

Introducción a los dispositivos semiconductores y a sus operaciones físicas

Introducción a los dispositivos semiconductores y a sus operaciones físicas

Introducción a los dispositivos semiconductores más comunes y su funcionamiento

Los dispositivos semiconductores son componentes fundamentales de la electrónica moderna, ya que desempeñan un papel muy importante en la creación de circuitos electrónicos. Estos dispositivos se basan en las propiedades de los materiales semiconductores, los cuales permiten la circulación eléctrica entre conductores (como el metal) y aislantes (como el plástico). La capacidad de **cambiar su conductividad eléctrica**, ya sea bajo diferentes condiciones o factores externos, es lo que permite su funcionamiento.

A continuación, se presentan algunos de los semiconductores más comunes y sus aplicaciones, de acuerdo con Kamal (2022):

Diodo. Es un dispositivo semiconductor que permite el paso de la corriente eléctrica en una dirección específica (directa), mientras que lo bloquea en el sentido contrario (inversa). En términos generales, su funcionamiento se basa en la propiedad de rectificación, es decir, en permitir el flujo en una dirección (polarización directa), mientras que lo impide en la opuesta (polarización inversa); de esta manera, se asegura la circulación de la corriente en un sentido específico.



Figura 1. Símbolo del diodo.

Cuando se aplica un voltaje en la dirección de polarización directa, el diodo se enciende y permite que la corriente eléctrica fluya a través de él con relativa facilidad; por su parte, en la polarización inversa, se apaga y actúa como un interruptor abierto, así que prácticamente no permite ninguna circulación de energía.

Gracias a su propiedad de rectificación y para controlar el flujo de la corriente en una sola dirección, el diodo tiene una gran variedad de aplicaciones en la electrónica, como las siguientes:

- Rectificación de corriente alterna (CA). Se utiliza para convertir la corriente alterna en corriente continua, un aspecto esencial en fuentes de alimentación y cargadores de dispositivos electrónicos; de esta manera, se garantiza que los dispositivos funcionen correctamente con una fuente de alimentación constante.
- Protección contra polaridad inversa. Sirve para evitar daños en circuitos y componentes, ya que previene la conexión inversa de la fuente de alimentación; en aplicaciones como baterías y paneles solares, los diodos evitan que la corriente fluya en la dirección equivocada.
- Generación de señales de radiofrecuencia (RF). Esta es una aplicación clave de los diodos Gunn, los cuales se utilizan en osciladores de dominio de frecuencia de microondas para generar señales RF; por su parte, los diodos Schottky se emplean para emitir señales de alta frecuencia en aplicaciones de comunicación y radar.
- Protección contra sobretensiones. Los diodos de protección (como los Zener) limitan la tensión en un circuito y, en consecuencia, protegen los componentes sensibles de sobretensiones.
- Diodos emisores de luz (LED). Estos diodos emiten luz cuando se polarizan directamente; por este motivo, se utilizan en pantallas, indicadores luminosos, iluminación y en muchas otras aplicaciones.
- Diodos láser. Estos diodos especiales emiten luz láser coherente y se emplean en aplicaciones de diversos campos, incluyendo la comunicación, óptica, grabación y lectura de información en discos compactos y láser, medicina, investigación científica, industria, entre muchas otras.

Los **transistores BJT** (*Bipolar Junction Transistor*, por sus siglas en inglés) y **MOSFET** (*Metal-Oxide-Semiconductor Field-Effect Transistor*, por sus siglas en inglés) son dos tipos esenciales de transistores en electrónica. A continuación, se describe su funcionamiento de manera simplificada y, además, se mencionan algunas de sus aplicaciones:

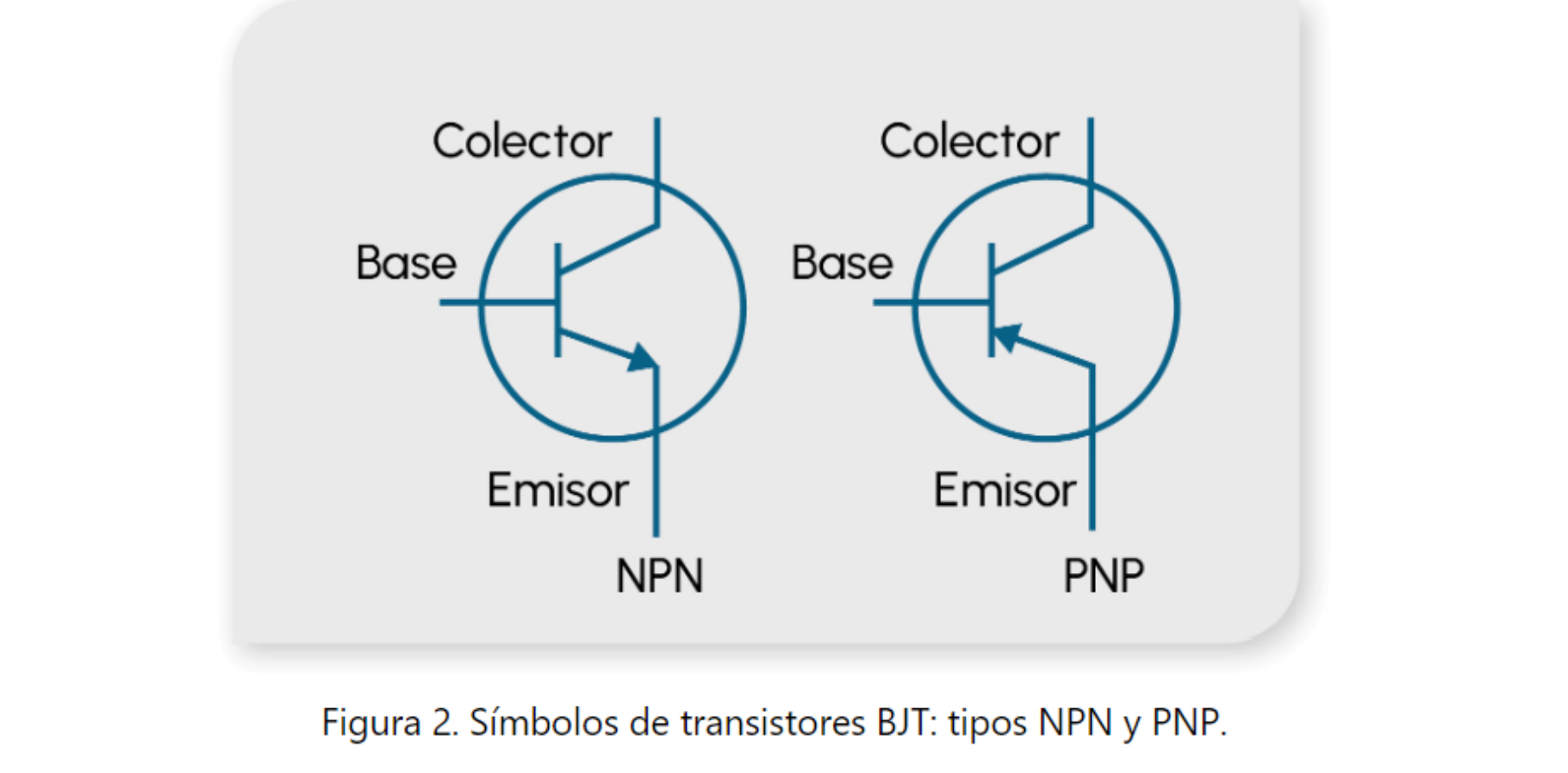


Figura 2. Símbolos de transistores BJT: tipos NPN y PNP.

Transistor BJT, también conocido como transistor bipolar de unión. Está controlado por **corriente** y cuenta con tres terminales: emisor (E), base (B) y colector (C). Cuando se aplica una corriente pequeña en la base, controla el flujo mucho mayor que circula entre el emisor y el colector. En un transistor NPN, una corriente de base positiva permite que los electrones se desplacen del emisor al colector; mientras tanto, en un transistor PNP, la corriente de base negativa facilita el flujo de huecos. La figura 2 te ayudará a comprender mejor esta explicación; sin embargo, en resumen, el BJT funciona como un **interruptor controlado por corriente**.

Aplicaciones del transistor BJT:

- Amplificación de señales: se utiliza para aumentar la amplitud de señales eléctricas, como en amplificadores de audio.
- Conmutación: se emplea como interruptor en circuitos lógicos y de control, como en los transistores bipolares TTL.
- Regulación de voltaje: se utiliza en circuitos reguladores lineales para mantener un voltaje constante en la salida.
- Amplificadores de potencia: se utiliza para impulsar cargas de alta potencia, como en sistemas de sonido y radiofrecuencia.

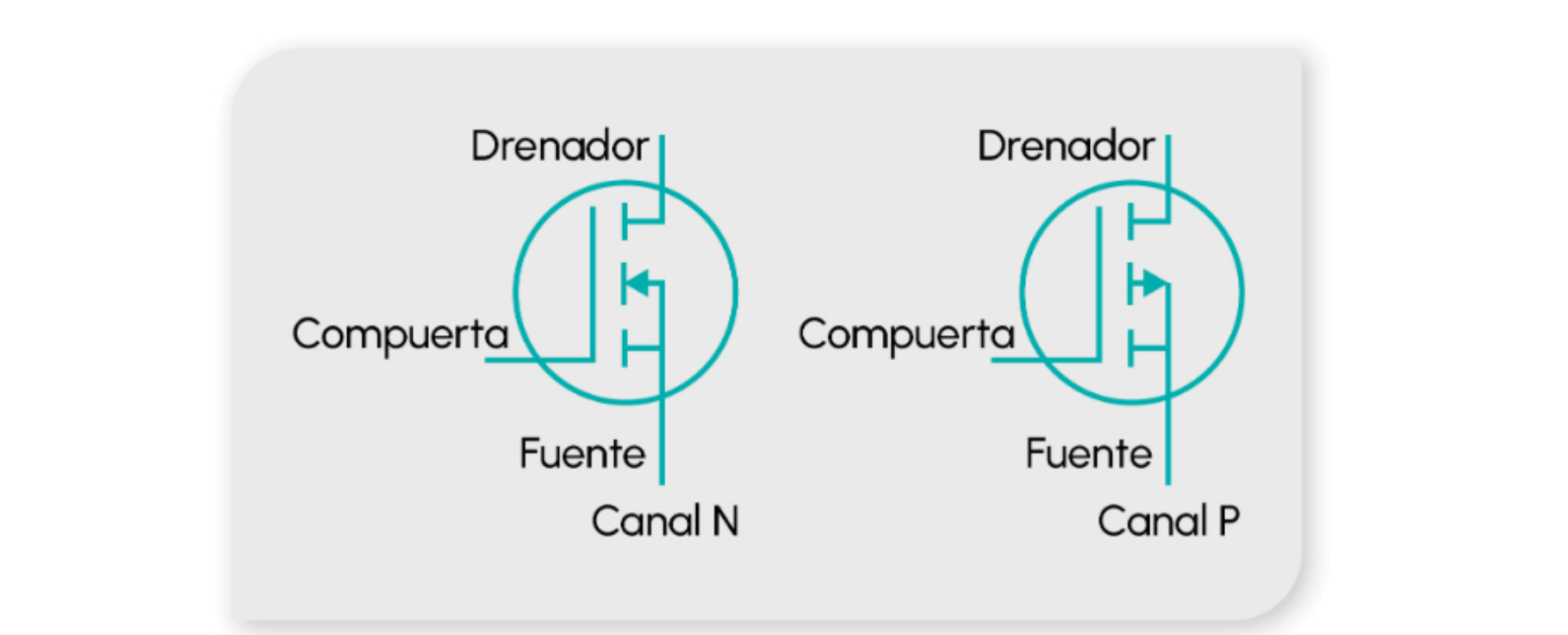


Figura 3. Símbolos de transistores: canal N y P.

Transistores MOSFET. Están controlados por **voltaje** y se componen de tres terminales: compuerta (G), fuente (S) y drenador (D). Al aplicar un voltaje en la compuerta en relación con la fuente, se crea un campo eléctrico que controla el flujo de corriente entre la fuente y el drenador. En un MOSFET de canal *N*, un voltaje positivo en la compuerta forma un canal de conducción y, por consiguiente, permite que los electrones fluyan del drenador a la fuente; por el contrario, en un MOSFET de canal *P*, un voltaje negativo en la compuerta posibilita el flujo de huecos. La figura 3 te ayudará a comprender mejor esta explicación; sin embargo, en resumen, el MOSFET funciona como un **interruptor controlado por voltaje**.

Aplicaciones del transistor MOSFET:

- Amplificación de señales de alta frecuencia: se utiliza para esta tarea, como en circuitos de radiofrecuencia.
- Conmutación de alta velocidad: se emplea en esta clase de circuitos debido a su rápida respuesta, como en convertidores de energía.
- Circuitos lógicos y memorias: se emplea en circuitos digitales, como en la construcción de memorias RAM y microcontroladores.
- Reguladores de energía: se utiliza en circuitos reguladores de conmutación, por ejemplo, en reguladores Buck y Boost, para controlar la energía entregada a cargas.
- Conversión de energía: se puede encontrar en inversores y convertidores de frecuencia, así como en aplicaciones de energía renovable y electrónica de potencia.

En resumen, los transistores BJT y MOSFET son componentes esenciales en la electrónica, pero difieren en su modo de funcionamiento y en sus operaciones: los primeros son controlados por **corriente** y se emplean en aplicaciones de amplificación y conmutación, mientras que los segundos se controlan por voltaje y sirven en sistemas de alta frecuencia, regulación de energía y electrónica digital.

Además de diodos y transistores, existen otros dispositivos semiconductores comunes, como rectificadores, reguladores de voltaje, optoelectrónicos (como los LED) y dispositivos de potencia (como tiristores e IGBTs), cada uno con su propio principio de funcionamiento y con sus aplicaciones específicas. A continuación, se presenta la operación física de los tres tipos de dispositivos semiconductores más comunes, de acuerdo con Fiore (2021).

Operación física del diodo

El diodo es uno de los dispositivos semiconductores más simples y fundamentales en la electrónica. Su operación se basa en la estructura de unión PN, la cual consta de dos regiones de material semiconductor: una dopada positivamente (*P*) y otra dopada negativamente (*N*). Para entender la operación física de un diodo, es importante considerar cómo se comporta en dos estados principales: polarización directa y polarización inversa.

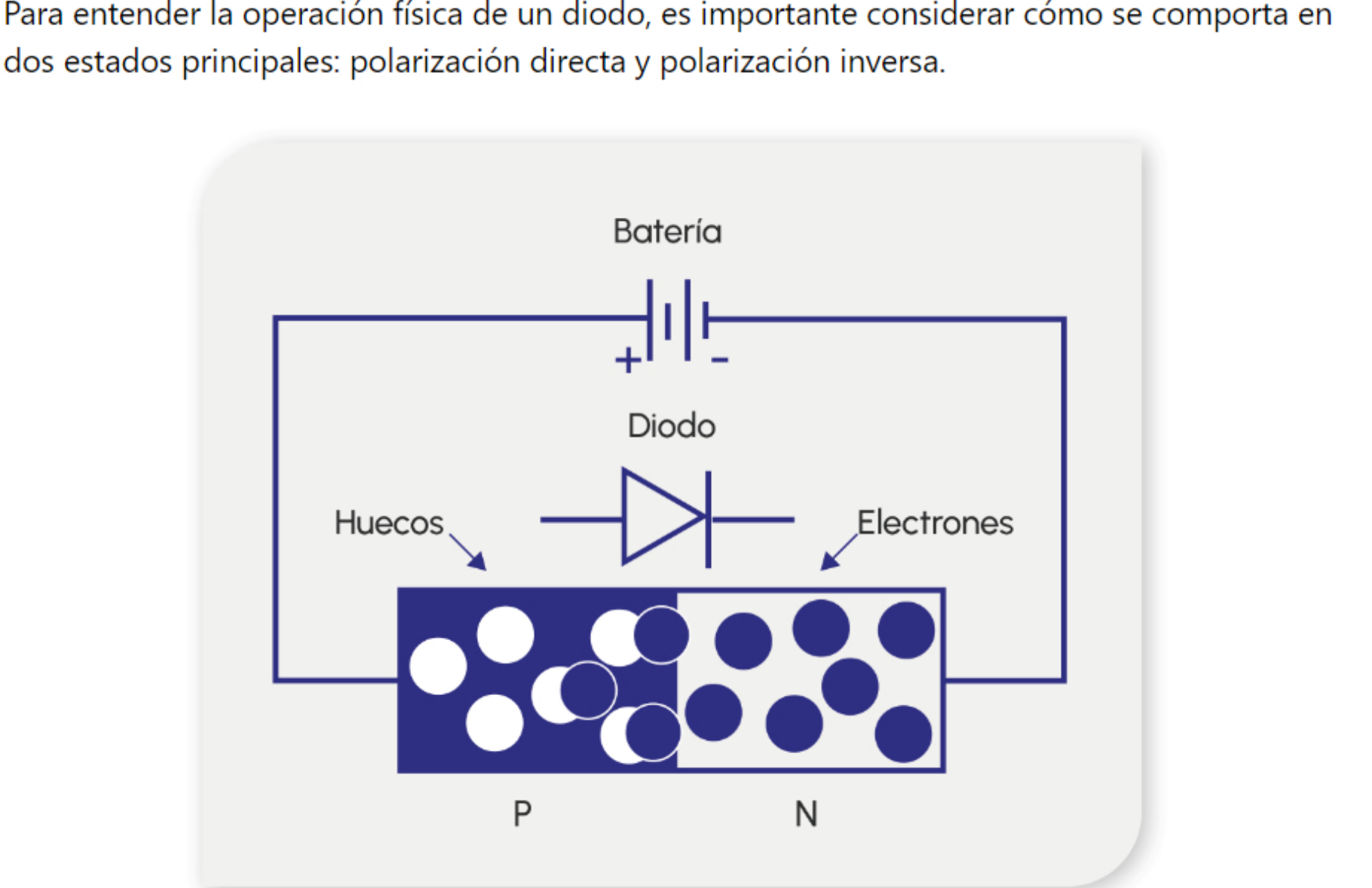


Figura 4. Operación física del diodo en polarización directa.

Polarización directa. Cuando se aplica una tensión positiva en el ánodo (el lado tipo *P*) y una tensión negativa en el cátodo (el lado tipo *N*), se crea una diferencia que actúa en contra de la barrera de potencial formada en la unión PN. En este estado de polarización directa, los electrones de la región tipo *N* son atraídos hacia el ánodo, mientras que los huecos de la región tipo *P* son atraídos hacia el cátodo. Observa la figura 4 para que comprendas mejor la explicación.

La clave de la operación del diodo en polarización directa es que esta tensión aplicada supera la barrera de potencial, de tal manera que electrones y huecos se recombinan en la región de unión PN; cuando esto sucede, se libera energía en forma de luz (fotones) o calor, dependiendo del tipo de diodo. Esto hace que el dispositivo se convierta en un conductor de corriente eléctrica y, por ende, permite que la corriente fluya fácilmente a través de él; esta condición se conoce como **estado de conducción**.

Polarización inversa. Cuando se aplica una tensión negativa en el ánodo y una positiva en el cátodo, se aumenta la barrera de potencial en la unión PN, de tal forma que actúa como un límite eléctrico que impide el flujo de electrones y huecos a través de la unión. En este estado de polarización inversa, la región de la unión PN funciona como un aislante, es decir, prácticamente no hay flujo de corriente a través del diodo; por consiguiente, la energía que circula en este estado es muy pequeña y se conoce como corriente de fuga. Observa la figura 5 para que comprendas mejor la explicación.

En resumen, la operación física del diodo se basa en la estructura de unión PN y en la polarización aplicada; en la directa, el diodo permite el flujo de corriente al superar la barrera de potencial en la unión, mientras que en la inversa actúa como un aislante debido a la barrera de potencial aumentada. Esta propiedad de rectificación permite que la corriente fluya en una dirección y se bloquee en la otra, de tal manera que resulta esencial en diversas aplicaciones, como en la rectificación de corriente alterna (AC), la protección contra polaridad inversa y la generación de señales de radiofrecuencia en la electrónica.

Operación física del transistor BJT

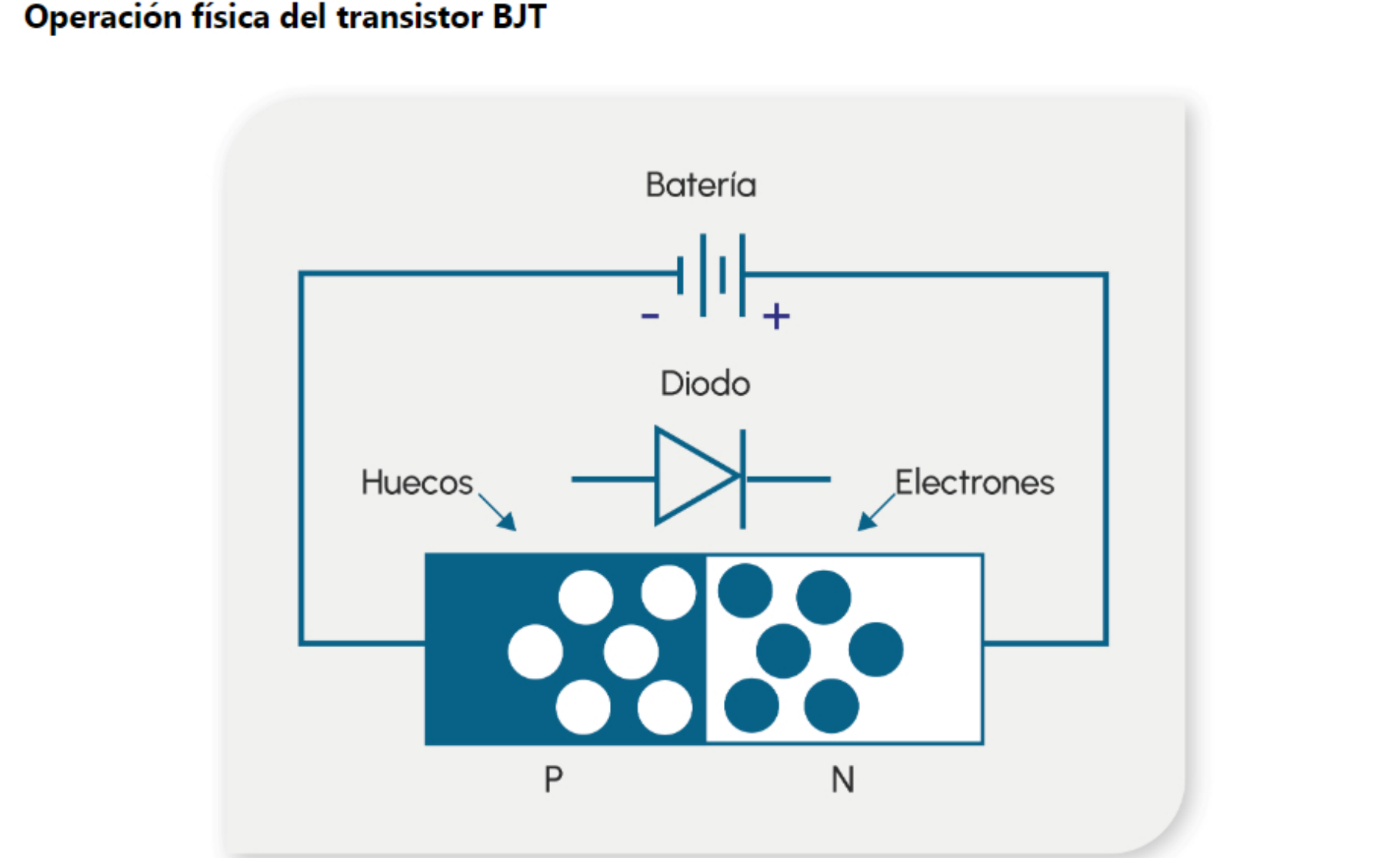


Figura 5. Operación física del diodo en polarización inversa.

El BJT es un dispositivo semiconductor que cuenta con tres terminales: emisor (E), base (B) y colector (C). Su funcionamiento se basa en la corriente de base que controla aquella que circula entre el emisor y el colector; para entender la operación física de un BJT, es importante considerar su estructura interna y el principio de funcionamiento. En este caso, un BJT puede ser del tipo NPN o PNP, sin embargo, la explicación se centrará en la primera clase, pues es la más común; por su parte, el BJT PNP posee funciones análogas, pero con polaridades opuestas.

Estructura interna del BJT. Un BJT NPN consta de tres regiones de material semiconductor: una de tipo *N* (emisor), otra de tipo *P* (base) y una más de tipo *N* (colector). Estas tres secciones se conectan en una estructura de unión PN; asimismo, están diseñadas de manera que el emisor se encuentra más dopado que la base, mientras que el dopaje de esta última resulta ligeramente mayor que el del colector. Esto crea una diferencia de concentración de portadores de carga en las diferentes regiones del BJT.

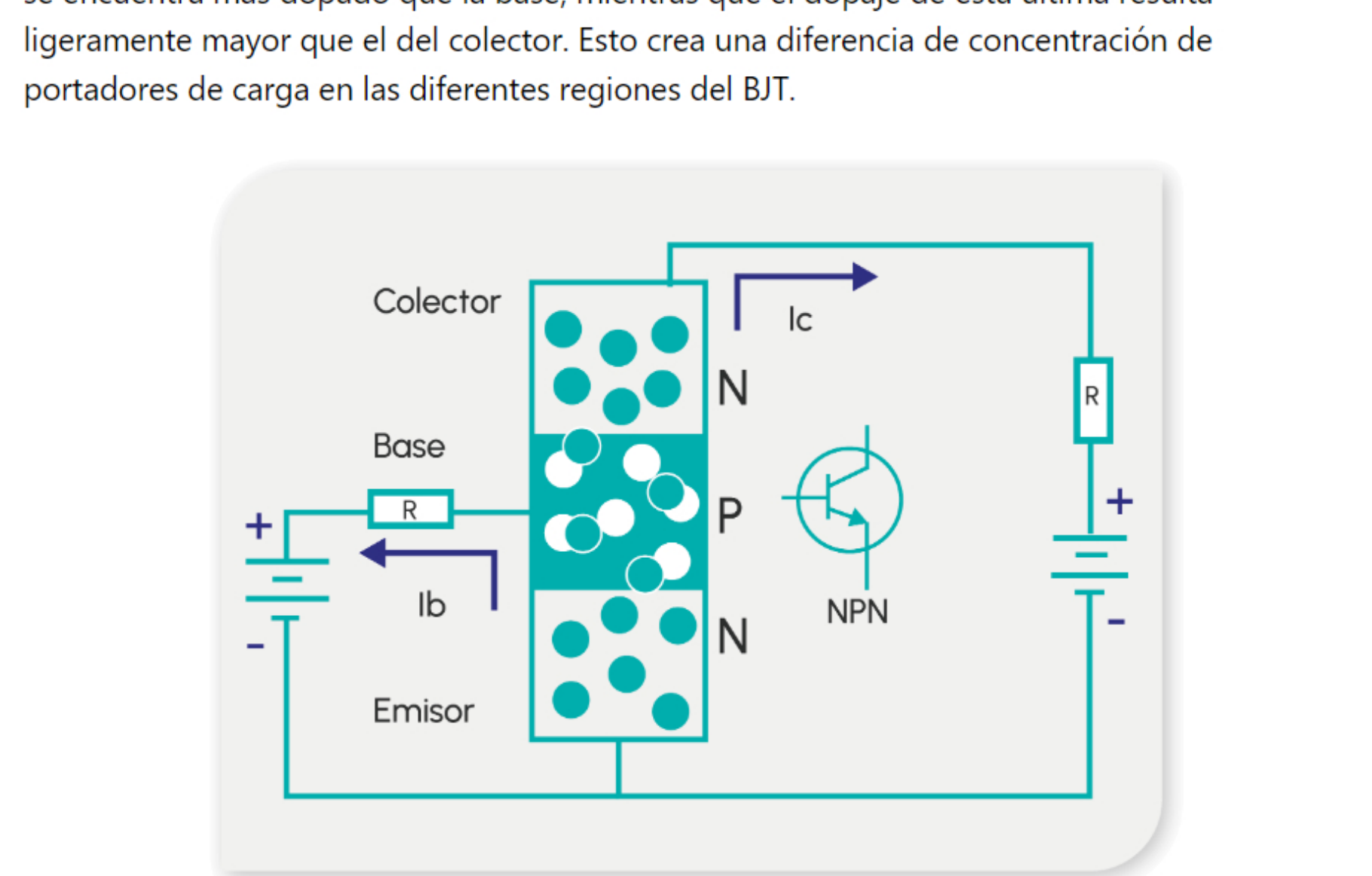


Figura 6. Operación física del transistor BJT tipo NPN.

Principio de funcionamiento. La operación de un BJT se fundamenta en la corriente de base (*I_b*) que fluye desde el emisor a la base, la cual se encarga de controlar la energía principal que circula entre base y colector (*I_c*). Cuando se aplica una pequeña corriente *I_b* al emisor (mediante la aplicación de un voltaje entre la base y el emisor), esta inyecta electrones en la región de la base; sin embargo, al estar ligeramente dopada, no puede transportar los electrones de manera eficiente hacia el colector. En cambio, la mayoría de dichas partículas atraviesa la base y llega al colector debido a la alta concentración de portadores en esa región; en otras palabras, la operación física crucial sucede en la base. Como esta es delgada y la corriente de base resulta pequeña, actúa como un estrangulamiento para los electrones; esto provoca una acumulación de portadores de carga minoritaria en la base (o de huecos, en el caso de un transistor NPN). Estos portadores minoritarios ayudan a crear una corriente de colector (*I_c*), la cual es mucho mayor que la de la base. Observa la figura 6 para comprender mejor esta explicación.

En conclusión, el transistor BJT NPN opera de la siguiente manera:

- La corriente de base (*I_b*) se inyecta en el emisor y genera electrones minoritarios en la base.
- Estos electrones minoritarios contribuyen a una corriente de colector (*I_c*), la cual resulta proporcional a la corriente de base y se amplifica por un factor llamado **ganancia de corriente** (β o α , dependiendo de la configuración).

El transistor BJT se utiliza en aplicaciones de amplificación de señales y conmutación; además, su operación se fundamenta en el control preciso de la corriente de base para regular aquella que circula entre emisor y colector. Este dispositivo resulta imprescindible en la electrónica y, por este motivo, ha sido esencial en el desarrollo de tecnologías de comunicación y electrónica moderna.

Operación física del transistor tipo MOSFET

Este dispositivo semiconductor ha sido ampliamente utilizado en la electrónica moderna para amplificación y conmutación de señales; en términos generales, su funcionamiento se basa en el control de flujo de corriente entre el drenador y la fuente, mediante la aplicación de un voltaje en la compuerta. Para entender la operación física de un MOSFET, es importante considerar su estructura interna y su principio de funcionamiento.

La **estructura interna** del MOSFET consta de tres terminales: compuerta (*gate*), drenador (*drain*) y fuente (*source*). Estos componentes se construyen sobre un sustrato semiconductor, generalmente de silicio; además, entre la compuerta y el sustrato se encuentra una fina capa de óxido de silicio (*SiO₂*) que actúa como aislante eléctrico. Bajo dicha sustancia, se localiza una estructura encargada de conectar el drenador y la fuente. Hay dos tipos principales de MOSFET: de canal *N* y de canal *P*, los cuales difieren en la polaridad de sus regiones dopadas.

El **funcionamiento del MOSFET** se basa en el principio del efecto campo o efecto campo-electrón, cuya operación se divide en dos modos principales: **polarización de encendido (On)** y **polarización de apagado (Off)**.

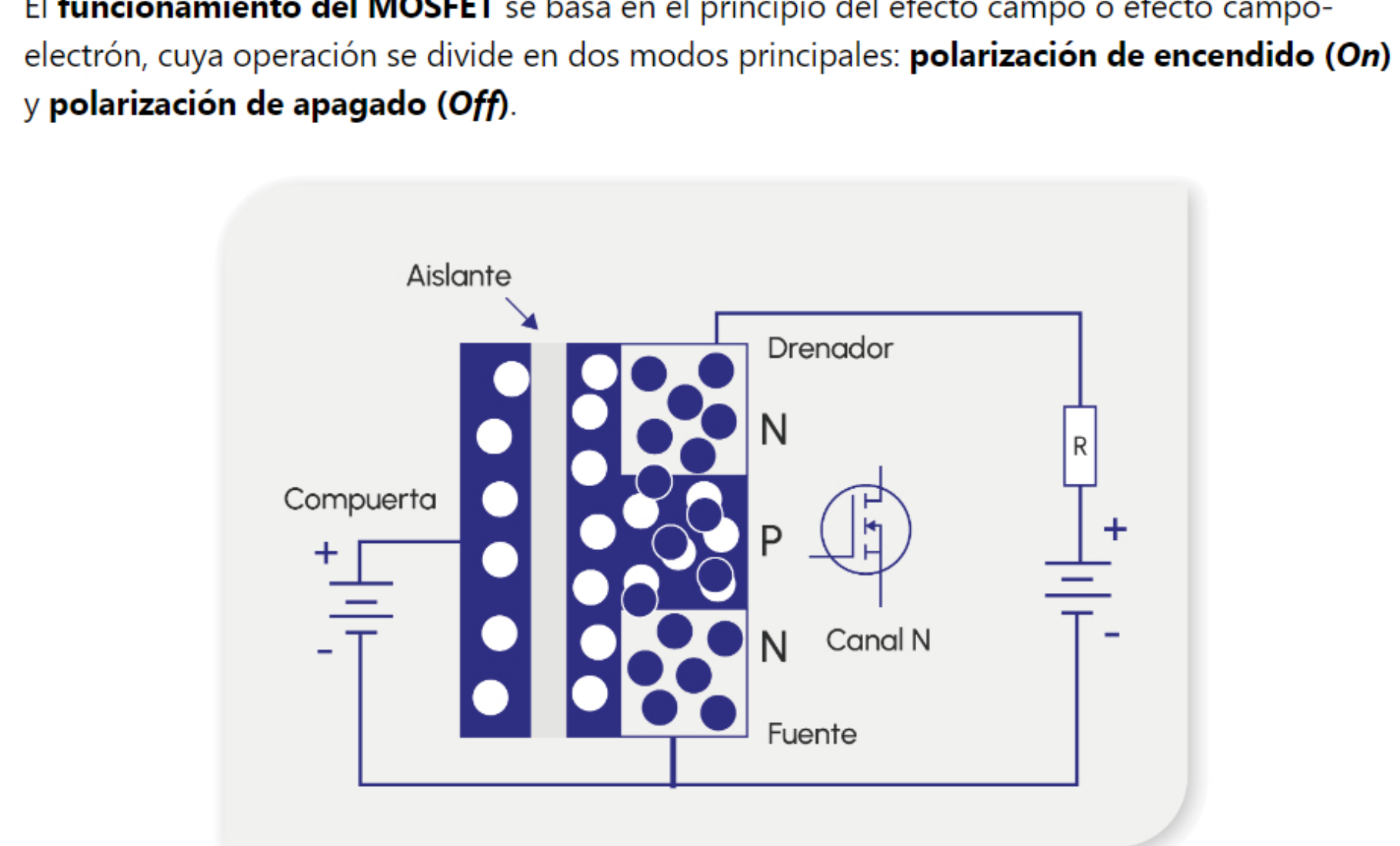


Figura 7. Operación física del transistor MOSFET canal N.

Polarización de encendido (On). Cuando se aplica un voltaje positivo a la compuerta con respecto a la fuente en un MOSFET de canal *N* (o un voltaje negativo en un MOSFET de canal *P*), se crea un campo eléctrico en el canal semiconductor. Este fenómeno actúa sobre los portadores de carga en el canal, atrayendo electrones (canal *N*) o empujando huecos (canal *P*) hacia la superficie, dependiendo del tipo de MOSFET. El campo eléctrico resultante forma un canal de conducción entre la fuente y el drenador, es decir, permite que los portadores de carga (electrones o huecos) fluyan a través del canal y establezcan una corriente desde la fuente hacia el drenador. Esta condición se conoce como **estado de encendido**, donde el MOSFET se comporta como un interruptor cerrado. Observa la figura 7 para que comprendas mejor esta explicación.

Polarización de apagado (Off). Cuando no se aplica un voltaje en la compuerta o se añade uno insuficiente, no se forma el canal de conducción en el del semiconductor; en este estado, el MOSFET actúa como un interruptor abierto y, prácticamente, no permite que fluya corriente desde la fuente hacia el drenador. Esta condición se denomina **estado de apagado**.

La operación del MOSFET se basa en la capacidad de controlar el canal de conducción mediante el voltaje aplicado a la compuerta; dicho control es rápido y preciso, así que el MOSFET resulta ideal para aplicaciones de amplificación, conmutación y regulación de voltaje en dispositivos electrónicos modernos, desde circuitos integrados digitales hasta amplificadores de potencia y reguladores de voltaje con alta eficiencia.

En resumen, los dispositivos semiconductores, como los diodos, transistores BJT y MOSFET, son fundamentales en la electrónica moderna, debido a su versatilidad y capacidades únicas. Los diodos actúan como interruptores unidireccionales y se utilizan en una amplia variedad de aplicaciones, desde la rectificación de corriente alterna hasta la protección contra polaridad inversa; por su parte, los transistores BJT controlados por corriente son esenciales en amplificación de señales y circuitos de conmutación; finalmente, los MOSFET controlados por voltaje se destacan en trabajos de alta frecuencia y regulación de energía.

Comprender cómo funcionan estos dispositivos resulta indispensable para el diseño y operación eficientes de sistemas electrónicos en una amplia gama de aplicaciones, desde dispositivos móviles hasta sistemas de energía renovable y muchos otros.

Referencias bibliográficas

- Fiore, J. (2021). *Semiconductor Devices: Theory and Applications*. Estados Unidos: Dissident.
- Kamal, K. (2022). The Silicon Age: Trends in Semiconductor Devices Industry. *Journal of Engineering Science and Technology Review*. 15(1). Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/360851950_The_Silicon_Age_Trends_in_Semiconductor_Devices_Industry#fullTextFileContent



La obra presentada es propiedad de ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN SUPERIOR A.C. (UNIVERSIDAD TECNILENIO), protegida por la Ley Federal de Derecho de Autor; la alteración o deformación de una obra, así como su reproducción, exhibición o ejecución pública sin el consentimiento de su autor y titular de los derechos correspondientes es constitutivo de un delito tipificado en la Ley Federal de Derechos de Autor, así como en las Leyes Internacionales de Derecho de Autor.

El uso de imágenes, fragmentos de videos, fragmentos de eventos culturales, programas y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, es exclusivamente para fines educativos e informativos, y cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por UNIVERSIDAD TECNILENIO.

Queda prohibido copiar, reproducir, distribuir, publicar, transmitir, difundir, o en cualquier modo explotar cualquier parte de esta obra sin la autorización previa por escrito de UNIVERSIDAD TECNILENIO. Sin embargo, usted podrá bajar material a su computadora personal para uso exclusivamente personal o educacional y no comercial limitado a una copia por página. No se podrá remover o alterar de la copia ninguna leyenda de Derechos de Autor o la que manifieste la autoría del material.