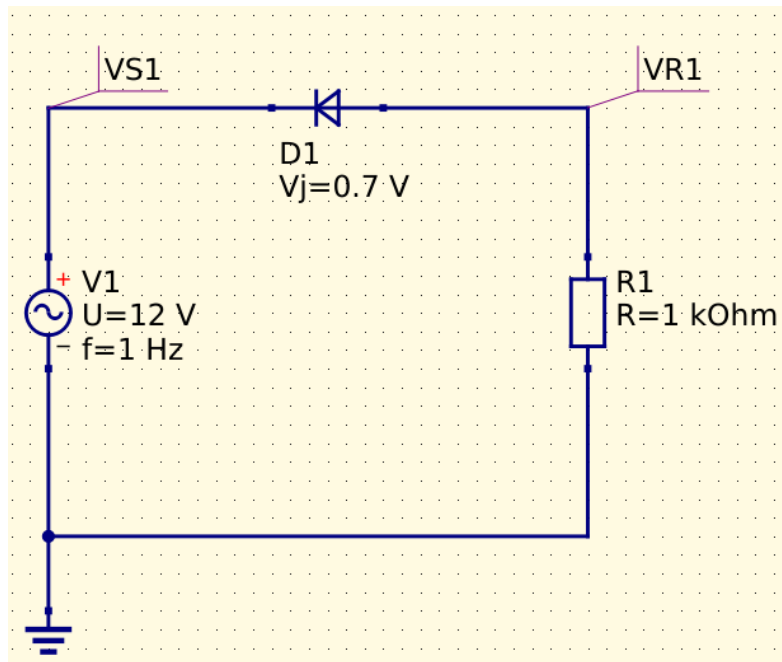


Nota: Elaborado por Escobar C. (2025)

Si se invierte el sentido del diodo, tal como se muestra en la Figura 12, entonces se polarizará directamente durante el ciclo negativo de la fuente, por lo que la forma de onda después del diodo solo mostrará el ciclo negativo de la fuente menos la caída de 0.7V del voltaje de juntura  $V_j$  del diodo. Esto puede apreciarse en el resultado de la simulación de la Figura 13.

Figura 12

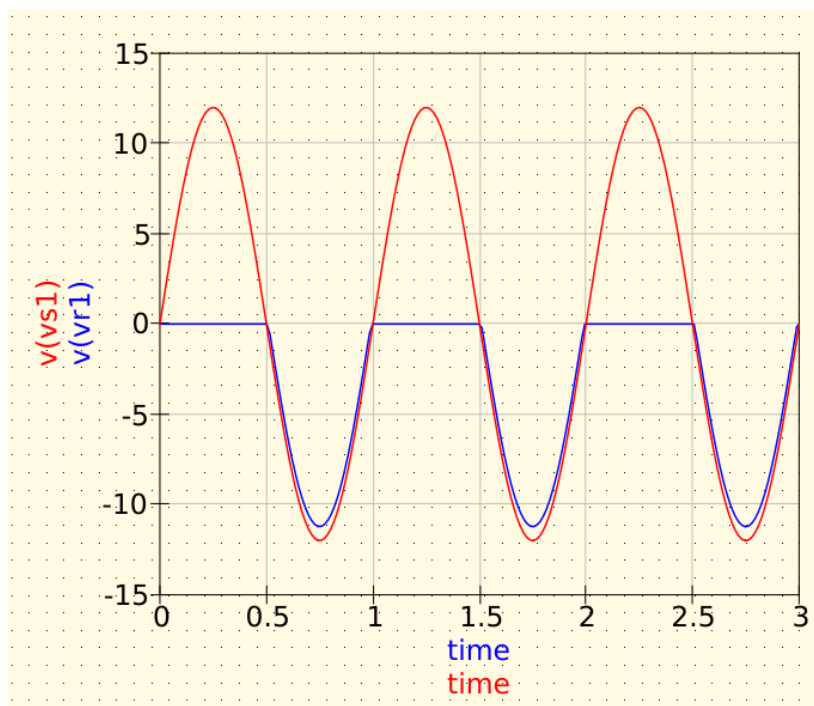
Diodo polarizado directamente con el ciclo negativo de la fuente.



Nota: Elaborado por Escobar C. (2025)

Figura 13

Formas de onda invirtiendo el sentido del diodo.



Nota: Elaborado por Escobar C. (2025)

**2.2.1. Capacitores:** Los capacitores (o condensadores) son componentes electrónicos pasivos que almacenan energía eléctrica en forma de campo eléctrico, creado con dos superficies paralelas conductoras separadas por un material aislante (dieléctrico), es por esta razón que su esquemático se representa con dos líneas paralelas, que representan las placas, y los conductores conectados a ellas, tal como se muestra en la Figura 14.

Estructura básica:

- Dos placas conductoras (generalmente de metal).
- Un material dieléctrico (aire, cerámica, plástico, electrolito, etc.) que separa las placas.

Capacitancia (C):

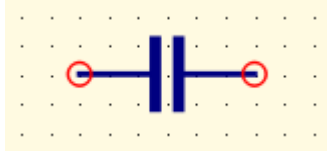
- Mide la capacidad de almacenar carga eléctrica.
- Su unidad es el Faradio (F) (aunque se usan submúltiplos como  $\mu\text{F}$ , nF, pF).

Depende de:

- Área de las placas ( $\uparrow$  área  $\rightarrow \uparrow$  capacitancia).
- Distancia entre placas ( $\uparrow$  distancia  $\rightarrow \downarrow$  capacitancia).
- Constante dieléctrica del material aislante ( $\uparrow$  constante  $\rightarrow \uparrow$  capacitancia).

Figura 14

Representación esquemática del capacitor.



Nota: Elaborado por Escobar C. (2025)

### 2.2.2 El diodo como rectificador

De manera complementaria, como se muestra en la Figura 15, agregando un capacitor a la salida del diodo, este puede ser usado para convertir el voltaje AC en DC en lo que se conoce como un rectificador de media onda, ya que aprovechando el ciclo positivo de la fuente, la energía entregada por esta puede ser almacenada en el capacitor y empieza a descargarse en la carga R1 conectada en el circuito. El tiempo de descarga depende de la constante de tiempo  $\tau$  (tau) en el circuito RC, que es un parámetro que indica cuánto tiempo tarda un capacitor en cargarse o descargarse aproximadamente al 63% de su voltaje máximo (en carga) o al 37% de su voltaje inicial (en descarga) y que se muestra en la Ecuación 1.

Ecuación 1

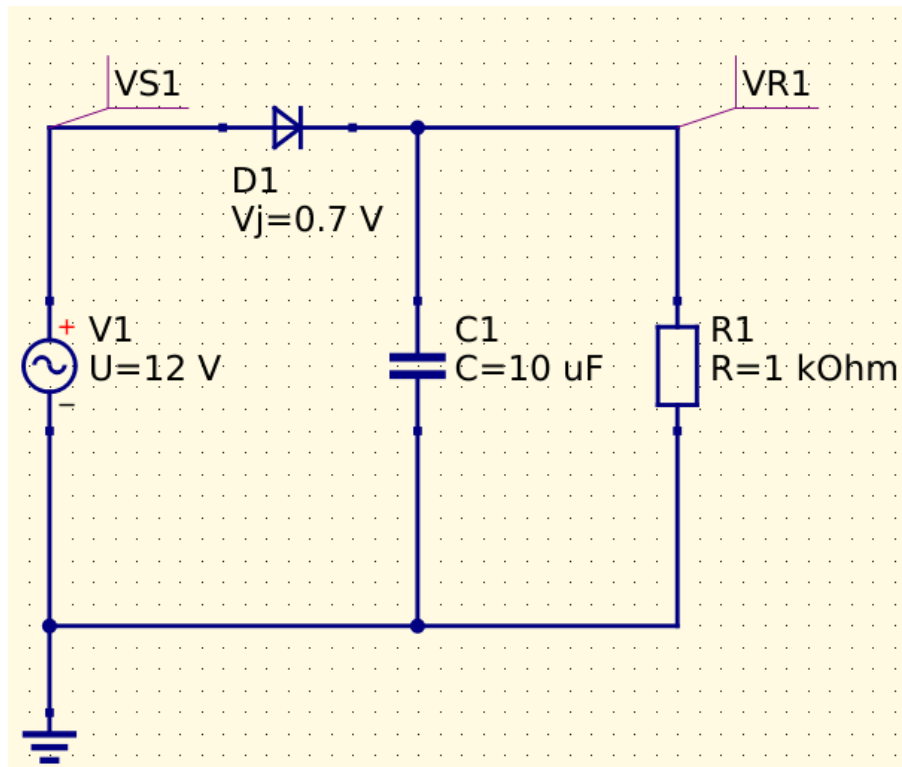
Fórmula de la constante  $\tau$  de carga o descarga de un capacitor

$$\tau = R \cdot C$$

Figura 15 Circuito rectificador de media onda.

Figura 16

Circuito rectificador de media onda.

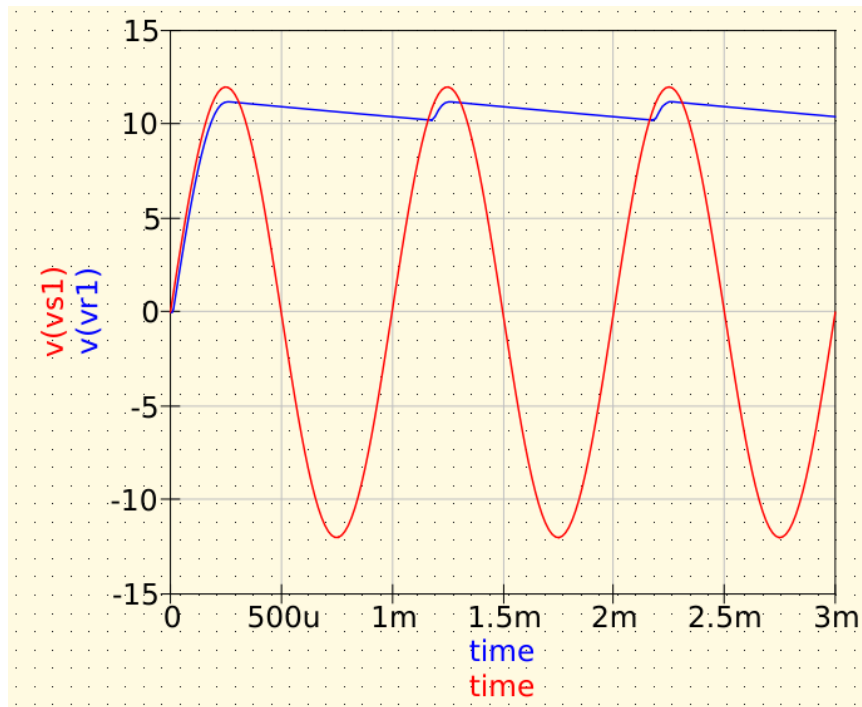


Nota: Elaborado por Escobar C. (2025)

En la Figura 16 se puede apreciar el efecto del capacitor  $C1$  con lo que se consigue el voltaje rectificado  $VR1$  a la salida del diodo  $D1$ . Observe en la forma de onda azul que existe una ondulación o variación pequeña de voltaje conocida como voltaje de rizado. Este voltaje de rizado introduce ruido en el funcionamiento de los circuitos, por lo que es un efecto no deseado.

Figura 17

Voltaje rectificado en R1

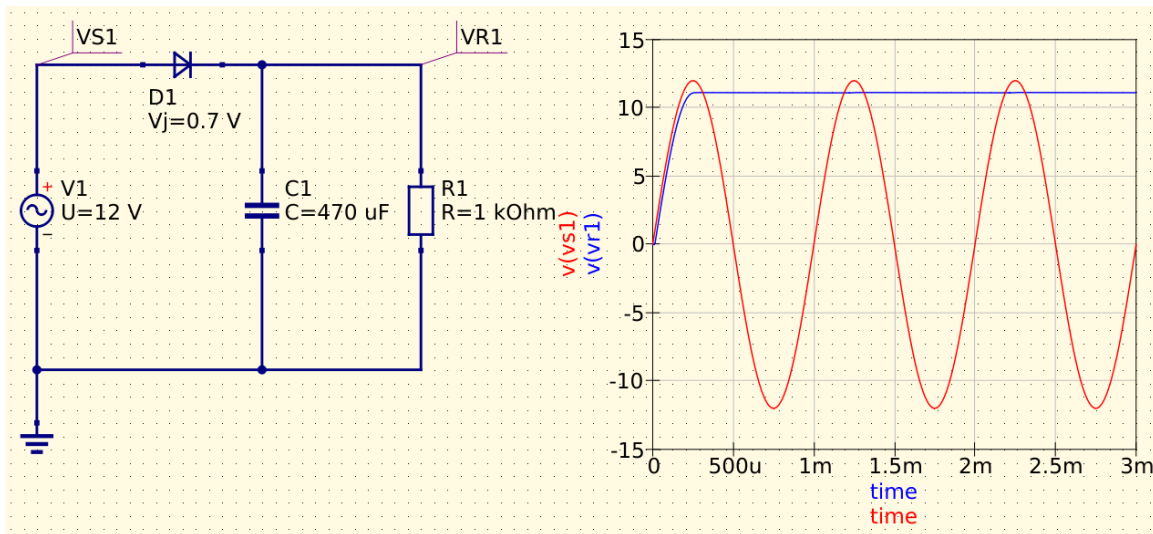


Nota: Elaborado por Escobar C. (2025)

Para mejorar el rizado se debe encontrar el valor del par RC de tal forma que no afecte el funcionamiento de la carga o circuito conectado a este voltaje. En este caso al cambiar el capacitor a 470  $\mu\text{F}$  se consigue disminuir drásticamente el efecto de rizado, lo cual puede ser observado en la Figura 17. Aunque parecería que el voltaje de rizado ha desaparecido en la práctica lo que ocurre es que es más pequeño y ya no es perceptible en la escala que se muestra la simulación.

Figura 18

Circuito mejorado para el rectificador de media onda.



Nota: Elaborado por Escobar C. (2025)

### 2.3. El diodo Zener como regulador y recortador.

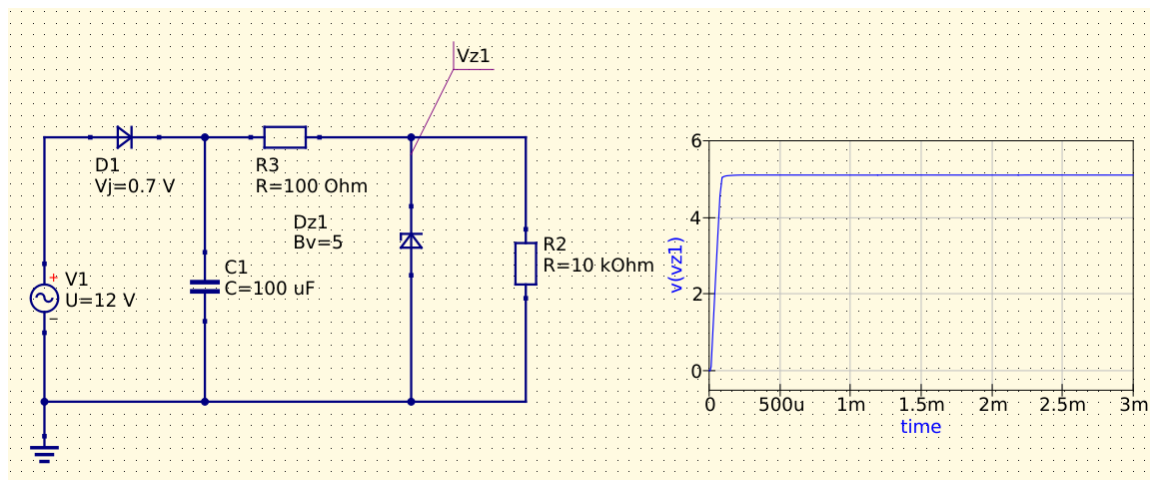
**El diodo zener como regulador:** El diodo Zener funciona como regulador de voltaje aprovechando su característica de operación en ruptura inversa (región Zener), manteniendo un voltaje constante en sus terminales incluso cuando varía la corriente que lo atraviesa.

El Zener se conecta en inversa (cátodo al positivo, ánodo al negativo) y al superar su voltaje Zener  $V_z$ , entra en ruptura y permite el flujo de corriente inversa sin que el voltaje en sus terminales aumente significativamente, de esta manera consigue realizar la regulación de voltaje ya que si el voltaje de entrada ( $V_{in}$ ) sube, el Zener absorbe el exceso de corriente (a través de la resistencia limitadora  $R_s$ , mientras que si el voltaje de entrada  $V_{in}$  baja, el Zener reduce su corriente para mantener el voltaje de salida  $V_{out}$  estable.

La Figura 18 muestra un circuito regulador con diodo zener de voltaje zener  $B_v$  de 5V. Aquí se puede apreciar la resistencia limitadora  $R_3$  y una resistencia de carga de 10 Kohm. A la derecha se puede apreciar la forma de onda de la curva del voltaje regulado  $V_{z1}$  en color azul.

Figura 19

El diodo zener como regulador.



Nota: Elaborado por Escobar C. (2025)

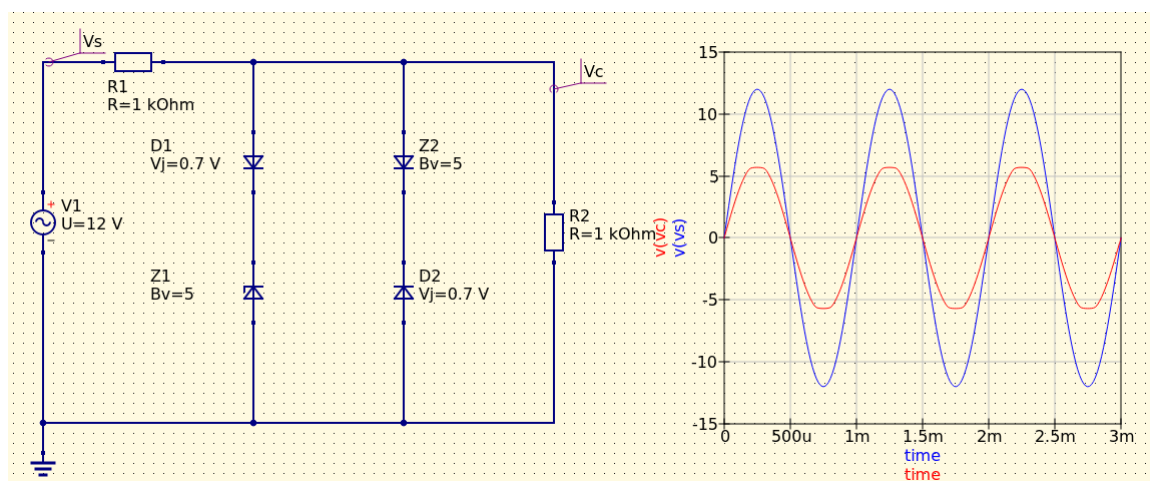
**2.3.1. El diodo zener como recortador:** El diodo Zener puede funcionar como recortador (clipper) en circuitos electrónicos, limitando (o "recortando") el voltaje de una señal en un nivel específico, aprovechando su característica de ruptura en polarización inversa (Zener) y conducción en polarización directa (como un diodo normal).

Como recortador el diodo zener se puede usar en:

- Protección de entradas: Evita que señales excedan niveles seguros en circuitos sensibles (ej.: microcontroladores).
- Formación de ondas: Convierte señales sinusoidales en trapezoidales o cuadradas.
- Limitación en etapas de audio: Recorte controlado para efectos o evitar distorsión.

Figura 20

El diodo zener como recortador o clipper.



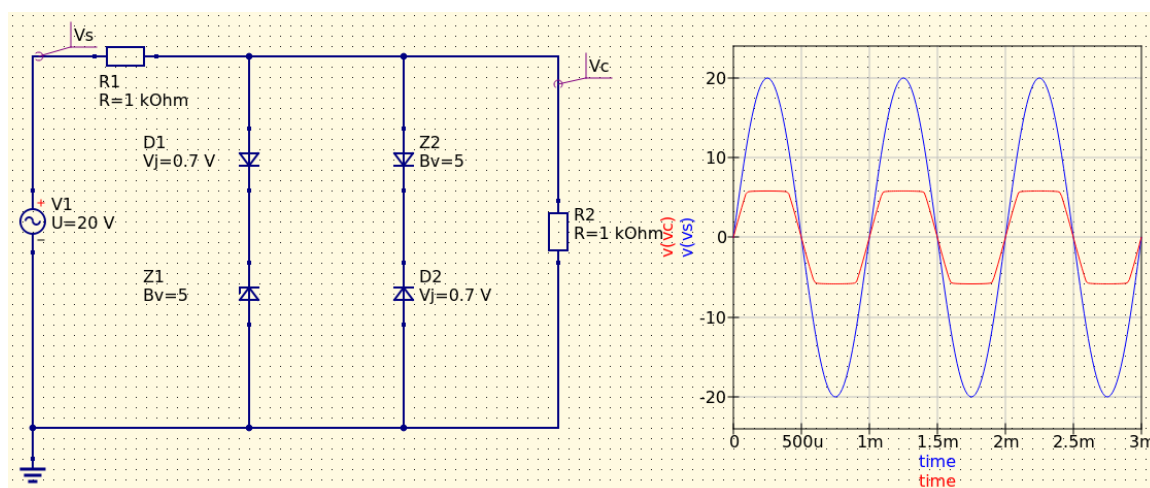
Nota: Elaborado por Escobar C. (2025)

La Figura 19 muestra un circuito recortador con dos ramales D1-Z1 y D2-Z2 para recortar los ciclos positivos y negativos de la señal de entrada  $V_s$ . Observe que en el ramal D1-Z1 en el ciclo positivo el diodo D1 se polariza positivamente y deja pasar la corriente con lo que el voltaje de va incrementando hasta alcanzar el voltaje zener  $B_v$  de Z1, el cual se engancha y no permite que el voltaje  $V_c$  se incremente mas. Dado que el voltaje de juntura de D1 es de 0.7V el voltaje  $V_c$  será  $5V + 0.7V$ , es decir 5.7V. Lo mismo ocurre para el ramal D2-Z2 pero en el ciclo negativo de la fuente.

Observe que la señal de la forma de onda de salida de color rojo presenta distorsión al superar los 5.7V, esto se hace mas evidente si se incrementa el voltaje de la señal de entrada, tal como se muestra en la Figura 20, aunque pudiera decirse que este circuito funciona mas bien como un convertidor de onda sinusoidal a onda cuadrada.

Figura 21

Distorsión de la señal de salida del recortador.



Nota: Elaborado por Escobar C. (2025)

En esta clase hemos visto los diodos de propósito general, emisores de luz y zener con distintas aplicaciones prácticas.

#### Referencias citadas en la Clase 4.

- Aukenien, A. (2025). Diodo zener 1N5349B. Diodo zener 1N5349B. [https://www.amazon.es/dp/B0BY2KL8G5/ref=sspa\\_dk\\_hqp\\_detail\\_aax\\_0?sp\\_csd=d2lkZ2V0TmFtZT1zcF9ocXBfc2hhcmVk&th=1](https://www.amazon.es/dp/B0BY2KL8G5/ref=sspa_dk_hqp_detail_aax_0?sp_csd=d2lkZ2V0TmFtZT1zcF9ocXBfc2hhcmVk&th=1)
- Isaac, P. E., Arboledas, J., García, J., & De Frutos, T. (2025). Hardware Libre. Hardware Libre. <https://www.hwlibre.com/>
- Kuznetsov V, B. M. (2025). Simulador de circuitos QUCS-S. QUCS-S. <https://ra3xdh.github.io/PTABLE>.
- PTABLE. (2025). Tabla periódica PTABLE. <https://ptable.com/#Propiedades/Serie>

#### Definición de los términos citados en la Clase 4.

**Diodo:** es un dispositivos electrónicos formado por la unión de un material semiconductor tipo P y otro tipo N, lo que se conoce como unión PN. Esta estructura permite que la corriente fluya en una sola dirección (polarización directa) mientras la bloquea en la inversa (polarización inversa).

**El diodo zener como regulador:** El diodo Zener funciona como regulador de voltaje aprovechando su característica de operación en ruptura inversa (región Zener), manteniendo un voltaje constante en sus terminales incluso cuando varía la corriente que lo atraviesa.



**La excelencia no se improvisa**

síguenos

