

ELECTRÓNICA



DIODOS ESPECIALES:

Diodo Schottky

Diodo Varicap

Diodo Túnel

Diodo Zener

Diodo Emisor de Luz

4° B – ELECTRÓNICA

2018



Leo Esaki: físico estadounidense de origen japonés nacido en Osaka (Japón) el 12 de marzo de 1925. Aunque su nombre auténtico era el de Esakio Reiona, al adoptar la nacionalidad norteamericana tomó el apelativo de Leo Esaki. En 1973 fue galardonado con el Premio Nobel de Física, por sus descubrimientos de carácter experimental relacionados con el efecto túnel en los semiconductores y superconductores.

Cursó su enseñanza secundaria en la Third High School, un instituto en el que se prestaba especial atención a las disciplinas científicas, con resultados ciertamente asombrosos. Pasó luego a la Universidad de Tokio para cursar allí la carrera de Física, en parte llevado por una innata curiosidad intelectual que le empujaba a ahondar en el conocimiento de la naturaleza y sus leyes, y en parte impelido por los efectos devastadores que había causado en muchos intelectuales japoneses la constatación, tras la II Guerra Mundial (1939-1945), del atraso cultural de su pueblo en materias científicas y tecnológicas.

Fue, pues, en buena medida el patriotismo lo que empujó a Esaki a especializarse en el estudio de las aplicaciones industriales de la Física, deseoso de contribuir con su esfuerzo a la reconstrucción de su devastado país. Así, tan pronto como se hubo licenciado ingresó en la empresa Kobe Kogyo (1947), donde empezó a desplegar una intensa labor de investigación y desarrollo industrial que después continuó en otras compañías de mayor prestigio, como es el caso de la Sony (a la que se incorporó en 1956) y la IBM (para la que trabajó un tiempo después, cuando ya había adquirido la nacionalidad estadounidense).

Durante su contrato laboral con la Sony, Leo Esaki realizó su trabajo más relevante, con el que no sólo contribuyó a generar abundantes beneficios para su empresa, sino que también le sirvió para obtener el grado de doctor. Se trata del desarrollo del diodo túnel, también conocido como fenómeno del túnel o teoría del "tunneling", que describe el paso de electrones de un semiconductor a través de una barrera sólida sin dejar

rastros alguno, para reagruparse acto seguido y recobrar su formación inicial.

Las numerosas aplicaciones tecnológicas de este hallazgo (sobre todo en los campos de la electrónica, la astronáutica y la medicina) le hicieron ganar a Leo Esaki un gran prestigio internacional. Así, en 1960 el ilustre físico de Osaka recibió una substanciosa oferta por parte de la empresa norteamericana IBM, consistente en un puesto de trabajo en su Centro de Investigación Thomas B. Watson, emplazado en Yorktown Heights (Nueva York). Esaki había llegado a Estados Unidos para visitar la IBM y estudiar los avances tecnológicos de la nueva primera potencia mundial por espacio de un año; pero, tentado por la multinacional y fascinado por los adelantos que descubrió en Occidente, se quedó en América para el resto de su vida.

Además del ya citado Premio Nobel, su descubrimiento del efecto túnel le hizo acreedor a otros muchos galardones y reconocimientos, como el Premio "Nishina Memorial" (1959), el Premio "Morris N. Liebmann Memorial" (1961), la Medalla "Stuart Ballantine" del Franklin Institute (1961), el Premio de la Academia Japonesa (1965) y la Orden de Cultura del Gobierno Japonés (1974).

En su país de adopción, el científico de Osaka es miembro de la American Academy of Arts and Sciences (Academia Americana de las Artes y las Ciencias), y socio de la National Academy of Sciences (Academia Nacional de Ciencias) y de la National Academy of Engineering (Academia Nacional de Ingeniería). A pesar de esta perfecta integración en los medios científicos y socio-culturales de los Estados Unidos de América, Esaki no ha roto en ningún momento los lazos que le unen con su país natal, donde es director de la IBM-Japan, miembro de la Academia Japonesa, director de la Fundación Científica Yamada y profesor adjunto de la Universidad de Waseda.

1. DIODO SCHOTTKY

El diodo Schottky es un diodo que proporciona conmutaciones muy rápidas entre los estados de conducción directa e inversa (menos de 1ns en dispositivos pequeños) y que tiene muy bajas tensiones de umbral (del orden de 0,2V). En la figura 1 se muestra la curva característica de un diodo Schottky, comparada con la de un diodo de silicio tradicional.

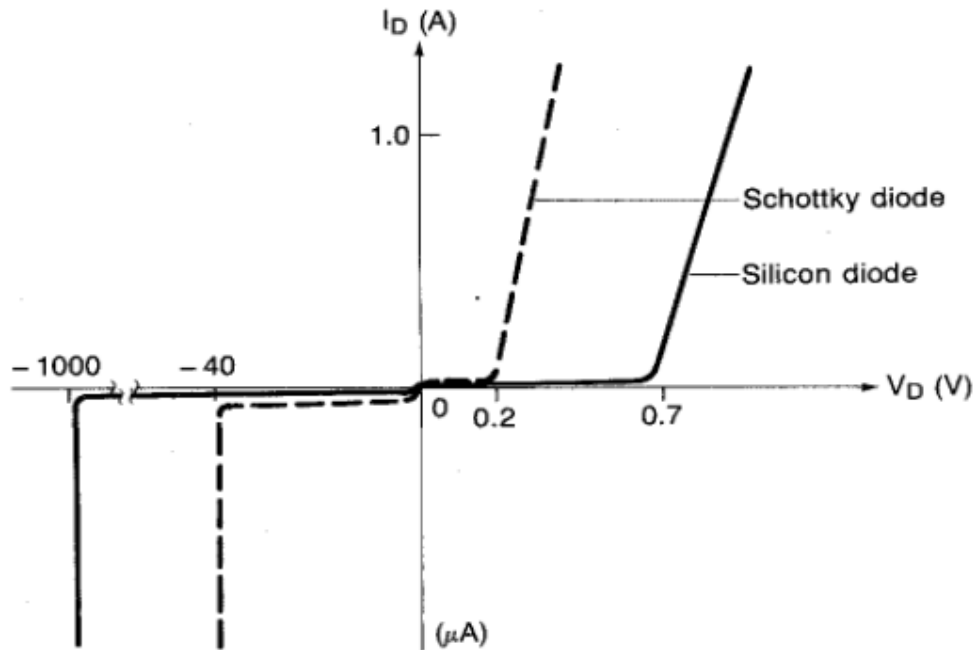


Figura 1.- Curva de un diodo Schottky.

El diodo Schottky está constituido por una juntura metal-semiconductor, en lugar de una juntura p-n. Normalmente el semiconductor es silicio tipo n, mientras que se pueden utilizar diferentes metales, como aluminio, molibdeno, platino, cromo o tungsteno.

En ambos materiales el electrón es el portador mayoritario. En el metal, el nivel de portadores minoritarios (huecos) es insignificante. Cuando los materiales se unen, los electrones en el material semiconductor tipo n fluyen de inmediato hacia el metal adjunto, y establecen un intenso flujo de portadores mayoritarios. Este intenso flujo de electrones hacia el metal origina una región sin portadores en el lado del semiconductor, muy parecida a la región de empobrecimiento de un diodo de silicio tradicional. Los portadores adicionales, presentes en el metal establecen un "muro negativo" en el límite de los dos materiales.

La aplicación de una polarización directa reducirá la resistencia de la barrera negativa, debido a la atracción que sufren los electrones por parte del potencial positivo. Como resultado se obtiene un intenso flujo de electrones desde material semiconductor, atravesando la barrera. La magnitud de este flujo es controlada por el potencial de polarización aplicado. La barrera en la unión para un diodo Schottky es menor que la de un diodo convencional, tanto en las regiones de polarización en directa como de polarización en inversa. Por consiguiente, si lo comparamos con un diodo tradicional, a un mismo nivel de polarización (directa o inversa), en un diodo Schottky se obtienen niveles de corriente mayores. Este es un efecto deseable en la región de polarización en directa pero muy indeseable en la región de polarización en inversa. En la región de polarización inversa, la corriente I_s se debe principalmente a los electrones que están en el metal y que pasan al material semiconductor.

El valor nominal máximo de la corriente del dispositivo en la actualidad está limitado a aproximadamente 100A. Una de las áreas principales de aplicación de este diodo es en fuentes de alimentación conmutadas que operan a frecuencias del orden de 20 kHz o más. Un diodo Schottky típico puede tener un valor nominal de 50A con un voltaje en directa de 0,6 V y un tiempo de recuperación de 10ns. Un dispositivo de unión p-n con el

mismo límite de corriente de 50A puede tener una caída de voltaje en directa de 1,1V y un tiempo de recuperación de 30 a 50ns. En la figura 2 se observa el símbolo de un diodo Schottky.



Figura 2.- Símbolo de un diodo Schottky.

1.1 TIEMPO DE RECUPERACIÓN EN INVERSA

En el estado de polarización directa existe una gran cantidad de electrones del material tipo n que avanzan a través del material tipo p y una gran cantidad de huecos en el material tipo n, lo cual es un requisito para la conducción. Los electrones en el material tipo p y los huecos que avanzan a través del material tipo n establecen una gran cantidad de portadores minoritarios en cada material. Si el voltaje aplicado se tiene que invertir para establecer una situación de polarización en inversa, lo deseable sería que el diodo cambiara instantáneamente su estado de conducción al de no conducción. Sin embargo, por el gran número de portadores minoritarios en cada material, la corriente en el diodo se invierte como se muestra en la figura 3 y permanece en este nivel medible durante el intervalo t_s (tiempo de almacenamiento) requerido para que los portadores minoritarios regresen a su estado de portadores mayoritarios en el material opuesto. En esencia, el diodo permanece en el estado de cortocircuito con una corriente inversa determinada por los parámetros de la red. Con el tiempo, cuando esta fase de almacenamiento ha pasado, el nivel de la corriente se reduce al nivel asociado con el estado de no conducción. Este segundo lapso está denotado por t_t (intervalo de transición). El tiempo de recuperación en inversa (t_{rr}) es la suma de estos dos intervalos. Se trata de un parámetro sumamente importante en aplicaciones de conmutación de alta velocidad. La mayoría de los diodos de conmutación comerciales tienen un t_{rr} en el intervalo de algunos nanosegundos a 1 ms. Hay unidades disponibles, sin embargo, con un t_{rr} de sólo unos cientos de picosegundos.

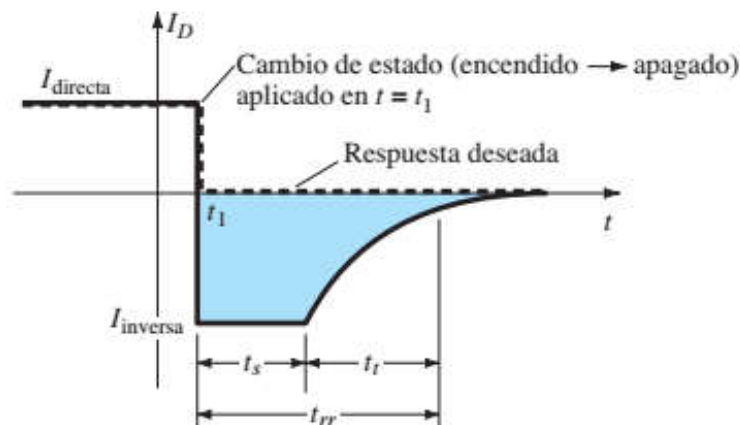


Figura 3.- Tiempo de recuperación en inversa.

2. DIODO VARICAP

El diodo Varicap, conocido también como diodo de capacidad variable o varactor, son capacitores semiconductores dependientes del voltaje. Su modo de operación depende de la capacitancia que haya en la unión p-n cuando el elemento se polariza en inversa. En esta condición de polarización, existe una región de carga no recuperada a ambos lados de la unión, que juntas conforman la región de empobrecimiento y definen el ancho de empobrecimiento W_d . La capacitancia de transición C_T establecida por las cargas no recuperadas aisladas es:

$$C_T = \epsilon \frac{A}{W_d}$$

Donde:

- 1) ϵ : es la permitividad de los materiales semiconductores.
- 2) A : es el área de la unión p-n.
- 3) W_d : es el ancho de la región de empobrecimiento.

A medida que se incrementa el potencial de polarización en inversa, el ancho de la región de empobrecimiento se incrementa, lo cual a su vez reduce la capacitancia de transición. Las características de un diodo Varicap típico disponible en el mercado aparecen en la figura 4.

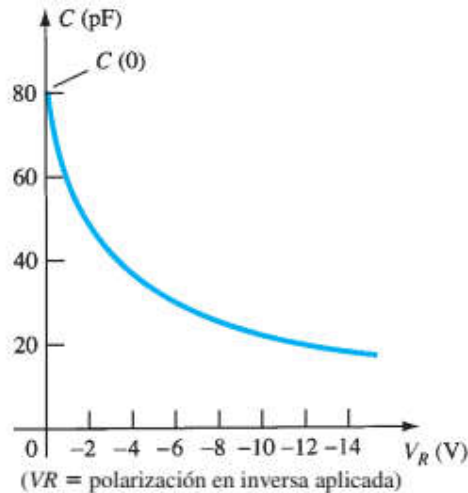


Figura 4.- Característica de un diodo Varicap.

La magnitud de C_T variará desde alrededor de 2pF hasta 100pF según el Varicap considerado. Para la fabricación de los diodos Varicap, generalmente se utiliza el silicio. En la figura 5 se observa su símbolo.



Figura 5.- Símbolo de un diodo Varicap.

3. DIODO TÚNEL

Los diodos túnel están fuertemente dopados de modo que su región de empobrecimiento tiene sólo unos pocos nanómetros de longitud. Por este motivo es que se manifiesta el efecto túnel, que es un fenómeno solamente explicable a partir de la mecánica cuántica. Este diodo fue inventado en 1958 por el japonés Leo Esaki, por lo cual recibió el premio Nobel de Física en 1973.

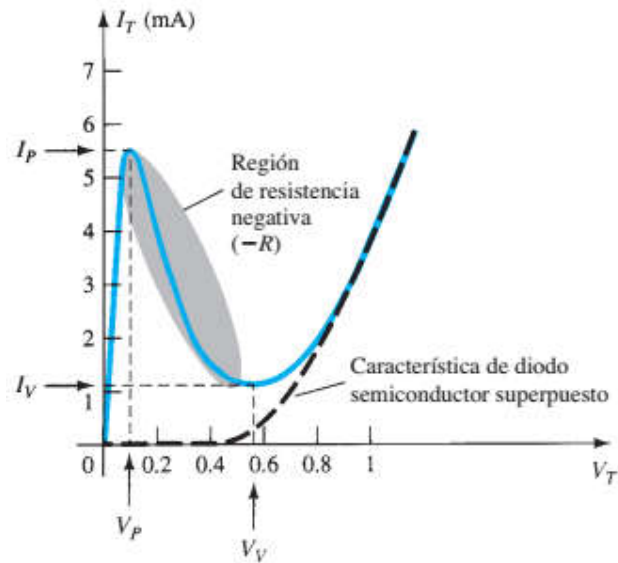


Figura 6.- Curva característica de un diodo túnel.

Los diodos Túnel son generalmente fabricados en germanio, pero también en silicio y arseniuro de galio. Son diodos muy rápidos que presentan una zona de "resistencia negativa", que permite su utilización como elemento activo en osciladores y amplificadores. En la práctica, la corriente pico I_P de un diodo túnel puede variar desde algunos microamperes hasta varios cientos. El voltaje pico, sin embargo, está limitado a unos 600mV.



Figura 7.- Símbolo de un diodo Túnel.

4. DIODO ZENER

Como se observa en la figura 8, la región de Zener tiene una característica que cae casi verticalmente con un potencial de polarización en inversa denotado como V_Z . El hecho de que la curva caiga y se aleje del eje horizontal, revela que la corriente en la región Zener tiene una dirección opuesta a la de un diodo polarizado en directa.

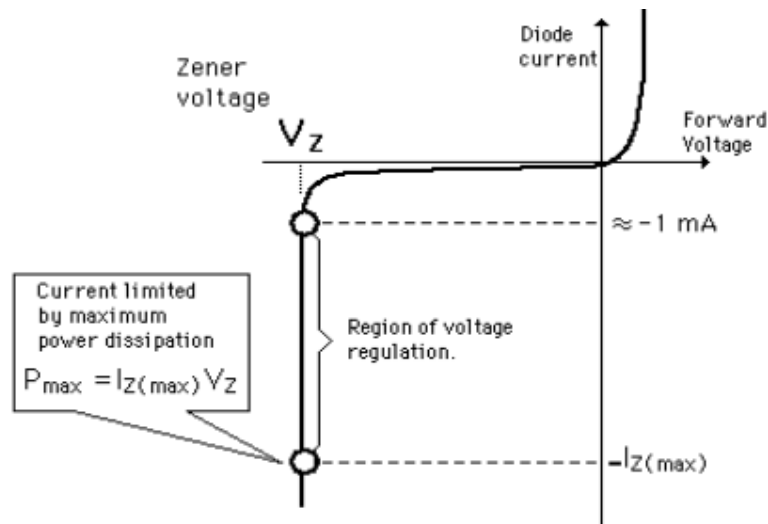


Figura 8.- Curva característica de un diodo Zener.

Debido a que en polarización inversa el diodo Zener presenta una región de tensión casi constante para un rango amplio de corrientes se los utiliza para obtener una tensión regulada. El símbolo de este diodo se observa en la figura 9.

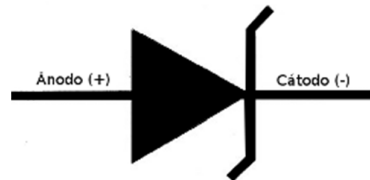


Figura 9.- Símbolo de un diodo Zener.

Generalmente, cuando se habla de un diodo Zener se hace referencia a diodos que se utilizan polarizados en la tensión de ruptura inversa, independientemente de si ésta ruptura se produce por efecto Zener o por efecto avalancha.

Recordemos que el efecto avalancha se produce cuando se aumenta la tensión de polarización inversa, de manera que la zona libre de cargas se extiende y la magnitud del campo eléctrico en la juntura crece. Para cierto valor de tensión inversa (tensión de ruptura o de avalancha) puede ocurrir que los portadores minoritarios alcancen energías suficientemente altas para que al chocar con la red generen nuevos portadores.

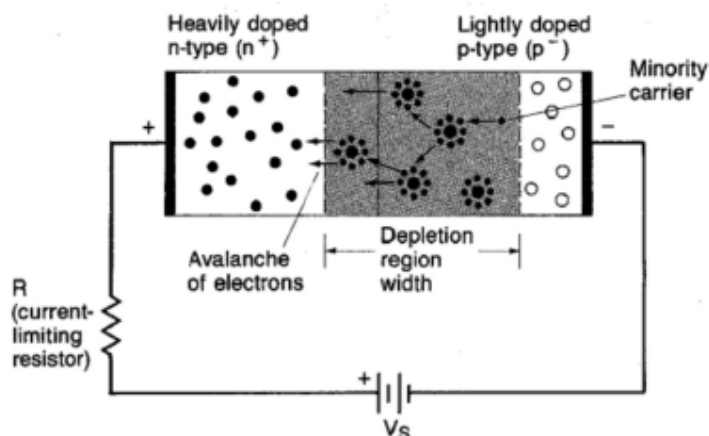


Figura 10.- Efecto avalancha.

En cambio, si el dopaje del diodo es mayor, la zona libre de cargas será más reducida, y no habrá distancia suficiente para acelerar a los portadores como para generar el efecto avalancha. En este caso, si la tensión inversa es suficientemente grande, se producirá un intenso campo eléctrico en la juntura capaz de romper los enlaces entre los átomos, dejando así electrones libres.

En general, en los diodos están presentes tanto el efecto zener como el efecto de avalancha, pero el efecto predominante será aquel que se produzca a menor tensión inversa. En los diodos de silicio es posible lograr el efecto zener para valores entre 1 y 5 voltios, mientras que por sobre 5 voltios predomina el efecto de avalancha.

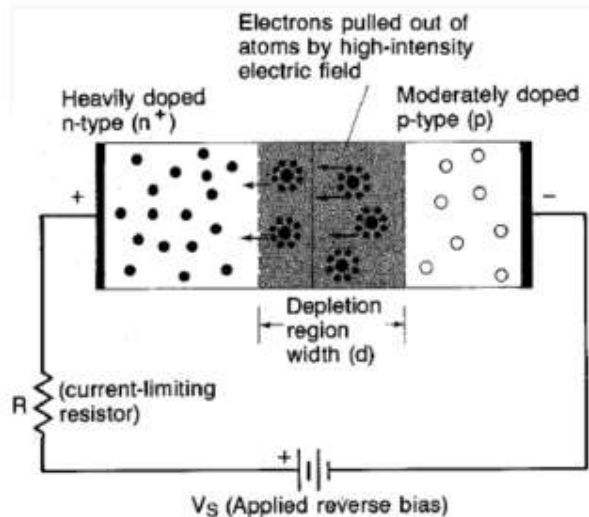


Figura 11.- Efecto zener.

5. DIODO EMISOR DE LUZ (LED)

El diodo LED (**L**ight **E**mitting **D**iode) es un diodo que emite luz visible o invisible (infrarroja) cuando se energiza. En cualquier unión p-n polarizada en directa se da, dentro de la estructura y principalmente cerca de la unión, una recombinación de huecos y electrones. Esta recombinación requiere que la energía procesada por los electrones libres se transforme en otro estado. En todas las uniones p-n semiconductoras una parte de esta energía se libera en forma de calor y otra en forma de fotones.

En diodos de Si y Ge el mayor porcentaje de la energía convertida durante la recombinación en la unión se disipa en forma de calor dentro de la estructura y la luz emitida es insignificante. Por esta razón, el silicio y el germanio no se utilizan en la construcción de diodos LED.

Por otra parte, los diodos contruidos de Arseniuro de Galio (GaAs) emiten luz en la zona infrarroja (invisible) durante el proceso de recombinación en la unión p-n. Aun cuando la luz no es visible, los LED infrarrojos tienen numerosas aplicaciones donde la luz visible no es un efecto deseable. Mediante otras combinaciones de elementos se puede generar una luz visible coherente. La tabla 1 proporciona una lista de semiconductores compuestos comunes y la luz que generan. Además comprende también el intervalo de potenciales de polarización en directa de cada uno.

En la figura 10 se muestra la estructura interna de un diodo LED. La superficie metálica conductora externa conectada al material tipo p es más pequeña para permitir la salida del máximo de fotones de energía luminosa cuando el dispositivo se polariza en directa. Observe en la figura que la recombinación de los portadores inyectados producida por la unión polarizada en directa produce luz emitida en el sitio de la recombinación. Habrá, desde luego, algo de absorción de los paquetes de energía de fotones en la estructura misma, pero se puede liberar un gran porcentaje, como se muestra en la figura 12.

Color	Material	Voltaje típico (V)
Ámbar	Aluminio-Indio-Galio-Fósforo (AlInGaP)	2,1
Azul	Galio-Nitrógeno (GaN)	5
Verde	Galio-Fósforo (GaP)	2,2
Naranja	Galio-Arsénico-Fósforo (GaAsP)	2
Rojo	Galio-Arsénico-Fósforo (GaAsP)	1,8
Blanco	Galio-Nitrógeno (GaN)	4,1
Amarillo	Aluminio-Indio-Galio-Fósforo (AlInGaP)	2,1

Tabla 1.- Diodos emisores de luz.

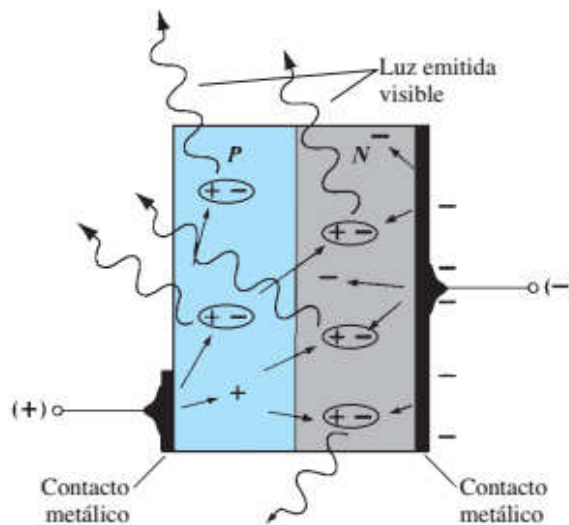


Figura 12.- Proceso de electroluminiscencia en un diodo LED.

En general, cuando hablamos de la respuesta de dispositivos electroluminiscentes, nos referimos a sus longitudes de onda y no a su frecuencia. Las dos cantidades están relacionadas por la siguiente ecuación:

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

Donde:

- 1) λ : longitud de onda en metros.
- 2) c : velocidad de la luz en el vacío ($3 \cdot 10^8$ m/s).
- 3) f : frecuencia en Hertz.

La respuesta del ojo humano promedio se extiende desde aproximadamente 350nm hasta 800nm con un valor pico cercano a 550nm. Es interesante señalar que la respuesta pico (máxima) del ojo es al color verde, con el rojo y el azul en los extremos inferiores de la curva acampanada. La curva revela que un LED rojo o azul deben ser mucho más eficientes que uno verde para que sean visibles con la misma intensidad. En otras palabras, el ojo es más sensible al color verde que a otros colores. Tenga en cuenta que las longitudes de onda mostradas corresponden a la respuesta pico de cada color. Todos los colores indicados en la

gráfica tienen una respuesta en forma de curva acampanada, por lo que el verde, por ejemplo, sigue siendo visible a 600nm, pero con menor nivel de intensidad.

Anteriormente se mencionó que el GaAs con su brecha de energía más alta de 1,43eV es adecuado para radiación electromagnética de luz visible, en tanto que el Si con 1,1 eV disipa calor durante la recombinación. El efecto de esta diferencia en las brechas de energía se puede explicar hasta cierto grado teniendo en cuenta que mover un electrón de un nivel de energía discreto a otro requiere una cantidad específica de energía. La cantidad de energía implicada está dada por:

$$E_g = \frac{hc}{\lambda}$$

Donde **h** es la constante de Planck ($6,626 \cdot 10^{-34}$ J.s).

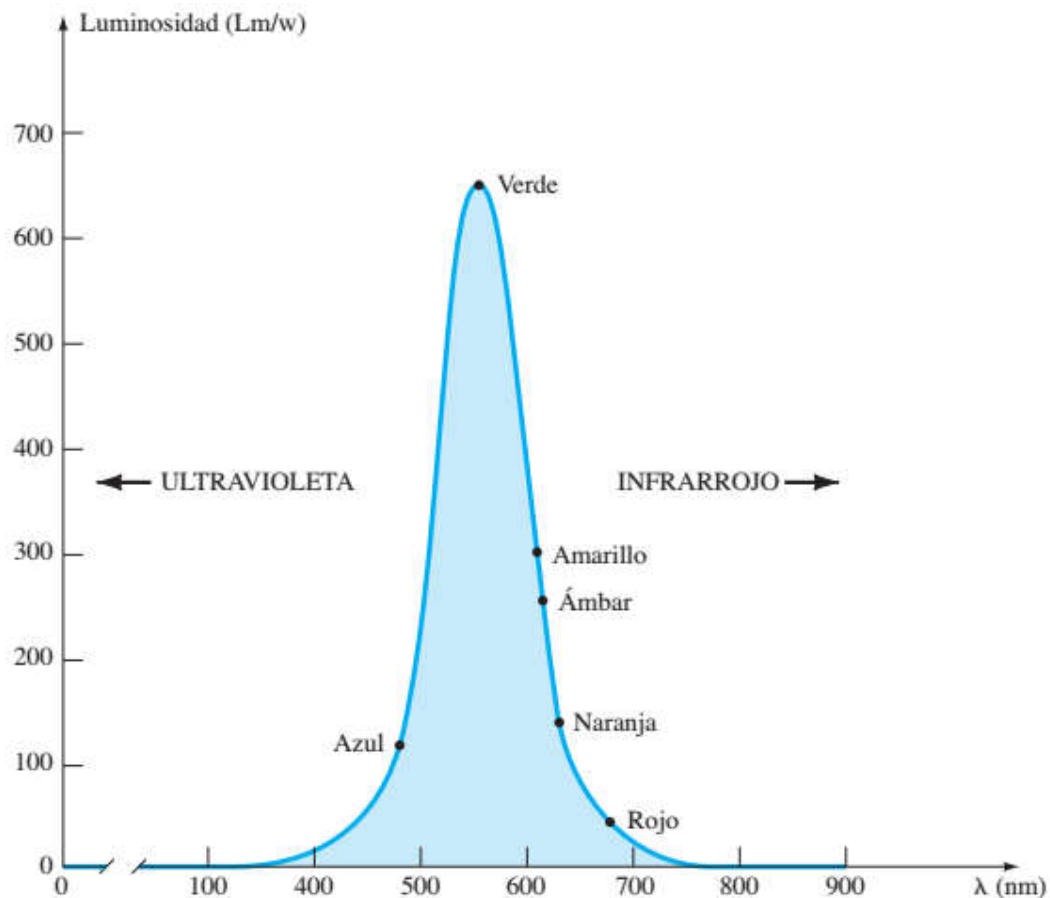


Figura 13.- Curva de respuesta estándar del ojo humano.



Figura 14.- Símbolo de un diodo led.