

The background of the cover is a photograph showing various electronic components and breadboards. In the foreground, there are several breadboards with resistors and jumper wires connected. Some resistors are color-coded with bands. In the background, there are more breadboards, some with integrated circuits (ICs) and other components. The image is slightly blurred, giving a sense of depth and focus on the electronic work.

# ANÁLISIS DE CIRCUITOS ELÉCTRICOS CON DIODOS SEMICONDUCTORES Y TRANSISTORES BJT



Serie:  
**INGENIERÍAS**



**Guía Práctica**

# **ANÁLISIS DE CIRCUITOS ELÉCTRICOS CON DIODOS SEMICONDUCTORES Y TRANSISTORES BJT**

**Juan David Muñoz Sánchez**

Ingeniería Mecatrónica

Grupo de Investigación GISI

Semillero de Investigación en Mecatrónica

Calle 4 # 8-30  
Popayán, Colombia  
e-mail: [selloeditorial@unicomfacauc.edu.co](mailto:selloeditorial@unicomfacauc.edu.co)  
Teléfono: 57+(2) 8386000 Ext 148.  
[www.unicomfacauc.edu.co](http://www.unicomfacauc.edu.co)

**Colección:** Material docente  
**Serie:** Ingenierías

**Rectora:** Dra. Lina Uribe Correa  
**Edición académica y corrección de estilo:** Paola Martínez Acosta  
**Diseño de carátula:** Oscar Eduardo Chávarro Vargas  
**Diseño y diagramación:** Oscar Eduardo Chávarro Vargas  
**Editor General de Publicaciones:** Julio Eduardo Mejía Manzano

© Corporación Universitaria Comfacauc UNICOMFACAUC, 2023  
© Juan David Muñoz Sánchez

Primera edición en español  
Julio de 2023

**ISBN:** 978-628-95883-1-6

Texto financiado por la Corporación Universitaria Comfacauc-Unicomfacauc, en el marco de la convocatoria interna de Publicación de Material Docente, coordinada por la Dirección de Ciencia, Tecnología e Innovación.

Reservados todos los derechos. No se permite reproducir, almacenar en sistemas de recuperación de información, ni transmitir alguna parte de esta publicación, cualquiera que sea el medio empleado: electrónico, mecánico, fotocopia, etc., sin permiso previo de los titulares de los derechos de la propiedad intelectual.

# CONTENIDO

|    |                                                 |
|----|-------------------------------------------------|
| 11 | <b>Presentación</b>                             |
| 13 | <b>Introducción</b>                             |
| 15 | <b>Fundamentación teórica</b>                   |
| 18 | <b>Fundamentación Metodológica</b>              |
| 20 | El aprendizaje significativo.                   |
| 21 | El aprendizaje cooperativo                      |
| 21 | El aprendizaje basado en el diseño (ABD)        |
| 22 | El aprendizaje basado en problemas (ABP)        |
| 23 | <b>Metodología del proyecto</b>                 |
| 24 | <b>Fundamentación curricular y didáctica</b>    |
| 27 | <b>Capítulo 1</b>                               |
|    | <b>Teoría de los semiconductores</b>            |
| 27 | Materiales semiconductores                      |
| 31 | Procesos de conducción                          |
| 31 | Movilidad de los portadores de carga            |
| 33 | <b>Capítulo 2</b>                               |
|    | <b>Diodos semiconductores</b>                   |
| 33 | Diodo                                           |
| 35 | Curva característica del diodo semiconductor    |
| 37 | Tensión de umbral                               |
| 38 | Disipación de potencia del diodo semiconductor  |
| 39 | Diodo semiconductor ideal                       |
| 39 | Segunda aproximación del diodo semiconductor    |
| 40 | Tercera aproximación del diodo semiconductor    |
| 41 | Recta de carga del diodo y punto de operación Q |
| 41 | Ejercicios prácticos                            |
| 43 | Ejercicios de evaluación                        |

|    |                                                                |
|----|----------------------------------------------------------------|
| 45 | <b>Capítulo 3</b>                                              |
|    | <b>Aplicaciones de los diodos semiconductores</b>              |
| 45 | Rectificador de media onda                                     |
| 48 | Rectificador de onda completa                                  |
| 50 | Ejercicios prácticos                                           |
| 53 | <b>Capítulo 4</b>                                              |
|    | <b>Tipos de diodos</b>                                         |
| 53 | Diodo Zener                                                    |
| 56 | Regulador de tensión                                           |
| 57 | Diodo Emisor de Luz (LED)                                      |
| 58 | Ejercicios prácticos                                           |
| 59 | Ejercicios de evaluación                                       |
| 61 | <b>Capítulo 5</b>                                              |
|    | <b>Transistores</b>                                            |
| 61 | Estructura de un transistor NPN                                |
| 63 | Corrientes en el transistor                                    |
| 64 | Conexión en emisor común                                       |
| 65 | Curva característica y punto de operación del transistor       |
| 66 | Polarización del transistor                                    |
| 69 | Ejercicios prácticos                                           |
| 70 | Ejercicios de evaluación                                       |
| 71 | <b>Capítulo 6</b>                                              |
|    | <b>Aplicaciones de los transistores</b>                        |
| 71 | Modelos del transistor                                         |
| 73 | Condensadores de acoplo y desacoplo                            |
| 74 | Polarización en AC de amplificadores de tensión con transistor |
| 78 | Ejercicios prácticos                                           |
| 79 | Ejercicios de evaluación                                       |
| 80 | Glosario                                                       |
| 81 | Referencias                                                    |

## ÍNDICE DE CUADROS

|    |                                                            |
|----|------------------------------------------------------------|
| 31 | Tabla 1. Portadores de carga en materiales semiconductores |
|----|------------------------------------------------------------|

# ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

- 19 Ilustración 1. Metodología de la Clase Magistral Interactiva
- 23 Ilustración 2. Etapas del proyecto en el aula.

# ÍNDICE DE FIGURAS

- 28 Figura 1. Enlace covalente del átomo de silicio (Si) .
- 29 Figura 2. Niveles de energía de un material aislante, semiconductor y conductor
- 30 Figura 3 Material fabricado con átomos de silicio y con átomos de impureza de fósforo.
- 30 Figura 4. Material fabricado con átomos de silicio y con átomos de impureza de boro.
- 33 Figura 5. Diodo semiconductor a) Estructura del diodo; b) símbolo.
- 34 Figura 6. Tipos de polarización del diodo semiconductor. a) Polarización inversa; b) Polarización directa.
- 35 Figura 7. Curva característica y zonas de operación del diodo semiconductor.
- 36 Figura 8. Diodo polarizado directamente.
- 37 Figura 9. Circuito con dos diodos.
- 38 Figura 10. Curva característica de los diodos de silicio y germanio.
- 39 Figura 11. Diodo ideal. a) Curva característica del diodo ideal; b) Diodo ideal como interruptor.
- 40 Figura 12. Segunda aproximación del diodo semiconductor . a) Curva característica del diodo; b) Circuito equivalente para la segunda aproximación.
- 40 Figura 13. Tercera aproximación. a) Curva característica del diodo; b) Circuito equivalente para la tercera aproximación.
- 41 Figura 14. Recta de carga . a) Circuito; b) Punto Q de operación.
- 42 Figura 15.
- 43 Figura 16.
- 46 Figura 17. Rectificador de media onda . a) Señal de entrada; b) circuito; c) Señal de salida.
- 47 Figura 18. Rectificador de media onda con transformador

- 48 Figura 19. Rectificador de onda completa . a) Señal de  
entrada; b) Puente de diodos.
- 49 Figura 20. Señal de salida medida sobre R .
- 49 Figura 21. Rectificador de onda completa con transformador.
- 50 Figura 22.
- 51 Figura 23.
- 51 Figura 24.
- 54 Figura 25. Diodo Zener. a) Símbolo; b) Curva característica.
- 55 Figura 26. Circuito con diodo Zener. a) Polarización del  
diodo; b) Sustitución del diodo por circuito abierto.
- 55 Figura 27. Modelo equivalente del diodo Zener.
- 56 Figura 28. Diodo con resistencia interna.
- 57 Figura 29. Regulador de tensión.
- 57 Figura 30. Circuito con diodo LED.
- 58 Figura 31.
- 59 Figura 32.
- 62 Figura 33. Transistor NPN.
- 62 Figura 34. Polarización del transistor.
- 63 Figura 35. Corrientes en un transistor a) Flujo de  
electrones; b) Flujo convencional.
- 64 Figura 36. Conexión en emisor-común del transistor.
- 65 Figura 37. Curva característica del transistor.
- 66 Figura 38. Recta de carga del transistor.
- 67 Figura 39. Polarización de emisor.
- 67 Figura 40. Polarización del transistor con divisor de tensión.
- 68 Figura 41. Polarización del transistor en emisor con dos  
fuentes de emisor.
- 68 Figura 42. Polarización del transistor con realimentación  
de colector.
- 49 Figura 43. Polarización del transistor con realimentación  
de emisor y colector.
- Figura 44.
- Figura 45.
- 72 Figura 46. Modelo  $\pi$  del transistor.
- 72 Figura 47. Modelo T del transistor.
- 73 Figura 48. Amplificador de tensión con condensadores  
de acoplo y desacoplo.
- 74 Figura 49. Amplificador con polarización de base.
- 75 Figura 50. Amplificador con polarización de emisor y  
divisor de tensión.
- 76 Figura 51. Amplificador de tensión con polarización de  
emisor con dos fuentes de voltaje.
- 76 Figura 52. Modelo  $\pi$  del amplificador en emisor común.
- 77 Figura 53. Amplificador de dos cascadas.

# PRESENTACIÓN

A partir del contenido programático correspondiente a la asignatura electrónica análoga I del programa de Ingeniería Mecatrónica de la Corporación Universitaria Comfauca - Unicomfauca, se ha desarrollado este material de tal manera que se presenten las herramientas necesarias para el análisis de circuitos eléctricos con diodos y transistores, cuando se trabaja con señales DC y AC, siguiendo los lineamientos del objetivo principal de la asignatura en torno a introducir al estudiante en los modelos de circuitos analógicos formados por estos componentes electrónicos. En este sentido, dicho documento se ha dividido en seis capítulos que comprenden la teoría de semiconductores, diodos semiconductores y su estructura a partir de materiales tipo P y tipo N, aplicaciones de los diodos semiconductores, estudio del diodo Zener y LED, y la importancia de este primero en el diseño de fuentes reguladas, el estudio de los transistores, y sus aplicaciones en circuitos amplificadores de señal.

**Palabras clave:** Amplificadores de tensión, diodos semiconductores, transistores, señal analógica.



# INTRODUCCIÓN

El análisis y diseño de circuitos analógicos es una temática fundamental en la formación de los futuros ingenieros a fines con las ciencias de la electrónica, pues en conjunto con los circuitos digitales consolidan la base para comprender el funcionamiento de los distintos sistemas electrónicos y de telecomunicaciones que parte del uso cotidiano, destacándose su importancia gracias al creciente avance tecnológico y al interés de la industria en innovar.

El material docente dispuesto en este escrito, tiene la finalidad de apoyar el proceso de formación y la consolidación del conocimiento alrededor del estudio de la electrónica análoga, siguiendo los lineamientos de las temáticas planteadas en el contenido programático de la asignatura Electrónica Análoga I del programa de Ingeniería Mecatrónica de la Corporación Universitaria Comfacaucá – Unicomfacaucá. En ese sentido, el objetivo principal es el desarrollo de conocimientos en circuitos eléctricos basados en diodos y transistores, de tal manera que los estudiantes desarrollen habilidades y sienten bases tanto teóricas como prácticas en el análisis, diseño, simulación y construcción de circuitos que trabajan con señales analógicas, teniendo en cuenta el rol que cumplen estos dispositivos activos dentro de las aplicaciones más importantes de la electrónica en general.

Partiendo de lo anterior, el texto está organizado de tal manera que se abordan los conceptos principales que enmarcan el estudio de circuitos eléctricos analógicos. El documento, se ha dividido en seis capítulos: el primero está orientado al estudio de los materiales semiconductores, sus características físicas, las clases de materiales semiconductores y la manera como se disponen para la construcción de diodos y transistores; el segundo capítulo, trata sobre la estructura interna de los diodos, las clases de polarización, el estado de conducción y no conducción del diodo semiconductor, el análisis de circuitos con diodos y el análisis tanto de la curva característica como del punto de operación del diodo semiconductor. En el tercer

capítulo se abarcan las aplicaciones fundamentales de los diodos, en este caso, rectificadores de media onda y onda completa y su importancia en el diseño de fuentes reguladas. Así mismo, el cuarto capítulo comprende el estudio del diodo Zener, el análisis de circuitos a partir de los conceptos teóricos y su importancia en el diseño de fuentes reguladas. En el capítulo 5 se estudian los transistores, su estructura interna, la determinación de la curva característica y el punto de operación del transistor y las clases de polarización en DC a las que se puede someter un transistor. Finalmente, el capítulo 6 se enfoca en las aplicaciones del transistor, esto requiere el análisis para pequeña señal, la importancia de los condensadores de acoplo y desacoplo, los dos modelos del transistor, la ganancia en tensión en amplificador con transistores y todo lo que abarca el análisis en AC de un circuito amplificador de señal. Cabe mencionar que cada capítulo contiene ejercicios resueltos a partir de los conceptos estudiados para ser llevados a la práctica; además cuenta con ejercicios planteados para que los estudiantes pongan a prueba los conocimientos adquiridos por cada temática.



# FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

En general, la electrónica es uno de los pilares para los avances tecnológicos relacionados con el desarrollo de dispositivos electrónicos que cumplen un rol importante en múltiples aplicaciones que pueden ir desde la robótica y comunicaciones, hasta la biomédica (Krishnamoorthy, 2021), (Mohamed, 2021) (Kariyappa, 2019). En el caso de la electrónica analógica, una de sus ramas primordiales, sienta sus bases en el estudio de circuitos eléctricos, principalmente con diodos y transistores, teniendo en cuenta que estos elementos a su vez se fabrican a partir de materiales semiconductores que al día de hoy se siguen investigando para la producción de estos materiales a baja escala, es decir, la fabricación de diodos y transistores de baja dimensionalidad para aplicaciones futuras en circuitos integrados (Lee, 2019) (Jaimes, 2019).

Por ejemplo, un avance tecnológico evidente dado gracias a la electrónica es el desarrollo de teléfonos inteligentes; en un principio estos sistemas de comunicación se concibieron como aquellos dispositivos que utilizan el espectro electromagnético para comunicar en tiempo real a personas geográficamente dispersas; sin embargo, desde algunos años atrás estos dispositivos se han convertido en una minicomputadora que contiene todos los componentes principales de una computadora (Jaimes, 2019).

Otro ejemplo en el cual se evidencia la importancia de la electrónica analógica es un reproductor de audio, el cual convierte la información digital codificada de una canción en formato mp3, en su señal eléctrica analógica equivalente para excitar una bocina del reproductor. Como estos ejemplos hay diversas aplicaciones que resaltan la importancia de los circuitos que comprenden el estudio de señales analógicas (González-Vidal, 2022). En este caso los convertidores digital-analógicos (CDA) pueden ser aplicados como circuitos integrados monolíticos o como la etapa de entrada de circuitos electrónicos de tarjetas digitales (González-Vidal, 2022), es decir, las señales analógicas.

Por una parte, los diodos son dispositivos activos semi-conductores que a lo largo de los años se han utilizado en circuitos eléctricos analógicos para que presten funciones de compuertas lógicas, sujetadores o cambiadores de nivel; sin embargo, por sus características físicas, la aplicación más importante radica en la implementación de los diodos para la rectificación de señales, es decir, actúan como recortadores de media onda o de onda completa, dependiendo del tipo de polarización (directa o inversa) al que es sometido el diodo (Lee, 2019). En cuanto a los transistores, su uso consiste en aprovechar sus características de amplificador de señales, incluso para ser implementados en circuitos osciladores de alta frecuencia, componentes que se encuentran en diversos sistemas eléctricos, electrónicos y de telecomunicaciones, donde se tienen señales de audio, radio y microondas (Humood, 2020); además se han desarrollado circuitos electrónicos con resistencia diferencial negativa a partir de un arreglo de transistores y que se encuentran en dispositivos de memoria, multiplicadores de frecuencia, mezcladores, entre otros (Ulansky, 2019). Es por esto que tanto los diodos como los transistores constituyen las bases de la microelectrónica y nanoelectrónica moderna (Lee, 2019).

Actualmente, se ha introducido el término electrónica flexible, que consiste en fabricar transistores a partir de películas delgadas, con el fin de desarrollar circuitos electrónicos flexibles capaces de transmitir y recibir información de manera eficiente y que serían la base de los circuitos para el procesamiento de señales, condicionar parámetros de sensores, sistemas integrados en textiles, y todo lo relacionado con el internet de las cosas, a tal punto que sea posible la recopilación de información del cuerpo humano a través de sistemas electrónicos enfocados a la medicina para una atención médica inteligente y ubicua, es decir, la creación de una interfaz humano/máquina (Dai, 2021). Con la fabricación de este tipo de transistores, se hace posible el desarrollo y fabricación de diversos sistemas como pantallas flexibles (Matsui, 2019), etiquetas de identificación por radiofrecuencia (RFID) (Matsui, 2019), etiquetas inteligentes (Matsui, 2019) y una variedad de sensores portátiles para el cuidado de la salud, en fábricas, automóviles, de uso ambiental y agrícola (Matsui, 2019). Sin embargo, en este campo de la electrónica no solo los transistores cumplen un papel fundamental en este tipo de circuitos, también se tienen los microdiodos



de luz o uLED, con el fin de prestar las mismas funciones de un LED o LCD, con mejoras en cuanto a tono, contraste y brillo, además de un tiempo de respuesta rápido, alta eficiencia energética y estabilidad (Lee, 2019).

Por lo anterior, es necesario desarrollar conocimiento alrededor de la electrónica análoga desde las bases, es decir, comprender las diferencias entre las propiedades eléctricas de los materiales semiconductores, conductores y aislantes, además de la importancia que tienen este tipo de materiales para la fabricación de diodos y transistores. Así mismo, es pertinente estudiar las funciones que prestan estos dispositivos en el campo de la electrónica y a pesar que la electrónica análoga ha ido en avance y actualización, los principios fundamentales de funcionamiento de estos circuitos sigue siendo el mismo, motivo por el cual el análisis de circuitos eléctricos a base de diodos y transistores, es esencial para la comprensión de las funciones que prestan estos elementos en el campo de la electrónica y, como se vio anteriormente, que permiten resolver problemas de tipo tecnológico y son temas de actualidad científica y tecnológica. Todo esto necesario en la formación de futuros ingenieros en Mecatrónica de la Corporación Universitaria Comfacauca - Unicomfacauca para que se apropien de este campo de conocimiento. Sin la comprensión de los conocimientos base de circuitos eléctricos analógicos no es posible el avance de dispositivos novedosos como los mencionados anteriormente.

# FUNDAMENTACIÓN METODOLÓGICA

La fundamentación metodológica de este curso pretende dar la iniciativa al estudiante a desaprender la forma tradicional de aprendizaje arraigada por generaciones, en la cual se mantiene la jerarquía estudiante-profesor, la cual crea una dependencia de conocimientos impartidos por el docente que limita a los estudiantes de cualquier otra fuente de aprendizaje. En este esquema de aprendizaje “...los estudiantes pasan varios años estudiando el conocimiento teórico y sólo tras haber obtenido una cantidad suficiente del mismo, pueden empezar a aplicar la teoría a la práctica” (Clavert, 2014). Por tanto, se busca que los métodos de enseñanza y aprendizaje provean las bases a los estudiantes para desarrollar habilidades en los ambientes de trabajo que se caracterizan actualmente por su complejidad y multidisciplinariedad.

En forma general, la enseñanza y el aprendizaje de esta asignatura se fundamenta en las clases teóricas donde se exponen los principios conceptuales de la materia, se plantean problemas en el aula y se resuelven con ayuda del docente, y de las clases prácticas basadas en los laboratorios y la simulación de circuitos. También se cuenta con las tutorías las cuales permiten a los estudiantes aclarar dudas conceptuales y orientarlos en cuanto a la solución de problemas o talleres de repaso. Se proponen las clases tipo Magistral Interactiva o Clase Magistral bidireccional, la cual presenta generalmente la siguiente estructura metodológica (Cutipa, 2014):



## CLASE MAGISTRAL INTERACTIVA

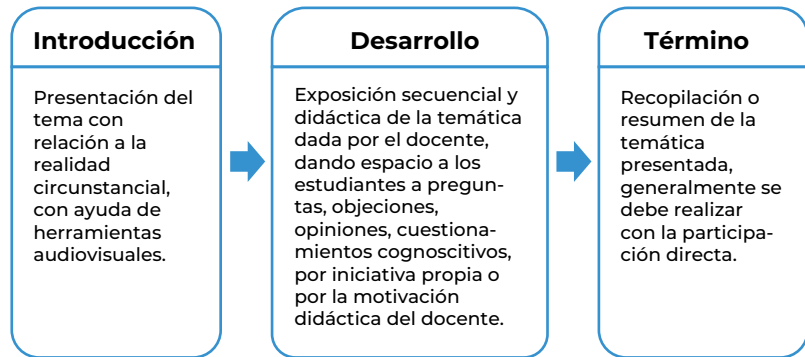


Ilustración 1. Metodología de la Clase Magistral Interactiva  
Fuente. Basada en Cutipa (2014)

En este aspecto, es importante observar cómo los estudiantes perciben, analizan y estructuran la información que reciben en su proceso de formación, puesto que no todos procesarán los conocimientos de la misma forma (Gómez, 2017), (Mendoza, 2014). De acuerdo al modelo de aprendizaje propuesto por David Kolb (), se distinguen cuatro estilos de aprendizaje: Convergente (teoriza, hábiles en tomar decisiones), Divergente (actúa, son hábiles en generar ideas), Asimilador (reflexiona, es hábil en ordenar y planificar) y Adaptador (experimenta, se desempeña muy bien en hacer tareas, son muy recursivos) (Villalba, 2014).

A continuación se propone la metodología para el desarrollo del curso, la cual busca abordar las distintas formas de aprendizaje y por tanto integra cuatro modelos de enseñanza: el Aprendizaje Significativo, Aprendizaje Cooperativo, Aprendizaje Basado en el Diseño y el Aprendizaje Basado en Problemas (Moreno, 2014), con los cuales se pretende cumplir los siguientes propósitos:

- ▶ Los estudiantes sean activos y autónomos para la generación de nuevos conocimientos de manera individual o grupal que conlleven a encontrar y debatir las diferentes soluciones adecuadas a un problema en particular, dando lugar al pensamiento reflexivo, crítico y creativo (Vera, 2021), (López, 2021), (Lozano-Ramírez, 2021).
- ▶ Los estudiantes trabajen activamente en la elaboración y evaluación de proyectos tecnológicos relacionados con el mundo real, tomando decisiones

orientadas a la solución apropiada de los problemas que conforman dicho proyecto (Zafra, 2020), (Abella, 2020).

- ▶ Los estudiantes adquieran la habilidad de trabajar en grupo para la búsqueda de soluciones a un problema o proyecto en el que haya un intercambio en los conocimientos que ayude a potenciar las habilidades cognitivas y la relación entre los estudiantes mediante el diálogo, reflexión, y participación que conlleven al aprendizaje social (Fernández, 2020), (Useche, s.f.), (Zurita, 2020), lo que permite la adquisición de competencias necesarias para la adecuada inserción del estudiantado en el mundo laboral.
- ▶ Los estudiantes tengan previo conocimiento sobre los temas a estudiar en las clases magistrales de tal manera que el aprendizaje sea activo, participativo y cooperativo (Fidalgo, 2020), (Abad, 2020).

## EL APRENDIZAJE SIGNIFICATIVO

Se fundamenta en la importancia que toma el estudiante como actor principal en el proceso de aprendizaje, en el cual construye su propio conocimiento a partir de la relación de los conceptos adquiridos, tomando criterio y dándoles sentido a partir de las bases que le proporciona el docente. Se basa en la estructura cognitiva, propuesta por David Ausubel (1963) influenciado por la teoría de Jean Piaget, “quien planteó su Teoría del Aprendizaje Significativo por Recepción, en la que cual señala que el aprendizaje ocurre cuando el material se presenta en su forma final y se relaciona con los conocimientos previos de los estudiantes” (Moncini, 2021).

Esta práctica permite desarrollar habilidades en el autoaprendizaje, construyendo nuevos conocimientos y fortaleciendo el aprendizaje proactivo y la participación de los estudiantes en actividades que le permitan intercambiar experiencias y opiniones con sus compañeros como a través del estudio de casos, la resolución de problemas, entre otras (Roa, 2021; Intriago, 2022).



## EL APRENDIZAJE COOPERATIVO

Se basa en la implementación didáctica de instrucciones para desarrollarlas en el aula en grupos reducidos de trabajo y lograr un objetivo en común, en el cual los estudiantes son responsables como grupo de su propio aprendizaje y de ejercer el rol que le corresponde a cada integrante para el cumplimiento de las funciones delegadas. Esto potencia el trabajo en equipo y permite el desarrollo de competencias como el pensamiento crítico y creativo, la colaboración, el autoaprendizaje, las competencias investigativas y la resolución de problemas (Hernández, 2021). El trabajo cooperativo integra principalmente los siguientes elementos: interdependencia positiva (claridad de los objetivos y funciones que debe desarrollar cada integrante), responsabilidad individual, participación igualitaria, interacción simultánea (habilidades de comunicación) (Pliego, 2011).

## EL APRENDIZAJE BASADO EN EL DISEÑO (ABD)

Es una estrategia de aprendizaje que permite que el estudiante fortalezca el pensamiento divergente a través del diseño de proyectos y resolución de problemas desde el escenario de la educación en tecnología. De esta forma el estudiante fortalecerá el autoaprendizaje, la creatividad o ingenio despertando la habilidad de generar diversas soluciones o ideas ante una situación problema. La propuesta didáctica que fomenta el pensamiento divergente se basa en las siguientes etapas (Clavert, 2014):

1. Identificar el problema
2. Investigar el problema
3. Desarrollo de posibles soluciones
4. Seleccionar la mejor solución
5. Construcción del prototipo
6. Probar y evaluar la solución
7. Rediseño y finalización.



# EL APRENDIZAJE BASADO EN PROBLEMAS

## (ABP)

Es un método didáctico y activo que consiste en presentar problemáticas reales de acuerdo al contexto, con el objetivo de poner en práctica el conocimiento enseñado. Aquí el estudiante debe analizar la situación problema y plantear, elegir o construir alternativas para la solución. Es importante mantener la motivación de los estudiantes y llevarlos a indagar áreas básicas de la profesión que estudian. El ABP permite que los estudiantes desarrollen habilidades como el razonamiento crítico, la interacción social y la metacognición para resolver problemas. Por tanto, es importante que el docente haga un adecuado planteamiento del problema, de acuerdo a la literatura debe considerar aquí, tres variables, a saber: Relevancia, Cobertura y Complejidad (Restrepo, 2005).

Como técnica educativa se propone el método del Aprendizaje basado en proyectos, el cual consiste en realizar una aplicación sencilla del tema a estudiar con el fin de incentivar al estudiante a analizar el enfoque del tema estudiado en su entorno y a que amplíe un poco la visión de la electrónica analógica y digital en la industria. La técnica busca que el estudiante potencie su pensamiento creativo e innovador para dar solución a una problemática haciendo uso de habilidades como el trabajo en equipo, la experimentación, indagación, autoaprendizaje, diseño de prototipado colectivo, pensamiento integrador y aprendizaje iterativo (Cruz, 2021). Para esto el docente expondrá un banco de proyectos con el fin de que los estudiantes elijan o propongan uno y busquen mejorar su funcionamiento o acondicionar el sistema para otra función.

El docente llevará el acompañamiento a los estudiantes durante el proyecto, motivándolos a desarrollar destreza en la práctica con el objetivo de fortalecer la capacidad de generar diversas ideas creativas para solución de problemas y desarrollar competencias en la implementación de diseño e innovación. La implementación de las técnicas de aprendizaje mencionadas permitirá que los estudiantes fortalezcan el ingenio, la creatividad, el trabajo en grupo, el sentido de responsabilidad individual y en equipo.



# METODOLOGÍA DEL PROYECTO

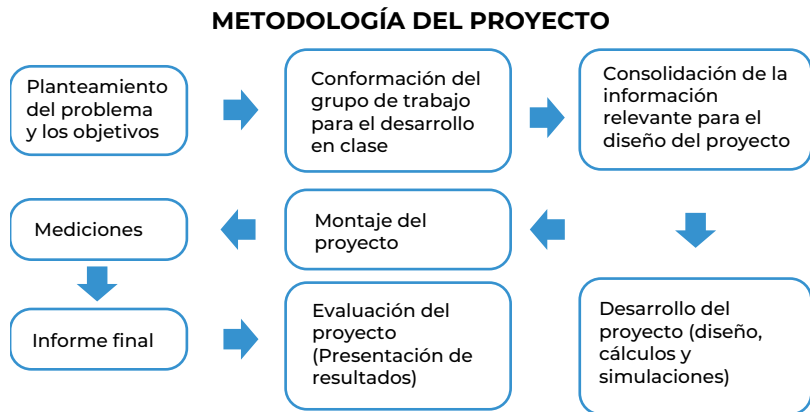


Ilustración 2. Etapas del proyecto en el aula.  
Fuente. Elaboración propia.

## Criterios de evaluación:

### 50% Conocimientos mínimos (individual)

Deben demostrarse los conocimientos mínimos a través de 3 pruebas objetivas individuales.

### 40% Proyecto

La calificación del proyecto es en base a los entregables:

- Documento de desarrollo
- Memoria de grupo 30% (calificación de grupo)
- Presentación oral 10% (calificación individual y de grupo)

### 10% Calificación actitudinal (individual)

Permite valorar participación, actitud, implicación en el trabajo en grupo, puntualidad, trato del material y respeto a sus compañeros.

# FUNDAMENTACIÓN CURRICULAR Y DIDÁCTICA

Anteriormente la estructura curricular se basaba en desarrollar conocimiento desde un enfoque exclusivamente teórico, lo que condujo a métodos de enseñanza-aprendizaje tradicionales e ignorar la parte práctica como un elemento complementario (Bernal, et al, 2018), es decir, lo relacionado con el saber hacer, aspecto relevante en la formación de profesionales en ingeniería. Esto implica darle un giro al concepto de la estructura curricular sobre el cual se planteen objetivos curriculares para la formación integral de profesionales, independientemente del campo de aplicación del ingeniero, donde dichos objetivos deben estar asociados a las características cambiantes del mercado laboral, como es mencionado por González (2018). Ahora, en este mismo artículo se menciona que, para lograr dicha formación integral del profesional, es necesario que su praxis se relacione con los siguientes tres elementos del ejercicio profesional:

- ▶ Descripción
- ▶ Interpretación
- ▶ Transformación

En ese sentido, dicho currículo debe ser un instrumento que permita tanto el crecimiento como el desarrollo íntegro individual y colectivo; por tanto, es conveniente potenciar el trabajo en equipo, de tal manera que las relaciones de ayuda mutua cada vez sean más sólidas dentro de la formación profesional (González, 2018). Por ello los procesos didácticos para la formación integral en ingeniería, como es mencionado en González (2018), debe sentar sus bases en el aprendizaje, no solo de contenidos conceptuales, sino también en aquellos que están relacionados con los procedimentales y actitudinales que ayuden al desarrollo personal y profesional del estudiante.

Un aspecto importante a tener en cuenta y que se puede considerar como parte del proceso de formación in-



tegral, en este caso de profesionales en ingeniería, es el pensamiento crítico (Lengua, 2020), el cual se puede obtener a partir de aptitudes y destrezas que adopten los estudiantes para la toma de decisiones, con el fin de llegar a la solución de un problema, haciendo uso de la reflexión y racionalidad. En este sentido, según Rodríguez (2018), el individuo toma la capacidad de utilizar sus conocimientos teóricos y prácticos para crear.

Ahora bien, de acuerdo con González (2018), la praxis de formación en ingeniería debe tener un enfoque alrededor de los siguientes aspectos:

- ▶ Diseño
- ▶ Automatización
- ▶ Modelamiento
- ▶ Simulación
- ▶ Experimentación

Desde ahí el futuro profesional en ingeniería tendrá en cuenta los alcances de sus competencias y habilidades adquiridas durante su proceso de formación, y el rol que cumplen los aspectos anteriormente mencionados en su desarrollo integral, ocupacional y social, prestando mayor atención a la aplicación de estrategias didáctico-pedagógicas que permitan alcanzar una formación integral desde los valores, relaciones interpersonales y trabajo en equipo, tal como lo menciona (González, 2018).

Con base en lo anterior, y tomando como base lo mencionado por Rodríguez (2018), la estructura curricular y didáctica para la enseñanza de la asignatura “electrónica análoga I”, debe estar encaminada al desarrollo de las habilidades técnicas de los futuros ingenieros mecatrónicos de la Corporación Universitaria Comfacauca - Unicomfacauca, para dar un paso hacia la formación integral, es decir que los conocimientos teóricos y prácticos sean complementarios en la formación de dichos profesionales, sin dejar de lado la responsabilidad social al crear nuevas tecnologías para el uso de la humanidad. Esto también implica incentivar los valores con que se deben formar los futuros ingenieros y la importancia de las buenas conductas y relaciones interpersonales para garantizar el trabajo en equipo.

Así mismo, es necesario implementar métodos didácticos dentro del proceso curricular encaminados al diseño, análisis, simulación y experimentación, como aquellas

herramientas esenciales para el desarrollo de las destrezas de los estudiantes, de tal manera que les permitan evaluar, por ejemplo, el correcto funcionamiento de todos los componentes que cumplen funciones específicas dentro de un circuito eléctrico analógico, como es el caso particular de los diodos y transistores. Además, en el marco de este proceso didáctico, se debe incentivar a los estudiantes en formación, que aplicaría a cualquier asignatura en curso, el desarrollo de las capacidades de autoaprendizaje para que cada individuo oriente, controle y evalúe las diferentes formas de obtener su propio conocimiento conscientemente e intencionada haciendo uso de distintas estrategias de aprendizaje para alcanzar el objetivo esperado (Quiroz, 2019).



# CAPÍTULO 1.

## TEORÍA DE LOS SEMICONDUCTORES

En este capítulo se aborda el estudio de la teoría de los semiconductores y la importancia en el diseño y construcción de dispositivos electrónicos como diodos y transistores. Se presentan definiciones propias de los materiales semiconductores desde el punto de vista de las propiedades eléctricas, que son la base de la producción de dispositivos electrónicos modernos que dieron lugar al avance de la electrónica moderna.

### MATERIALES SEMICONDUCTORES

Los circuitos eléctricos básicamente están compuestos por fuentes de voltaje, fuentes de corriente, resistencias, capacitores, inductores, etc., cuya conexión se realiza mediante conductores, como es el caso de un hilo metálico con diámetro y longitud definidos [F.E]. En cuanto a dispositivos activos, en un circuito pueden encontrarse otros componentes fabricados a partir de materiales semiconductores como los diodos y los transistores, que cumplen una función específica en el circuito que puede ir desde rectificadores hasta amplificadores de señal (Boylestad, s.f.).



Un material semiconductor presenta propiedades eléctricas que definen su funcionamiento entre las características de un dieléctrico y un conductor, es decir, su conductividad se localiza entre los extremos de un material aislante y un material conductor. Una característica importante en estos materiales está relacionada con el incremento del número de portadores de carga cuando se incrementa su temperatura y por tanto se consideran materiales con coeficiente de temperatura negativo (Boylestad, s.f.).

En la Figura 1 se muestra la estructura atómica de un material semiconductor a base de silicio, donde los electrones forman enlaces covalentes. Algunos de estos electrones que logran liberarse de este tipo de enlace y pueden moverse con facilidad dentro del mismo, se les llama “electrones libres” (Boylestad, s.f.).

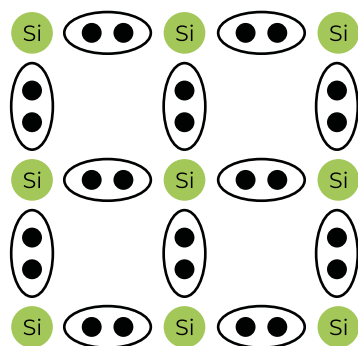


Figura 1. Enlace covalente del átomo de silicio (Si)  
Fuente. Boylestad (s.f)

Al igual que los conductores y aislantes, los semiconductores también cuentan con unos niveles de energía que explican el estado de conducción y no conducción de estos materiales; para ello, en la Figura 1.1 se ilustran y comparan los niveles de energía de estos tres tipos de materiales, en la cual se observa que un conductor tiene sus bandas de valencia y conducción prácticamente solapadas, es decir, un conductor no tiene una energía gap que limite el paso de los electrones de la banda de valencia a la banda de conducción, mientras que en un aislante esta energía tiene un valor considerablemente grande, impidiendo que los electrones de valencia pasen a la banda de



conducción. En el caso del semiconductor, se puede notar que presenta una energía gap que separa ambas bandas, sin embargo, dicho gap es muy pequeño en comparación al de un material aislante, y por tanto una vez se supere esa energía los electrones del material que se encuentran en la banda de valencia pueden pasar a la banda de conducción, es decir, el material semiconductor puede comportarse como un aislante o un conductor (Malvino, 1999).

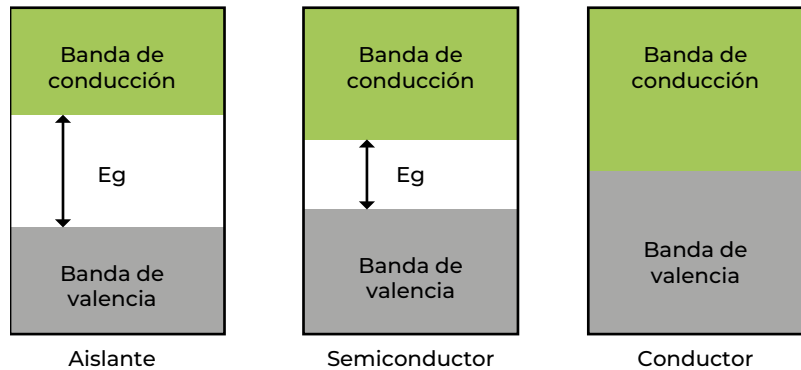


Figura 2. Niveles de energía de un material aislante, semiconductor y conductor  
Fuente: Boylestad (s.f)

Existen dos tipos de materiales: intrínsecos y extrínsecos; los primeros se caracterizan por estar fabricados con la mayor pureza posible, mientras que los segundos se han sometido a un proceso de “dopaje” para cambiar sus propiedades eléctricas, al añadir átomos de impureza trivalentes (elementos del grupo 3 de la tabla periódica) o pentavalentes (elementos del grupo 5 de la tabla periódica) (Malvino, 1999).

Cuando se añaden átomos de impureza a un material intrínseco, pueden ocurrir dos eventos: el primero, es el incremento de electrones en material, y el segundo, la formación de huecos, en otras palabras, al difundir átomos de impureza que cuentan con 5 electrones de valencia (donantes) se forma un material tipo N por el aumento de electrones en el material, mientras que al inyectar átomos de impureza que cuentan con 3 electrones de valencia (aceptores), se obtiene un material tipo P, por la formación de huecos (Malvino, 1999). En las Figuras 3 y 4 se muestra la estructura atómica de un material tipo N y tipo P, respectivamente.

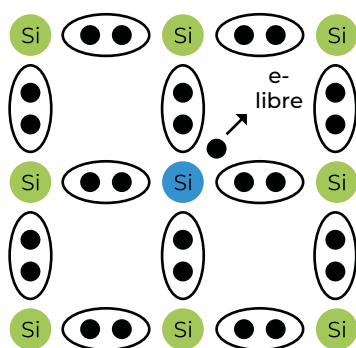


Figura 3 Material fabricado con átomos de silicio y con átomos de impureza de fósforo  
Fuente. Boylestad (s.f.).

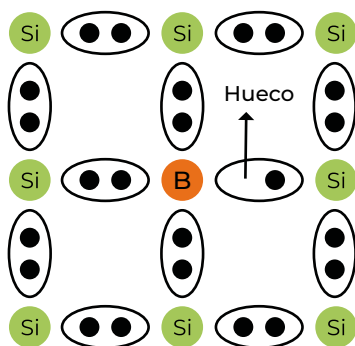


Figura 4. Material fabricado con átomos de silicio y con átomos de impureza de boro  
Fuente. Boylestad (s.f.).

En la Tabla 1 se presenta el número de portadores de carga intrínsecos para el silicio, germanio y arseniuro de galio.

**Tabla 1. Portadores de carga en materiales semiconductores**

| Semiconductor      | Portadores intrínsecos (por cm <sup>3</sup> ) |
|--------------------|-----------------------------------------------|
| Silicio            | $1.5 \times 10^{10}$                          |
| Germanio           | $2.5 \times 10^{13}$                          |
| Arseniuro de Galio | $1.7 \times 10^6$                             |

Fuente. Adoptado de Boylestad (s.f.).



## Procesos de conducción

A diferencia de un metal, un material semiconductor presenta más variaciones en el transporte de carga, debido a:

Generalmente poseen dos tipos de portadores de carga que se mueven en sentidos opuestos cuando se le aplica un campo eléctrico (Boylestad, s.f.) (Malvino, 199).

En un semiconductor puede haber fuertes variaciones locales en la concentración de portadores de carga, los cuales a su vez dan lugar a desplazamientos locales de carga a través de un mecanismo de difusión. Este mecanismo tiene una gran importancia en el funcionamiento de los diodos y los transistores (Boylestad, s.f.) (Malvino, 1999).

## Movilidad de los portadores de carga

Cuando los electrones y huecos se desplazan en el interior del material semiconductor sin que se presente una recombinación de ambos portadores de carga, es decir, que electrón no caiga en un hueco, a este desplazamiento se le conoce como movilidad de un portador de carga. Para esto se denota la movilidad de los electrones libres y huecos del material semiconductor como  $\mu_e$  y  $\mu_h$ , respectivamente, cumpliendo con la siguiente ecuación (Guerra, 2009):

$$\mu_e = 3\mu_h \quad (1.3.1)$$



# CAPÍTULO 2.

## DIODOS SEMICONDUCTORES

Este capítulo se centra en el análisis de circuitos analógicos basados en el diodo semiconductor a partir de los conceptos de diodo ideal, segunda y tercera aproximación. Para esto se presentan los tipos de polarización que definen el estado de conducción y no conducción del diodo y el análisis de la curva característica y el punto de operación del mismo.

### DIODO

El diodo se define como un dispositivo activo que es fabricado a partir de materiales semiconductores tipo P y tipo N unificados (Boylestad, s.f.), como se muestra en la Figura 5.

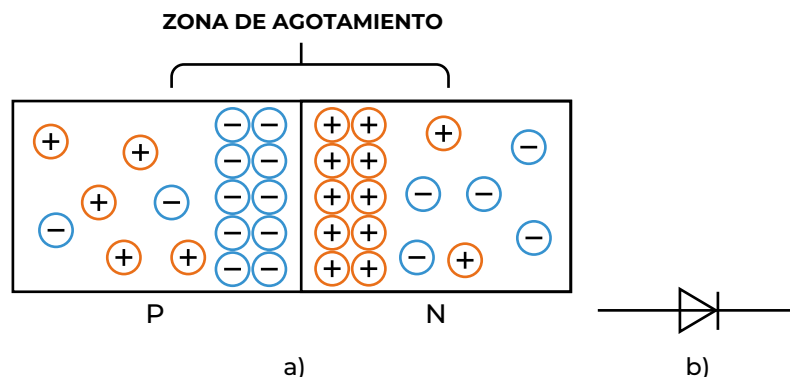


Figura 5. Diodo semiconductor a) Estructura del diodo; b) símbolo.  
Fuente. Tomado de Boylestad (s.f.).

Los estados de conducción y no conducción de un diodo semiconductor, están determinados según el tipo de polarización aplicada, en este caso, la dirección de la corriente convencional a través del diodo, determinan dichos estados (Malvino, 1999).

En la Figura 6, se muestran los dos tipos de polarización posibles en un diodo semiconductor.

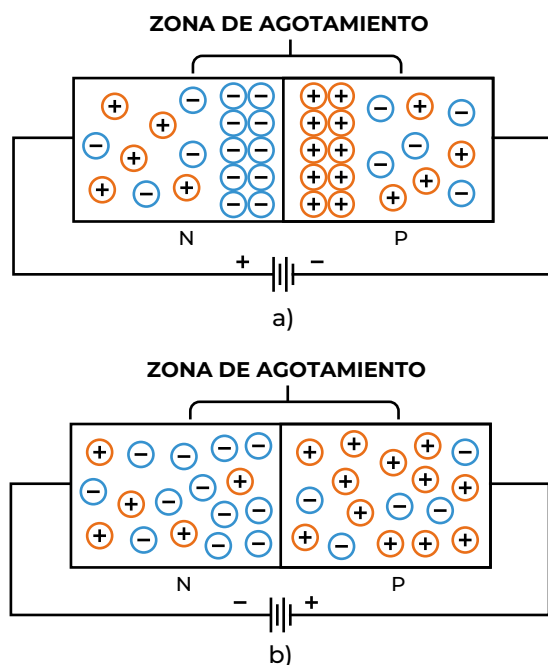


Figura 6. Tipos de polarización del diodo semiconductor a) Polarización inversa; b) Polarización directa.  
Fuente. Tomado de Boylestad (s.f.).

En la figura anterior se observa que, cuando se polariza inversamente el diodo semiconductor, la zona de agotamiento se hace más grande, generando un flujo neto de portadores de carga minoritarios; por lo tanto, el diodo semiconductor para estas condiciones se comporta como un circuito abierto, limitando la circulación de corriente. En el caso de la polarización directa, esta región de agotamiento se hace más pequeña, permitiendo el flujo de portadores de carga mayoritarios; en estas condiciones el diodo semiconductor se comporta como un circuito cerrado o cortocircuito, permitiendo la circulación de la corriente. En conclusión, un diodo semiconductor se encuentra polarizado

directamente cuando la terminal positiva y negativa de la fuente se conecta al material semiconductor tipo P y tipo N de dicho diodo, respectivamente (Boylestad, s.f.).

## CURVA CARACTERÍSTICA DEL DIODO SEMICONDUCTOR

El diodo semiconductor consta de tres zonas de operaciones principalmente (Figura 7), que dependen del tipo de polarización que se aplique a dicho dispositivo. En primer lugar, si el diodo se polariza inversamente, se crea una corriente de fuga que se extiende hasta llegar al voltaje Zener ( $V_z$ ). Si la tensión de inversa supera el valor del voltaje Zener, el diodo entra en la zona de disrupción, en la cual se genera una corriente de avalanche, averiando de esta manera el diodo (Boylestad, s.f.).

En segundo lugar, si el diodo se polariza directamente, pero la tensión aplicada es menor al voltaje umbral del mismo ( $V_o$ ), éste tiende a comportarse como un circuito abierto, por consiguiente entra en un estado de no conducción; en caso contrario, si la tensión aplicada supera el voltaje umbral del diodo, pasa a un estado de conducción entrando en su zona activa (Malvino, 1999), tal como se muestra en la Figura 7.

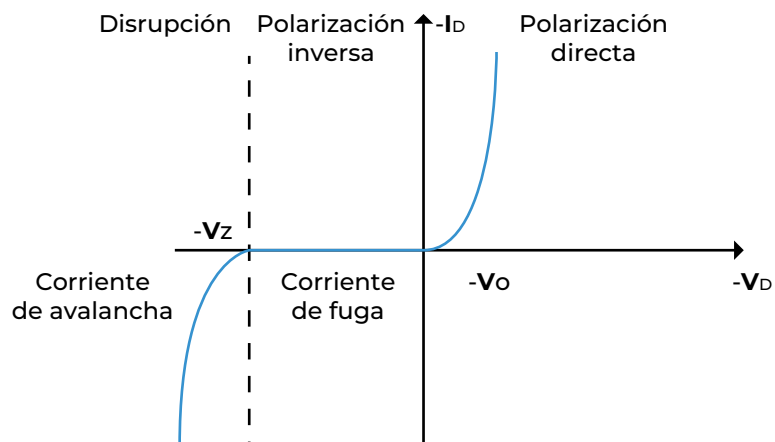


Figura 7. Curva característica y zonas de operación del diodo semiconductor

Fuente. Tomado de Malvino (1999)

Como ejemplo se propone el circuito de la Figura 8: el diodo se encuentra polarizado en directa, debido a que la terminal positiva de la batería  $V_s$  se conecta al material semiconductor tipo P del diodo a través de la resistencia  $R$  y el terminal negativo está conectado al material tipo N. Además, la dirección de la corriente convencional va de la terminal positiva a la negativa a través del diodo semiconductor (Malvino, 1999).

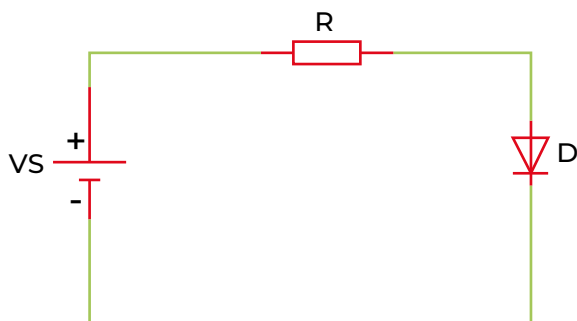


Figura 8. Diodo polarizado directamente  
Fuente. Tomado de Malvino (1999).

Partiendo de lo anterior, si el diodo está polarizado en directa, no aparece corriente que circule por el circuito hasta que la tensión en el diodo sea superior a la barrera de potencial (unión PN). Cuando el diodo está polarizado en inversa, la corriente inversa es muy pequeña hasta que la tensión del diodo alcanza la tensión de ruptura. Si la tensión de inversa es muy grande, el diodo se destruye (Malvino, 1999).

El circuito de la Figura 9 tiene dos diodos, como primer análisis, el objetivo es identificar la polarización de ambos diodos. La corriente convencional en el circuito circula en sentido de las manecillas del reloj dada por la fuente  $V_s$ , por consiguiente el diodo  $D_1$  se encuentra polarizado inversamente, porque la corriente fluye de la terminal negativa a la positiva en dicho diodo, mientras que el diodo  $D_2$  está polarizado en directa, ya que la corriente convencional atraviesa el diodo de la terminal positiva a la negativa (Malvino, 1999).



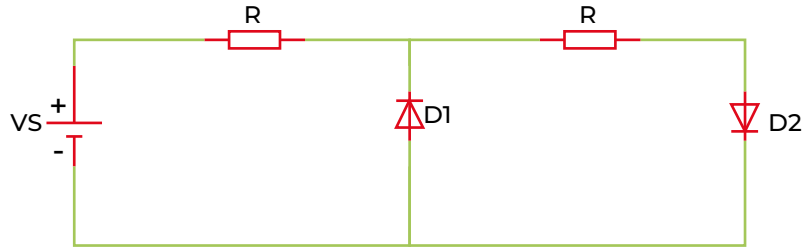


Figura 9. Circuito con dos diodos  
Fuente. Tomado de Malvino (1999).

Partiendo de la Figura 2.2, la región Zener del diodo semiconductor establece que:

- ▶ La energía cinética y la velocidad de los portadores minoritarios es grande, provocando el efecto de “ionización” (Boylestad, s.f.).
- ▶ Al ocurrir la corriente de avalancha, se establece la ruptura de avalancha (Boylestad, s.f.).
- ▶ Cuando el voltaje Zener disminuye se produce ruptura Zener (Boylestad, s.f.).

A pesar de que la región Zener debe evitarse en los diodos semiconductores, existen dispositivos llamados “diodos Zener” de uso específico que operan dentro de esta región, el cual se analizará en capítulos posteriores.

## TENSIÓN DE UMBRAL

En la zona directa, la tensión de umbral (igual a la barrera de potencial), es aquella donde la corriente del diodo comienza a incrementarse. Para el diodo de silicio (Si), la tensión de umbral es aproximadamente 0.7 V y en el diodo de germanio (Ge), la tensión de umbral es aproximadamente 0.3 V (Malvino, 1999).

En la Figura 10 se presentan las curvas características para el diodo de silicio y germanio.

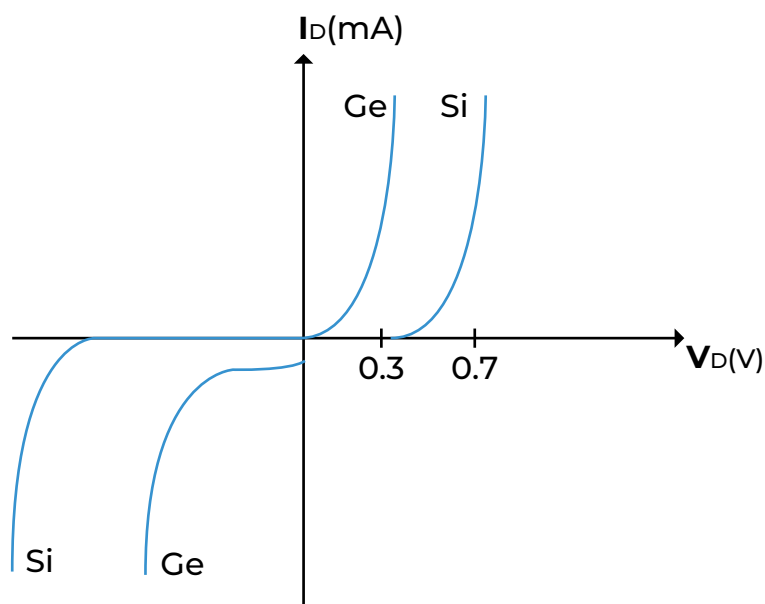


Figura 10. Curva característica de los diodos de silicio y germanio  
Fuente. Tomado de Boylestad (s.f.).

## DISIPACIÓN DE POTENCIA DEL DIODO SEMICONDUCTOR

Un diodo semiconductor como cualquier otro dispositivo electrónico, disipará potencia ( $P_D$ ), la cual se determina a partir de la Ecuación 2.4.1:

$$P_D = V_D \cdot I_D \quad (2.4.1)$$

dónde  $V_D$  es la tensión e  $I_D$  la corriente del diodo, respectivamente.



## DIODO SEMICONDUCTOR IDEAL

Básicamente el diodo semiconductor se considera, en una primera aproximación, como ideal, es decir, se comporta como un conductor perfecto en polarización directa (resistencia cero) y como aislante perfecto en polarización inversa (resistencia infinita) (Malvino, 1999).

En la Figura 11 se presenta la curva característica del diodo ideal y su función como interruptor.

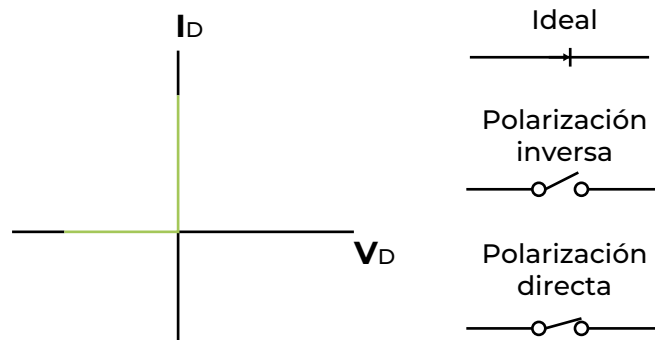


Figura 11. Diodo ideal. a) Curva característica del diodo ideal; b) Diodo ideal como interruptor.  
Fuente. Tomado de Malvino (1999)

## SEGUNDA APROXIMACIÓN DEL DIODO SEMICONDUCTOR

La segunda aproximación del diodo consiste en tener en cuenta la tensión de umbral del diodo, para el silicio en este caso. Esta tensión tiene un valor de 0.7 V, es decir, cuando el diodo se polariza directamente con un voltaje menor a 0.7 V, el diodo entra en un estado de no conducción. Con un voltaje de polarización directa mayor a 0.7 V, inmediatamente aparece una corriente que lo atraviesa, entrando de esta manera en la zona activa (Malvino, 1999).

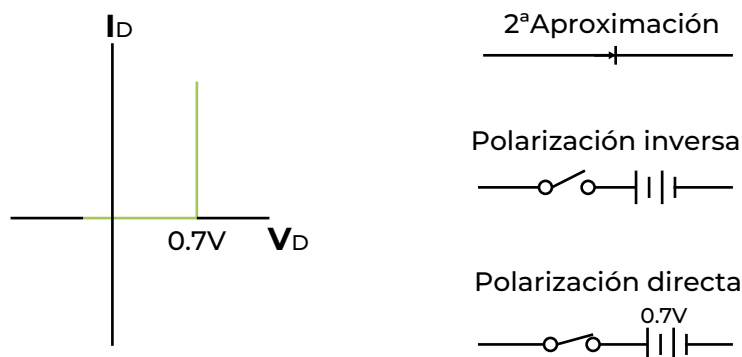


Figura 12. Segunda aproximación del diodo semiconductor. a) Curva característica del diodo; b) Circuito equivalente para la segunda aproximación.  
Fuente. Malvino (1999).

## TERCERA APROXIMACIÓN DEL DIODO SEMICONDUCTOR

Para el análisis de circuitos utilizando la tercera aproximación del diodo, se toma en cuenta su resistencia interna (). Cuando el diodo entra en el estado de conducción, su tensión aumenta proporcionalmente a medida que se incrementa la corriente, es decir, cuanto mayor sea la corriente, mayor será la tensión del diodo, debido al voltaje que cae en dicha resistencia interna (Malvino, 1999).

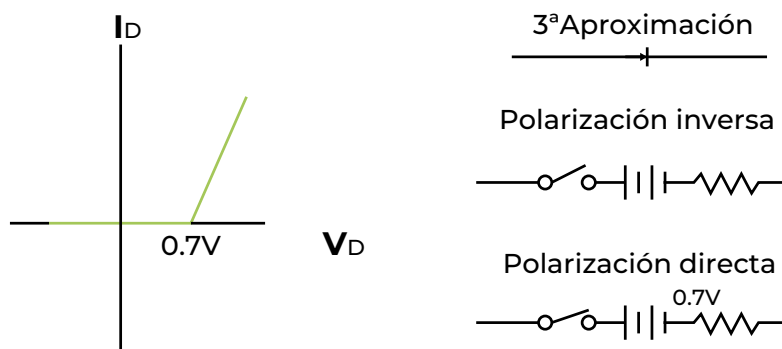


Figura 13. Tercera aproximación. a) Curva característica del diodo; b) Circuito equivalente para la tercera aproximación.  
Fuente. Tomado de Malvino (1999)



El voltaje del diodo considerando la tercera aproximación se calcula mediante la Ecuación 2.7.1.

$$V_D = 0,7 + I_D R_D \quad (2.7.1)$$

## RECTA DE CARGA DEL DIODO Y PUNTO DE OPERACIÓN Q

Una herramienta importante para conocer el valor de la corriente y la tensión del diodo es la recta de carga. Al plantear las ecuaciones para el circuito de la Figura 14, se tiene que la corriente del diodo está dada por la Ecuación 2.8.1,

$$I_D = \frac{(V_S - V_D)}{R} \quad (2.8.1)$$

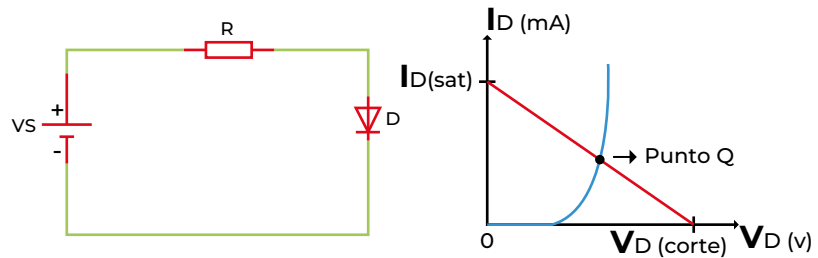


Figura 14. Recta de carga. a) Circuito; b) Punto Q de operación. Fuente. Tomado de Boylestad (s.f)

Es de tener en cuenta que el punto Q de operación es el único punto en el cual funcionan el diodo y el circuito conjuntamente.

## EJERCICIOS PRÁCTICOS

1. Determinar la tensión y corriente en la resistencia de carga  $R_L$ , para los circuitos de la Figura 15, utilizando la aproximación de diodo ideal, segunda aproximación y tercera aproximación del diodo

(considerando una resistencia interna del diodo igual a  $0.23 \Omega$ ), para el diodo de silicio. Calcular la potencia de disipación del diodo en los tres casos (Malvino, 1999).

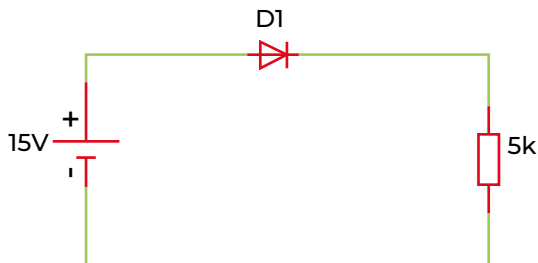


Figura 15  
Fuente. Tomado de Malvino (1999).

## Solución

### 1. Ideal

$$V_L = 15V$$

$$I_L = \frac{15V}{5K\Omega} = 3mA$$

$$P_D = V_D * I_D = 0 W$$

### 2. Segunda aproximación

$$V_L = 15V - 0.7V = 14.3V$$

$$I_L = \frac{15V - 0.7V}{5K\Omega} = 2.86 mA$$

$$P_D = V_D * I_D = 2 mW$$

### 3. Tercera aproximación

$$I_L = \frac{15V - 0.7V}{5000\Omega + 0.23\Omega} = 2.859 mA$$

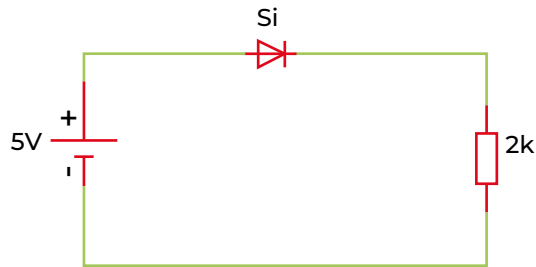
$$V_L = 15V - 6.57 \times 10^{-4} - 0.7V = 14.29V$$

$$P_D = V_D * I_D = 2 mW$$

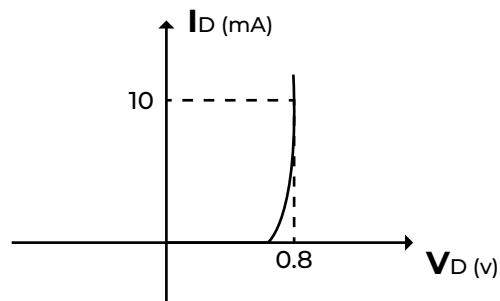


## EJERCICIOS DE EVALUACIÓN

1. Determinar el punto Q de operación del diodo con base en la curva característica presentada en la Figura 16. Calcular la tensión sobre la resistencia de carga  $R_L$  (Boylestad, s.f.).



a)



b)

Figura 16.  
Fuente. Tomado de Boylestad (s.f.).



# CAPÍTULO 3.

## APLICACIONES DE LOS DIODOS SEMICONDUCTORES

Este capítulo se enfoca en el análisis AC de circuitos analógicos compuestos por diodos semiconductores, con el objetivo de presentar las aplicaciones más importantes de dichos elementos electrónicos activo y el rol que cumplen en el desarrollo de la electrónica moderna. Cabe mencionar que, para simplificar el proceso de análisis de estos circuitos, se utilizará el modelo de diodo ideal.

### RECTIFICADOR DE MEDIA ONDA

En el capítulo anterior se analizó el comportamiento del diodo semiconductor cuando se polariza en DC. Ahora, el análisis en AC implica tener en cuenta la polarización del diodo (directa o inversa), a medida que el voltaje de entrada pasa por el ciclo positivo y negativo. Observemos el circuito de la Figura 17.a, que representa un circuito en AC para un diodo semiconductor; para fines prácticos, usaremos la aproximación del diodo ideal. Supongamos que la señal aplicada al diodo tiene la forma de onda de la Figura 17.b, en este caso los ciclos positivos polarizan de forma directa al diodo semiconductor, comportándose como un corto circuito, mientras que los ciclos negativos

lo polarizan en forma inversa, haciendo que el diodo entre en el estado de no conducción, y por tanto se comporta como un circuito abierto (Boylestad, s.f.).

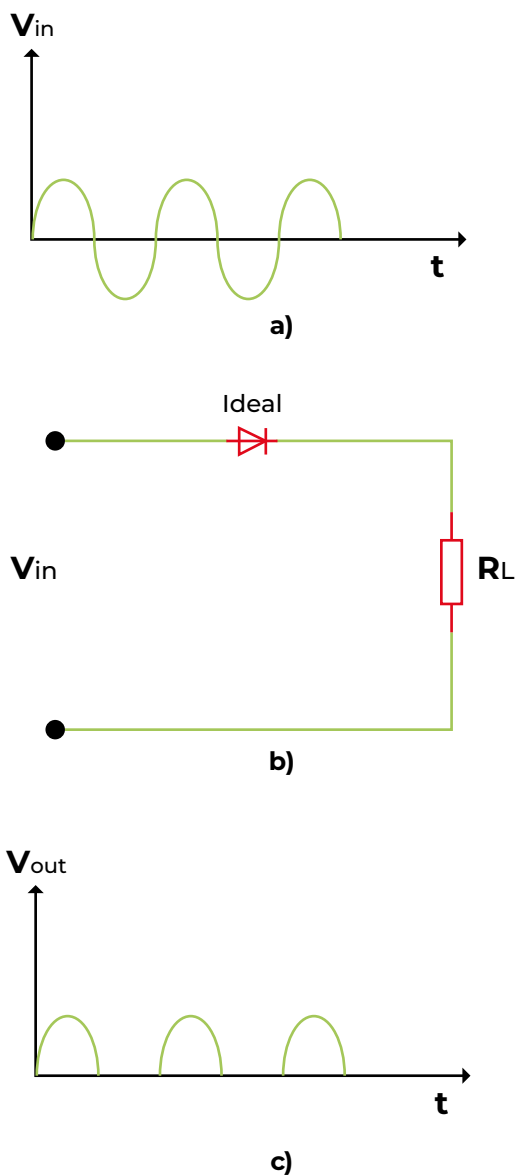


Figura 17. Rectificador de media onda. a) Señal de entrada; b) Circuito; c) Señal de salida.  
Fuente. Tomado de Malvino (1999)



Con base en lo anterior, la tensión de salida medida sobre la resistencia, no toma en cuenta los ciclos negativos de la señal de entrada como se muestra en la Figura 17.c, obteniéndose un recorte de media onda, aplicación conocida como rectificador de media onda (Boylestad, s.f.).

Para el caso ideal, la tensión de salida de pico está dada por la Ecuación 3.1.1,

$$V_{(p(out))} = V_{(p(in))} \quad (3.1.1)$$

Utilizando la segunda aproximación del diodo la tensión de salida de pico se calcula mediante la Ecuación 3.1.2,

$$V_{(p(out))} = V_{(p(in))} - 0.7V \quad (3.1.2)$$

Para ambos casos la frecuencia de entrada y salida son iguales, es decir, . Partiendo de lo anterior, se tiene un valor de continua de una señal de media onda (Malvino, 1999).

Otra forma de conseguir una rectificación de media onda es a través de un transformador como el que se muestra en la Figura 18,

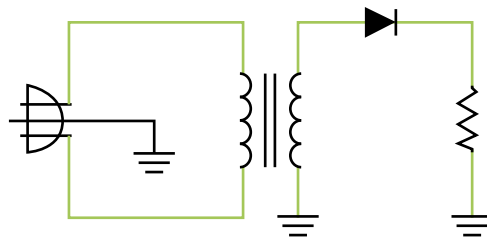


Figura 18. Rectificador de media onda con transformador  
Fuente. Tomado de Malvino (1999).

La tensión obtenida en el secundario del transformador está dada por la Ecuación 3.1.3,

$$V_2 = \frac{V_1}{N_1/N_2} \quad (3.1.3)$$

dónde  $N_1/N_2$ , es la relación de espiras del transformador.

## RECTIFICADOR DE ONDA COMPLETA

El rectificador de onda completa en su configuración básica se consigue a través de un puente de diodos como el que se muestra en la Figura 19. Este puente está compuesto por cuatro diodos ( $D1$ ,  $D2$ ,  $D3$  y  $D4$ ) y dependiendo del ciclo de la señal, polariza en inversa o en directa cada diodo semiconductor. Es decir, cuando la señal de entrada se encuentra en el periodo  $t=0$  a  $t=T/2$  (ciclo positivo de la señal), los diodos  $D2$  y  $D3$  se encuentran polarizados en directa y por lo tanto conducen, mientras que los diodos  $D1$  y  $D4$  se comportan como un circuito abierto. En el caso contrario, cuando el periodo de la señal va de  $t=T/2$  a  $T$ , los diodos  $D1$  y  $D4$  están polarizados de manera directa, por lo tanto entran en estado de conducción, mientras que los diodos  $D2$  y  $D3$  se encuentran polarizados en inversa, lo que conlleva a un estado de apagado (Boylestad, s.f.).

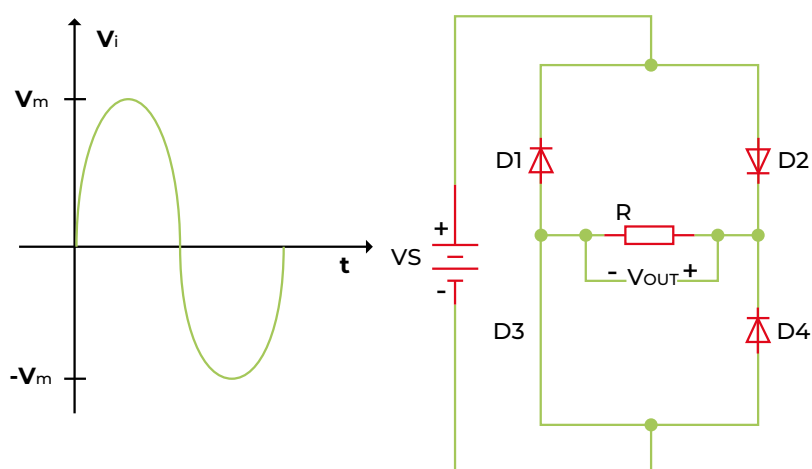


Figura 19.  
Fuente. Tomado de Malvino (1999)

La tensión  $V_o$  medida sobre la resistencia  $R$  da como resultado la señal de salida que se muestra en la Figura 20. Como se puede observar, la resultante es una señal pulsante continua, en otras palabras, el rectificador de onda completa es equivalente a tener interconectados



dos rectificadores de media onda (Malvino, 1999).

La frecuencia de salida en el rectificador de onda completa será el doble de la frecuencia de la señal de entrada,

$$f_{out}=2f_{in} \quad (3.2.1)$$

En este sentido, la tensión de DC de una señal de onda completa está dada por la Ecuación 3.2.2.

$$V_{dc}=0.636V_p \quad (3.2.2)$$

La ecuación anterior indica que la tensión DC de una señal de rectificación de onda completa es el doble que la obtenida para una rectificación de media onda.

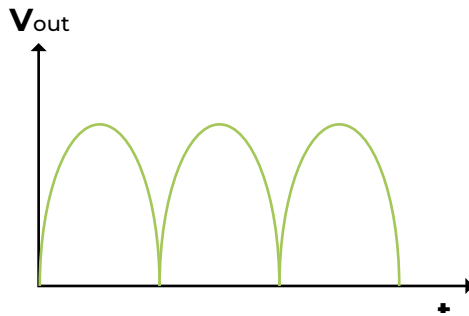


Figura 20. Señal de salida medida sobre R Fuente. Tomado de Malvino (1999).

Como en el caso anterior (rectificador de media onda), el puente de diodos puede estar acompañado de un transformador como el que se muestra en la Figura 21.

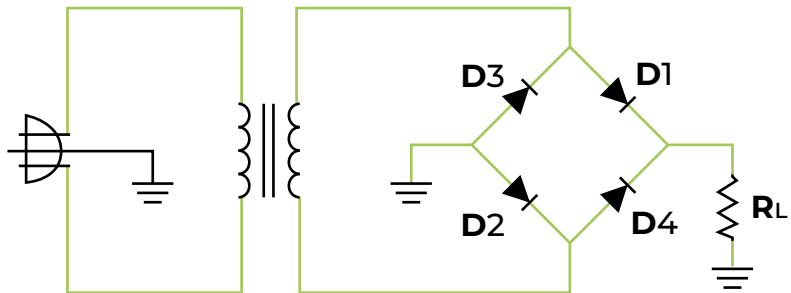


Figura 21. Rectificador de onda completa con transformador Fuente. Tomado de Malvino (1999).

## EJERCICIOS PRÁCTICOS

1. Para el circuito de la Figura 22, dibujar la salida  $V_o$  y determinar el nivel DC de la salida, para el diodo ideal.

### Solución

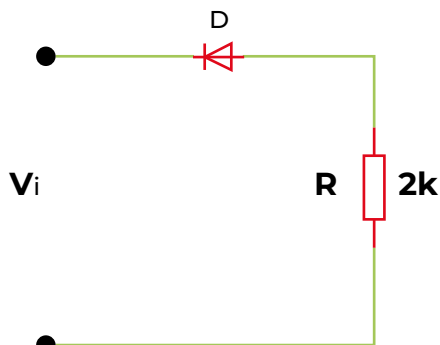
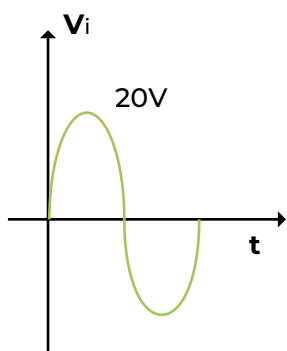
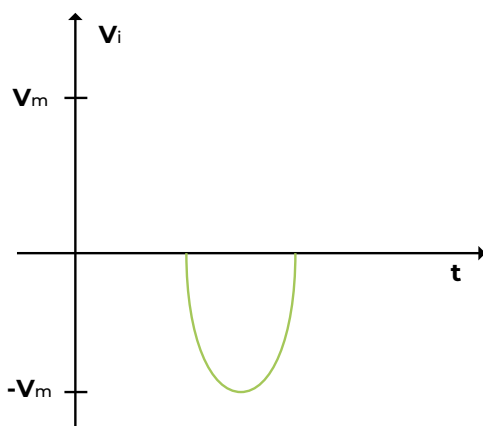


Figura 22.

Fuente. Tomado de Boylestad (s.f.).

En el ciclo positivo de la señal de entrada, el diodo se encuentra polarizado en inversa, por consiguiente se tiene un circuito abierto y la tensión de salida es cero. En el ciclo negativo de la señal de entrada, el diodo se encuentra polarizado en directa, por lo tanto la tensión de salida es igual al voltaje que cae en la resistencia que a su vez es la tensión de entrada, obteniéndose la siguiente señal de salida:



$$V_{dc} \approx 0.318 \quad V_p = 0.318 \quad 20 \text{ V} = 6.36 \text{ V}$$



2. Determinar  $V_o$  para la red de la Figura 23.

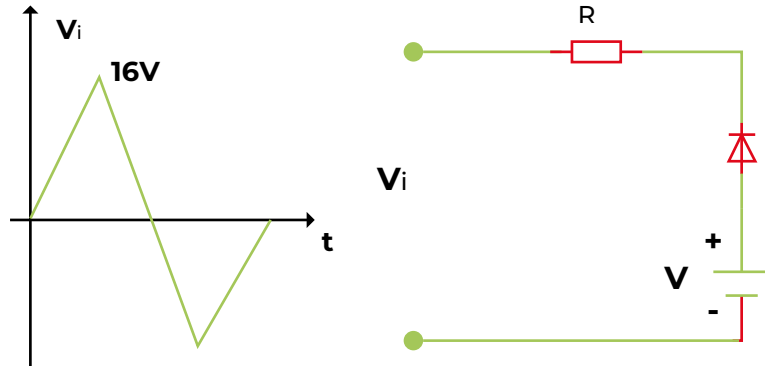


Figura 23.  
Fuente. Tomado de Boylestad (s.f.).

### Solución

En el ciclo positivo de la señal de entrada, el diodo se encuentra polarizado en inversa, entonces la tensión de salida es igual a la señal de entrada, porque el circuito queda abierto; mientras que, en el ciclo negativo de la señal de entrada, el diodo se encuentra polarizado en directa, por consiguiente la tensión de salida es igual a  $V$ . Ahora, cuando  $V$  es mayor que  $V_i$ , el diodo está polarizado en directa, es decir, se presenta el mismo caso anterior. La señal de salida es:

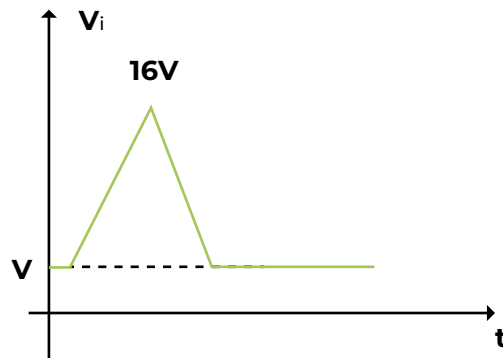


Figura 24.  
Fuente. Tomado de Boylestad (s.f.).



# CAPÍTULO 4.

## TIPOS DE DIODOS

En este capítulo se presentan otros tipos de diodos con funciones específicas en un circuito eléctrico analógico, también se muestra el proceso de análisis de estos circuitos y sus aplicaciones. En este caso, se estudiará el diodo Zener, la región sobre la cual opera y su importancia en el diseño de fuentes reguladas de tensión. Por otra parte, se estudia las características del diodo emisor de luz (LED) y su función en electrónica.

### DIODO ZENER

El diodo Zener es un dispositivo fundamental en el diseño de reguladores de tensión, debido a que mantienen la tensión de salida casi constante, independientemente de las variaciones en la tensión de la red y de la resistencia de carga. La característica fundamental de los diodos Zener es su operación sobre la zona de ruptura (Boylestad, s.f.).



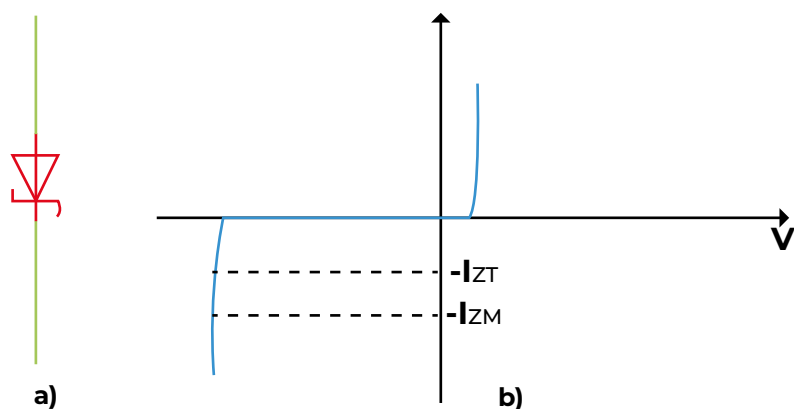
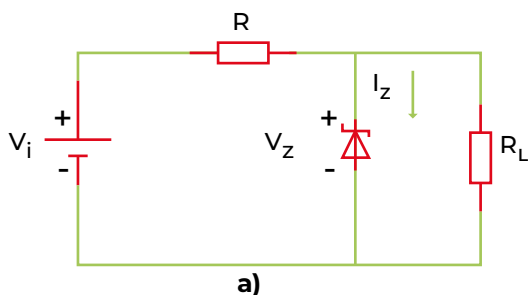


Figura 25. Diodo Zener a) Símbolo; b) Curva característica.  
Fuente. Tomado de Boylestad (s.f.).

Es de tener en cuenta, que mientras la corriente inversa del diodo esté por debajo del nivel, el diodo zener estará trabajando dentro de su zona de seguridad. Una vez se supere este umbral se corre el riesgo de averiarlo (Malvino, 1999).

Para analizar circuitos que cuentan con este tipo de diodos, se deben aplicar los mismos conceptos empleados para análisis de los diodos mencionados en capítulos anteriores. En la Figura 26.a, se muestra la configuración básica utilizando un diodo Zener. El análisis parte, en primer lugar, en determinar si el diodo Zener se encuentra en estado encendido o apagado, esto se hace sustituyendo dicho diodo por un circuito abierto como se observa en la Figura 26.b, esto conlleva a determinar el voltaje en esta parte de la red mediante la Ecuación 4.1.1. En el caso de que el valor de  $V$  sea mayor o igual que el voltaje Zener ( $V \geq V_Z$ ), el diodo entrará en el estado de encendido; en caso contrario, es decir,  $V < V_Z$ , el diodo se mantendrá en el estado apagado (Boylestad, s.f.).



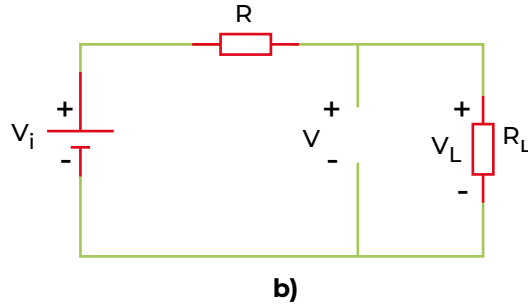


Figura 26. Circuito con diodo Zener a) Polarización del diodo; b) Sustitución del diodo por circuito abierto.  
Fuente. Tomado de Boylestad (s.f.).

Una vez se establezca el estado del diodo Zener, se continúa con el desarrollo de la red.

$$V = V_L = \frac{R_L V_i}{R + R_L} \quad (4.1.1)$$

Cuando el diodo Zener está en estado encendido, la red anterior se sustituye por la representada en la Figura 27, en este caso  $V_L = V_Z$ . La disipación de potencia del diodo Zener está dada por la Ecuación 4.1.2, donde  $I_Z = I_R - I_L$ ,  $I_R = V_R / R$ ,  $I_L = V_L / R_L$

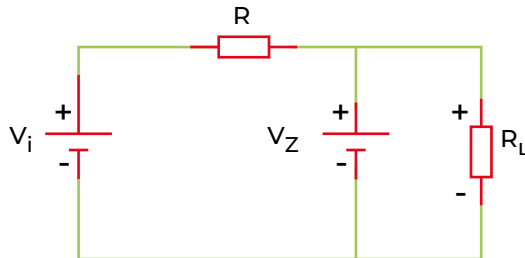


Figura 27. Modelo equivalente del diodo Zener  
Fuente. Tomado de Boylestad (s.f.).

$$P_Z = V_Z I_Z \quad (4.1.2)$$

## Regulador de tensión

Una de las aplicaciones típicas del diodo Zener como se mencionó en la sección anterior, está relacionada con la regulación de tensión, debido a que dicho diodo mantiene una tensión constante entre sus terminales, incluso si la corriente presenta variaciones (Boylestad, s.f.). Para esto se deben tener en cuenta los siguientes aspectos:

- ▶ El diodo Zener se debe polarizar en inversa.
- ▶ La tensión  $V_i$  debe ser mayor a la tensión de ruptura del Zener  $V_Z$ .
- ▶ Es necesario emplear una resistencia limitadora de corriente  $R$  para evitar daños irreversibles en el diodo.

Como en análisis anteriores, una segunda aproximación del diodo Zener, incluye una resistencia interna del diodo, esto es:

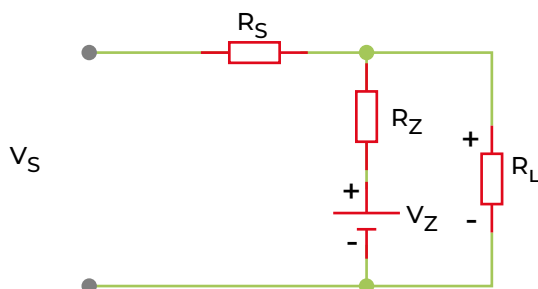


Figura 28. Diodo con resistencia interna  
Fuente. Tomado de Boylestad (s.f.).

Para este caso, la tensión en la resistencia de carga se determina a partir de la Ecuación 4.1.3.

$$V_L = V_Z + I_Z R_Z \quad (4.1.3)$$

En la Figura 29 se muestra un esquema de circuito que funciona como fuente reguladora de tensión.



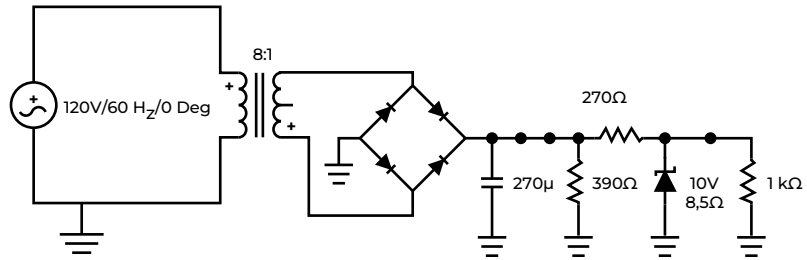


Figura 29. Regulador de tensión  
Fuente. Tomado de Malvino (1999).

## DIODO EMISOR DE LUZ (LED)

El diodo LED funciona gracias a que los electrones libres del material semiconductor atraviesan la unión PN y luego caen sobre los huecos, pasando eventualmente de un nivel energético mayor a uno menor, cuando se polariza en directa. Este proceso permite a los electrones emitir energía al liberar partículas fundamentales que componen la luz, llamados fotones (Malvino, 1999).

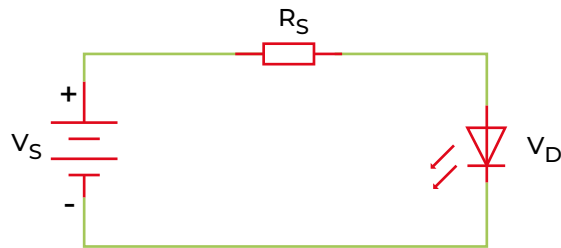


Figura 30. Circuito con diodo LED  
Fuente. Tomado de Malvino (1999)

En el circuito de la Figura 30, la resistencia  $R_S$  limita la corriente de la red, de tal manera que no exceda la corriente máxima del diodo para evitar averías en el mismo; por consiguiente, la luminosidad del diodo depende de la corriente (Malvino, 1999). La Ecuación 4.2.1, muestra el cálculo de la corriente del circuito anterior,

$$s = \frac{V_S - V_D}{R_S} \quad (4.2.1)$$

Cabe aclarar que los diodos LED también cuentan con tensiones de ruptura al polarizarlo en inversa con una tensión considerablemente alta, ocasionando daños en el dispositivo, además de no emitir luz (Malvino, 1999).

## EJERCICIOS PRÁCTICOS

Determinar  $V_L$ ,  $V_R$ ,  $I_Z$  y  $P_Z$ , para el circuito de la Figura 31.

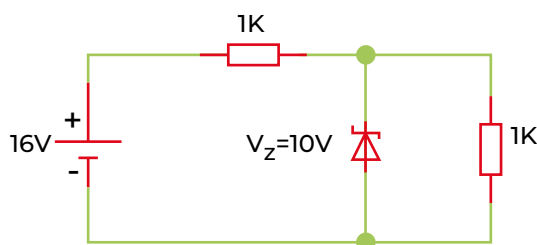


Figura 31.

Fuente. Tomado de. Boylestad (s.f.).

### Solución

Inicialmente, se calcula la tensión  $V$ , al sustituir el diodo Zener por un circuito abierto.

$$V = V_L = \frac{R_L V_i}{R + R_L} = \frac{1K * 16V}{(1K + 1K)} = 8V$$

Como se puede observar, el voltaje  $V$  es menor al voltaje  $V_Z$ , por consiguiente, el diodo Zener se encuentra en estado apagado.

$$V_R = V_i - V_L = 16V - 8V = 8V$$

$$I_Z = 0 A$$

$$P_Z = 0 W$$

Repita el ejercicio anterior para  $R_L = 3 K$  (Boylestad, s.f.).



## Solución

Nuevamente, se sustituye el diodo Zener por un circuito abierto.

$$V = \frac{R_L V_i}{R + R_L} = \frac{3K * 16V}{(1K + 3K)} = 12V$$

Dado que  $V$  es mayor a  $V_Z$ , el diodo Zener se encuentra en el estado encendido, por lo tanto

$$\begin{aligned} V_L &= V_Z = 10V \\ V_R &= V_i - V_Z = 16V - 10V = 6V \\ I_L &= \frac{V_L}{R_L} = \frac{10V}{3K} = 3.3 \text{ mA} \\ I_R &= \frac{V_R}{R} = \frac{6V}{1K} = 6 \text{ mA} \\ I_Z &= I_R - I_L = 6 \text{ mA} - 3.3 \text{ mA} = 2.7 \text{ mA} \\ P_Z &= I_Z * V_Z = 2.7 \text{ mA} * 10V = 0.027 \text{ W} \end{aligned}$$

## EJERCICIOS DE EVALUACIÓN

1. Determinar el rango  $R_L$  y de  $I_L$  (Figura 32), en el cual  $V_{RL}$  tenga un valor de 10 V.

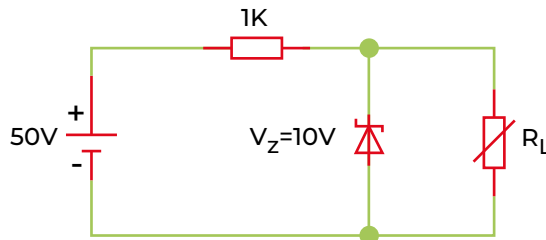


Figura 32.  
Fuente. Tomado de Boylestad (s.f.).



# CAPÍTULO 5.

## TRANSISTORES

En este capítulo se estudia la estructura de un transistor a partir de la unión de materiales tipo P y tipo N, con base en los conceptos vistos en capítulos anteriores; el proceso de análisis de circuitos en los cuales se encuentran involucrados dichos dispositivos, depende del tipo de polarización en DC y el análisis de la curva característica, recta de carga y punto de operación del transistor. Para fines de análisis, en este capítulo se trabajará con transistores BJT, conformado por la unión NPN.

### ESTRUCTURA DE UN TRANSISTOR NPN

Los transistores son dispositivos electrónicos activos que se fabrican a partir de tres materiales con cierto nivel de dopaje, como se observa en la Figura 33. Como en los diodos, el material tipo N tiene un exceso de portadores de carga negativos llamados electrones libres, mientras que el material tipo P cuenta con una mayor cantidad de portadores de carga positivos llamados huecos (Malvino, 1999).

En el caso del transistor presentado en la Figura 5:

1, el emisor se encuentra fuertemente dopado, la base ligeramente dopada y el colector cuenta con nivel de dopaje comprendido entre el emisor y la base (Malvino, 1999).



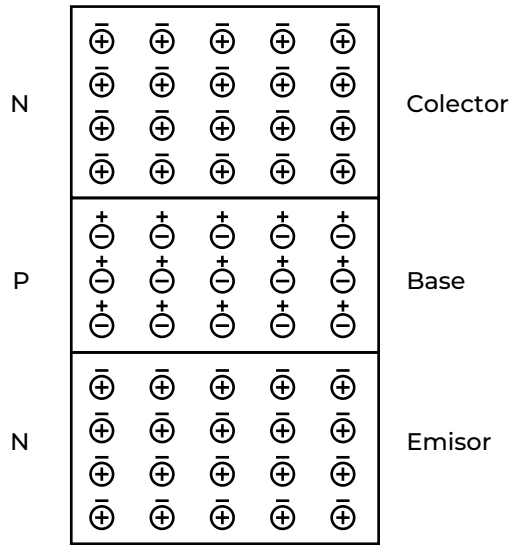


Figura 33. Transistor NPN  
Fuente. Tomado de Malvino (1999)

En la Figura 34, se muestra la polarización en un transistor NPN, para que actúe como amplificador de corriente, dicha configuración se conoce como emisor común. En este caso el emisor inyecta electrones libres en la base del transistor y estos a su vez atraviesan la frontera circulando hacia el colector. A pesar que pocos electrones se recombinan con los huecos de la base, la mayoría de éstos llegan al colector, es por esto que el emisor se puede considerar como la fuente de electrones del transistor (Malvino, 1999).

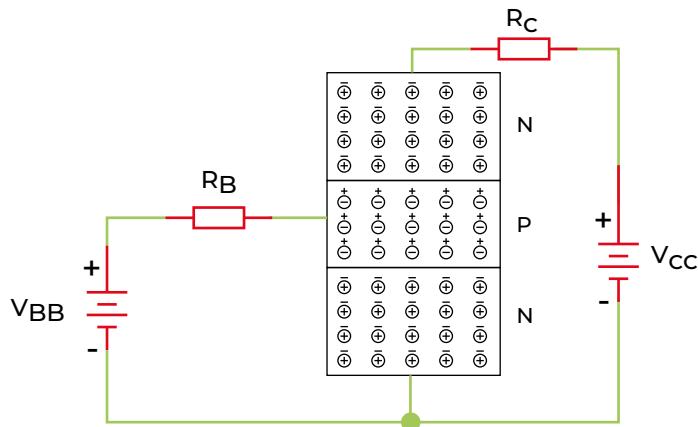


Figura 34. Polarización del transistor  
Fuente. Tomado de Malvino (1999).



De la figura anterior, para que los electrones del emisor sean depositados en el base, es necesario que el voltaje  $V_{BB}$  sea mayor que el potencial de la barrera o unión PN (base-emisor), en caso contrario estos electrones no tendrían la energía suficiente para atravesar dicha barrera, por lo tanto, no circularían hacia el colector (Malvino, 1999).

## CORRIENTES EN EL TRANSISTOR

Con base en lo expuesto, la corriente de mayor valor corresponde al emisor y es aproximadamente igual a la de colector, debido a que la mayoría de estos electrones libres pasan la frontera hacia el colector, mientras tanto, la corriente de base es muy pequeña en comparación con las dos anteriores (Malvino, s.f.). En la Figura 5.2, se muestra el flujo de electrones (Figura 5.2.a) y el flujo convencional (Figura 5.2.b) en un transistor.

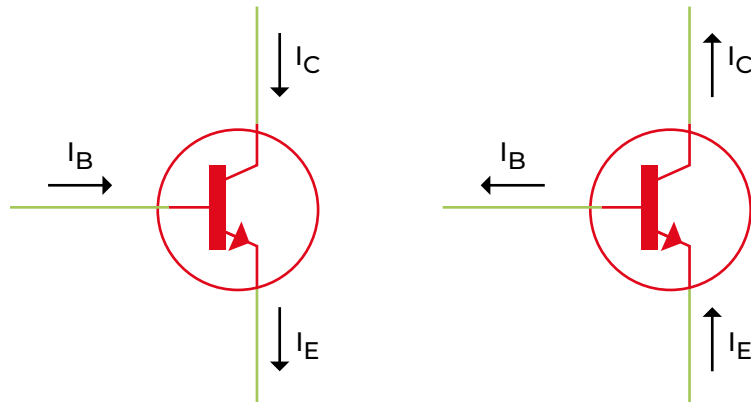


Figura 35. Corrientes en un transistor a) Flujo de electrones; b) Flujo convencional.

Fuente. Tomado de Malvino (1999).

Partiendo de lo anterior, la corriente en el emisor se calcula por medio de la Ecuación 5.2.1,

$$I_E = I_C + I_B \quad (5.2.1)$$

Cómo  $I_C \gg I_B$ , entonces

$$I_E \approx I_C \quad (5.2.2)$$

Por lo tanto, la ganancia en corriente  $\beta$ , se expresa mediante la Ecuación 5.2.3,

$$\beta = \frac{I_C}{I_B} \quad (5.2.3)$$

## CONEXIÓN EN EMISOR COMÚN

La conexión en emisor común del transistor consiste en polarizar el diodo base-emisor con una tensión mayor al potencial de la unión, polarizar el colector y conectar el emisor a masa (Malvino, 1999), como se indica en la Figura 36.

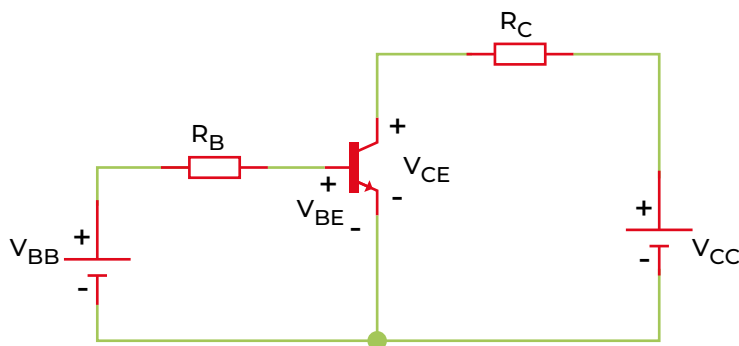


Figura 36. Conexión en emisor-común del transistor  
Fuente. Tomado de Malvino (1999).

Considerando un transistor de silicio, el voltaje base-emisor ( $V_{BE}$ ) es igual a 0.7 V, es decir, la tensión de polarización  $V_{BB}$  debe ser mayor a 0.7V para el correcto funcionamiento (Malvino, 1999). La corriente de base está dada por la Ecuación 5.3.1, al resolver la malla de base mediante la ley de voltaje de Kirchhoff.



$$I_B = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_B} \quad (5.3.1)$$

El voltaje colector-emisor se calcula aplicando la ley de voltaje de Kirchhoff en la malla de colector de la siguiente manera,

$$V_{CE} = V_{CC} - I_C R_C \quad (5.3.2)$$

Al despejar la corriente de colector de la ecuación anterior, se tiene,

$$I_C = \frac{V_{CC} - V_{CE}}{R_C} \quad (5.3.3)$$

## CURVA CARACTERÍSTICA Y PUNTO DE OPERACIÓN DEL TRANSISTOR

En la Figura 37 se muestra la curva característica del transistor. En ésta se pueden observar las diferentes zonas de operación del transistor, la primera, indica la zona activa, es decir, donde el transistor se comporta como un amplificador, y la segunda, indica la zona de ruptura, donde el transistor se daña al sobrepasar el nivel  $V_{CE}$  permitido (Malvino, 1999).

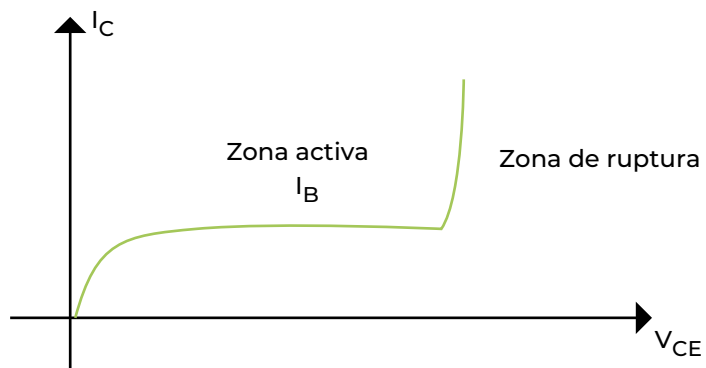


Figura 37. Curva característica del transistor  
Fuente. Tomado de Malvino (1999).

Para determinar el punto de operación del transistor, es necesario hallar la recta de carga que interseca a la curva característica, para esto se debe calcular la corriente colector de saturación ( $I_{C(sat)}$ ) y el voltaje colector-emisor de corte ( $V_{CE(corte)}$ ) (Malvino, 1999), utilizando las Ecuaciones 5.4.1 y 5.4.2, respectivamente.

$$I_{C(corte)} = \frac{V_{CC}}{R_C} \quad (5.4.1)$$

$$V_{CE(corte)} = V_{CC} \quad (5.4.2)$$

Una vez trazada la recta de carga, se determina el punto Q de operación del transistor calculando el voltaje colector-emisor y la corriente de colector. En la Figura 38 se muestra un ejemplo de la recta de carga de un transistor junto con la curva característica.

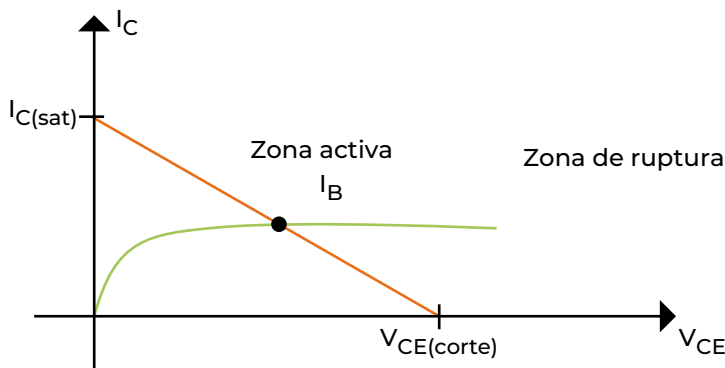


Figura 38. Recta de carga del transistor  
Fuente. Tomado de Malvino (1999).

## POLARIZACIÓN DEL TRANSISTOR

En primer lugar se tiene la polarización de emisor (Figura 39), donde el voltaje de emisor se calcula mediante la Ecuación 5.5.1,



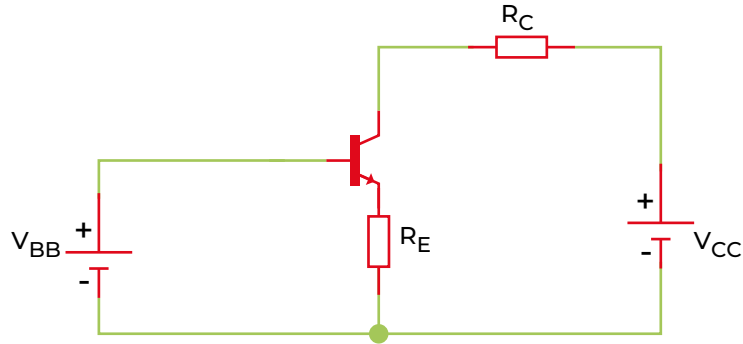


Figura 39. Polarización de emisor Fuente. Tomado de Malvino (1999).

$$V_E = V_{BB} - V_{BE} \quad (5.5.1)$$

En segundo lugar, el transistor puede ser polarizado mediante un divisor de tensión conectado a la base como se indica en la Figura 40. Utilizando la Ecuación 5.5.2, se resuelve el divisor de tensión para posteriormente determinar la tensión de emisor.

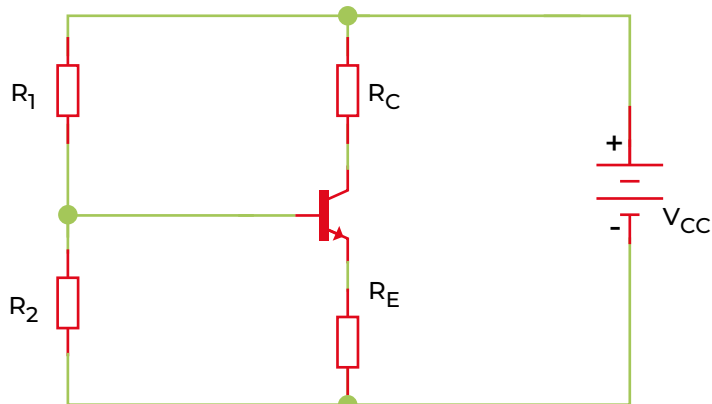


Figura 40. Polarización del transistor con divisor de tensión Fuente. Tomado de Malvino (1999).

$$V_{BB} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{CC} \quad (5.5.2)$$

En tercer lugar, se tiene la polarización de emisor con dos fuentes de voltaje (Figura 41). En este caso se asume que la corriente de la base es tan pequeña que es aproximadamente cero, por consiguiente la corriente de emisor se calcula mediante la Ecuación 5.5.3,

$$I_E = \frac{V_{EE} - 0.7\text{ V}}{R_E} \quad (5.5.3)$$

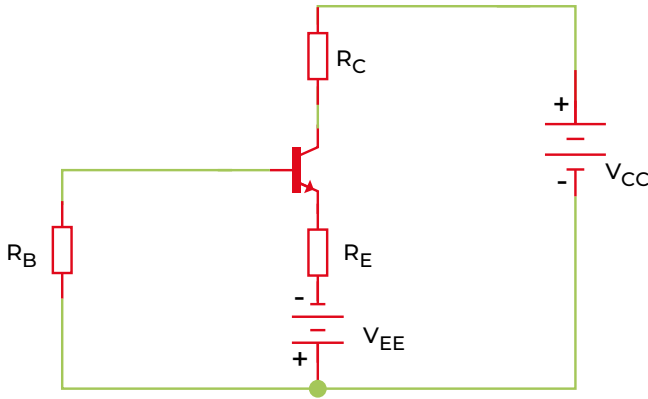


Figura 41. Polarización del transistor en emisor con dos fuentes de emisor  
Fuente. Tomado de Malvino (1999).

En cuarto lugar, se tiene la configuración de polarización con realimentación de colector (Figura 42), donde la corriente de emisor se calcula mediante la Ecuación 5.5.4. De esta ecuación se observa que la corriente de emisor depende de la ganancia de corriente del transistor.

$$I_E = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_C + \frac{R_B}{\beta}} \quad (5.5.4)$$

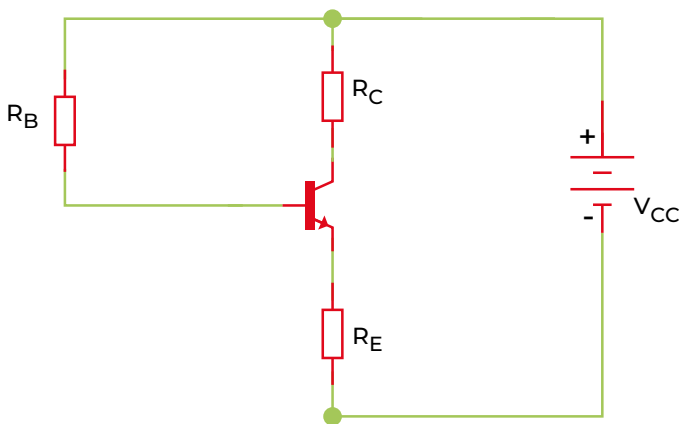


Figura 42. Polarización del transistor con realimentación de colector  
Fuente. Tomado de Malvino (1999).



Finalmente, el transistor puede ser polarizado con realimentación de emisor y colector, como se muestra en la Figura 43, obteniéndose la Ecuación 5.5.5, para el cálculo de la corriente de emisor.

$$I_E = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_C + R_E + \frac{R_B}{\beta}} \quad (5.5.5)$$

Para esta configuración, la tensión de base de un transistor de silicio es .

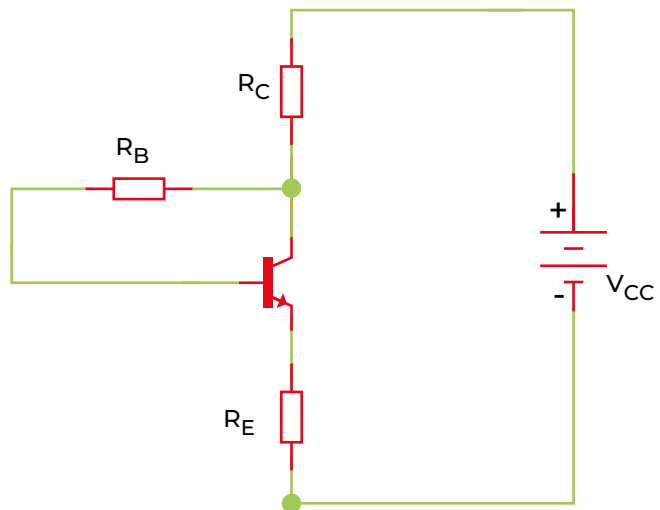


Figura 43. Polarización del transistor con realimentación de emisor y colector

Fuente. Tomado de Malvino (1999).

## EJERCICIOS PRÁCTICOS

1. Un transistor tiene una corriente de colector de 10 mA, y una corriente de base de 40  $\mu$ A. Calcular la ganancia en corriente y la corriente de emisor de dicho transistor (Malvino, 1999).

### Solución

Para calcular la ganancia en corriente del transistor, se utiliza la siguiente ecuación.

$$\beta = \frac{10 \text{ mA}}{40 \mu\text{A}} = 250$$

- Un transistor tiene una ganancia de corriente de 175. Si la corriente de base es 0.1mA, calcular la corriente de colector (Malvino, 1999).

### Solución

De la ecuación aplicada en el ejercicio anterior se despeja la corriente de colector,

$$I_C = \beta * I_B = 175 * 0.1 \text{ mA} = 17.5 \text{ mA}$$

- Calcule la corriente de base en el circuito de la Figura 36, cuando  $V_{BB}=2\text{V}$ ,  $R_B=100\text{K}$ ,  $R_C=1\text{K}$  y  $V_{CC}=10\text{V}$ , para un transistor de silicio (Malvino, 1999).

### Solución

Resolviendo la malla de base, se tiene que la corriente de base es,

$$I_B = \frac{2\text{V} - 0.7}{100 \text{ K}} = \frac{1.3 \text{ V}}{100 \text{ K}} = 1.5 \times 10^{-5} \text{ A}$$

## EJERCICIOS DE EVALUACIÓN

Determine la recta de carga del circuito presentado en la Figura 36, para  $R_C=3\text{K}$  y  $V_{CC}=15\text{V}$ :

Calcule la tensión entre colector y tierra, y entre colector y emisor del siguiente circuito (Figura 39), para  $R_E=1\text{K}$ ,  $R_C=1\text{K}$ ,  $V_{CC}=15\text{V}$ ,  $V_B=5\text{V}$  y  $\beta=100$ .



# CAPÍTULO 6.

## APLICACIONES DE LOS TRANSISTORES

En este capítulo se presentan las aplicaciones de los transistores con fines principalmente de amplificación de señales. En este caso, es necesario realizar un proceso de análisis en AC de un circuito amplificador con transistores partiendo de los conceptos presentados en capítulos anteriores. Para esto es importante estudiar los dos modelos de transistor para pequeña señal, cuando se trabaja en AC. Cabe mencionar que los circuitos presentados en este capítulo se analizan con base en el modelo  $\pi$  del transistor.

### MODELOS DEL TRANSISTOR

Para comenzar, se deben adoptar dos tipos de modelo para el transistor que permiten realizar un análisis en AC de circuitos amplificadores de tensión, para pequeña señal. Por una parte se tiene el modelo  $\pi$ , el cual está representado en la Figura 46. Este primer modelo de transistor consiste en excitar dicho transistor con una señal alterna, dicha señal genera una tensión alterna base-emisor sobre el diodo emisor, haciendo circular una corriente alterna de base. En este caso aparece una impedancia en la base del transistor (Malvino, 1999).

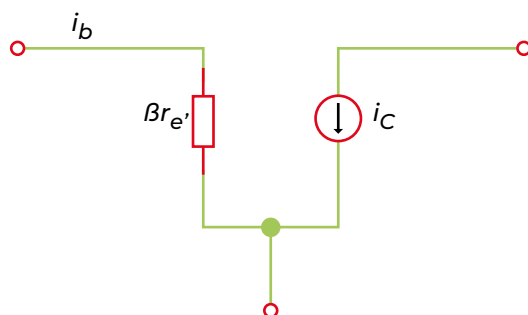


Figura 46. Modelo  $\pi$  del transistor  
Fuente. Tomado de Malvino (1999).

Dicha impedancia de base está dada por , donde indica la resistancia interna del diodo emisor del transistor para señal (Malvino, 1999). Esta resistancia se calcula mediante la Ecuación 6.1.1.

$$r_e' = \frac{25mV}{I_E} \quad (6.1.1)$$

De la ecuación anterior, el parámetro hace referencia a la corriente de emisor en DC y se determina con base en las fórmulas planteadas en el capítulo 5.

Por otra parte, se tiene un segundo modelo del transistor conocido como modelo T (Figura 47).

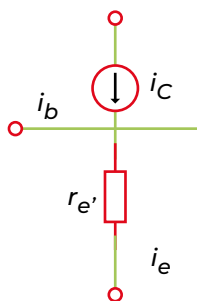


Figura 47. Modelo T del transistor  
Fuente. Tomado de Malvino (1999).

En este modelo, también se tiene una impedancia de entrada en la base que se calcula mediante la Ecuación 6.1.2.

En ambos modelos el colector del transistor se sustituye por una fuente de corriente.



## CONDENSADORES DE ACOPLO Y DESACOPLO

En un amplificador de tensión basado en transistores como el presentado en la Figura 48, se tienen condensadores de acoplo y desacoplo. Estos primeros se encargan de acoplar la señal alterna al amplificador sin distorsionarla; en otras palabras, una frecuencia de señal lo suficientemente alta genera una reactancia capacitiva mucho menor que el valor de la resistencia, lo que permite que toda la tensión alterna de la fuente prácticamente aparezca en dicha resistencia, bloqueando el paso de la tensión continua (Malvino, 1999).

La función de un condensador de desacoplo consiste en crear una masa para la señal alterna, del mismo modo que el anterior, a frecuencias altas la reactancia capacitiva va a ser mucho menor que el valor de la resistencia y toda la tensión de alterna se encontrará en dicha resistencia (Malvino, 1999).

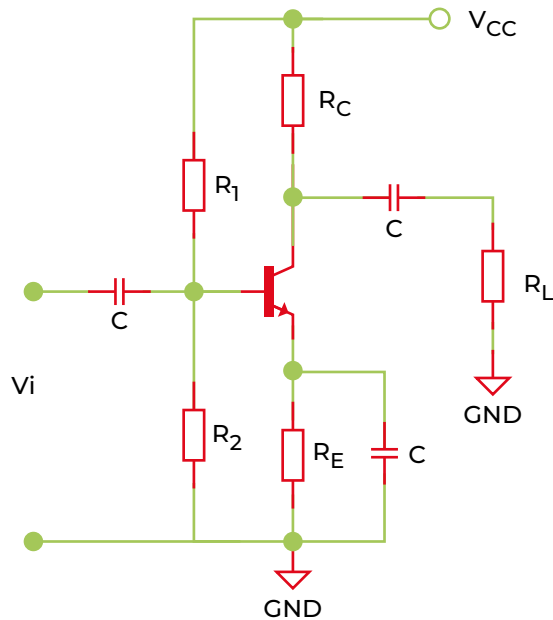


Figura 48. Amplificador de tensión con condensadores de acoplo y desacoplo  
Fuente. Tomado de Malvino (1999).

Por un lado, se tiene que la tensión continua presenta una frecuencia cero, lo que produce una reactancia infinita, razón por la cual el condensador se comporta como un circuito abierto, mientras que para una señal alterna de alta frecuencia, su comportamiento es parecido al de un corto circuito.

## POLARIZACIÓN EN AC DE AMPLIFICADORES DE TENSIÓN CON TRANSISTOR

En primer lugar, el transistor puede ser utilizado como amplificador de tensión mediante una polarización de base. En este caso, el circuito de la Figura 49 representa un amplificador con condensadores de acoplo de señal y con emisor a masa. La tensión de amplificación se mide en la resistencia de carga ( $R_L$ ) (Malvino, 1999).

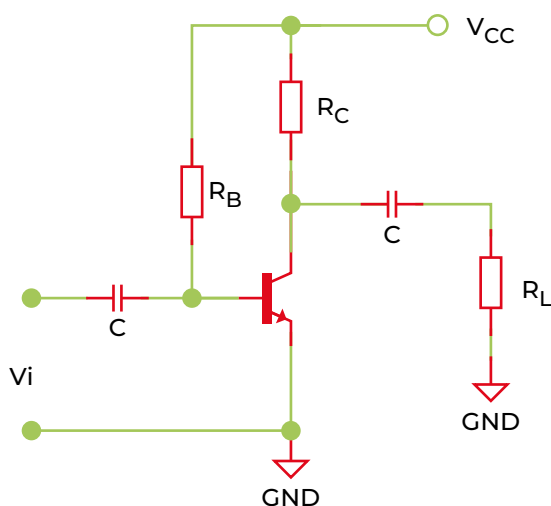


Figura 49. Amplificador con polarización de base  
Fuente. Tomado de Malvino (1999).



En segundo lugar, se tiene un amplificador de tensión con polarización de emisor y divisor de tensión (Figura 50); en este caso el amplificador cuenta con condensadores de acoplo a la entrada del divisor y a la salida del colector, mientras que el condensador de desacoplo se encuentra conectado en paralelo con la resistencia de emisor ( $R_E$ ), formando una masa para la señal (Malvino, 1999).

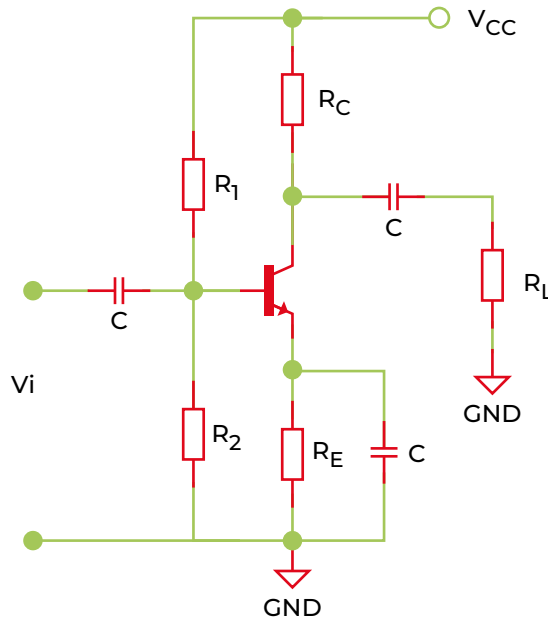


Figura 50. Amplificador con polarización de emisor y divisor de tensión  
Fuente. Tomado de Malvino (1999).

Finalmente, es posible obtener un amplificador de tensión con transistor a partir de una polarización de emisor con dos fuentes como el mostrado en la Figura 51. En aquel circuito se observa, como en el caso anterior, un condensador de acoplo a la entrada de la base y a la salida del colector, mientras tanto el condensador de desacoplo se encuentra conectado en paralelo con la resistencia de emisor y la fuente  $V_{EE}$  (Malvino, 1999).

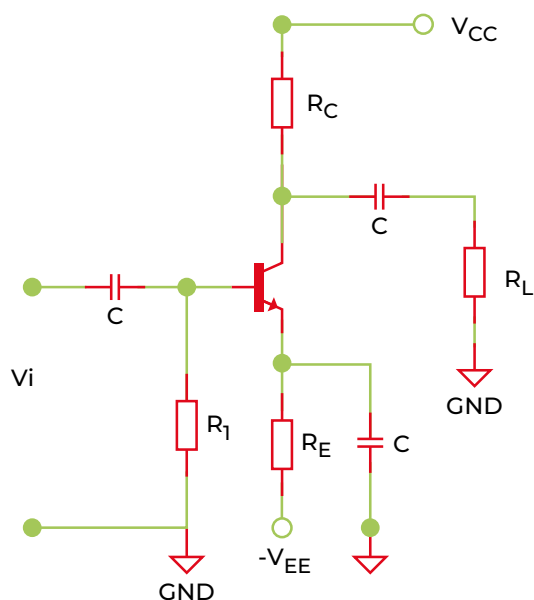


Figura 51. Amplificador de tensión con polarización de emisor con dos fuentes de voltaje  
Fuente. Tomado de Malvino (1999).

Como ejemplo de análisis en AC, vamos a desarrollar el circuito amplificador de tensión presentado en la Figura 52 (amplificador en emisor común). En primer lugar se debe analizar el amplificador en DC, para esto se debe cortocircuitar los condensadores de acoplo y desacoplo por razones que se explicaron en la sección anterior; en segundo lugar, las fuentes de continua deben sustituirse por masa para señal y en tercer lugar se debe sustituir el transistor por cualquiera de los dos modelos, en este ejercicio se utilizará el modelo  $\pi$  (Malvino, 1999), es decir, la red resultante se obtiene de la siguiente manera,

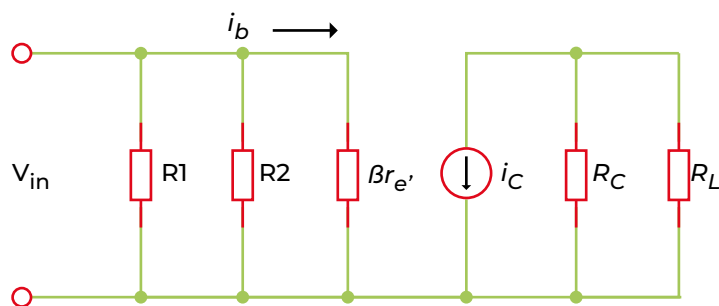


Figura 52. Modelo  $\pi$  del amplificador en emisor común  
Fuente. Tomado de Malvino (1999).



La tensión alterna de entrada es  $V_{in}=i_b \beta r_e'$ , cómo , la tensión de salida es  $V_{out}=i_b \beta (R_C || R_L)$ .

La ganancia en tensión del amplificador se calcula mediante la Ecuación 6.3.1,

$$A = \frac{V_{out}}{V_{in}} \quad (6.3.1)$$

Al sustituir los parámetros anteriores en la Ecuación 6.3.2, se obtiene que la ganancia es,

$$A = \frac{R_C || R_L}{r_e'} \quad (6.3.2)$$

La resistencia de colector en alterna es ; si se reemplaza este término en la Ecuación 6.3.3, se tiene que la ganancia del amplificador, depende de las resistencias de emisor y colector en alterna,

$$A = \frac{r_c}{r_e'} \quad (6.3.3)$$

Cuando se tiene amplificadores con transistor de dos cascadas o más, como el mostrado en la Figura 53, la ganancia en tensión se calcula a través de la Ecuación 6.3.4,

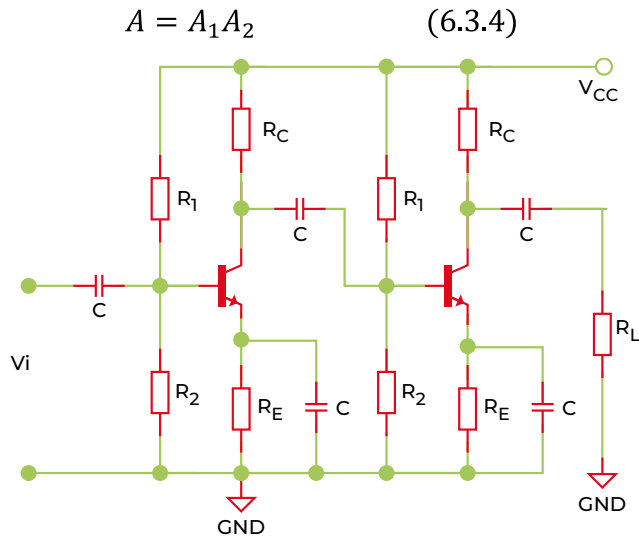


Figura 53. Amplificador de dos cascadas  
Fuente. Tomado de Malvino (1999).

En conclusión, la Ecuación 6.3.4 indica que la ganancia de un amplificador de varias etapas de amplificación se determina calculando la ganancia de cada una de estas etapas y luego se efectúa el producto entre ellas.

## EJERCICIOS PRÁCTICOS

1. Calcular la ganancia de tensión del amplificador presentado en la Figura 50., para  $V_{in} = 2mV$ ,  $R_1 = 10 K$ ,  $R_2 = 2.2K$ ,  $R_C = 3.6 K$ ,  $R_E = 1K$  y  $R_L = 10 K$ . Determinar la tensión de salida (Malvino, 1999).

### Solución

En primer lugar, es necesario realizar un análisis en DC del circuito,

$$V_{BB} = \frac{2.2K * 10V}{10K + 2.2K} = 1.8 V$$

$$V_{RE} = V_{BB} - 0.7V = 1.8 V - 0.7 V = 1.1V$$

$$I_E = \frac{V_{RE}}{R_E} = \frac{1.1 V}{1 K} = 1.1 mA$$

En segundo lugar, se debe analizar el circuito en AC para determinar la ganancia en tensión del amplificador, esto es, reemplazando el transistor por el modelo  $\pi$  (Figura 52),

$$r'_e = \frac{25 mV}{I_E} = \frac{25 mV}{1.1 mA} = 22.7 ohm$$

$$r_c = \frac{1}{\frac{1}{R_C} + \frac{1}{R_L}} = \frac{1}{\frac{1}{3.6 K} + \frac{1}{10 K}} = 2647.05 ohm$$

$$A = \frac{r_c}{r'_e} = \frac{2647.05 ohm}{22.7 ohm} = 117$$

$$V_{out} = AV_{in} = 117 * 2 mV = 0.23 V$$



## EJERCICIOS DE EVALUACIÓN

Cuál es la tensión de colector-emisor en DC de la primera etapa amplificación de la Figura 53, para  $V_{in} = 1\text{mV}$ ,  $R_1 = 10\text{ K}$ ,  $R_2 = 2.2\text{K}$ ,  $R_C = 3.6\text{ K}$ ,  $R_E = 1\text{K}$  y  $R_L = 10\text{ K}$  (Malvino, 1999).

# GLOSARIO

**Aislante:** Material con baja conductividad cuando se somete a una diferencia de potencial (Boylestad, s.f.).

**Conductor:** Material que permite el flujo de carga cuando es sometido a una diferencia de potencial (Boylestad, s.f.).

**Enlace covalente:** Aquel que se forma a partir de electrones compartidos. Por ejemplo Silicio (Si), Germanio (Ge) y Arseniuro de Galio (GaAs) (Boylestad, s.f.).

**Energía gap:** Intervalo de energía prohibido entre las bandas valencia y de conducción.

**Material intrínseco:** Material fabricado con la mayor pureza posible (Boylestad, s.f.).

**Material extrínseco:** Material sometido a un proceso de dopaje para cambiar sus propiedades eléctricas (Boylestad, s.f.).

**Semiconductor:** Material con un nivel de conductividad que se localiza entre los extremos de un aislante y un conductor (Boylestad, s.f.).



# REFERENCIAS

- Abad, E & Gonzáles, M. (2020). El aula invertida: un desafío para la enseñanza universitaria. *Virtualidad, educación y ciencia*, 11(20), 75-91
- Abella, V. A.; Ausín V.; Delgado, V. & Casado, R. (2020). Aprendizaje Basado en Proyectos y Estrategias de Evaluación Formativas: Percepción de los Estudiantes Universitarios. *Revista Iberoamericana de Evaluación Educativa*, 13(1). doi:10.15366/riee2020.13.1.004
- Bernal, J. C.; Cevallos, J.D.; Guerrero J.; Cedeño, G; Goyes, A & Peñafiel, R. (2018). *El diseño curricular y la didáctica, ejes fundamentales en la educación superior contemporánea*. Editorial Área de Innovación y Desarrollo.
- Boylestad, R. L. (s.f.). *Electrónica: Teoría de circuitos y dispositivos electrónicos*. Pearson Educación.
- Clavert, M. & Miko, L. (2014). Promover la creatividad y las habilidades del pensamiento de diseño entre los estudiantes universitarios. *Revista de Estudios de Juventud* (104), 215-228.
- Cruz, R; Serrano, C & Rodríguez, B. (2021). Modelo de mejoramiento productivo: una aplicación de la fabricación digital incorporada al aprendizaje basado en proyectos (ABP) en la educación superior. *Formación universitaria*, 14(2), 65-74.
- Cutipa, F. C. (2014). Vigencia de la clase magistral en la universidad del siglo XXI. *Apuntes Universitarios. Revista de Investigación*, 4(1), 57-66.
- Dai, Y., Hu, H., Wang, M. et al. (2021). Stretchable transistors and functional circuits for human-integrated electronics. *Nature Electronics*, 4, 17-29.
- Fernández, E. (2020). Análisis de estrategias metodológicas docentes apoyadas en el uso de TIC para fomentar el Aprendizaje Cooperativo del alumnado universitario del Grado de Pedagogía. *Revista Interuniversitaria de Formación del Profesorado*, 95(34.2), 79-99.
- Fidalgo, A; Sein-Echaluce, M. & García, F. (2020). Aula invertida: Una visión conceptual. I. (Version 1). Zenodo. doi:10.5281/zenodo.3698328
- Gómez, E; Morales, J & Severiche, C. (2017). Estilos de aprendizaje en universitarios, modalidad de educa-

- ción a distancia. *Revista Virtual Universidad Católica del Norte*, (50), 383-393.
- Marín-González, F.; Cabas, L.; Cabas L.C: Paredes-Cahacín, A. (2018). Formación Integral en Profesionales de la Ingeniería. Análisis en el Plano de la Calidad Educativa. *Form. Univ.*, 11(1), 13-24.
- González-Vidal, A. Hernández-Ramírez, A; Veloz-Rodríguez, M; Vázquez-García, R & Raygoza-Panduro, J. (2022). Diseño de un convertidor digital-analógico con Tecnología CMOS, para Aplicaciones. *Pädi*, 10(3), 128 - 133. doi:10.29057/icbi.v10iEspecial3.9013
- Guerra, J.; Vergaz, R & Ruiz de Marcos, J. (2009.). *Electrónica analógica para ingenieros*. Mc Graw Hill.
- Hernández, I; Lay, N; Herrera, H & Rodríguez, M. (2021). Estrategias pedagógicas para el aprendizaje y desarrollo de competencias investigativas en estudiantes universitarios. *Revista de ciencias sociales*, 27(2), 242-255.
- Humood, K; Imran, O & Taha, A. (2020). Design and simulation of high frequency colpitts oscillator. *International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE)*, 10(1), 160-170. doi:10.11591/ijece.v10i1.pp160-170
- Intriago- Cedeño, M. E.; Rivadeneira-Barreiro, M. P. & Zambrano-Acosta, J. (2022). El aprendizaje significativo en la educación superior. *593 Digital Publisher CEIT*, 7(1-1), 418-429.
- Jaimes, J; Mendoza, R. & Dorantes, E. (2019). El pensamiento computacional en la electrónica: la importancia del software de simulación en la comprensión del principio. *Cuadernos de desarrollo aplicados a las TIC*, 8(4), 85-113.
- Kariyappa, B. & Binu, D. (2019). A new rider optimization algorithm-based neural network for fault diagnosis in analog circuits. *IEEE Transactions on Instruments and Measurement*, 68(1), 2-26.
- Krishnamoorthy, R; Kavitha, E.; Beslin, V. & Bharatiraja, C. (2021). A biasing based current mode analog front-end for biomedical applications. *Materialstoday: proceedings*, 45(2), 3113-3119. doi:10.1016/j.matpr.2020.12.204
- Lee, Y, et al (2019). Flexible carbon nanotube Schottky diode and its integrated circuit applications. *RSC Adv*, 9(38), 22124-22128. doi:10.1039/c9ra02855b
- Lee, H.E, et al, (2019.). Micro Light-Emitting Diodes for Display and Flexible Biomedical Applications. *Advance*



- Functional Materials*. doi:10.1002/adfm.201808075
- Lengua, C; Bernal, G.; Flórez, W & Velandia, M. (2020). Tecnologías emergentes en el proceso de enseñanza-aprendizaje: hacia el desarrollo del pensamiento crítico. *Revista electrónica interuniversitaria de formación del profesorado*, 23(3), 83-98.
- López, J. (2021). El aprendizaje basado en problemas y el desarrollo de las habilidades del pensamiento crítico. *Educa UMCH. Revista sobre Educación y Sociedad*, 14(1), 5-22. doi:10.35756/educaumch.v1i15.130
- Lozano-Ramírez, M. (2021). El aprendizaje basado en problemas en estudiantes universitarios. *Tendencias Pedagógicas*, 37, 90-103. doi:10.15366/tp2021.37.008
- Malvino, A. P. (1999). *Principios de electrónica*. Mc Graw Hill.
- Matsui, H; Yaunori, T.; Shizuo, T. (2019). Flexible and printed organic transistors: From materials to integrated circuits. *Organic Electronics*, Article 105432 75. doi:10.1016/j.orgel.2019.105432
- Mendoza, W. (2014). Los estilos de aprendizaje en estudiantes universitarios estado del arte y desafíos. En: *Estilos de aprendizaje. Investigaciones y experiencias: [V Congreso Mundial de Estilos de Aprendizaje]*. Santander, 27, 28 y 29 de junio de 2012. Dialnet.
- Mohamed, M. (2021). Theory and Applications of Minimal-Transistor Circuits in High-Frequency Communication Systems. *Libraries and Cultural Resources (University of Calgary)*, 1-3. doi:doi:10.11575/PRISM/38754
- Moncini, R. & Pirela, M. (2021). Estrategias de enseñanza virtual utilizadas con los alumnos de educación superior para un aprendizaje significativo. *SUMMA Revista disciplinaria en Ciencias Económicas y Sociales*, 3(1), 1-28.
- Moreno, O. S. (2014). La Educación en Tecnología desde el Diseño, fomento del Pensamiento Divergente. *Universidad Distrital José Francisco Caldas*.
- Pliego, N. (2011). El aprendizaje cooperativo y sus ventajas en la educación intercultural. *Revista Educativa Digital Hekademos*(8), 63-76.
- Quiroz, V. L. (2019). *Dirección del proceso de enseñanza-aprendizaje y autogestión del aprendizaje una relación necesaria*. Ecuador: In Memorias del quinto Congreso Internacional de Ciencias Pedagógicas de Ecuador: Aprendizaje en la sociedad del conocimiento: modelos, experiencias y propuestos.
- Restrepo, B. (2005). Aprendizaje basado en problemas (ABP): una innovación didáctica para la enseñanza

- universitaria. *Educación y Educadores*, 8, 9-19.
- Roja J.C (2021). Importancia del aprendizaje significativo en la construcción de conocimientos. *Revista Científica De FAREM-Estelí*, 63-75.
- Rodríguez, M. G. (2018). Métodos de enseñanza para el desarrollo de las habilidades técnicas en la asignatura de electrónica. *Revista Electrónica en Educación y Pedagogía*, 2(2), 75-87.
- Ulanysky, A. R. (2019). Electronic Circuit with Controllable Negative Differential Resistance and its Applications. *Electronics*, 8(4), 409. doi:10.3390/electronics8040409
- Useche, A. (s.f.). Aprendizaje Cooperativo, Aprendizaje Colaborativo y Trabajo en Equipo.
- Vera, R; Merchán,W.; Maldonado, & Lesvel, A. (2021). Metodología del aprendizaje basado en problemas aplicada en la enseñanza de las Matemáticas. *Serie Científica de la Universidad de las Ciencias Informáticas*, 14(3), 142-155.
- Villalba, A. (2014). Los estilos de aprendizaje. Reflexiones teóricas y metodológicas para contribuir a mejores decisiones en el aula de educación superior. *Revista Aula Universitaria* (16), 25-34.
- Zafra, C. (2020). Aprendizaje de la automatización industrial en tiempos de pandemia: Una Experiencia virtual de aprendizaje basado en proyectos. Trabajo de grado especialización en pedagogía. Universidad Agustiniana.
- Zurita, M. (2020). El aprendizaje cooperativo y el desarrollo de las habilidades cognitivas. *Revista educare*, 24(1), 51-74.

*Análisis de circuitos eléctricos con  
diodos semiconductores y transistores bjt  
Guía de clase*

La edición estuvo al cuidado de  
Paola Martínez Acosta



El material docente dispuesto en este escrito, tiene la finalidad de apoyar el proceso de formación y la consolidación del conocimiento alrededor del estudio de la electrónica análoga, siguiendo los lineamientos de las temáticas planteadas en el contenido programático de la asignatura Electrónica Análoga I del programa de Ingeniería Mecatrónica de la Corporación Universitaria Comfacauca – Unicomfacauca. En ese sentido, el objetivo principal es el desarrollo de conocimientos en circuitos eléctricos basados en diodos y transistores, de tal manera que los estudiantes desarrollen habilidades y sienten bases tanto teóricas como prácticas en el análisis, diseño, simulación y construcción de circuitos que trabajan con señales analógicas, teniendo en cuenta el rol que cumplen estos dispositivos activos dentro de las aplicaciones más importantes de la electrónica en general.

