

Fundamentos de Hardware

Dr. Óscar Loyola, Dr(c). Daniel Quintero, Dr. César Sandoval

Universidad Autónoma de Chile - Ingeniería Civil Informática

19 de Marzo, 2025

Introducción a los Semiconductores I

Los semiconductores son materiales fundamentales en la electrónica moderna debido a su capacidad de controlar el flujo de corriente eléctrica de manera controlada. Su conductividad es intermedia entre la de los conductores y la de los aislantes, lo que los hace ideales para la fabricación de dispositivos electrónicos como diodos, transistores y circuitos integrados.

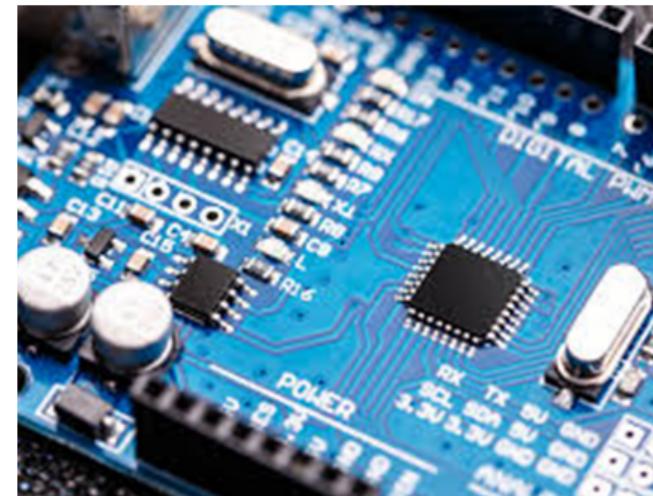


Figura 1: Placa de circuito con componentes semiconductores.

Introducción a los Semiconductores II

Características principales:

- Su conductividad eléctrica se ve afectada por la temperatura y el dopado con impurezas específicas.
- Permiten la creación de dispositivos que pueden amplificar, conmutar o regular señales eléctricas.
- Se basan en materiales como **Silicio (Si)** y **Germanio (Ge)**, los cuales presentan una estructura cristalina de tipo diamante.

Importancia de la Conductividad Eléctrica:

- La conductividad de un semiconductor depende del nivel de dopado y temperatura.

Introducción a los Semiconductores III

- Los metales como el cobre y la plata tienen una alta conductividad, mientras que los semiconductores requieren un control preciso de sus propiedades para funcionar en circuitos electrónicos.
- Materiales como el diamante y el vidrio presentan conductividades extremadamente bajas, lo que los convierte en aislantes.

Estructura Atómica y Formación de la Unión PN:

- Los átomos en un semiconductor se organizan en una estructura cristalina donde cada átomo comparte electrones de valencia mediante enlaces covalentes.
- Mediante el proceso de **dopado**, se introducen impurezas en el material base, generando regiones tipo **P** (con huecos como portadores de carga) y tipo **N** (con electrones libres como portadores de carga).

Introducción a los Semiconductores IV

- La unión de estas dos regiones forma una **zona de agotamiento**, que juega un papel clave en el funcionamiento de los dispositivos semiconductores.

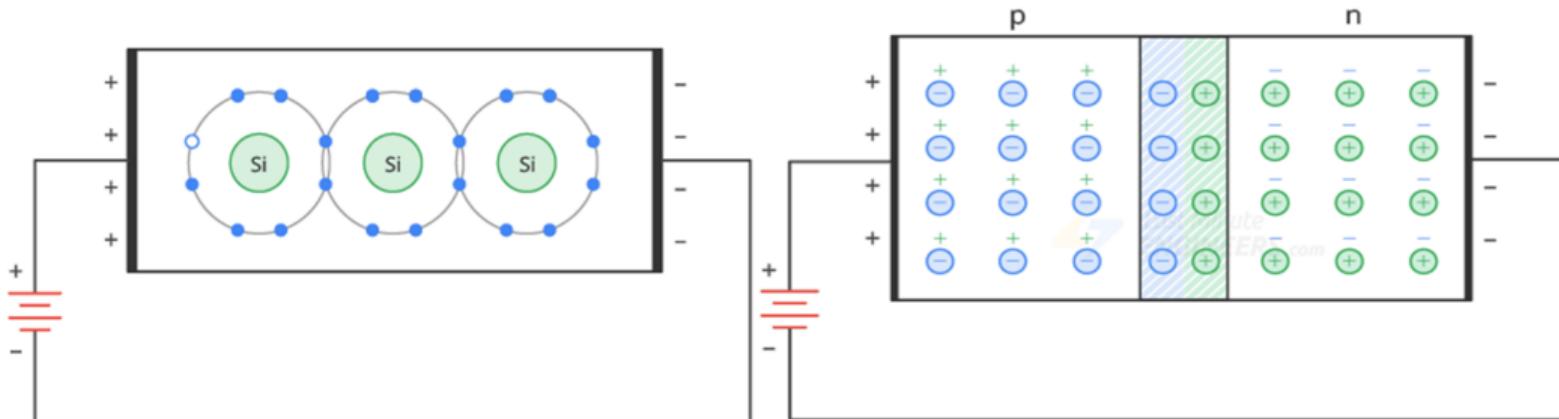


Figura 2: Funcionamiento del semiconductor tipo PN: estructura y comportamiento eléctrico.

¿Qué es un diodo? I

Un **diodo** es un componente electrónico fundamental en los circuitos eléctricos y electrónicos. Se caracteriza por su capacidad de permitir el flujo de corriente en una sola dirección, bloqueándola en sentido opuesto. Este comportamiento se debe a la **unión PN**, formada por la combinación de materiales semiconductores tipo P y tipo N.

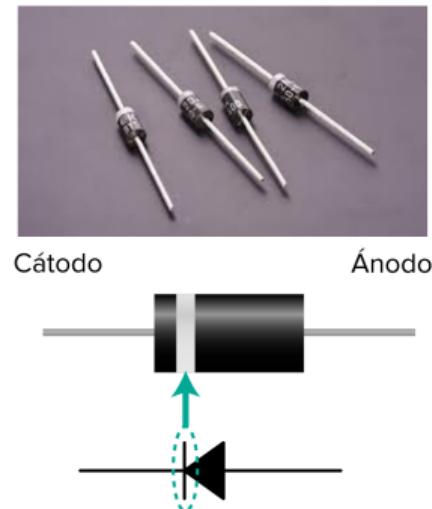


Figura 3: Ejemplo de diodos comerciales y su representación esquemática.

¿Qué es un diodo? II

Principales características:

- Actúa como un rectificador, permitiendo la conducción en polarización directa y bloqueando la corriente en polarización inversa.
- Su estructura incluye un **ánodo (A)** y un **cátodo (K)**, definidos por la dirección del flujo de corriente.
- Se utiliza en conversión de corriente alterna a corriente continua, protección de circuitos y generación de señales.

El diodo más sencillo fue el de **contacto puntual de germanio**, empleado en los primeros días de la radio. Los diodos modernos, tanto de **silicio** como de **germanio**, están encapsulados en vidrio o plástico y conectados mediante terminales metálicos.

Tipos de diodos: El diodo rectificador I

Un **diodo rectificador** es un dispositivo semiconductor diseñado para permitir el flujo de corriente en una sola dirección, bloqueándola en la dirección opuesta. Su principal aplicación es la conversión de corriente alterna (CA) en corriente continua (CC), proceso conocido como **rectificación**.

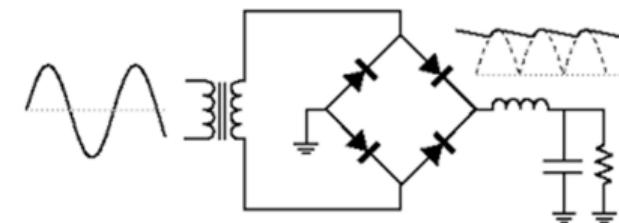


Figura 4: Circuito de rectificación de onda completa con puente de diodos.

Tipos de diodos: El diodo rectificador II

Características y funcionamiento:

- Opera en **polarización directa** para permitir el paso de corriente y en **polarización inversa** para bloquearla.
- Se utiliza en fuentes de alimentación para obtener corriente continua a partir de una señal alterna.
- Existen diferentes configuraciones: **rectificación de media onda** y **rectificación de onda completa**.

Tipos de rectificadores:

- **Rectificador de media onda:** Utiliza un solo diodo para permitir la conducción solo en el semiciclo positivo de la señal de entrada.
- **Rectificador de onda completa:** Emplea un puente de diodos para aprovechar ambos semiciclos de la señal de entrada, mejorando la eficiencia.

Tipos de diodos: El diodo Zener I

El **diodo Zener** es un tipo especial de diodo semiconductor diseñado para operar en la región de **polarización inversa**, donde mantiene un voltaje constante independientemente de la corriente que pase a través de él. Su principal aplicación es la regulación de voltaje en circuitos electrónicos.

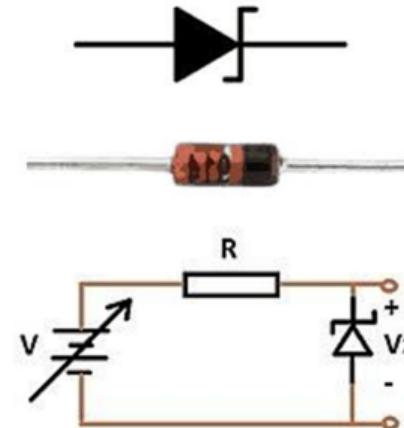


Figura 5: Diodo Zener y su aplicación en un circuito regulador de voltaje.

Tipos de diodos: El diodo Zener II

Principales características:

- Opera en la **zona de ruptura Zener**, donde mantiene un voltaje estable (V_Z) sin dañarse.
- Se utiliza en **fuentes de alimentación estabilizadas** para proteger circuitos contra variaciones de tensión.
- Su voltaje de ruptura varía según el modelo, pudiendo encontrarse desde 2V hasta más de 200V.

Funcionamiento:

- En **polarización directa**, actúa como un diodo convencional permitiendo el paso de corriente.
- En **polarización inversa**, bloquea la corriente hasta alcanzar su voltaje de ruptura (V_Z), tras lo cual permite la conducción manteniendo un voltaje constante.

Tipos de diodos: El diodo LED I

Un **diodo LED** (*Light Emitting Diode*) es un dispositivo semiconductor que emite luz cuando una corriente eléctrica lo atraviesa en **polarización directa**. Su funcionamiento se basa en la recombinación de electrones y huecos en la unión PN, liberando energía en forma de fotones (**electroluminiscencia**).

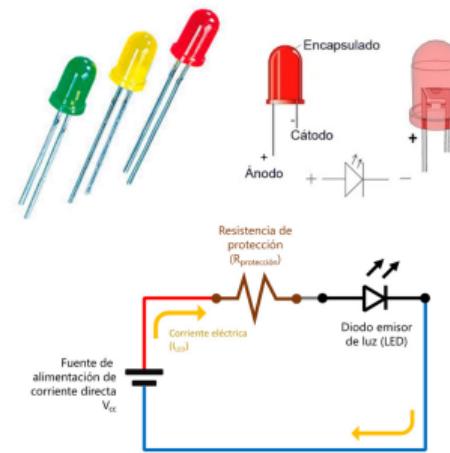


Figura 6: LEDs de diferentes colores y su conexión en un circuito con resistencia de protección.

Tipos de diodos: El diodo LED II

Principales características:

- La luz emitida depende del material semiconductor utilizado. ejemplo: GaAs (arsenio de galio) para luz infrarroja, GaP (fosfuro de galio) para luz verde.
- Presenta dos terminales: **ánodo** (pata más larga, conexión positiva) y **cátodo** (pata más corta, conexión a tierra).
- Opera con una caída de voltaje característica, típicamente entre 1.5 V y 4 V.

Conexión en un circuito:

- El LED siempre debe estar acompañado de una **resistencia limitadora** en serie para evitar sobrecorriente.
- La corriente fluye desde el ánodo (+) hacia el cátodo (-).
- Si se conecta en polarización inversa, el LED no emitirá luz.

Tipos de diodos: El diodo infrarrojo I

Un **diodo LED infrarrojo (IR)** es un dispositivo semiconductor diseñado para emitir o detectar luz infrarroja, la cual tiene una longitud de onda superior a la luz visible y es utilizada en sistemas de comunicación y sensores.



Figura 7: Ejemplo de diodos LED infrarrojos: emisor y receptor.

Tipos de diodos: El diodo infrarrojo II

Principales características:

- Opera en el espectro infrarrojo, generalmente entre **700 nm y 1 mm**.
- Su funcionamiento se basa en la emisión de fotones cuando una corriente lo atraviesa en **polarización directa**.
- Presenta dos terminales: **ánodo** (positivo) y **cátodo** (negativo).
- Su encapsulado puede ser transparente (para emisión de IR) o negro (para detección de IR, como en fototransistores).

Aplicaciones principales:

- **Control remoto**: Permite la transmisión de datos en televisores, equipos de sonido y aire acondicionado.

Tipos de diodos: El diodo infrarrojo III

- **Sensores de proximidad:** Utilizados en teléfonos móviles, sistemas de seguridad y robots.
- **Comunicaciones ópticas:** Aplicado en transmisores y receptores de datos por infrarrojos.

Estructura en Capas de los Transistores Bipolares

Los transistores bipolares son dispositivos de tres terminales que actúan como interruptores controlados eléctricamente. Su estructura se basa en tres capas de material semiconductor que pueden combinarse en dos configuraciones:

- **NPN:** Donde una capa de tipo P se encuentra entre dos capas de tipo N.
- **PNP:** Donde una capa de tipo N se encuentra entre dos capas de tipo P.

La estructura electrónica de los transistores siempre implica una combinación PN, lo que significa que nunca existen configuraciones NN o PP.

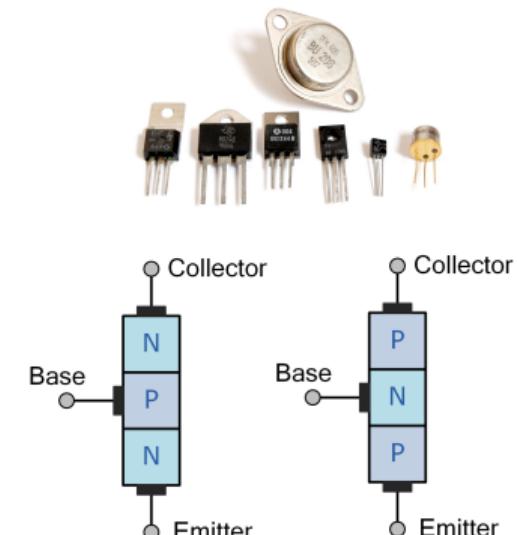


Figura 8: Estructura de transistores NPN y PNP.

El Diodo como Unidad Inicial

La estructura de los transistores bipolares puede entenderse como una combinación de dos diodos con una región intermedia que actúa como base. En un transistor NPN, los electrones se mueven del emisor al colector bajo la influencia de un voltaje aplicado a la base.

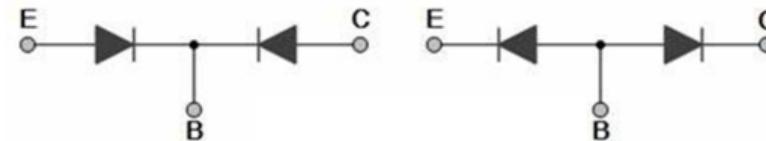


Figura 9: Analogía entre transistores y diodos.

Comportamiento de los Transistores I

La base (B) es la región central del transistor y es mucho más estrecha y menos dopada que las regiones del emisor (E) y el colector (C). Esto crea un efecto en el cual los portadores mayoritarios del emisor pueden atravesar la base y ser capturados por el colector.

- El **emisor** está altamente dopado para suministrar portadores de carga.
- La **base** es muy delgada y poco dopada para permitir la transferencia de carga.
- El **colector** es la región más grande y tiene una menor concentración de portadores en comparación con el emisor.

Comportamiento de los Transistores II

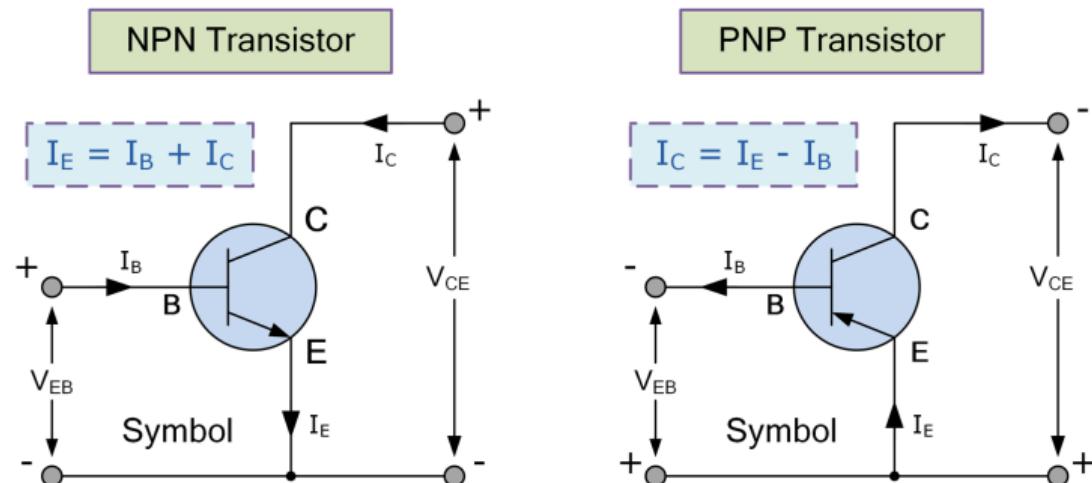


Figura 10: Diagrama de flujo de corriente en transistores NPN y PNP.

Curva de Operación y Aplicaciones I

La curva característica de un transistor muestra diferentes zonas de operación:

- **Zona de saturación:** El transistor está completamente encendido y funciona como un interruptor cerrado.
- **Zona activa:** El transistor se comporta como un amplificador de corriente.
- **Zona de corte:** El transistor está apagado y no conduce corriente.

Curva de Operación y Aplicaciones II

De la curva característica se observa que los amplificadores pueden aplicarse, al menos, de tres formas:

- **Amplificador de corriente:** zona activa.
- **Switch electrónico:** zona de corte y saturación.
- **Rectificador:** zona de corte y saturación.

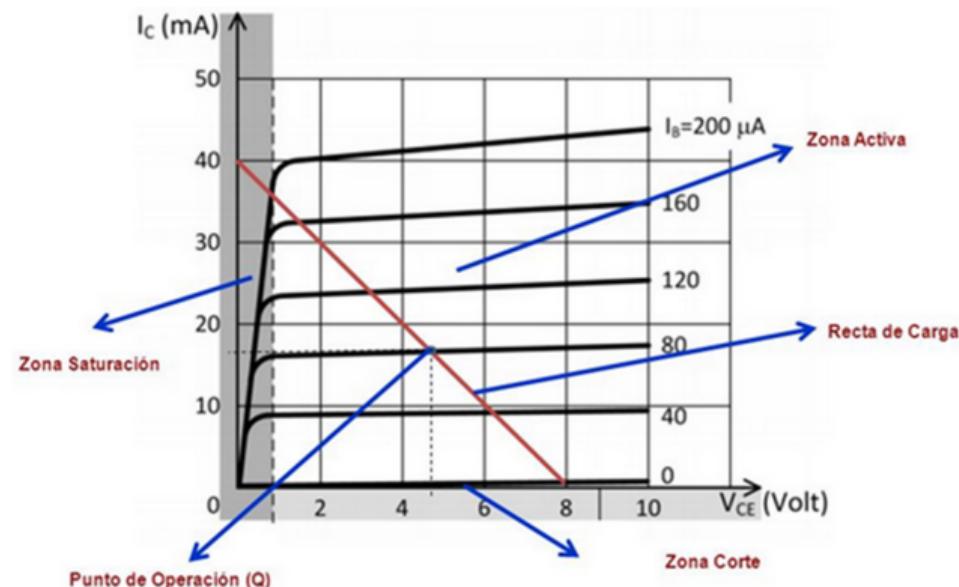


Figura 11: Curva característica de un transistor.

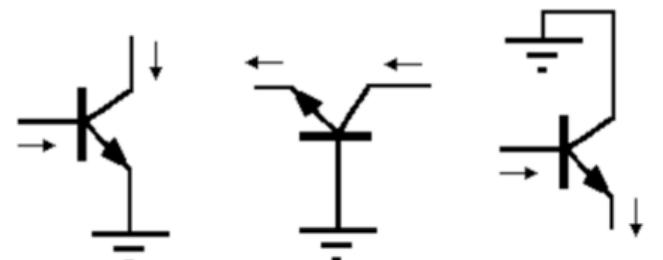
Configuraciones de los Transistores I

Dependiendo de cómo se conecten sus terminales en un circuito, los transistores bipolares pueden adoptar distintas configuraciones, cada una con características y aplicaciones específicas:

- **Emisor Común (EC)**: Es la configuración más utilizada en amplificadores, ya que proporciona una alta ganancia de corriente y potencia. Su impedancia de entrada es media y su impedancia de salida es alta, lo que la hace ideal para amplificación de señales pequeñas.
- **Base Común (BC)**: Se caracteriza por una baja impedancia de entrada y una alta impedancia de salida. Es utilizada principalmente en circuitos de radiofrecuencia, donde se requiere estabilidad y un ancho de banda más amplio. En esta configuración, la corriente de base no controla la corriente de colector directamente, sino que actúa como un paso intermedio.

Configuraciones de los Transistores II

- **Colector Común (CC) o Seguidor de Emisor:** Ofrece una ganancia de corriente alta pero una ganancia de voltaje cercana a la unidad. Se usa para adaptación de impedancias, ya que su impedancia de entrada es alta y su impedancia de salida es baja. Es común en circuitos de aislamiento de señales y buffers de potencia.



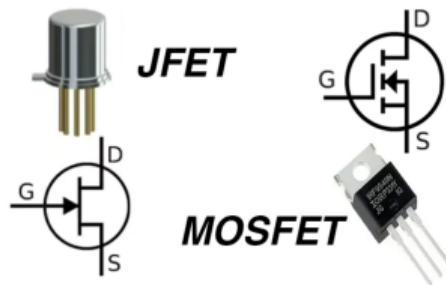
Emisor común Base común Colector común

Figura 12: Configuraciones básicas de los transistores bipolares.

Transistores de Efecto de Campo (FET) I

Los FET son transistores controlados por voltaje en lugar de corriente. Se destacan por:

- Alta impedancia de entrada, reduciendo el consumo de corriente.
- Uso en circuitos digitales y de alta frecuencia.
- Mayor eficiencia energética en comparación con los BJT.



- **JFET (Junction FET)**: Controlado por la unión PN.
- **MOSFET**: Utiliza una estructura aislada para mejorar la eficiencia.

Figura 13: Transistores FET.

Transistores IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor)

El **IGBT** combina las ventajas del BJT y MOSFET, logrando alta eficiencia en conmutación de potencia.

Características principales:

- Baja disipación de energía en conmutación.
- Alta velocidad de conmutación.
- Uso en inversores de potencia y control de motores.

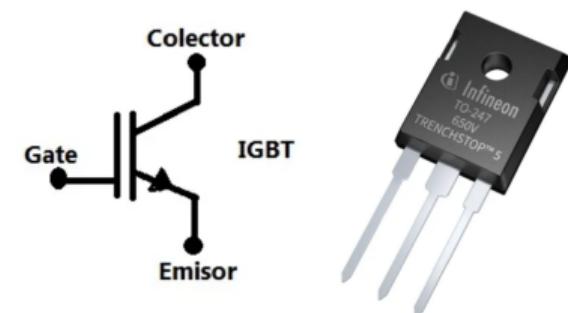


Figura 14: Transistor IGBT.

Transistores de Potencia

Se utilizan en aplicaciones que requieren manejar grandes corrientes y voltajes. Sus principales características incluyen:

- Mayor capacidad de disipación térmica.
- Encapsulados robustos para mejorar la transferencia de calor.
- Uso en fuentes de alimentación, inversores y control de motores.

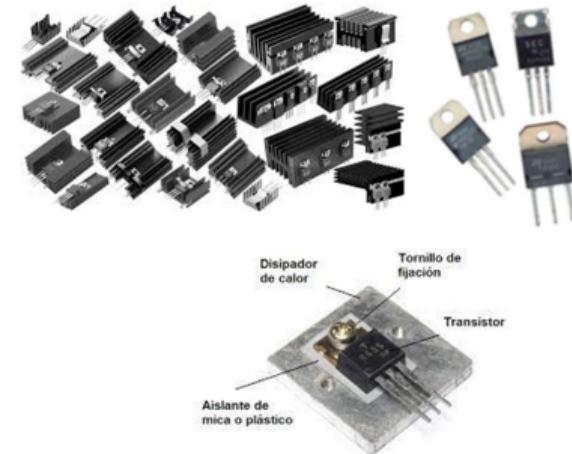


Figura 15: Ejemplo de transistores de potencia y sus disipadores térmicos.

Introducción a los Amplificadores Operacionales

Los amplificadores operacionales son dispositivos electrónicos activos diseñados para amplificar señales eléctricas con alta ganancia. Son esenciales en circuitos analógicos y tienen diversas aplicaciones en procesamiento de señales, instrumentación y electrónica de control.

- Son componentes versátiles utilizados en circuitos de amplificación, filtros y operaciones matemáticas.
- Se caracterizan por su alta impedancia de entrada y baja impedancia de salida.
- Tienen una ganancia diferencial extremadamente alta en lazo abierto.

Estructura Interna de un Amplificador Operacional I

Un amplificador operacional típico, como el 741, está compuesto internamente por varias etapas:

- **Etapa de entrada diferencial:** formada por un par de transistores diferenciales que permiten amplificar la diferencia entre las señales de entrada.
- **Etapa de ganancia:** encargada de amplificar la señal diferencial a niveles más altos.
- **Etapa de salida:** proporciona la señal amplificada con baja impedancia de salida.

Estructura Interna de un Amplificador Operacional II

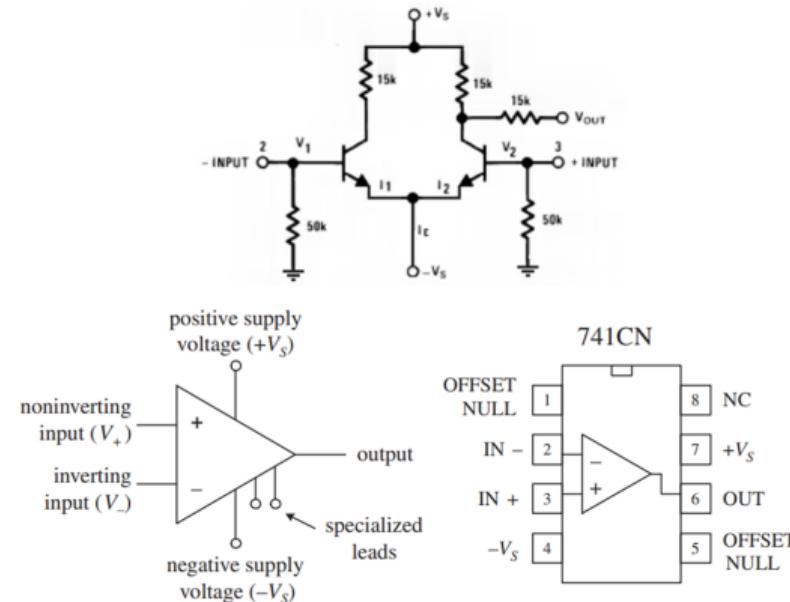


Figura 16: Diagrama de la estructura interna del amplificador operacional 741CN.

Principio de Funcionamiento

El funcionamiento del amplificador operacional se basa en la amplificación de la diferencia de voltaje entre sus dos entradas:

$$V_{\text{out}} = G \cdot (V^+ - V^-) \quad (1)$$

Donde:

- V^+ es la entrada no inversora.
- V^- es la entrada inversora.
- G es la ganancia en lazo abierto, que puede ser del orden de 10^5 o más.

Modos de Operación del Amplificador Operacional

Los amplificadores operacionales pueden trabajar en distintos modos dependiendo del tipo de realimentación utilizada:

- **Modo en lazo abierto:** se comporta como un comparador de voltajes.
- **Modo en lazo cerrado:** permite la estabilidad y control de la ganancia mediante realimentación negativa.

Configuraciones Básicas del Amplificador Operacional I

Existen diversas configuraciones de amplificadores operacionales, entre las más utilizadas se encuentran:

- **Seguidor de voltaje (buffer):** proporciona una ganancia de 1 y alta impedancia de entrada.

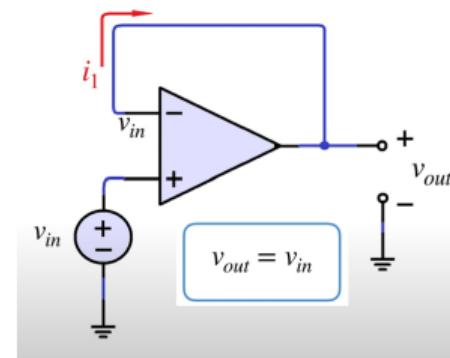


Figura 17: Seguidor de voltaje.

Configuraciones Básicas del Amplificador Operacional II

- **Amplificador inversor:** invierte la fase de la señal de entrada con una ganancia controlada por resistencias.

$$I_1 = \frac{V_{in} - V_-}{R_1} = \frac{V_{in} - 0\text{ V}}{R_1} = \frac{V_{in}}{R_1}$$

$$I_2 = \frac{V_{out} - V_-}{R_2} = \frac{V_{out} - 0\text{ V}}{R_2} = \frac{V_{out}}{R_2}$$

$$\text{Gain} = \frac{V_{out}}{V_{in}} = -\frac{R_2}{R_1}$$

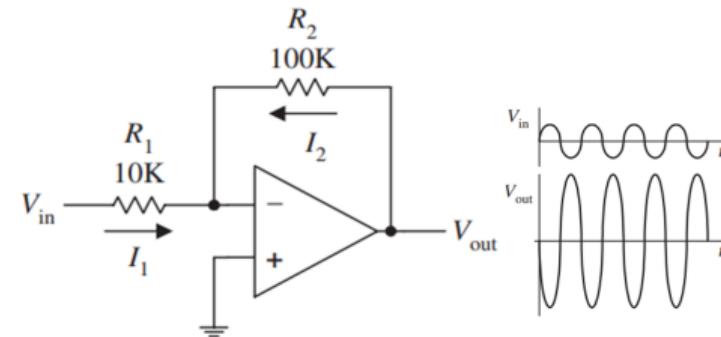


Figura 18: Amplificador inversor.

Configuraciones Básicas del Amplificador Operacional III

- **Amplificador no inversor:** mantiene la fase de la señal de entrada con una ganancia mayor a la unidad.

$$V_- = \frac{R_1}{R_1 + R_2} V_{\text{out}} = V_{\text{in}}$$

$$\text{Gain} = \frac{V_{\text{out}}}{V_{\text{in}}} = \frac{R_1 + R_2}{R_1} = 1 + \frac{R_2}{R_1}$$

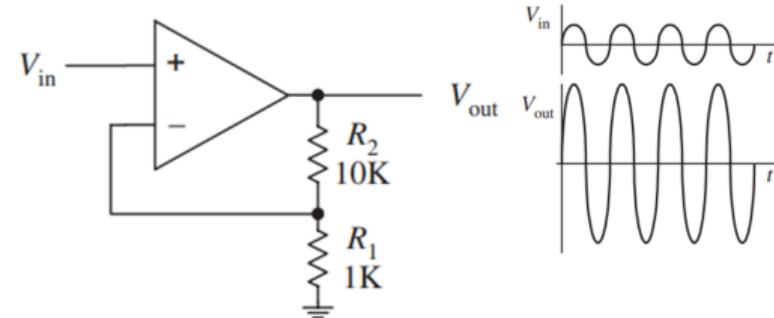


Figura 19: Amplificador no inversor.

Configuraciones Básicas del Amplificador Operacional IV

- **Amplificador Sumador:** es una aplicación del amplificador operacional en la que varias señales de entrada se suman con diferentes ponderaciones definidas por las resistencias del circuito.

$$I_1 = \frac{V_1 - V_-}{R_1} = \frac{V_1 - 0 \text{ V}}{R_1} = \frac{V_1}{R_1}$$

$$I_2 = \frac{V_2 - V_-}{R_2} = \frac{V_2 - 0 \text{ V}}{R_2} = \frac{V_2}{R_2}$$

$$I_3 = \frac{V_{\text{out}} - V_-}{R_3} = \frac{V_{\text{out}} - 0 \text{ V}}{R_3} = \frac{V_{\text{out}}}{R_3}$$

$$V_{\text{out}} = -\frac{R_3}{R_1}V_1 - \frac{R_3}{R_2}V_2 = -\left(\frac{R_3}{R_1}V_1 + \frac{R_3}{R_2}V_2 \right)$$

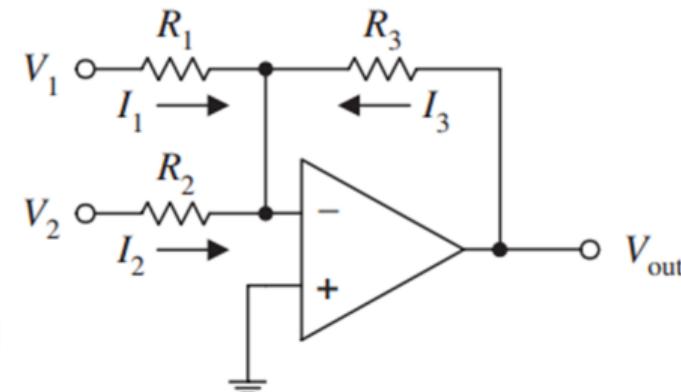


Figura 20: Amplificador Sumador

Configuraciones Básicas del Amplificador Operacional V

- **Amplificador diferencial:** El amplificador diferencial permite obtener la diferencia entre dos señales de entrada.

$$V_{\text{out}} = \frac{R_2}{R_1} (V_2 - V_1)$$

If you set $R_1 = R_2$, then $V_{\text{out}} = V_2 - V_1$.

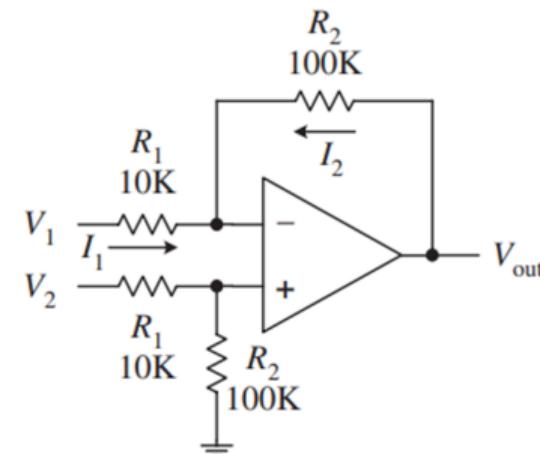


Figura 21: Amplificador diferencial.

Configuraciones Básicas del Amplificador Operacional VI

- **Amplificador integrador:** genera una salida proporcional a la integral de la señal de entrada.

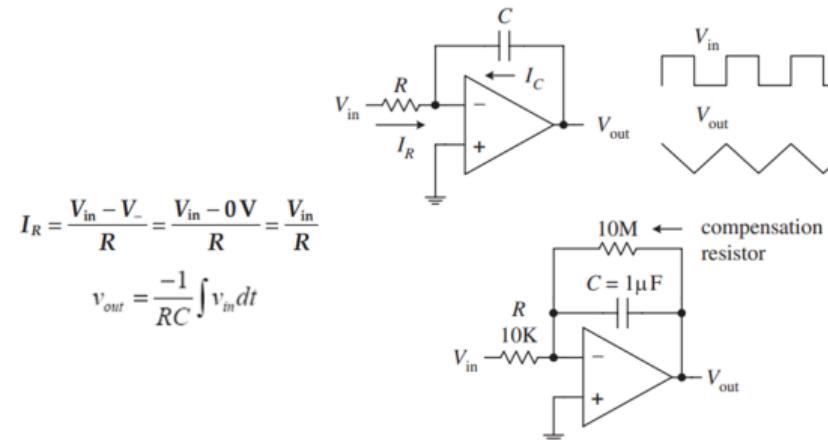
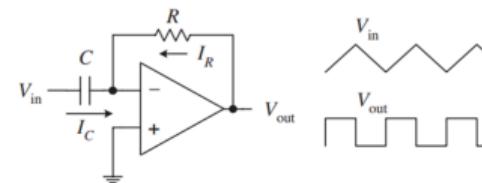


Figura 22: Amplificador integrador.

Configuraciones Básicas del Amplificador Operacional VII

- **Amplificador derivador:** proporciona una salida proporcional a la derivada de la señal de entrada.



$$I_R = \frac{V_{out} - V_-}{R} = \frac{V_{out} - 0\text{ V}}{R} = \frac{V_{out}}{R}$$

$$V_{out} = -RC \frac{dV_{in}}{dt}$$

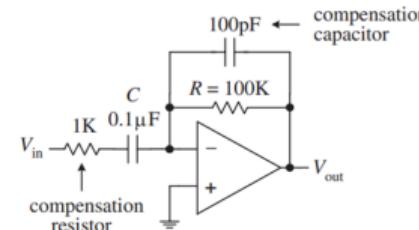


Figura 23: Amplificador derivador.

Aplicaciones de los Amplificadores Operacionales

Los amplificadores operacionales se utilizan en múltiples aplicaciones en electrónica analógica:

- **Filtros activos:** implementados en circuitos de audio y telecomunicaciones.
- **Osciladores:** generan señales periódicas mediante realimentación positiva.
- **Sumadores y restadores:** permiten realizar operaciones matemáticas con señales eléctricas.
- **Convertidores analógico-digital y digital-analógico:** fundamentales en sistemas de adquisición de datos.

Referencias I

- [1] P. Scherz y S. Monk, *Practical Electronics for Inventors*, 4th. McGraw-Hill Education TAB, 2016, ISBN: 978-1-25-958754-2.
- [2] A. Tamboli, *Build Your Own IoT Platform: Develop a Flexible and Scalable Internet of Things Platform*, 2nd. Apress, 2022, ISBN: 978-1-4842-8072-0.
- [3] D. R. Schmidt, *Arduino Curso completo 2^a Edición*. España: RA-MA S.A. Editorial y Publicaciones, 2022, ISBN: 978-84-19444-03-5.