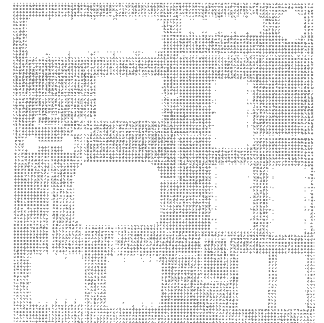


# Contenido



<b>PRÓLOGO</b> .....	xiii
<b>CAPÍTULO 1. CONCEPTOS BÁSICOS</b> .....	1
1.1. Definiciones .....	2
1.2. Componentes y variables .....	2
1.3. Sistemas de referencia para medir posiciones .....	2
1.4. Voltímetros y amperímetros .....	4
1.5. Ley de conservación de la carga .....	6
1.6. Ley de corrientes de Kirchhoff (LCK) .....	8
1.7. Concepto de voltaje en función del campo eléctrico .....	8
1.8. Ley de voltajes de Kirchhoff .....	13
1.9. Potencia y energía en una componente .....	13
1.10. Teoremas de Tellegen .....	16
Ejercicios propuestos .....	20
<b>CAPÍTULO 2. COMPONENTES ELEMENTALES</b> .....	21
2.1. Modelo de componentes .....	22
2.2. Resistor .....	23
2.2.1. Definición .....	23
2.2.2. Resistencia .....	23
2.2.3. Ley de Joule .....	24
2.2.4. Modelo físico .....	25
2.2.5. Cortocircuito .....	26
2.2.6. Circuito abierto .....	27
2.2.7. Fusible .....	27
2.2.8. Interruptor ( <i>Switch</i> ) .....	28
2.2.9. Oport ( <i>Open and Short</i> ) .....	28
2.2.10. Fuente de tensión independiente .....	28
2.2.11. Fuente de tensión no ideal .....	30
2.2.12. Fuente independiente de corriente .....	32
2.2.13. Generador real de corriente .....	32
2.2.14. Equivalencia entre fuentes reales .....	33

2.2.15.	Análisis de una red sencilla .....	33
2.2.16.	Potenciómetro .....	36
2.2.17.	Diodo ideal .....	36
2.2.18.	Fuentes controladas .....	39
2.2.18.1.	Fuente de corriente controlada por corriente .....	39
2.2.18.2.	Fuente de tensión controlada por tensión .....	40
2.2.18.3.	Amplificador operacional .....	40
2.3.	Elementos dinámicos .....	41
2.3.1.	Condensador .....	41
2.3.1.1.	Ecuación de equilibrio .....	43
2.3.1.2.	Potencia y energía en un condensador .....	44
2.3.1.3.	Ecuación de equilibrio inversa .....	44
2.3.1.4.	Modelos con pérdidas .....	46
2.3.2.	Inductor .....	47
2.3.2.1.	Flujo enlazado .....	47
2.3.2.2.	Ley de Ampère .....	48
2.3.2.3.	Fuerza electromotriz .....	50
2.3.2.4.	Ley de Faraday .....	50
2.3.2.5.	Voltaje generado .....	51
2.3.2.6.	Ecuación de equilibrio .....	52
2.3.2.7.	Potencia y energía en inductores .....	53
2.3.2.8.	Ecuación de equilibrio en función del voltaje .....	54
2.3.2.9.	Inductores acoplados .....	54
2.3.2.10.	Modelo con pérdida .....	57
2.3.2.11.	Transformador ideal .....	57
2.4.	De las leyes de Maxwell a las leyes de Kirchhoff .....	59
	Problemas resueltos .....	61
	Ejercicios propuestos .....	79
<b>CAPÍTULO 3.</b>	<b>ECUACIONES DE INTERCONEXIÓN. LEYES DE KIRCHHOFF .....</b>	<b>85</b>
3.1.	Definiciones .....	86
3.1.1.	Grafos .....	86
3.1.2.	Circuitos .....	86
3.1.3.	LCK en vértices .....	87
3.1.4.	Conjuntos de corte .....	87
3.1.5.	LVK en circuitos .....	88
3.1.6.	Mallas .....	88
3.1.7.	Ecuaciones independientes .....	88
3.2.	Árbol .....	89
3.2.1.	Ramas y cuerdas .....	89
3.2.2.	Número de ramas del árbol .....	89
3.2.2.1.	Inducción completa .....	89
3.3.	Circuitos fundamentales .....	91
3.4.	Conjuntos de corte fundamentales .....	91
3.5.	Mallas .....	91
3.6.	Nodos .....	95
3.7.	Resumen .....	96
3.8.	Matrices de incidencia .....	96

3.8.1.	Matriz $Q$ de incidencia de los elementos en los conjuntos de corte fundamentales .....	96
3.8.2.	Matriz $C$ de incidencia de los elementos en los circuitos fundamentales .....	99
3.8.3.	Relaciones entre $Q$ y $C$ .....	100
3.8.4.	Las leyes de Kirchhoff garantizan la ley de la conservación de la energía .....	103
3.8.5.	Matriz $A$ de incidencia de los elementos en los nodos .....	104
3.8.6.	Matriz $M$ de incidencia de los elementos en las mallas. Para redes planas .....	106
3.8.7.	Relaciones entre $A$ y $M$ .....	108
3.8.8.	Transformaciones lineales .....	109
	3.8.8.1. Voltajes de nodos .....	109
	3.8.8.2. Corrientes de mallas .....	109
3.8.9.	Matriz de incidencia de los elementos en los vértices .....	111
3.8.10.	Relación entre matrices $T$ y $A$ .....	112
3.8.11.	Matriz de incidencia de las ramas en los nodos .....	112
3.9.	Teoremas fundamentales .....	113
3.10.	Resumen .....	114
	Problemas resueltos .....	115
	Ejercicios propuestos .....	124

<b>CAPÍTULO 4.</b>	<b>MÉTODOS GENERALES DE ANÁLISIS DE REDES .....</b>	<b>127</b>
4.1.	Método nodal .....	128
	4.1.1. Bases algorítmicas de los programas que analizan redes eléctricas ..	131
4.2.	Métodos de mallas .....	133
4.3.	Método de los conjuntos de corte fundamentales .....	135
	4.3.1. Voltajes de ramas .....	135
4.4.	Método de los circuitos fundamentales .....	137
	4.4.1. Corrientes de cuerdas .....	137
4.5.	Método mixto .....	140
4.6.	Método de variables de estado .....	146
4.7.	Redes de transistores .....	148
	4.7.1. Modelos de redes .....	148
	4.7.2. Ejemplos .....	150
	Problemas resueltos .....	156
	Ejercicios propuestos .....	162

<b>CAPÍTULO 5.</b>	<b>REDES EQUIVALENTES .....</b>	<b>165</b>
5.1.	Característica terminal de una subred .....	166
5.2.	Valores en terminales .....	167
5.3.	Tipos de redes equivalentes .....	170
	5.3.1. Equivalencia por igual característica terminal .....	170
	5.3.2. Equivalencia por iguales valores terminales .....	170
5.4.	Conexiones .....	171
	5.4.1. Conexión serie .....	171
	5.4.2. Conexión paralelo .....	171
5.5.	Conmutatividad serie .....	171

5.5.1.	Conmutatividad serie .....	171
5.5.2.	Conmutatividad paralelo .....	172
5.6.	Bilateralidad .....	173
5.7.	Redundancia .....	174
5.7.1.	Redundancia serie .....	174
5.7.2.	Redundancia paralelo .....	174
5.8.	Contracción de cortocircuitos .....	175
5.9.	Duplicación de nodo .....	175
5.10.	Apertura de elementos .....	176
5.11.	Movilidad de fuentes de tensión .....	176
5.12.	Movilidad de fuentes de corriente .....	177
5.13.	Redes de equivalentes de componentes de igual tipo .....	178
5.13.1.	Dos resistencias en serie .....	178
5.13.2.	Dos resistencias en paralelo .....	179
5.13.3.	Cálculos aproximados .....	181
5.13.4.	Componentes dinámicas en paralelo o serie .....	181
5.13.5.	Fuentes de tensión en serie .....	182
5.13.6.	Fuentes de corriente en paralelo .....	183
5.13.7.	Dos fuentes reales en paralelo .....	183
5.13.8.	Resistores en serie .....	184
5.13.9.	Resistores en paralelo .....	186
5.14.	Redes equivalentes estrella y triángulo .....	187
	Problemas resueltos .....	188
	Ejercicios propuestos .....	192
<b>CAPÍTULO 6.</b>	<b>REDES LINEALES .....</b>	<b>195</b>
6.1.	Redes con una excitación y una respuesta .....	196
6.2.	Linealidad para redes con una excitación .....	197
6.3.	Modelos básicos de componentes lineales .....	198
6.3.1.	Recta que no pasa por el origen .....	198
6.3.2.	La respuesta es la derivada de la excitación .....	199
6.3.3.	Red de primer orden .....	200
6.3.4.	Componente cuadrática .....	201
6.4.	Algunas redes no lineales .....	202
6.4.1.	Amplificador lineal con saturación .....	202
6.4.2.	Diodo .....	202
6.4.3.	Rectificador de onda completa .....	203
6.4.4.	Amplificador inversor .....	203
6.5.	Redes con dos excitaciones .....	203
6.6.	Redes con tres y más excitaciones .....	206
6.7.	Método de superposición .....	206
6.8.	Teorema de Thévenin .....	208
6.8.1.	Definición del equivalente Thévenin .....	208
6.8.2.	Formas de cálculo de la red Thévenin .....	209
6.8.2.1.	Aplicando equivalencias .....	209
6.8.2.2.	Aplicando métodos de análisis .....	209
6.8.2.3.	Parámetros de circuito abierto y cortocircuito .....	209
6.8.2.4.	Cálculo basado en superposición .....	210

6.8.3. Redes con componentes dinámicas .....	211
6.9. Teorema de Norton .....	212
6.10. Redes invariantes en el tiempo .....	213
6.11. Redes lineales e invariantes en el tiempo .....	214
Problemas resueltos .....	215
Ejercicios propuestos .....	222
<b>CAPÍTULO 7. REDES DINÁMICAS .....</b>	<b>225</b>
7.1. Redes de primer orden .....	226
7.1.1. Excitación continua o constante .....	227
7.1.2. Red <i>RC</i> .....	228
7.1.3. Condensadores y red de polarización .....	229
7.1.4. Condensador de acoplo .....	231
7.1.5. Carga y descarga de un condensador .....	232
7.1.6. Red <i>RC</i> sometida a un tren de pulsos .....	233
7.1.7. Red <i>RC</i> con generador real .....	235
7.1.8. Discontinuidad en condensadores .....	235
7.1.9. Carga lineal. Generador de barrido .....	237
7.1.10. Carga por gotas .....	238
7.1.11. Red <i>RL</i> .....	238
7.1.12. Excitación sinusoidal .....	240
7.2. Redes de segundo orden .....	241
7.2.1. Red con dos condensadores .....	241
7.2.2. Red <i>LC</i> .....	242
7.3. Soluciones numéricas .....	245
Problemas resueltos .....	248
Ejercicios propuestos .....	253
<b>CAPÍTULO 8. ANÁLISIS SINUSOIDAL .....</b>	<b>257</b>
8.1. Redes sometidas a excitaciones sinusoidales en estado estacionario .....	258
8.2. Propiedades de las señales sinusoidales .....	259
8.2.1. Derivada .....	259
8.2.2. Integral .....	259
8.2.3. Suma de sinusoidales .....	260
8.2.4. Sistemas lineales e invariantes en el tiempo .....	260
8.2.4.1. Excitados por señales sinusoidales .....	260
8.2.4.2. Excitados por señales exponenciales imaginarias .....	261
8.3. Transformación fasorial .....	269
8.3.1. Definición .....	269
8.3.2. Teoremas .....	270
8.4. Representación gráfica de fasores .....	274
8.4.1. Definición de fasor .....	274
8.4.2. Representación del fasor en $t = 0$ .....	274
8.4.3. Representación del fasor en cualquier instante .....	275
8.4.4. Fasor de coseno .....	276
8.4.5. Fasor de coseno más un ángulo .....	277
8.4.6. Fasor de coseno menos un ángulo .....	278
8.5. Procedimiento gráfico .....	279

8.5.1.	Transformadas basadas en la parte real .....	279
8.5.2.	Transformadas basadas en la parte imaginaria .....	281
8.5.3.	Referencia coseno arbitraria .....	282
8.6.	Impedancia y admitancia complejas .....	283
8.6.1.	Definiciones .....	283
8.6.2.	Impedancias y admitancias de las componentes elementales .....	286
8.6.2.1.	Resistor lineal e invariante en el tiempo .....	286
8.6.2.2.	Inductor lineal e invariante en el tiempo .....	287
8.6.2.3.	Condensador lineal e invariante en el tiempo .....	288
8.6.2.4.	Resumen .....	289
8.7.	Diagramas para redes sometidas a excitaciones sinusoidales .....	289
8.7.1.	Símbolos .....	289
8.7.2.	Leyes de interconexión .....	291
8.7.3.	Aplicación práctica de los diagramas .....	293
8.8.	Potencia en redes sometidas a excitaciones sinusoidales .....	293
8.8.1.	Análisis en el dominio del tiempo .....	293
8.8.1.1.	Potencia instantánea .....	293
8.8.1.2.	Energía utilizable .....	295
8.8.1.3.	Energía ociosa .....	295
8.8.1.4.	Valor efectivo .....	296
8.8.2.	Análisis en el plano complejo .....	297
8.8.2.1.	Relaciones básicas .....	297
8.8.2.2.	Transformadas fasoriales con valores efectivos .....	300
8.8.2.3.	Potencia aparente .....	301
8.8.2.4.	Factores de potencia .....	302
8.9.	Planos complejos de admitancia e impedancia .....	302
8.9.1.	Ejemplo .....	302
8.9.2.	Definiciones .....	304
8.10.	Factor de potencia inductivo y capacitivo .....	305
8.11.	Teorema de máxima potencia de transferencia .....	306
8.12.	Diagramas fasoriales .....	308
8.12.1.	Introducción .....	308
8.12.2.	Reglas elementales para la construcción gráfica .....	308
8.12.2.1.	Polígono LVK .....	308
8.12.2.2.	Polígono LCK .....	309
8.12.2.3.	Equilibrio gráfico .....	309
8.12.3.	Ejemplos .....	310
8.12.3.1.	Aplicación de las reglas elementales .....	310
8.12.3.2.	Solución analítica, empleando trigonometría .....	312
8.12.3.3.	Solución gráfica, empleando geometría .....	313
8.12.3.4.	Obtención de relaciones .....	313
8.13.	Lugares geométricos. Diagramas circulares .....	314
8.13.1.	Introducción .....	314
8.13.2.	Transformaciones .....	314
8.13.2.1.	Transformación de puntos .....	314
8.13.2.2.	Transformación de rectas que pasan por el origen .....	315
8.13.2.3.	Transformación de una circunferencia .....	315
8.13.2.4.	Transformación de líneas que no pasan por el origen .....	317

8.13.3. Aplicaciones .....	318
8.13.3.1. Determinar lugar geométrico de $Z$ e $Y$ para $C$ variable ...	318
8.13.3.2. L.G. para conductancia variable .....	319
8.13.3.3. L.G. de $I$ con $R$ variable .....	320
Problemas resueltos .....	323
Ejercicios propuestos .....	339
<b>CAPÍTULO 9 RESPUESTA EN FRECUENCIA .....</b>	<b>345</b>
9.1. Función de transferencia .....	346
9.2. Decibeles, décadas, puntos de media potencia .....	349
9.3. Variaciones de la respuesta en frecuencia .....	350
9.4. Filtros pasa bajos $RC$ de primer orden .....	352
9.5. Filtros pasa bajos $LR$ de primer orden .....	353
9.6. Filtro pasa altos de primer orden .....	355
9.7. Filtros pasa banda. Segundo orden .....	356
9.8. Elimina banda. Segundo orden .....	359
9.9. Pasa todo. Desplazador de fase .....	360
9.10. Características de filtros .....	361
9.11. Filtros activos .....	364
Ejercicios propuestos .....	366
<b>APÉNDICE 1. USO DE SPICE EN LA SIMULACIÓN DE REDES .....</b>	<b>369</b>
A1.1. Introducción .....	370
A1.2. Análisis continuo o DC. .OP .DC .....	370
A1.3. Análisis transitorio. .tran .....	373
A1.4. Análisis alterno. .AC .....	374
A1.5. Respuesta en frecuencia .....	376
A1.6. Fuentes controladas .....	377
A1.6.1. Fuentes controladas por voltaje .....	377
A1.6.2. Fuentes controladas por corriente .....	378
A1.6.3. Fuentes controladas por tabla .....	379
A1.7. Subcircuitos .....	382
A1.8. Modelos .....	386
A1.9. Función de transferencia .....	391
A1.10. Fuentes en SPICE .....	395
A1.11. Fourier .....	399
A1.12. Referencias .....	400
<b>APÉNDICE 2. USO DE MAPLE EN ANÁLISIS DE REDES .....</b>	<b>401</b>
A2.1. Introducción .....	402
A2.2. Métodos de análisis .....	403
A2.3. Análisis continuo o DC .....	403
A2.4. Análisis transitorio .....	406
A2.5. Análisis alterno .....	411
A2.6. Respuesta en frecuencia .....	413
A2.7. Funciones de transferencia. Redes equivalentes .....	419
A2.8. Estímulos transitorios .....	422
A2.8.1. Estímulo exponencial .....	422

A2.8.2.	Estímulo por secciones lineales .....	423
A2.8.3.	Estímulo sinusoidal amortiguado .....	424
A2.8.4.	Estímulo FM .....	425
A2.8.5.	Estímulo AM .....	426
A2.8.6.	Estímulos periódicos .....	426
A2.9.	Syrup .....	430
<b>APÉNDICE 3.</b>	<b>SEÑALES</b> .....	<b>433</b>
A3.1.	Representación de formas de ondas .....	434
A3.2.	Señales discontinuas .....	437
A3.2.1.	Escalón unitario .....	437
A3.2.2.	Impulso .....	439
A3.2.3.	Rampa .....	441
A3.2.4.	Aproximación de una señal por escalones .....	441
A3.3.	Exponenciales .....	444
A3.4.	Sinusoidales .....	446
A3.5.	Sinusoidales amortiguadas exponencialmente .....	450
A3.6.	Medidas características .....	452