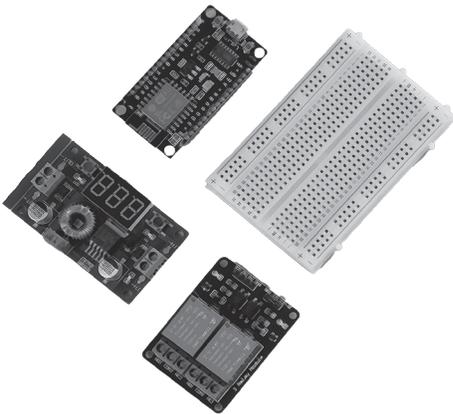






▪ Carlos Omar Ramos Linares ▪

# Electrónica práctica para telecomunicaciones



  
Editorial  
Neogranadina

Ramos Linares, Carlos Omar

Electrónica práctica para telecomunicaciones / Carlos Omar Ramos  
Linares. -- 1a. ed. -- Bogotá : Universidad Militar Nueva Granada : Editorial  
Neogranadina, 2020.

459 páginas (Colección docencia)

Incluye índice analítico.

ISBN 9789585103214

1. Electrónica 2. Telecomunicaciones 3. Sistemas de telecomunicación I. Título  
II. Serie

621.381 SCDD21

Catalogación en la fuente. Biblioteca Universidad  
Militar Nueva Granada. Mayo de 2021



Electrónica práctica para telecomunicaciones  
© Carlos Omar Ramos Linares

ISBN: 978-958-5103-21-4

© Universidad Militar Nueva Granada  
Colección Docencia

© Vicerrectoría de Investigaciones  
© Editorial Neogranadina

Bogotá, Colombia  
editorial.neogranadina@unimilitar.edu.co

▪ Carlos Omar Ramos Linares ▪

# **ELECTRÓNICA PRÁCTICA PARA TELECOMUNICACIONES**

**Cómo citar:**

**APA:**

Ramos Linares, C. (2020). *Electrónica práctica para telecomunicaciones*. Bogotá: Editorial Neogranadina.

**MLA:**

Ramos Linares, Carlos Omar. *Electrónica práctica para telecomunicaciones*. Bogotá: Editorial Neogranadina, 2020.

**Chicago:**

Ramos Linares, Carlos Omar. *Electrónica práctica para telecomunicaciones*. Colección Docencia. Bogotá: Editorial, Neogranadina, 2020.



# Electrónica práctica para telecomunicaciones

Carlos Omar Ramos Linares\*

**RESUMEN** Este libro es el resultado de la experiencia académica adquirida en las clases de electrónica en más de 20 años. Se basa en los siguientes aspectos pedagógicos: teoría y conceptualización, cálculos y diseño de circuitos electrónicos, programas electrónicos de simulación o de matemáticas que generan confianza al lector o estudiante en su aprendizaje para corroborar resultados esperados en los límites de tolerancia y sugerencia de prácticas que llevan a montajes de laboratorio para desarrollo de habilidades o competencias en cada uno de los temas tratados. Los temas que se incluyen son diodos, transistores, amplificadores operaciones, filtros activos, osciladores, electrónica industrial y aplicaciones en telecomunicaciones. Está dirigido a estudiantes de ingenierías que contengan electrónica como asignatura como apoyo a las diversas temáticas de electrónica y sus aplicaciones. Aunque se dedica un capítulo a aplicaciones de telecomunicaciones, este texto realiza un enfoque general de aplicabilidad de la electrónica en múltiples aspectos. Los conceptos particulares de los dispositivos estudiados se basan en aquellos comerciales de amplio uso para que las prácticas propuestas estén acordes a la realidad con un enfoque al desarrollo de habilidades y competencias del diseño, análisis, simulación y montaje.

## **PALABRAS CLAVE**

Semiconductores, diodo, transistor, amplificadores, tiristores.

**DOI: <https://doi.org/10.18359/9789585103214>**

---

\*Magíster en Teleinformática – Universidad Distrital,  
Ingeniero electrónico – Universidad Antonio Nariño.

Contacto: [carlos.ramos@unimilitar.edu.co](mailto:carlos.ramos@unimilitar.edu.co)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7974-8078>



# Practical Electronics for Telecommunications

Carlos Omar Ramos Linares\*

**ABSTRACT** This book derives from the academic experience gained in electronics classes over 20 years. It is aimed at students of engineering programs that contain electronics as a subject to understand various electronics concepts and applications. It intends to bolster the reader's or student's confidence in their learning, corroborate expected results within the limits of tolerance, suggest practices that result in laboratory assemblies, and enhance skills or abilities in each topic covered. The topics included are diodes, transistors, operational amplifiers, active filters, oscillators, industrial electronics, and telecommunications applications. It also builds on the following pedagogical aspects: theory and conceptualization, calculations and design of electronic circuits, and electronic simulation or mathematics programs. Although a chapter is dedicated to telecommunications applications, the book generally approaches electronics applicability to multiple scenarios. The particular devices studied are based on those widely marketed so that the proposed practices resemble reality, focusing on developing design, analysis, simulation, and assembly skills and abilities.

## **KEYWORDS**

Semiconductors, diode, transistor, amplifiers, thyristors.

**DOI: <https://doi.org/10.18359/9789585103214>**

---

\* E-mail: [carlos.ramos@unimilitar.edu.co](mailto:carlos.ramos@unimilitar.edu.co)

# Contenido



<b>Primera parte. Fundamentos</b>	<b>41</b>
<b>Capítulo 1. Conceptos básicos para electrónica</b>	<b>43</b>
1.1 Definiciones	45
1.1.1 Voltaje	45
1.1.2 Corriente	46
1.1.3 Concepto de señal eléctrica	47
1.1.4 Resistencia	50
1.1.5 Ley de <i>Ohm</i>	53
1.1.6 Potencia eléctrica	53
1.1.7 Reactancia	54
1.1.8 Impedancia	56
1.1.9 Conductancia	59
1.1.10 Susceptancia	59
1.1.11 Admitancia	59
1.1.12 Leyes de Kirschhoff	59
1.2. Concepto de átomo	63
1.2.1 Comportamiento electrónico en los átomos de los semiconductores	64
1.2.2 Principios de conducción y no conducción	66
1.2.3 Iones	66
<b>Capítulo 2. El diodo</b>	<b>71</b>
2.1 Principios de funcionamiento	73
2.2 Especificaciones del diodo	77
2.2.1 Verificación del diodo con un multímetro digital	77
2.2.2 Presentaciones comerciales	79

2.3 Polarización del diodo	79
2.3.1 Polarización directa	79
2.3.2 Polarización inversa	81
2.4 Curvas del diodo y clases de diodos	81
2.4.1 Curva general para diodos	83
2.4.2 Zona de polarización directa, región lineal	87
2.4.3 Resistencia dinámica del diodo	90
2.4.4 Zona de polarización directa, región no lineal	92
2.4.5 Zona de polarización inversa, no conducción	94
2.4.6 Zona de polarización inversa, región Zener	97
2.5 Aplicaciones con diodos	100
2.5.1 Idealización del diodo	100
2.5.2 Rectificador de media onda	103
2.5.3 Rectificador de onda completa a dos diodos	105
2.5.4 Rectificador de onda completa con puente de diodos	107
2.5.5 Fuente rectificadora de onda completa	111
2.5.6 Aplicaciones con diodo Zener	115
2.5.7 Diodos emisores de luz (LED)	117
<b>Capítulo 3. El transistor de unión bipolar (BJT)</b>	<b>125</b>
3.1 Principio de funcionamiento	127
3.1.1 Empaques del transistor	129
3.1.2 Identificación de terminales	129
3.1.3 Características del transistor para polarización	132
3.1.4 Zonas de polarización	134
3.2 Polarización del transistor BJT	136
3.2.1 Polarización con dos fuentes	137
3.2.2 Polarización con retroalimentación de voltaje	140
3.2.3 Polarización por divisor de voltaje	142
3.3 Recta de carga del transistor	152

3.3.1	Condiciones de diseño de polarización	156
3.3.2	Programación de cálculos DC en hoja de cálculo	160
Capítulo 4.	El transistor de efecto de campo (FET)	171
4.1	Principios de funcionamiento	173
4.1.1	Características del JFET	174
4.1.2	Comparativos con el BJT	176
4.2	Polarización del FET	177
4.2.1	Elaboración de la curva de transconductancia	180
4.2.2	Transconductancia del JFET y resistencia en conducción	183
4.3	El MOSFET	186
4.3.1	Polarización fija del JFET	189
4.3.3	Línea de autopolarización del FET	195
4.3.4	Polarización por divisor de tensión	197
4.4	Regla de diseño en polarización de los FET	208
Capítulo 5.	Amplificadores para pequeña señal	215
5.1	Señales en un amplificador a transistor	218
5.2	Amplificadores de pequeña señal con BJT	219
5.2.1	Modelado del transistor	220
5.2.2	Modelo híbrido	221
5.2.3	Modelo $r_e$	224
5.2.4	Configuración emisor común	225
5.2.5	Cálculos aproximados	229
5.2.6	Programación de cálculos AC en hoja de cálculo	237
5.2.7	Configuración base común	241
5.2.8	Configuración de colector común	244
5.2.9	Configuración Darlington	248
5.3	Amplificadores de pequeña señal con FET	250
5.4	Concepto del bloque amplificador	257

Capítulo 6. El amplificador operacional	263
6.1 Características y funcionamiento	265
6.2 Circuitos operacionales	267
6.2.1 Amplificador inversor	268
6.2.2 Amplificador no inversor	272
6.2.3 Amplificador sumador	275
6.2.4 Amplificador restador	278
6.2.5 Amplificador integrador	285
6.2.6 Amplificador derivador	288
6.2.7 Amplificador logarítmico	289
6.2.8 Amplificador exponencial	291
6.2.9 Casos combinados con amplificadores	292
6.3 Comparadores de voltaje	296
6.3.1 Comparador inversor	296
6.3.2 Comparador no inversor	297
6.3.3 Comparador de ventana	297
6.3.4 Otras aplicaciones de los comparadores	301
<b>Segunda parte. Aplicaciones en telecomunicaciones</b>	<b>307</b>
Capítulo 7. Filtros activos	309
7.1 Tipos de filtros activos	312
7.1.1 Características y orden de los filtros	316
7.1.2 Función de transferencia	317
7.2 Diseño de circuitos para filtros de primer orden	318
7.2.1 Filtro pasa bajo de primer orden	320
7.2.2 Consideración de frecuencia	323
7.2.3 Filtro pasa alto	327
7.3 Diseño de circuitos para filtros de orden superior	329
7.3.1 Filtros de orden superior	330

7.3.2	Características de filtros pasa banda	335
7.3.3	Filtro pasa banda con circuitos RC	341
7.4	Filtros activos de topología Sallen-Key de orden superior	343
7.4.1	Filtros de orden superior Butterworth	344
7.4.2	Filtros pasa banda con topología Sallen-Key	348
<b>Capítulo 8.</b>	<b>Osciladores</b>	<b>353</b>
8.1	Osciladores sinusoidales	357
8.1.1	Oscilador puente de Wien	358
8.1.2	Oscilador de cambio de fase	362
8.1.3	Oscilador Hartley	366
8.1.4	Oscilador Colpitts	367
8.2	Osciladores de onda cuadrada	373
<b>Capítulo 9.</b>	<b>Elementos básicos de electrónica industrial</b>	<b>379</b>
9.1	Tiristores	381
9.1.1	Rectificador controlado de silicio (SCR)	382
9.1.2	Características principales del tiristor	383
9.1.3	Tiristor de apagado y encendido por compuerta (GTO)	388
9.1.4	Diodo conmutador de corriente alterna (DIAC)	388
9.1.5	Triodo para corriente alterna (TRIAC)	389
9.1.6	TRIAC con engatillado interno (QUADRAC)	395
9.2	Fundamentos de dispositivos eléctricos	395
9.2.1	Relevos	395
9.2.2	Contactores	397
<b>Capítulo 10.</b>	<b>Moduladores y Transmisores</b>	<b>401</b>
10.1	Fundamentos de modulación	404
10.2	Moduladores de amplitud modulada (AM)	406
10.2.1	Modulador am por diodo	406

10.2.2 Modulador AM por transistor	407
10.3 Demodulador de AM	408
10.3.1 Demodulador AM por detección de envolvente	408
10.3.2 Demodulador AM por detección coherente	409
10.4 Modulador de frecuencia modulada (FM)	411
10.4.1 Micrófono electret	412
10.4.2 Cálculo de una antena transmisora-receptora	413
10.5 Demodulador de FM	414
Referencias	417
Apéndice A	423
A.1 Transformadores	425
A.2 Configuración de los transformadores en Proteus	429
Apéndice B	431
B.1 Tabla AWG para alambres	433
Apéndice C	435
C.1 Justificación del voltaje de rizo	437
Índice analítico	441

# Índice de tablas y figuras



# Figuras

<b>Figura 1.1.</b> Símbolos para fuentes de voltaje. (a) Batería de corriente directa, (b) fuente de voltaje de corriente directa y (c) fuente de voltaje de corriente alterna.	46
<b>Figura 1.2.</b> Elementos y equipos que proporcionan voltaje: (a) baterías, (b) fuente dual de voltaje y (c) generador de señales.	46
<b>Figura 1.3.</b> Símbolos para fuentes de corriente: (a) fuente independiente y (b) fuente dependiente.	47
<b>Figura 1.4.</b> Denominación de una diferencia de potencial según la dirección de la corriente: (a) $V_{ab} = V_a - V_b$ , (b) $V_{ba} = V_b - V_a$ .	47
<b>Figura 1.5.</b> Gráfica que representa una señal periódica.	48
<b>Figura 1.6.</b> Señal para el ejemplo 1.1.	49
<b>Figura 1.7.</b> Símbolos usados para la resistencia.	50
<b>Figura 1.8.</b> Diferentes presentaciones de resistencias.	50
<b>Figura 1.9.</b> Presentación comercial de inductores: (a) sin núcleo, (b) con núcleo y (c) en paquete.	54
<b>Figura 1.10.</b> Presentaciones comerciales de algunos condensadores: (a) electrolítico, (b) cerámico y (c) de montaje superficial.	55
<b>Figura 1.11.</b> Plano cartesiano imaginario aplicado a un circuito RC.	57
<b>Figura 1.12.</b> Circuito RC: (a) circuito resistivo y capacitivo, (b) circuito de resistencia y reactancia y (c) circuito de impedancia.	57
<b>Figura 1.13.</b> Componentes de un lazo o malla Mx.	60
<b>Figura 1.14.</b> Corrientes en un nodo.	61
<b>Figura 1.15.</b> Circuito para ejemplo 1.7.	61
<b>Figura 1.16.</b> Circuito reducido del ejemplo 1.7.	62
<b>Figura 1.17.</b> (a) Distribución electrónica del silicio, (b) red de covalencia de un material de silicio.	64

<b>Figura 2.1.</b> Material de silicio dopado con átomos de antimonio.	74
<b>Figura 2.2.</b> Material de silicio dopado con átomos de boro.	74
<b>Figura 2.3.</b> Unión PN para formar un semiconductor.	75
<b>Figura 2.4.</b> Incremento de la región iónica debido a polarización inversa.	76
<b>Figura 2.5.</b> Reducción de la región iónica debido a una polarización directa.	76
<b>Figura 2.6.</b> (a) Correspondencia de la unión PN, (b) presentación comercial típica y (c) símbolo.	77
<b>Figura 2.7.</b> Prueba del diodo en posición correcta.	78
<b>Figura 2.8.</b> Prueba del diodo en inverso.	78
<b>Figura 2.9.</b> Varias presentaciones de diodos comerciales.	79
<b>Figura 2.10.</b> Circuito con diodo polarizado en directo.	80
<b>Figura 2.11.</b> Circuito para el ejemplo 2.1.	80
<b>Figura 2.12.</b> Circuito con diodo polarizado en inverso.	81
<b>Figura 2.13.</b> Curva típica de un diodo.	84
<b>Figura 2.14.</b> Circuito para obtener la curva del diodo.	85
<b>Figura 2.15.</b> Transformador típico comercial para voltajes bajos.	85
<b>Figura 2.16.</b> Gráfica ilustrativa del montaje para obtener la curva del diodo.	86
<b>Figura 2.17.</b> Montaje del circuito de curvas para diodos en protoboard.	87
<b>Figura 2.18.</b> Circuito para el ejemplo 2.3.	89
<b>Figura 2.19.</b> Circuito para el ejemplo 2.4.	90
<b>Figura 2.20.</b> Determinación de la resistencia dinámica del diodo.	91
<b>Figura 2.21.</b> Zona de polarización directa, región no lineal: (a) en los diodos normales, (b) en diodos especiales.	92
<b>Figura 2.22.</b> Diodos de resistencia negativa: (a) diodo túnel y su símbolo, (b) diodo Gunn y su símbolo.	93
<b>Figura 2.23.</b> Región de no conducción, tercera curva.	94
<b>Figura 2.24.</b> Estructura básica de un condensador.	94
<b>Figura 2.25.</b> Comportamiento del diodo según su polarización: (a) sin aplicar potencial, barrera iónica normal; (b) polarizado en directo, la barrera iónica se reduce o desaparece; (c) polarizado en inverso, la barrera iónica se incrementa.	95

<b>Figura 2.26.</b> Diodo varactor: (a) comportamiento de la barrera iónica, (b) símbolo y (c) variación capacitiva de acuerdo con el voltaje inverso $V_R$ .	96
<b>Figura 2.27.</b> Curvas que muestran el comportamiento de dos diodos varactores comerciales, respecto del voltaje inverso aplicado.	97
<b>Figura 2.28.</b> (a) Curva de la región Zener, (b) presentación comercial de un diodo Zener, (c) símbolo de un diodo Zener.	97
<b>Figura 2.29.</b> El diodo y su circuito equivalente simplificado.	101
<b>Figura 2.30.</b> Curva ideal para los diodos.	101
<b>Figura 2.31.</b> Circuito para el ejemplo 2.6.	101
<b>Figura 2.32.</b> Circuito equivalente para el ejemplo 2.6.	102
<b>Figura 2.33.</b> Circuito para el ejemplo 2.7.	102
<b>Figura 2.34.</b> (a) Circuito equivalente del ejemplo 2.7, (b) circuito simplificado.	103
<b>Figura 2.35.</b> (a) Señal de entrada seno y su ecuación, (b) circuito rectificador de media onda, (c) señal de salida rectificadas.	104
<b>Figura 2.36.</b> (a) Señal senoidal, (b) rectificador de onda completa con dos diodos.	105
<b>Figura 2.37.</b> (a) Análisis de la media onda negativa, (b) recorrido adecuado de la media onda, (c) señal de salida vista en $R_L$ .	106
<b>Figura 2.38.</b> (a) Análisis de la media onda positiva, (b) recorrido adecuado de la media onda, (c) señal de salida vista en $R_L$ junto a la primera media onda.	106
<b>Figura 2.39.</b> (a) Señal de entrada en $V_2$ , (b) circuito rectificador con puente de diodos.	107
<b>Figura 2.40.</b> (a) Análisis de la media onda negativa, (b) recorrido adecuado de la media onda, (c) señal de salida vista en $R_L$ .	108
<b>Figura 2.41.</b> (a) Análisis de la media onda positiva, (b) recorrido adecuado de la media onda, (c) señal de salida vista en $R_L$ junto a la primera media onda.	108
<b>Figura 2.42.</b> Circuito rectificador para el ejemplo 2.9.	109
<b>Figura 2.43.</b> (a) Comportamiento del circuito en el momento de la onda positiva de la señal de entrada, (b) circuito equivalente para análisis.	109

<b>Figura 2.44.</b> (a) Comportamiento del circuito en el momento de la onda negativa de la señal de entrada, (b) circuito equivalente para análisis.	110
<b>Figura 2.45.</b> Forma de onda resultante del ejemplo 2.9.	111
<b>Figura 2.46.</b> Fuente DC.	111
<b>Figura 2.47.</b> Voltaje de rizo provocado por la carga en el condensador y la resistencia $R_L$ .	112
<b>Figura 2.48.</b> Fuente de voltaje DC para la Práctica 2.2.	113
<b>Figura 2.49.</b> Circuito sujetador.	114
<b>Figura 2.50.</b> (a) Comportamiento del circuito en pulso positivo, (b) comportamiento del circuito en pulso negativo, (c) señal resultante sobre la resistencia R.	115
<b>Figura 2.51.</b> Uso del diodo Zener como regulador de voltaje.	115
<b>Figura 2.52.</b> Diseño final para el regulador de 5,1 V.	116
<b>Figura 2.53.</b> Circuito limitador de voltaje.	117
<b>Figura 2.54.</b> (a) Componentes de un LED y (b) símbolo.	118
<b>Figura 2.55.</b> Diversas presentaciones y bloques de LED.	118
<b>Figura 2.56.</b> Circuito típico para encender un LED.	119
<b>Figura 2.57.</b> Circuito con solución para el ejemplo 2.13.	120
<b>Figura 3.1.</b> Tipos de transistor y polarización: (a) tipo <i>nnp</i> , (b) símbolo para el <i>nnp</i> ; (c) tipo <i>pnp</i> , (d) símbolo para <i>pnp</i> .	128
<b>Figura 3.2.</b> Efecto amplificador del transistor.	128
<b>Figura 3.3.</b> Algunos tipos de empaques para transistores.	129
<b>Figura 3.4.</b> Identificación y verificación de terminales en un transistor. (a) Identificación de B-C. (b) Identificación de B-E.	130
<b>Figura 3.5.</b> Identificación de terminales con la selección HFE. (a) No correcta. (b) Inserción en los terminales correctos.	131
<b>Figura 3.6.</b> Identificación de un transistor en empaque TO 39.	131
<b>Figura 3.7.</b> Característica estática que relaciona implícitamente el valor HFE del transistor BC546.	133
<b>Figura 3.8.</b> Características de la corriente de base.	134
<b>Figura 3.9.</b> Zonas de operación del transistor.	134
<b>Figura 3.10.</b> Ubicación de los puntos de voltaje colector-emisor y corriente de base.	135
<b>Figura 3.11.</b> Polarización para configuración de emisor común.	136

<b>Figura 3.12.</b> Variables eléctricas para considerar en el análisis de configuración de emisor común.	137
<b>Figura 3.13.</b> Circuito para el ejemplo 3.2.	139
<b>Figura 3.14.</b> Circuito del ejemplo de polarización por retroalimentación de voltaje.	140
<b>Figura 3.15.</b> Circuito reducido de polarización por retroalimentación del ejemplo.	141
<b>Figura 3.16.</b> Circuito de polarización por divisor de tensión.	143
<b>Figura 3.17.</b> Circuito equivalente al circuito de polarización por divisor de tensión.	143
<b>Figura 3.18.</b> Circuito del ejemplo de polarización por divisor de tensión.	144
<b>Figura 3.19.</b> Simulación en el programa Proteus	146
<b>Figura 3.20.</b> Polarización por divisor de tensión con fuente dual.	147
<b>Figura 3.21.</b> Análisis de la red de entrada para valores Thèvenin.	148
<b>Figura 3.22.</b> Circuito equivalente de polarización con fuente dual.	149
<b>Figura 3.23.</b> Ejemplo de polarización universal con fuente dual.	151
<b>Figura 3.24.</b> Ubicación de la recta de carga en las curvas del transistor.	152
<b>Figura 3.25.</b> Circuito de salida de un amplificador BJT.	153
<b>Figura 3.26.</b> Recta de carga del transistor.	154
<b>Figura 3.27.</b> Comportamiento de la recta de carga con variaciones de sus variables. (a) En variación de $R_C + R_E$ , (b) Variación de $V_{CC}$ .	154
<b>Figura 3.28.</b> Ejemplo de aplicación de la recta de carga.	155
<b>Figura 3.29.</b> Gráfica de curvas para el ejemplo 3.7.	157
<b>Figura 3.30.</b> Trazado de la recta de carga y búsqueda de valores del punto Q.	158
<b>Figura 3.31.</b> Circuito del ejemplo con los valores comerciales.	159
<b>Figura 3.32.</b> Disposición de la hoja de cálculo para ingresar valores para cálculos.	161
<b>Figura 3.33.</b> Resultado de la programación en hoja de cálculo para verificación de la polarización universal del transistor.	162
<b>Figura 3.34.</b> Circuito de polarización para el ejemplo 3.8.	164
<b>Figura 4.1.</b> (a) Esquema de la estructura de un JFET. (b) Símbolos.	174

<b>Figura 4.2.</b> Polarización del JFET, mostrando sus principales variables.	174
<b>Figura 4.3.</b> Curvas de transferencia del JFET 2N3819. (a) Características de salida. (b) Características de transferencia (Fairchild Semiconductor, 2002).	176
<b>Figura 4.4.</b> Analogía de obstrucción del canal con una manguera.	177
<b>Figura 4.5.</b> Curvas de transferencia del JFET.	178
<b>Figura 4.6.</b> Práctica para hallar los parámetros de transconductancia. (a) Circuito para hallar el $I_{DSS}$ . (b) Circuito para hallar el $V_{GS(off)}$ . (c) Disposición de las fuentes para tener voltaje dual.	179
<b>Figura 4.7.</b> Dibujo de la curva de transferencia de manera rápida conociendo solo cinco puntos.	180
<b>Figura 4.8.</b> Disposición de las celdas en la hoja de cálculo.	181
<b>Tabla 4.4.</b> Procedimiento para elegir valores en hoja de cálculo	181
<b>Figura 4.9.</b> Datos de la tabla realizada en la hoja de cálculo para obtener la curva de transferencia.	182
<b>Figura 4.10.</b> Curva de transferencia de la Práctica 4.2.	183
<b>Figura 4.11.</b> Prueba de no conducción de un FET entre drenaje y fuente.	184
<b>Figura 4.12.</b> Activación de la compuerta con un pulso positivo proporcionado por el DMM.	184
<b>Figura 4.13.</b> Prueba de enganche y conducción entre drenaje y fuente.	185
<b>Figura 4.14.</b> Inserción de un pulso negativo a la compuerta para desenganchar el FET.	185
<b>Figura 4.15.</b> Prueba de no conducción entre drenaje y fuente luego de aplicar un pulso negativo a la compuerta.	185
<b>Figura 4.16.</b> MOSFET de vaciamiento. (a) Configuración interna del MOSFET, (b) símbolo y (c) curvas de transferencia.	186
<b>Figura 4.17.</b> MOSFET de enriquecimiento.	187
<b>Figura 4.18.</b> CMOS (del inglés, <i>Complementary MetalOxide Semiconductor</i> ). (a) Estructura y composición. (b) Símbolo y salida lógica en $V_{OUT}$ .	188
<b>Figura 4.19.</b> Circuito básico de polarización de un JFET usando dos fuentes.	189

<b>Figura 4.20.</b> Circuito con JFET de polarización fija.	191
<b>Figura 4.21.</b> Autopolarización del JFET.	192
<b>Figura 4.22.</b> Circuito de autopolarización para el ejemplo 4.2.	193
<b>Figura 4.23.</b> Curva de transferencia y línea de autopolarización para la práctica 4.4.	197
<b>Figura 4.24.</b> Circuito de polarización por divisor de tensión para el FET.	197
<b>Figura 4.25.</b> Circuito equivalente para el circuito de polarización por divisor de tensión del JFET.	198
<b>Figura 4.26.</b> Ejemplo de circuito de polarización por divisor de tensión.	200
<b>Figura 4.27.</b> Circuito equivalente del ejemplo.	201
<b>Figura 4.28.</b> Curva de transferencia y recta de polarización para un circuito JFET, en divisor de tensión, obtenido en Matlab.	204
<b>Figura 4.29.</b> Circuito de polarización por divisor de tensión para un MOSFET de enriquecimiento de canal N.	205
<b>Figura 4.30.</b> Circuito equivalente de polarización por división de tensión de un MOSFET.	206
<b>Figura 4.31.</b> Curva de transferencia y línea de polarización del ejemplo.	207
<b>Figura 5.1.</b> Proceso de amplificación de una señal en un circuito a transistor.	219
<b>Figura 5.2.</b> Disposición del circuito en (a) DC y (b) AC.	220
<b>Figura 5.3.</b> Circuito equivalente.	220
<b>Figura 5.4.</b> Circuito a transistor equivalente en AC.	221
<b>Figura 5.5.</b> Modelado del transistor como una red de cuatro puertas.	221
<b>Figura 5.6.</b> Caja negra del transistor poniendo la salida en corto.	222
<b>Figura 5.7.</b> Caja negra del transistor con el circuito abierto a la entrada.	223
<b>Figura 5.8.</b> Circuito de transistor con parámetros híbridos.	224
<b>Figura 5.9.</b> Configuración de emisor. (a) Disposición del transistor, (b) modelo híbrido, (c) modelo re.	225
<b>Figura 5.10.</b> Circuito en configuración de emisor común para el ejemplo 5.1.	227

<b>Figura 5.11.</b> Modelo híbrido para señal AC del circuito del ejemplo 5.1.	228
<b>Figura 5.12.</b> Circuito para el ejemplo 5.2.	229
<b>Figura 5.13.</b> Circuito equivalente AC para el ejemplo 5.2.	230
<b>Figura 5.14.</b> Circuito de polarización por divisor de tensión para cálculo de AC.	232
<b>Figura 5.15.</b> Circuito híbrido para el BJT de polarización por divisor de tensión.	232
<b>Figura 5.16.</b> Circuito híbrido simplificado.	233
<b>Figura 5.17.</b> Circuito para la práctica de laboratorio 5.1.	236
<b>Figura 5.18.</b> Disposición completa de la hoja de cálculo para hallar valores en DC y AC para un sistema de polarización universal en BJT.	238
<b>Figura 5.19.</b> Circuito en Multisim, donde se aprecian los valores de DC y AC.	240
<b>Figura 5.20.</b> Pantalla del osciloscopio del simulador mostrando las dos señales.	241
<b>Figura 5.21.</b> Configuración base común.	241
<b>Figura 5.22.</b> Modelo híbrido de la configuración base común.	242
<b>Figura 5.23.</b> Modulador AM en configuración combinada emisor común y base común.	243
<b>Figura 5.24.</b> Resultado de las señales que ingresan por emisor y por base para conformar una señal AM.	243
<b>Figura 5.25.</b> Configuración de colector común.	244
<b>Figura 5.26.</b> Amplificador de configuración de colector común.	244
<b>Figura 5.27.</b> Circuito híbrido para la configuración de colector común.	245
<b>Figura 5.28.</b> Ejemplo de configuración de colector común.	247
<b>Figura 5.29.</b> Simulación del ejemplo de colector común.	248
<b>Figura 5.30.</b> Señales de entrada y salida. Las escalas son de 2 V para el canal 1 y de 1 V para el canal 2.	248
<b>Figura 5.31.</b> Configuración Darlington. (a) Disposición interna. (b) Presentación comercial.	249
<b>Figura 5.32.</b> Aplicación de transistores Darlington para un amplificador estéreo.	250

<b>Figura 5.33.</b> Modelo AC equivalente para el FET.	251
<b>Figura 5.34.</b> Circuito de autopolarización para análisis AC.	251
<b>Figura 5.35.</b> Circuito de JFET en AC.	252
<b>Figura 5.36.</b> Circuito de ejemplo para cálculo de ganancias en AC.	254
<b>Figura 5.37.</b> Simulación del circuito del ejemplo (Programa Multisim).	256
<b>Figura 5.38.</b> Señales del amplificador con JFET en el osciloscopio para el ejemplo 5.5.	256
<b>Figura 5.39.</b> Concepto del bloque amplificador de ganancia Av.	257
<b>Figura 5.40.</b> Amplificadores en cascada.	257
<b>Figura 6.1.</b> Presentación comercial de un amplificador operacional (a) Tipo DIP. (b) Tipo SOP o SOIC.	266
<b>Figura 6.2.</b> Símbolos usados para el amplificador operacional: (a) estándar, (b) alternativo.	266
<b>Figura 6.3.</b> Configuración interna del amplificador operacional.	267
<b>Figura 6.4.</b> Circuito de amplificador inversor.	268
<b>Figura 6.5.</b> Circuito inversor para el ejemplo 6.1.	269
<b>Figura 6.6.</b> Simulación del ejemplo, realizado en LTspice.	270
<b>Figura 6.7.</b> Señal de entrada para el ejemplo 6.2.	271
<b>Figura 6.8.</b> Señal de salida para el circuito del ejemplo 6.2.	271
<b>Figura 6.9.</b> Simulación del ejemplo en LTspice con señal AC a la entrada, mostrando corrientes y voltajes.	272
<b>Figura 6.10.</b> Circuito amplificador no inversor.	273
<b>Figura 6.11.</b> Amplificador no inversor del ejemplo 6.3.	274
<b>Figura 6.12.</b> Amplificador sumador inversor.	276
<b>Figura 6.13.</b> Circuito sumador para el ejemplo 6.4.	277
<b>Figura 6.14.</b> Circuito restador inversor.	278
<b>Figura 6.15.</b> Circuito para el ejemplo de restador.	281
<b>Figura 6.16.</b> Circuito combinado de amplificador operacional para el ejemplo 6.6.	282
<b>Figura 6.17.</b> Identificación del sumador en A1.	282
<b>Figura 6.18.</b> Identificación del divisor de tensión con el amplificador operacional A3.	283
<b>Figura 6.19.</b> Identificación del amplificador no inversor del ejemplo 6.6.	283

<b>Figura 6.20.</b> Identificación del amplificador operacional A3 como un amplificador inversor.	284
<b>Figura 6.21.</b> Identificación de A4 como un sumador.	284
<b>Figura 6.22.</b> Circuito simulado en Multisim.	285
<b>Figura 6.23.</b> Circuito integrador básico.	286
<b>Figura 6.24.</b> Circuito generador de señales a partir de integradores. (b) Señal cuadrada de entrada, (c) señal de salida del primer integrador, (d) señal de salida del segundo integrador.	287
<b>Figura 6.25.</b> (a) Circuito integrador práctico. (b) Circuito simplificado.	288
<b>Figura 6.26.</b> (a) Circuito diferenciador. (b) Símbolo.	288
<b>Figura 6.27.</b> (a) Bloque diferenciador. (b) Señal de entrada en triangular. (c) Señal cuadrada obtenida a la salida.	289
<b>Figura 6.28.</b> Amplificador logarítmico.	290
<b>Figura 6.29.</b> Amplificador logarítmico con transistor.	291
<b>Figura 6.30.</b> Circuito amplificador exponencial.	291
<b>Figura 6.31.</b> Circuito alternativo exponencial usando transistor.	292
<b>Figura 6.32.</b> Circuito de amplificadores en cascada del ejemplo 6.7.	292
<b>Figura 6.33.</b> Circuito para el ejemplo 6.8.	294
<b>Figura 6.34.</b> Comparador inversor. (a) Circuito con amplificador operacional. (b) Señales de entrada y de salida.	296
<b>Figura 6.35.</b> Comparador no inversor. (a) Circuito con amplificador operacional. (b) Señales de entrada y de salida.	297
<b>Figura 6.36.</b> (a) Circuito comparador de ventana. (b) Señales de referencia, señal de entrada y señal de salida.	298
<b>Figura 6.37.</b> Comparador de ventana usando el circuito integrado LM339.	299
<b>Figura 6.38.</b> Sensor de temperatura LM35 en empaque TO-92. (a) Disposición de terminales. (b) Circuito básico.	300
<b>Figura 6.39.</b> Circuito de alarma cuando la temperatura está fuera de rango.	301
<b>Figura 7.1.</b> Tipos de filtros activos (a) Filtro pasa bajos. (b) Filtro pasa altos. (c) Filtro pasa banda. (d) Filtro atenúa banda.	312
<b>Figura 7.2.</b> Ejemplo de aplicación de los filtros LPF y HPF.	313

<b>Figura 7.3.</b> Representación de los filtros ideales (a) LPF. (b) HPF. (c) BPF y (d) <i>notch</i> .	313
<b>Figura 7.4.</b> Bloque amplificador en dB para el ejemplo 7.1.	314
<b>Figura 7.5.</b> Bloque amplificador en dB para el ejemplo 7.2.	315
<b>Figura 7.6.</b> Bloque amplificador para el ejemplo 7.3.	315
<b>Figura 7.7.</b> Detalles de un filtro con sus características.	316
<b>Figura 7.8.</b> Afectación del filtro debido al orden $n$ .	318
<b>Figura 7.9.</b> Tipos de filtros y sus curvas respectivas de respuesta en frecuencia.	318
<b>Figura 7.10.</b> Ejemplos de <i>roll-off</i> que muestra la pendiente en dB por década. No se muestra la banda permitida.	320
<b>Figura 7.11.</b> (a) Filtro pasa bajo de primer orden. (b) Circuito equivalente como amplificador inversor.	321
<b>Figura 7.12.</b> Diagrama de Bode de un LPF.	322
<b>Figura 7.13.</b> Simulación del diseño de LPF de 1 kHz.	323
<b>Figura 7.14.</b> LPF pasivo.	323
<b>Figura 7.15.</b> LPF en un amplificador no inversor.	325
<b>Figura 7.16.</b> Diagrama de Bode normalizado para el LPF no inversor.	326
<b>Figura 7.17.</b> Diagrama de Bode para el ejemplo 7.5.	327
<b>Figura 7.18.</b> HPF. (a) Circuito activo. (b) Respuesta en frecuencia.	327
<b>Figura 7.19.</b> Montaje para la práctica de filtros básicos.	328
<b>Figura 7.20.</b> Circuitos para filtros Butterworth: (a) de segundo orden, (b) de tercer orden.	330
<b>Figura 7.21.</b> (a) Circuito final del filtro pasa bajo de segundo orden tipo Butterworth. (b) Diagrama de Bode.	333
<b>Figura 7.22.</b> Filtro Butterworth de 5° orden. (a) Circuito en dos etapas de 3 x 2. (b) Diagrama de Bode.	334
<b>Figura 7.23.</b> Características principales de un BPF.	335
<b>Figura 7.24.</b> Circuito eléctrico de segundo orden.	336
<b>Figura 7.25.</b> Circuito para hallar curva del factor de calidad.	338
<b>Figura 7.26.</b> Disposición de la hoja de cálculo para crear el programa sobre el factor de calidad.	339
<b>Figura 7.27.</b> Gráfica de los tres valores de $Q$ , en diferentes valores de resistencias.	340
<b>Figura 7.28.</b> Filtro pasa banda compuesto por un LPF y un HPF.	341

<b>Figura 7.29.</b> BPF activo a partir de LPF y HPF.	341
<b>Figura 7.30.</b> Circuito final para el BPF del ejemplo 7.8.	342
<b>Figura 7.31.</b> Disposición de topología Sallen-Key para filtros LPF. (a) Circuito de un solo polo y ganancia unitaria. (b) Circuito de dos polos y con Ganancia $K = 1 + R_f / R_i$ .	343
<b>Figura 7.32.</b> Disposición de topología Sallen-Key para filtros HPF. (a) Circuito de un solo polo y ganancia unitaria. (b) Circuito de dos polos y con Ganancia $K = 1 + R_f / R_i$ .	344
<b>Figura 7.33.</b> Distribución de las secciones para la tipología Sallen-Key.	346
<b>Figura 7.34.</b> Circuito final para el ejemplo del LPF de 3400 Hz de 4° orden.	347
<b>Figura 7.35.</b> Diagrama de Bode para el LPF del ejemplo 7.9.	347
<b>Figura 7.36.</b> BPF de segundo orden para frecuencias entre 5 kHz y 50 kHz.	349
<b>Figura 7.37.</b> Respuesta en frecuencia para el BPF del ejemplo 7.10.	349
<b>Figura 8.1.</b> Diagrama en bloques para el funcionamiento de un oscilador.	355
<b>Figura 8.2.</b> Red R-C como principio del oscilador Puente de Wien.	358
<b>Figura 8.3.</b> Circuito anterior equivalente en impedancias.	358
<b>Figura 8.4.</b> Circuito oscilador Puente de Wien.	360
<b>Figura 8.5.</b> Espectros de frecuencia (a) de amplitud y (b) de fase.	361
<b>Figura 8.6.</b> Circuito oscilador de 5 kHz, para el ejemplo 8.1.	362
<b>Figura 8.7.</b> Red de realimentación para el oscilador por cambio de fase.	363
<b>Figura 8.8.</b> Oscilador con amplificador operacional de 25 kHz.	365
<b>Figura 8.9.</b> Oscilador por desplazamiento de fase con transistor.	366
<b>Figura 8.10.</b> Oscilador Hartley con transistor.	367
<b>Figura 8.11.</b> Oscilador Colpitts usando transistor.	368
<b>Figura 8.12.</b> Circuito híbrido parcial del transistor. (a) Circuito de entrada. (b) Filtro en el emisor. (c) Circuito de salida hacia la carga. (d) Filtro de salida.	371
<b>Figura 8.13.</b> Oscilador Colpitts para generar frecuencia de 40 kHz.	372
<b>Figura 8.14.</b> Visualización de la pantalla del osciloscopio para el oscilador de 40 kHz.	372

<b>Figura 8.15.</b> Circuito para onda cuadrada con amplificador operacional.	373
<b>Figura 9.1.</b> Tiristor: (a) composición, (b) circuito electrónico equivalente y (c) símbolo característico para el SCR.	382
<b>Figura 9.2.</b> Presentaciones comerciales del SCR para las referencias TC106D1 y C106D.	383
<b>Figura 9.3.</b> Curva de características del SCR.	383
<b>Figura 9.4.</b> Prueba inicial entre los terminales cátodo y ánodo del SCR C106D.	385
<b>Figura 9.5.</b> Uniendo al tiempo ánodo y compuerta, el SCR conduce.	385
<b>Figura 9.6.</b> Luego de que al SCR se le ha dado una excitación inicial, se mantiene en conducción.	386
<b>Figura 9.7.</b> Circuito para el ejemplo 9.1.	386
<b>Figura 9.8.</b> Circuito práctico para encender bombillo de 3 W.	387
<b>Figura 9.9.</b> GTO. (a) Presentación comercial para altas corrientes. (b) Símbolos usados.	388
<b>Figura 9.10.</b> DIAC. (a) Presentaciones comerciales. (b) Símbolo. (c) Curva de características.	389
<b>Figura 9.11.</b> TRIAC. (a) Presentaciones comerciales. (b) Circuito equivalente y (c) símbolo.	390
<b>Figura 9.12.</b> Curva de características del TRIAC.	390
<b>Figura 9.13.</b> Circuito para el ejemplo 9.2.	391
<b>Figura 9.14.</b> Circuito para mostrar el funcionamiento del TRIAC.	392
<b>Figura 9.15.</b> Circuito de práctica de laboratorio para ajuste de fase con TRIAC.	393
<b>Figura 9.16.</b> El relevo. (a) Composición interna. (b) Algunas presentaciones comerciales. (c) Símbolo.	395
<b>Figura 9.17.</b> Circuito de encendido de motor con autosostenido.	397
<b>Figura 9.18.</b> Contactor para tres líneas de voltaje. (a) Aspecto comercial. (b) Esquema de contactos.	398
<b>Figura 10.1.</b> Sistema de comunicación.	403
<b>Figura 10.2.</b> Sistema de modulación y transmisión.	405
<b>Figura 10.3.</b> Modulador AM usando un diodo y sistema sintonizado.	406
<b>Figura 10.4.</b> Circuito modulador AM con transistor.	407

<b>Figura 10.5.</b> Demodulador AM por envolvente usando diodo.	408
<b>Figura 10.6.</b> Efecto de la selección de los valores para el filtro de recuperación de la moduladora. (a) Valor muy bajo para el condensador.	
(b) Valor recomendado para una buena recuperación.	409
<b>Figura 10.7.</b> Simulación por bloques del detector coherente para AM.	410
<b>Figura 10.8.</b> Demodulador AM coherente usando un transistor.	411
<b>Figura 10.9.</b> Transmisor de FM usando dos transistores.	412
<b>Figura 10.10.</b> Configuración interna de un micrófono electret.	
(a) Estructura mecánica. (b) Esquema eléctrico.	413
<b>Figura A.1.</b> Símbolo de un transformador básico.	425
<b>Figura A.2.</b> Detalle del núcleo de un transformador.	427
<b>Figura A.3.</b> Configuración de transformadores en Proteus.	430
<b>Figura A.4.</b> Configuración de un transformador para uso con derivación (TAP) central.	430
<b>Figura C.1.</b> Análisis de un circuito RC.	437
<b>Figura C.2.</b> Parámetros para cálculo del voltaje de rizo para $t_x$ cercano a T.	438

# Tablas

<b>Tabla 1.1.</b> Colores en las resistencias de cuatro bandas y sus equivalentes numéricos	51
<b>Tabla 1.2.</b> Colores en las resistencias de cinco bandas y sus equivalentes numéricos	52
<b>Tabla 1.3.</b> Valores comerciales para resistencias, según serie E24 de la IEC	53
<b>Tabla 1.4.</b> Colores para los inductores comerciales en paquete	55
<b>Tabla 1.5.</b> Valores comerciales de tolerancia y voltajes para los condensadores cerámicos y electrolíticos	56
<b>Tabla 1.6.</b> Valores de voltajes en las resistencias	63
<b>Tabla 1.7.</b> Tabla periódica mostrando la clasificación de conducción eléctrica	65
<b>Tabla 2.1.</b> Especificaciones técnicas del diodo 1N914	88
<b>Tabla 2.2.</b> Especificaciones para los diodos rectificadores 1N400x	89
<b>Tabla 2.3.</b> Características para dos diodos comerciales	96
<b>Tabla 2.4.</b> Características de los diodos normales Zener comerciales. Parte 1	98
<b>Tabla 2.5.</b> Características de los diodos normales Zener comerciales. Parte 2	98
<b>Tabla 2.6.</b> Características de los LED más comunes	119
<b>Tabla 3.1.</b> Parámetros para polarización en DC para el transistor 2N3904	132

<b>Tabla 3.2.</b> Cálculo de error en cada parámetro del diseño	160
<b>Tabla 3.3.</b> Comandos para las fórmulas en la hoja de cálculo para calcular polarización DC en el BJT	161
<b>Tabla 4.1.</b> Parámetros del JFET	175
<b>Tabla 4.2.</b> Comparativos del BJT contra el JFET	176
<b>Tabla 4.3.</b> Datos para dibujo rápido de la curva de transferencia	180
<b>Tabla 5.1.</b> Comandos de fórmulas en la hoja de cálculo para obtener valores de ganancias y de las variables híbridas	239
<b>Tabla 7.1.</b> Valores de amplitud en salidas para cada filtro	329
<b>Tabla 7.2.</b> Valores normalizados para la red de elementos del filtro	330
<b>Tabla 7.3 .</b> Lista de comandos para graficar el factor Q	339
<b>Tabla 7.4.</b> Distribución de polinomios para los filtros Butterworth	344
<b>Tabla 7.5.</b> Tabla para diseño de Filtros Butterworth con topología sallen-Key	345
<b>Tabla 9.1.</b> Características del scr C106D	384
<b>Tabla 9.2.</b> Principales características del TRIAC	391
<b>Tabla B.1.</b> AWG, calibre 0000 hasta calibre 40	433