

# Índice

---

|   |            |
|---|------------|
| <b><i>TEMA 9: Circuitos con diodos y otros diodos semiconductores</i></b>   | <b>9.1</b> |
| 9.1. INTRODUCCIÓN   | 9.1        |
| 9.2. CIRCUITOS RECTIFICADORES. CURVA DE TRANSFERENCIA   | 9.3        |
| 9.3. CIRCUITOS RECORTADORES   | 9.11       |
| 9.4. OTROS DIODOS SEMICONDUCTORES   | 9.13       |
| 9.4.1. Diodos Schottky  | 9.13       |
| 9.4.2. Diodos basados en los mecanismos de fotogeneración y fotorrecombinación (fotodiodos, células solares y diodos LED) | 9.14       |



# *Tema 9*

## *Circuitos con diodos y otros diodos semiconductores*

---

### **9.1.- INTRODUCCIÓN**

*Una vez que conocemos el diodo y los métodos de análisis cuando éste forma parte de un circuito, vamos a considerar algunos circuitos prácticos.*

*En primer lugar, veremos varios tipos de rectificadores que convierten la corriente alterna en corriente continua. Los rectificadores son la base de las fuentes de alimentación electrónicas y de los circuitos de carga de baterías. También se utilizan en el procesado de señales (demoduladores de señales de radio) y en la conversión de precisión de una tensión alterna a una continua en un voltímetro electrónico.*

*En segundo lugar, veremos los circuitos recortadores o conformadores de onda, que transforman una forma de onda en otra, o bien nos permiten obtener a la salida de un circuito la porción de la señal de entrada que se encuentra por encima o por debajo de una señal de referencia.*

*Por último, veremos otros tipos de diodos distintos a los estudiados hasta ahora como son, el diodo Schottky, el fotodiodo o la célula solar.*

## 9.2.- CIRCUITOS RECTIFICADORES. CURVA DE TRANSFERENCIA.

El proceso de rectificación consiste en convertir una señal alterna (ca) en otra unidireccional (cd). Esta rectificación puede ser de media onda o de onda completa.

### Rectificador de Media Onda

El esquema básico de un circuito rectificador de media onda se corresponde con el circuito representado en la Figura 9.1 y su comportamiento está descrito en la Figura 9.2.

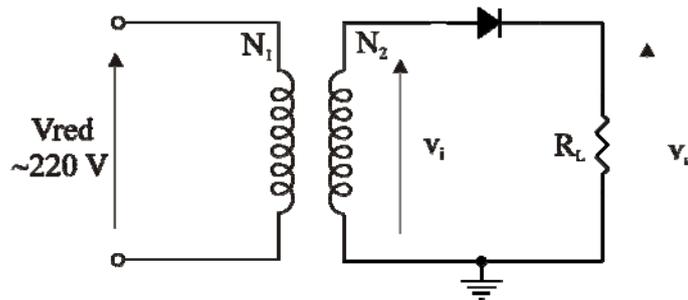
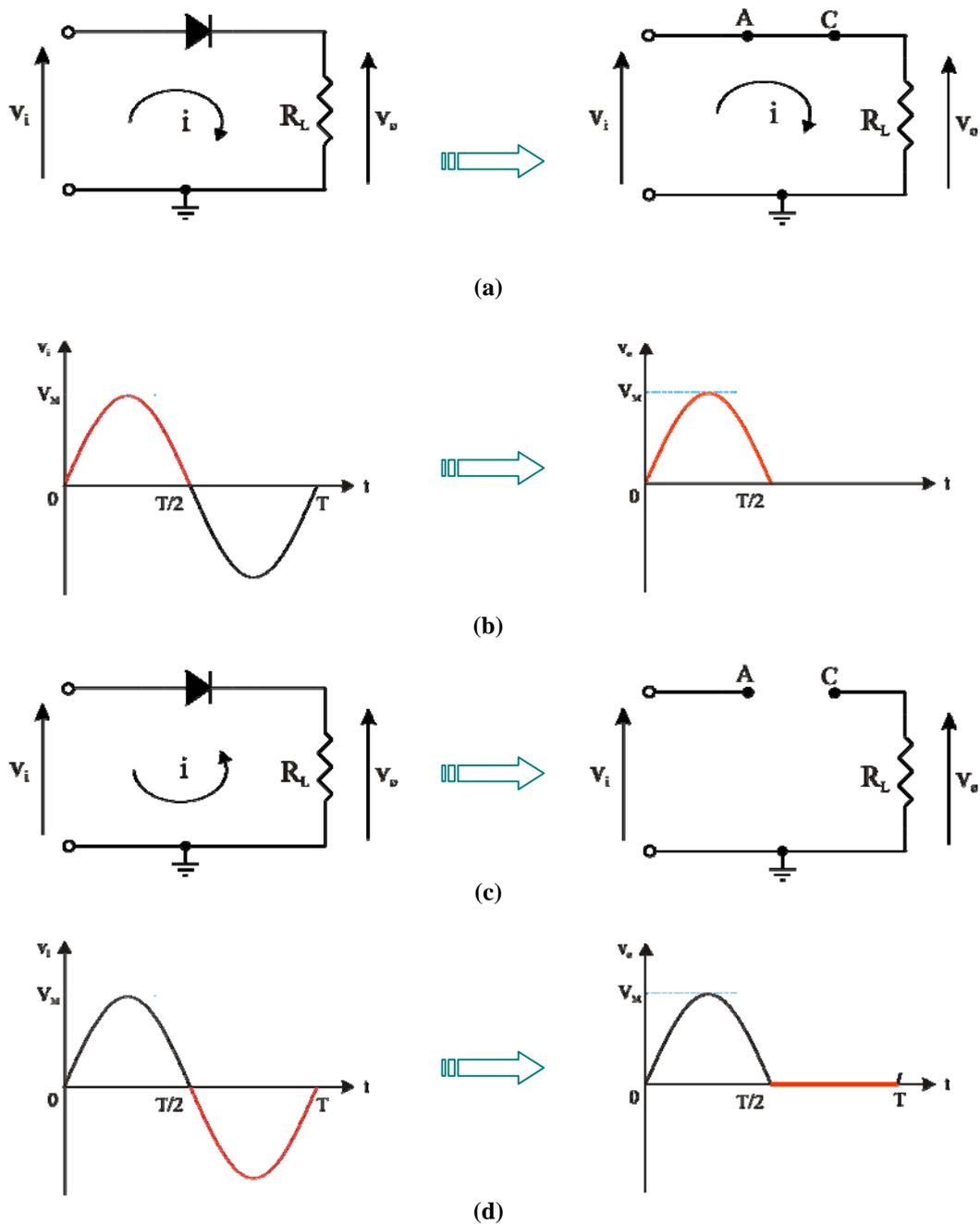


Figura 9.1.- Circuito básico de utilización del diodo como rectificador

Durante el semiciclo positivo, el diodo está directamente polarizado y puede reemplazarse por un cortocircuito (suponiendo que el diodo tiene un comportamiento ideal) (Figura 9.2a). En caso contrario, habría que tener en cuenta la caída de tensión en el diodo, es decir,  $V_\gamma = 0,7 V$  para diodos de silicio (Figura 9.3). Generalmente, en los circuitos rectificadores, la señal de entrada,  $v_i$ , es mucho mayor que  $V_\gamma$ , de ahí que la suposición de diodo ideal suele ser acertada. Por lo tanto, durante el semiciclo positivo,  $v_o = v_i$ , Figura 9.2b. Por el contrario, durante el semiciclo negativo, el diodo está inversamente polarizado y puede reemplazarse por un circuito abierto, Figura 9.2c. En este caso,  $i_d = 0 \Rightarrow v_o = 0$ , Figura 9.2d.

Por lo tanto, en un circuito rectificador de media onda el voltaje en la carga es siempre positivo o cero. Se ha transformado un voltaje de entrada de alterna, en un voltaje de continua unidireccional de valor medio no nulo.



**Figura 9.2.-**Comportamiento de un rectificador de media onda ante una señal sinusoidal: (a) Circuito equivalente para el semiciclo positivo de la señal de entrada; (b) En polarización directa, el semiciclo positivo de la señal de entrada aparece en la salida; (c) Circuito equivalente para el semiciclo negativo; (d) El semiciclo negativo de la señal de entrada no alcanza la salida.

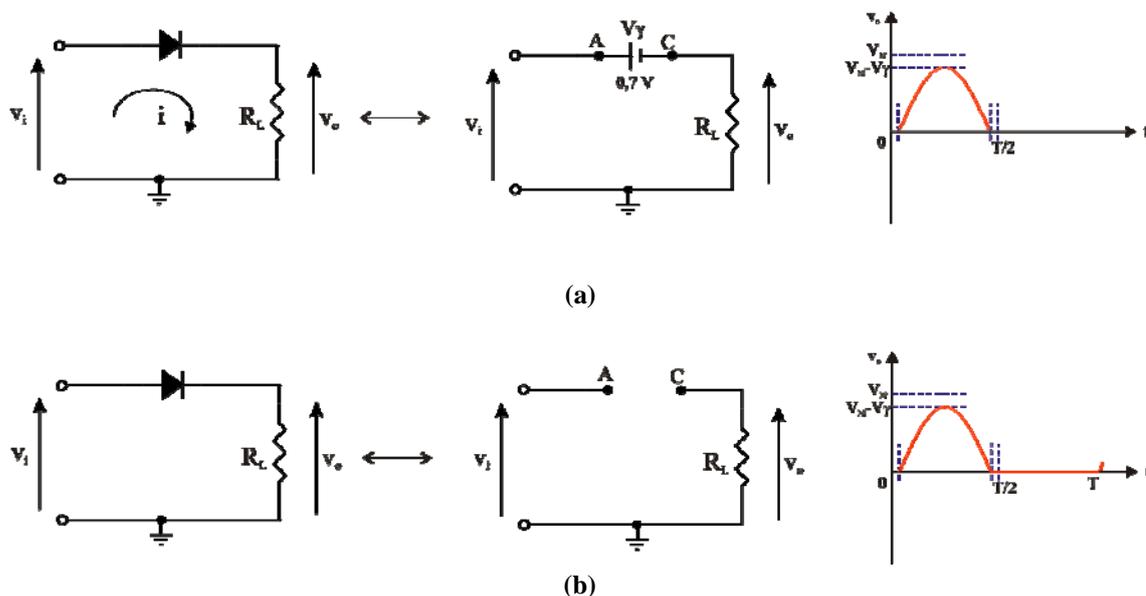


Figura 9.3.- Circuito equivalente y señal de salida para un rectificador de media onda en el que se ha considerado al diodo con una tensión umbral  $V_\gamma$ ; (a) Polarización directa; (b) Polarización inversa.

### Rectificador de Onda Completa

Está formado por dos circuitos rectificadores de media onda conectados de tal forma que la conducción la realiza cada uno de ellos en cada semiciclo, Figura 9.4.

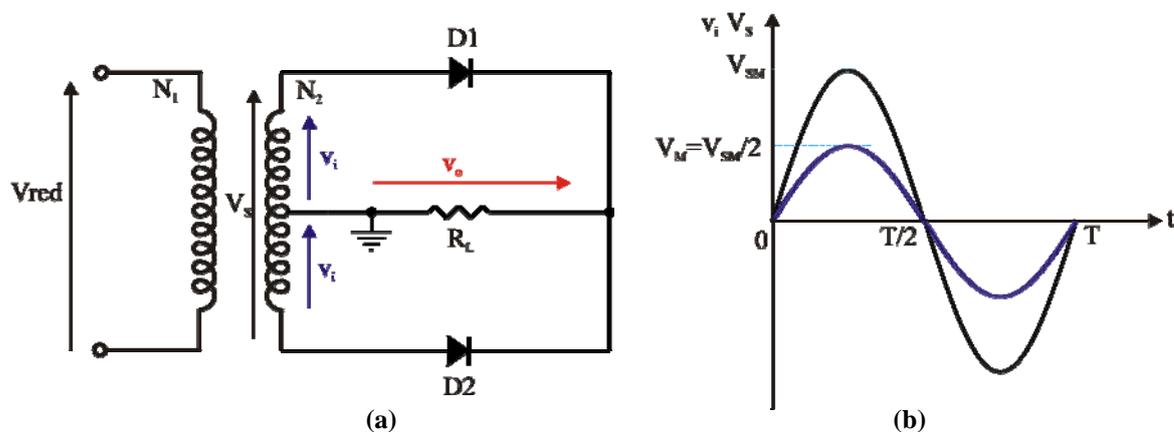


Figura 9.4.- (a) Circuito básico rectificador de onda completa. (b) Representación de la tensión que aparece en el secundario del transformador,  $v_s$ ,  $v_i$  se corresponde con  $v_s/\sqrt{2}$  ya que está referenciada a la toma central del secundario.

Durante el semiciclo positivo de la señal de entrada, D1 ON y D2 OFF (Figura 9.5a, donde hemos supuesto que los diodos son ideales), siendo  $v_o = v_i$  la tensión que tenemos en extremos de la resistencia  $R_L$ , Figura 9.5b. Durante el semiciclo negativo, D1 OFF y D2 ON (Figura 9.5c), siendo  $v_o = -v_i$ , y circulando la intensidad  $i_2$  a través de  $R_L$  en el mismo sentido que lo hacía  $i_1$  (tenemos que tener en cuenta que la tensión  $v_i$  es negativa, por lo que el sentido real de  $i_2$  es contrario al indicado en la Figura 9.5c). La señal que obtenemos a la salida está representada en la Figura 9.5d, con un periodo la mitad del que tendría si la señal se obtuviera de un rectificador de media onda.

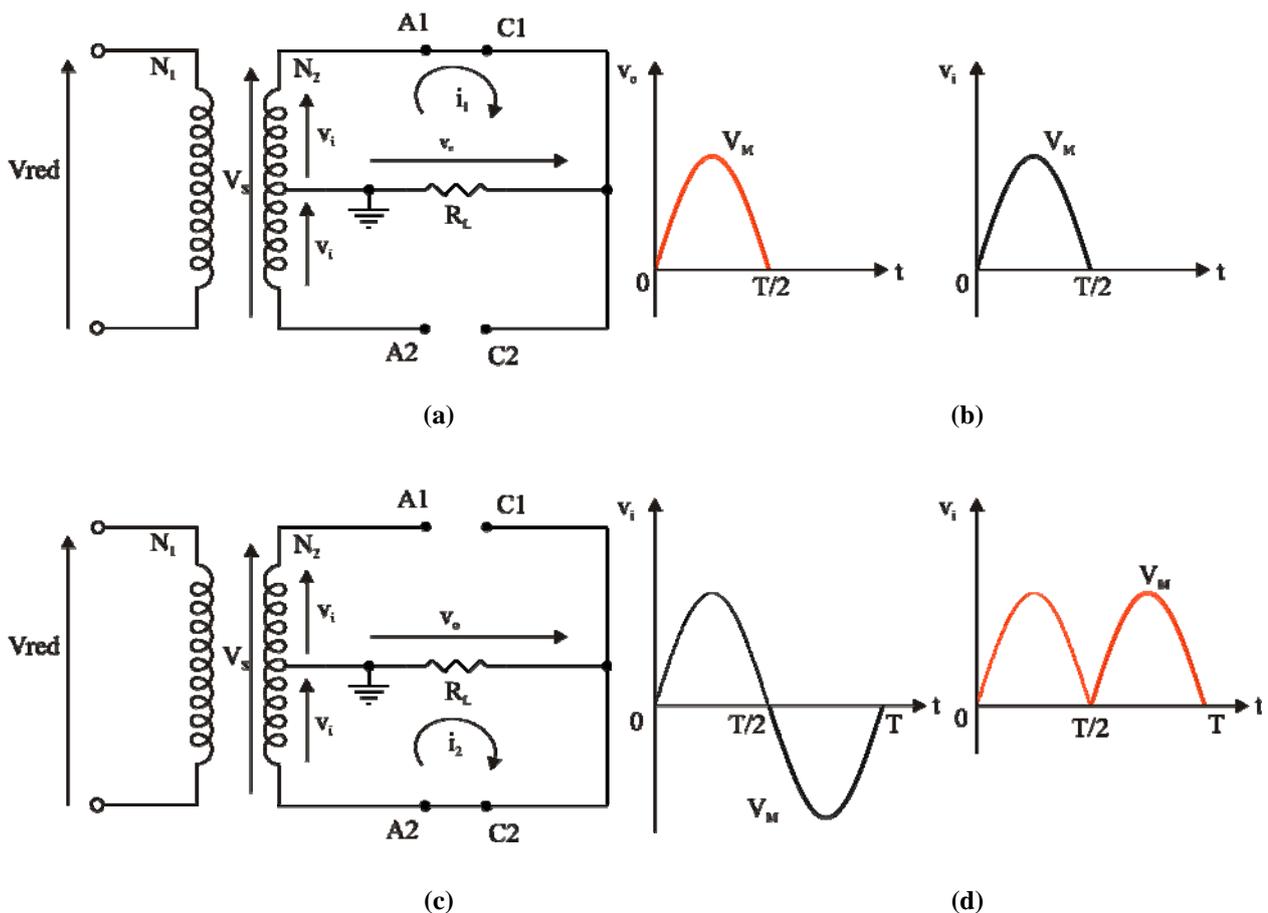
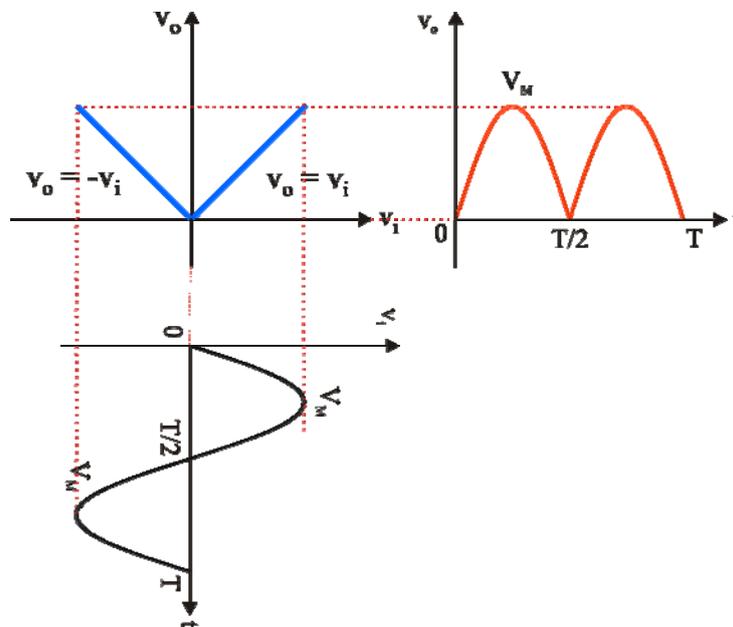


Figura 9.5.- (a) y (c) Circuitos equivalentes del rectificador de onda completa durante los semiciclos positivos y negativos de la señal de entrada, respectivamente. (b) y (d) Señales que se obtienen a la salida de dichos circuitos.

**Curva o característica de transferencia**

Es la curva que nos relaciona la tensión de salida,  $v_o$ , con la tensión de entrada,  $v_i$ , de un circuito cualquiera. La ventaja que ofrece dicha curva es que con independencia de cuál sea el circuito, conocida la curva de transferencia y la señal de entrada es posible obtener la tensión de salida. En la Figura 9.6 se ha representado la curva de transferencia de un rectificador de onda completa y el método utilizado para obtener la señal de salida conociendo la señal de entrada y su curva de transferencia.



*Figura 9.6.- Curva de transferencia de un rectificador de onda completa.*

**Filtrado**

Consiste en mejorar la tensión de salida de un circuito rectificador al objeto de que se parezca lo más posible a un voltaje de continua. Para ello, en los circuitos rectificadores se suele colocar en paralelo a la carga un condensador, Figura 9.7.

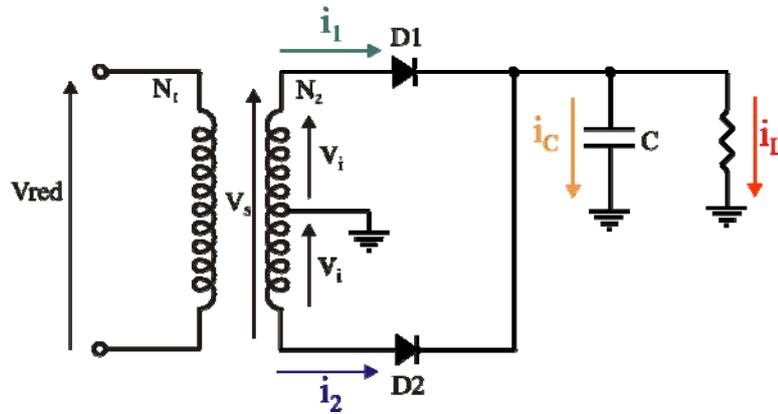


Figura 9.7.- Rectificador de doble onda con condensador de filtrado.

Durante la primera mitad del semiciclo positivo  $D1$   $ON$  y  $D2$   $OFF$ , por lo que  $i_1 = i_C + i_L$ , siendo  $i_C > i_L$  (Figura 9.8a). En esta situación, el condensador se va cargando hasta que la tensión en la carga es  $v_0 = v_{ip}$ , Figura 9.9.

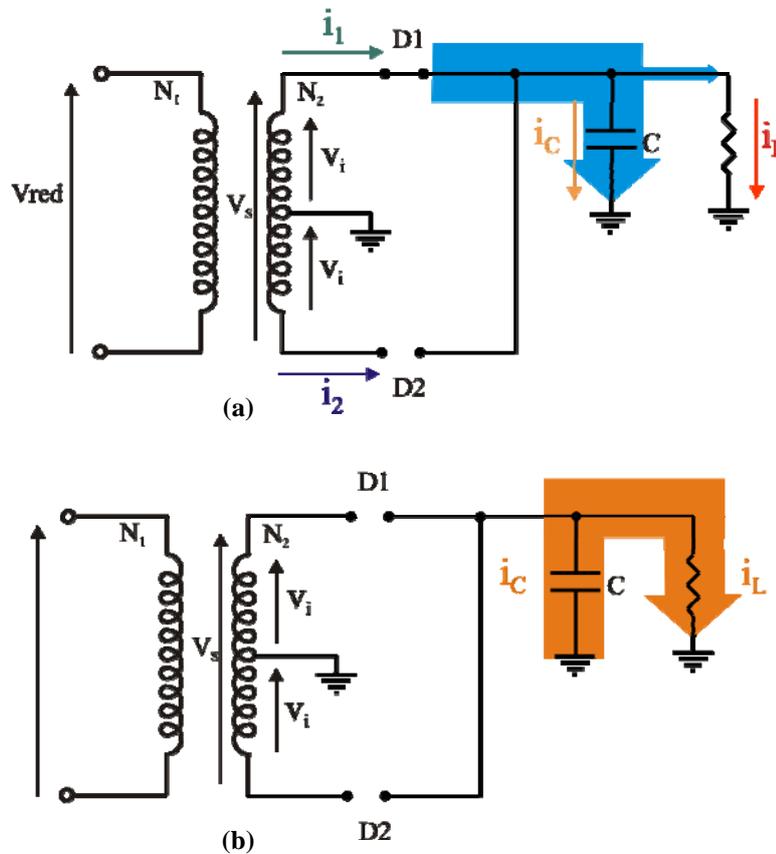
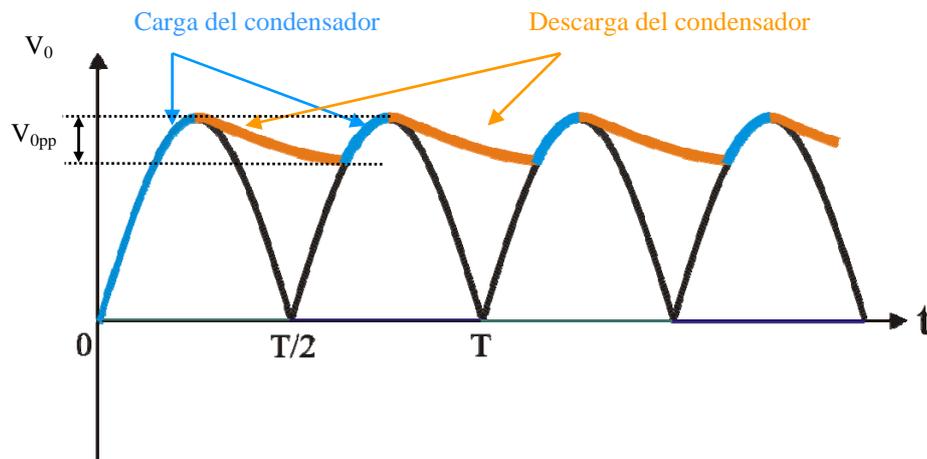


Figura 9.8.- Ilustración del funcionamiento de un rectificador de onda completa con filtro: (a) Fase en la que se carga el condensador; (b) Descarga del condensador a través de  $R_L$ .



**Figura 9.9.-** Tensión de salida en un rectificador de onda completa con filtro. El rizado de la señal.

Durante la segunda mitad, la tensión de entrada  $v_i < v_{ip}$ , lo que hará que el diodo  $D1$  entre en corte. En esta situación, con  $D1, D2 OFF$ , el condensador se descargará a través de  $R_L$  (Figura 9.8b) según la expresión  $v_0 = v_{ip} \cdot \exp(-t/R_L \cdot C)$  (Figura 9.9) hasta que de nuevo la tensión de entrada,  $v_i$ , sea mayor que la tensión en bornes del condensador, momento en que el diodo  $D2$  empieza a conducir, repitiéndose de nuevo el proceso. El valor de pico a pico de la señal que se obtiene a la salida está indicado como  $V_{0pp}$ .

En este circuito, es condición de diseño que, el tiempo de descarga del condensador ( $R_L \cdot C$ ) sea mucho mayor que el periodo de la señal de entrada para que, de esta forma, el condensador pierda sólo una pequeña parte de su carga durante el tiempo de no-operación de los diodos. De este modo se disminuye el valor de  $V_{0pp}$  y la señal resultante es prácticamente constante.

En la práctica, es más usual encontrar como rectificador de onda completa el denominado “Puente Rectificador de Onda Completa” (Figura 9.10a), ya que únicamente necesita una fuente de entrada para su funcionamiento. Durante el semiciclo positivo  $D1, D3 ON$  y  $D2, D4 OFF$  (Figura 9.10b), y durante el semiciclo negativo  $D1, D3 OFF$  y  $D2, D4 ON$ , Figura 9.10c.

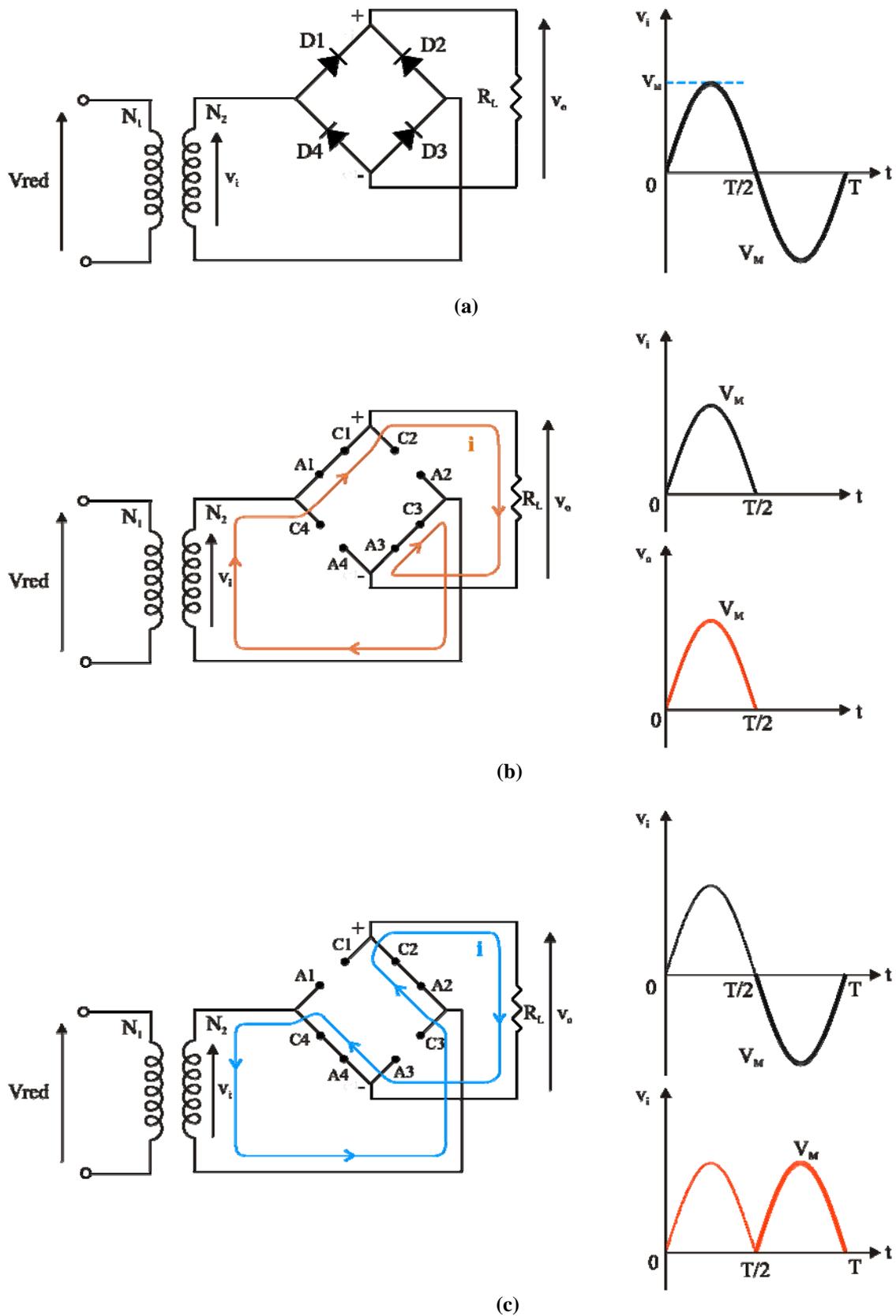


Figura 9.10.- (a) Puente rectificador de onda completa; (b) Funcionamiento durante el semiciclo positivo; (c) Funcionamiento durante el semiciclo negativo.

### 9.3.- CIRCUITOS RECORTADORES

Se utilizan para transmitir a la salida la parte de la señal que se encuentra por encima o por debajo de un nivel de referencia. Como caso particular de los mismos se puede considerar a los circuitos rectificadores, que sólo transmiten a la salida las tensiones de entrada mayores que  $V_{\gamma}$ . En las Figuras 9.11, 9.12 y 9.13 se pueden ver algunos de estos circuitos, así como las formas de onda que se obtienen a partir de los mismos.

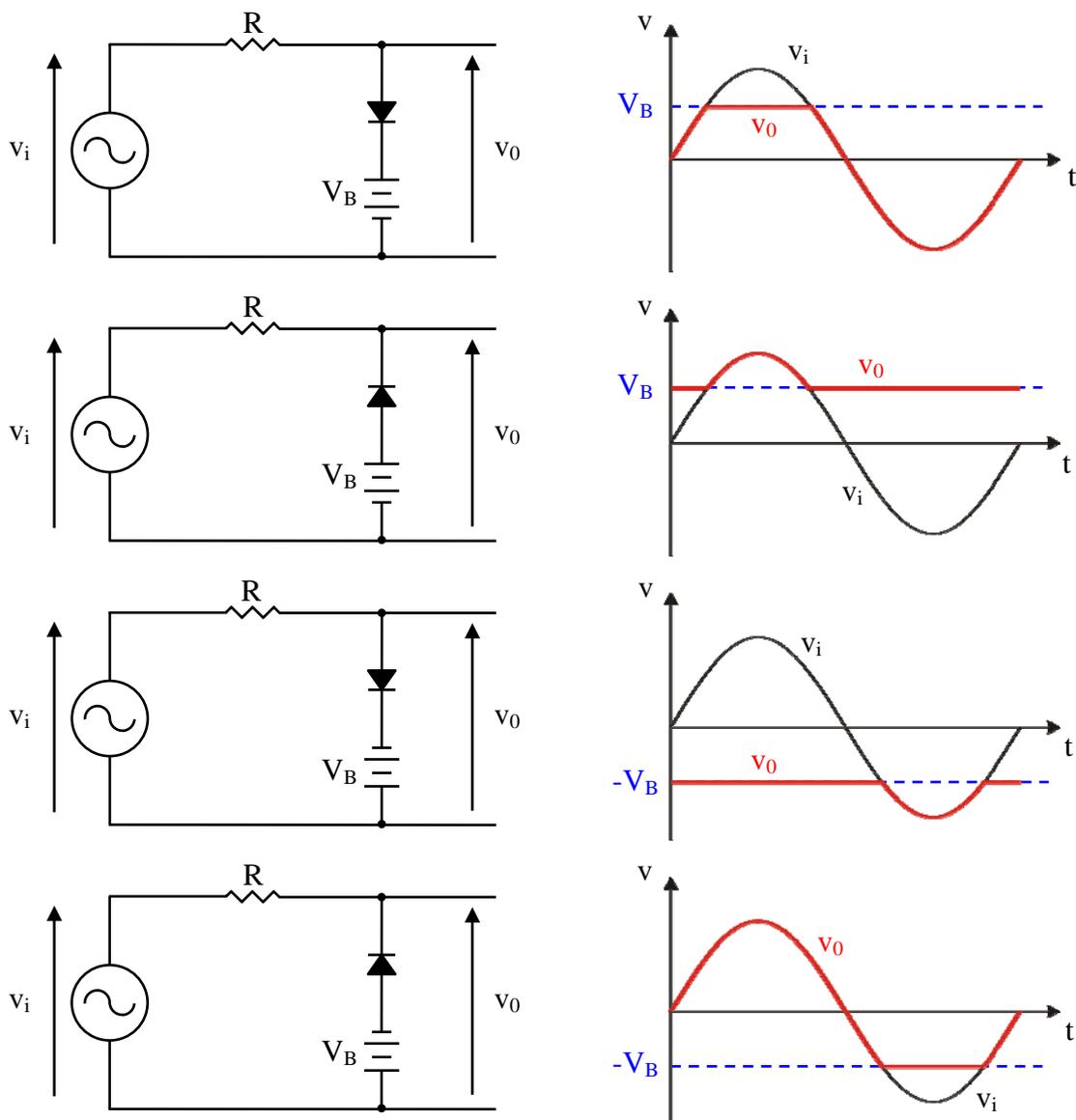


Figura 9.11.- Circuitos recortadores típicos

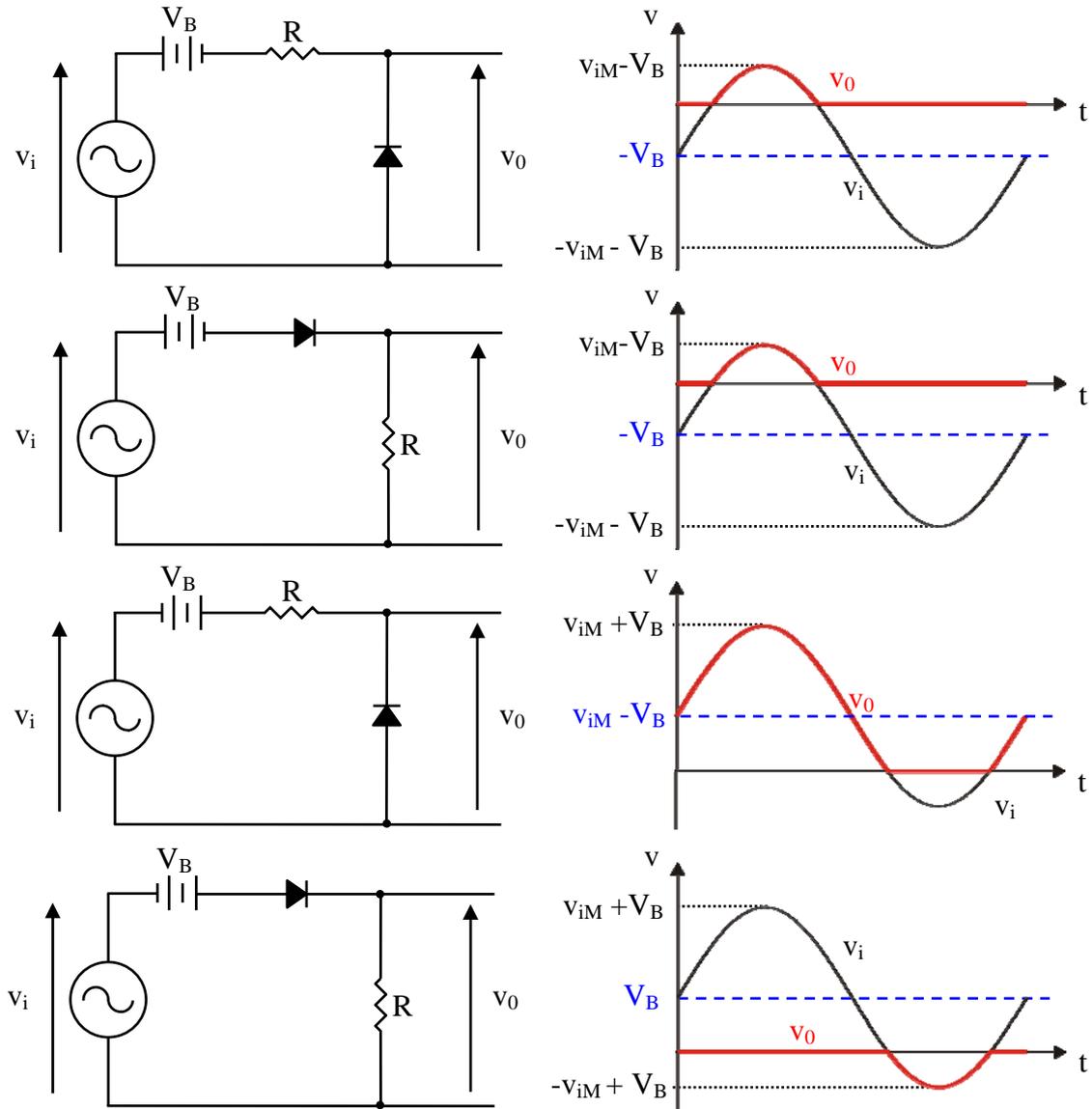


Figura 9.12.- Circuitos con polarización en serie

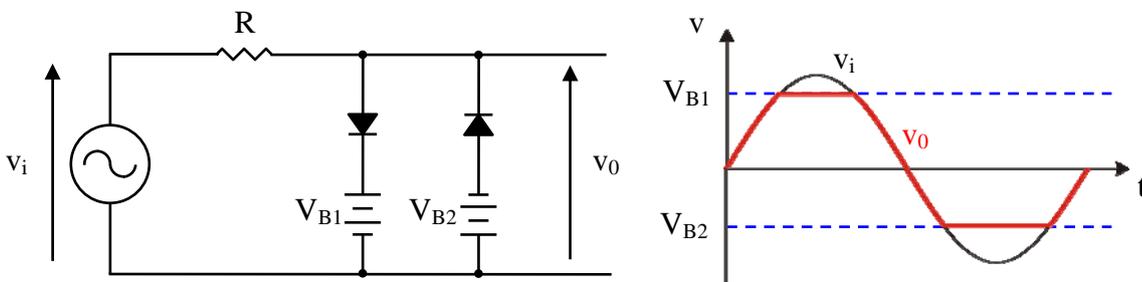


Figura 9.13.- Recortador con polarización en paralelo

## 9.4.- OTROS DIODOS SEMICONDUCTORES

### 9.4.1.- Diodos Schottky

El fundamento de la unión pn residía en unir dos zonas de diferente potencial y con portadores libres. Para ello se utilizaban una zona p y una zona n. Otra forma posible para la realización de una unión es una muestra metálica. Si ponemos en contacto una zona metálica con una de material semiconductor, estamos uniendo dos zonas con portadores móviles y diferentes potenciales. Por tanto, nos aparece una estructura similar a la unión pn, jugando por lo general el metal un papel similar al de una zona  $n^{++}$ .

Para que aparezca un diodo Schottky, cuyo símbolo es el representado en la Figura 9.14, el semiconductor y el metal deben reunir una serie de características (en cuanto a dopaje y niveles de energía de los electrones de las últimas capas).



*Figura 9.14.- Símbolos de circuito para el diodo Schottky*

En ocasiones, los diodos Schottky surgen sin desearlo, cuando intentamos realizar un contacto óhmico.

### 9.4.2.- Diodos basados en los mecanismos de fotogeneración y fotorrecombinación

#### Fotogeneración en ausencia de polarización

Los minoritarios que genera una luz en una zona cualquiera de una unión pn tienen tres posibilidades:

1. Recombinarse en el volumen de esa zona.
2. Recombinarse en el contacto metálico de esa zona.
3. Alcanzar la unión. En este caso, el campo eléctrico existente en la zona dipolar los hará pasar a la zona en que son mayoritarios.

En este último caso, la fotogeneración origina una corriente que va de cátodo a ánodo. Es decir, la fotocorriente ( $I_{foto}$ ) va en el sentido de la corriente inversa. Utilizando el convenio de signos habitual, diríamos que la fotocorriente es una corriente negativa. Esa fotocorriente depende de la geometría del diodo, de las características del material semiconductor y –sobre todo- de la radiación incidente.

#### Fotogeneración y polarización

En el análisis de la iluminación y la polarización podemos aplicar superposición (como se ve al resolver el problema completo) y, por tanto, la corriente total que atraviesa un diodo iluminado tendría la siguiente expresión:

$$I = I_{Shockley} + I_{foto} = I_{Sat} \cdot \left( e^{\frac{V}{V_T}} - 1 \right) - |I_{foto}|$$

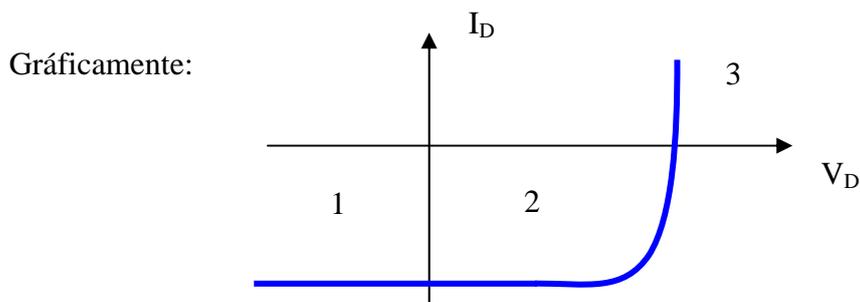
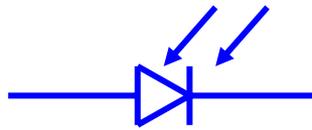


Figura 9.15.- Característica I-V de un diodo iluminado

### Fotodiodo

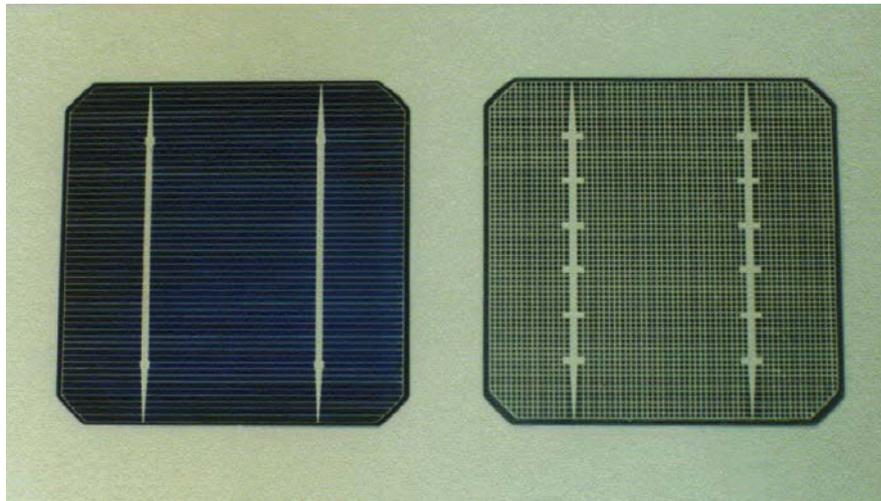
El dispositivo diseñado específicamente para trabajar en la primera zona recibe el nombre de fotodiodo y la corriente que proporciona al circuito nos informa de la potencia luminosa recibida. Debe polarizarse siempre en inversa.



*Figura 9.16.- Símbolo de un fotodiodo*

### Célula fotovoltaica

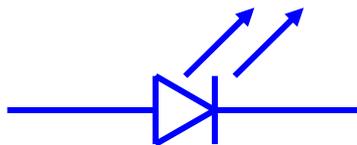
En la segunda zona, el diodo entrega potencia al circuito (proporciona una corriente en el sentido contrario al de la corriente que la tensión  $V$  provocaría en una resistencia). El dispositivo diseñado de tal forma que la potencia sea máxima, eficiencia óptima, recibe el nombre de célula solar fotovoltaica.



*Figura 9.17.- Superficie iluminada de una célula fotovoltaica (izquierda.) y metalización posterior (derecha)*

Fotorrecombinación y diodos emisores de luz (LEDs, Light Emitting Diodes)

Cuando se produce una recombinación, se libera energía. Esta energía normalmente se emite en forma de radiación térmica pero en algunas ocasiones la longitud de onda de la radiación se encuentra en el rango visible (la radiación será visible o invisible e función de las características del material). Para que el fenómeno resulte apreciable, debemos incrementar la recombinación en esa zona. Para ello se utiliza una unión pn, de forma que los portadores que alimentan la recombinación son proporcionados al polarizar en directa la unión. Sólo obtendremos luz si el LED se encuentra en ON. Para que la luz se vea desde el exterior, el encapsulado del dispositivo es transparente.



*Figura 9.18.- Símbolo del LED*