
Contenido

Prólogo	XXIII
Capítulo 0. Guía del lector	1
0.1. Resumen del texto	2
0.2. Internet y recursos web	2
Sitios web relacionados con el texto	2
Otros sitios web	3
Grupos de noticias de USENET	4
0.3. Estándares	4
PARTE I	
Descripción general	
Capítulo 1. Introducción a las comunicaciones de datos y redes	9
1.1. Un modelo para las comunicaciones	10
1.2. Comunicaciones de datos	13
1.3. Redes de transmisión de datos	14
Redes de área amplia	15
Redes de área local	17
Redes inalámbricas	17
Redes de área metropolitana	17
1.4. Un ejemplo de configuración	18
Capítulo 2. Arquitectura de protocolos	21
2.1. ¿Por qué es necesaria una arquitectura de protocolos?	22
2.2. Una arquitectura de protocolos simple	23
Un modelo de tres capas	25
Arquitecturas de protocolos normalizadas	28

2.3. OSI	29
El modelo	29
Normalización dentro del modelo de referencia OSI	32
Parámetros y primitivas de servicio	35
Las capas de OSI	36
2.4. La arquitectura de protocolos TCP/IP	40
Las capas de TCP/IP	40
TCP y UDP	41
Funcionamiento de TCP e IP	42
Aplicaciones TCP/IP	44
Interfaces de protocolo	45
2.5. Lecturas recomendadas y sitios web	45
Sitios web recomendados	46
2.6. Términos clave, cuestiones de repaso y ejercicios	47
Términos clave	47
Cuestiones de repaso	47
Ejercicios	47
Apéndice 2A. El protocolo TFTP (<i>Trivial File Transfer Protocol</i>)	49
Introducción a TFTP	49
Paquetes TFTP	49
Ejemplo de transferencia	51
Errores y retardos	51
Sintaxis, semántica y temporización	52

PARTE II
Comunicaciones de datos

Capítulo 3. Transmisión de datos	57
3.1. Conceptos y terminología	59
Terminología utilizada en transmisión de datos	59
Frecuencia, espectro y ancho de banda	59
3.2. Transmisión de datos analógicos y digitales	69
Datos analógicos y digitales	69
Señales analógicas y digitales	72
Transmisión analógica y digital	76
3.3. Dificultades en la transmisión	78
Atenuación	78
Distorsión de retardo	80
Ruido	80
3.4. Capacidad del canal	83
Ancho de banda de Nyquist	84
Fórmula para la capacidad de Shannon	84
El cociente E_b/N_0	86
3.5. Lecturas recomendadas	88
3.6. Términos clave, cuestiones de repaso y ejercicios	88
Términos clave	88
Cuestiones de repaso	88
Ejercicios	89
Apéndice 3A. Decibelios y energía de la señal	91

Capítulo 4. Medios de transmisión	95
4.1. Medios de transmisión guiados	97
Par trenzado	99
Cable coaxial	104
Fibra óptica	105
4.2. Transmisión inalámbrica	109
Antenas	110
Microondas terrestres	112
Microondas por satélite	113
Ondas de radio	116
Infrarrojos	117
4.3. Propagación inalámbrica	117
Propagación superficial de ondas	119
Propagación aérea de ondas	120
Propagación en la trayectoria visual	120
4.4. Transmisión en la trayectoria visual	122
Pérdida en el espacio libre	122
Absorción atmosférica	124
Multitrayectorias	125
Refracción	126
4.5. Lecturas recomendadas y sitios web	126
4.6. Términos clave, cuestiones de repaso y ejercicios	127
Términos clave	127
Cuestiones de repaso	127
Ejercicios	128
Capítulo 5. Técnicas para la codificación de señales	133
5.1. Datos digitales, señales digitales	135
No retorno a cero	139
Binario multinivel	140
Bifase	141
Velocidad de modulación	143
Técnicas de aleatorización	144
5.2. Datos digitales, señales analógicas	146
Modulación por desplazamiento de amplitud	146
Modulación por desplazamiento de frecuencia	147
Modulación por desplazamiento de fase	149
Prestaciones	153
Modulación de amplitud en cuadratura	156
5.3. Datos analógicos, señales digitales	157
Modulación por impulsos codificados	157
Modulación delta	160
Prestaciones	162
5.4. Datos analógicos, señales analógicas	163
Modulación de amplitud	164
Modulación angular	166
5.5. Lecturas recomendadas	169

5.6. Términos clave, cuestiones de repaso y ejercicios	170
Términos clave	170
Cuestiones de repaso	171
Ejercicios	171
Capítulo 6. Técnicas de comunicación de datos digitales	177
6.1. Transmisión asíncrona y síncrona	179
Transmisión asíncrona	179
Transmisión síncrona	181
6.2. Tipos de errores	182
6.3. Detección de errores	183
Comprobación de paridad	184
Comprobación de redundancia cíclica (CRC)	185
6.4. Corrección de errores	191
Principios generales de los códigos de bloque	193
6.5. Configuraciones de línea	197
Topología	197
<i>Full-duplex</i> y <i>Half-duplex</i>	197
6.6. Interfaces	198
V.24/EIA-232-F	200
La interfaz física de RDSI	206
6.7. Lecturas recomendadas	209
6.8. Términos clave, cuestiones de repaso y ejercicios	210
Cuestiones de repaso	210
Ejercicios	210
Capítulo 7. Protocolos de control del enlace de datos	215
7.1. Control de flujo	217
Control de flujo mediante parada y espera	218
Control de flujo mediante ventana deslizante	220
7.2. Control de errores	223
ARQ con parada y espera	224
ARQ con vuelta atrás N	226
ARQ con rechazo selectivo	228
7.3. Control del enlace de datos de alto nivel (HDLC)	229
Características básicas	229
Estructura de trama	230
Funcionamiento	233
7.4. Lecturas recomendadas	237
7.5. Términos clave, cuestiones de repaso y ejercicios	237
Términos clave	237
Cuestiones de repaso	238
Ejercicios	238
Apéndice 7A. Análisis de prestaciones	241
Control del flujo mediante parada y espera	241
Control del flujo sin errores mediante ventana deslizante	243
ARQ	245

Capítulo 8. Multiplexación	249
8.1. Multiplexación por división en frecuencias	251
Características	251
Sistemas de portadora analógica	256
Multiplexación por división en la longitud de onda	257
8.2. Multiplexación por división en el tiempo síncrona	258
Características	258
Control del enlace en TDM	260
Sistemas de portadora digital	263
SONET/SDH	265
8.3. Multiplexación por división en el tiempo estadística	268
Características	268
Prestaciones	270
Cable-módem	274
8.4. Línea de abonado digital asimétrica	275
Diseño ADSL	275
Multitono discreto	277
8.5. xDSL	278
Línea de abonado digital de alta velocidad (HDSL)	278
Línea de abonado digital de una sola línea (SDSL)	279
Línea de abonado digital de muy alta velocidad (VDSL)	279
8.6. Lecturas y sitios web recomendados	280
8.7. Términos clave, cuestiones de repaso y ejercicios	280
Términos clave	280
Cuestiones de repaso	281
Ejercicios	281
Capítulo 9. Espectro expandido	285
9.1. El concepto de espectro expandido	286
9.2. Espectro expandido por salto de frecuencias	287
Esquema básico	288
FHSS usando MFSK	290
Análisis de prestaciones de FHSS	292
9.3. Espectro expandido de secuencia directa	292
DSSS usando BPSK	293
Análisis de prestaciones de DSSS	294
9.4. Acceso múltiple por división de código	297
Principios básicos	297
CDMA para espectro expandido de secuencia directa	299
9.5. Lecturas recomendadas	300
9.6. Términos clave, cuestiones de repaso y ejercicios	301
Términos clave	301
Cuestiones de repaso	301
Ejercicios	301

PARTE III
Redes de área amplia

Capítulo 10. Conmutación de circuitos y de paquetes	309
10.1. Redes conmutadas	311
10.2. Redes de conmutación de circuitos	312
10.3. Conceptos de conmutación de circuitos	315
Conmutación por división en el espacio	317
Conmutación por división en el tiempo	319
10.4. Señalización de control	319
Funciones de señalización	320
Localización de la señalización	322
Señalización por canal común	322
Sistema de señalización número 7	326
10.5. Arquitectura de conmutación lógica	329
10.6. Principios de conmutación de paquetes	330
Técnica de conmutación	331
Tamaño de paquete	334
Comparación de las técnicas de conmutación de circuitos y de paquetes	336
10.7. X.25	339
10.8. Retransmisión de tramas	341
Fundamentos	341
Arquitectura de protocolos en retransmisión de tramas	342
Transferencia de datos de usuario	343
10.9. Lecturas y sitios web recomendados	345
10.10. Términos clave, cuestiones de repaso y ejercicios	346
Términos clave	346
Cuestiones de repaso	346
Ejercicios	347
 Capítulo 11. Modo de transferencia asíncrono	 349
11.1. Arquitectura de protocolos	350
11.2. Conexiones lógicas ATM	351
Uso de conexiones de canal virtual	353
Características camino virtual/canal virtual	354
Señalización de control	355
11.3. Celdas ATM	356
Formato de cabecera	356
Control de flujo genérico	358
Control de errores de cabecera	360
11.4. Transmisión de celdas ATM	362
Capa física basada en celdas	362
Capa física basada en SDH	364
11.5. Clases de servicios ATM	365
Servicios en tiempo real	365
Servicios en no tiempo real	366

11.6. Capa de adaptación ATM	368
Servicios AAL	368
Protocolos AAL	370
11.7. Lecturas y sitios web recomendados	375
11.8. Términos clave, cuestiones de repaso y ejercicios	376
Términos clave	376
Cuestiones de repaso	376
Ejercicios	376
Capítulo 12. Encaminamiento en redes conmutadas	379
12.1. Encaminamiento en redes de conmutación de circuitos	380
12.2. Encaminamiento en redes de conmutación de paquetes	382
Características	382
Estrategias de encaminamiento	386
Ejemplos	391
12.3. Algoritmos de mínimo coste	397
Algoritmo de Dijkstra	397
Algoritmo de Bellman-Ford	398
Comparación	401
12.4. Lecturas recomendadas	401
12.5. Términos clave, cuestiones de repaso y ejercicios	401
Términos clave	401
Cuestiones de repaso	402
Ejercicios	402
Capítulo 13. Congestión en redes de datos	407
13.1. Efectos de la congestión	409
Funcionamiento ideal	410
Funcionamiento real	412
13.2. Control de congestión	413
Contrapresión	414
Paquetes de obstrucción	414
Señalización implícita de congestión	415
Señalización explícita de congestión	415
13.3. Gestión de tráfico	416
Imparcialidad	417
Calidad de servicio	417
Reservas	417
13.4. Control de congestión en redes de conmutación de paquetes	418
13.5. Control de congestión en retransmisión de tramas	418
Gestión de la tasa de tráfico	420
Prevención de congestión mediante señalización explícita	423
13.6. Gestión de tráfico en ATM	424
Requisitos para el control de tráfico y de congestión en ATM	424
Efectos de latencia/velocidad	425
Variación del retardo de celdas	426

Control de tráfico y de congestión	429
Técnicas de gestión de tráfico y de control de congestión	430
13.7. Gestión de tráfico GFR en ATM	436
Mecanismos de soporte de tasas garantizadas	437
Definición de adecuación GFR	438
Mecanismo para la comprobación de elegibilidad de QoS	439
13.8. Lecturas recomendadas	439
13.9. Términos clave, cuestiones de repaso y ejercicios	441
Términos clave	441
Cuestiones de repaso	441
Ejercicios	441
Capítulo 14. Redes celulares inalámbricas	445
14.1. Principios de redes celulares	446
Organización de una red celular	446
Funcionamiento de sistemas celulares	451
Efectos de propagación en radio móvil	454
Desvanecimiento en entornos móviles	456
14.2. Primera generación analógica	460
Asignación espectral	460
Funcionamiento	461
Canales de control en AMPS	461
14.3. CDMA de segunda generación	461
Sistemas celulares de primera y segunda generación	462
Acceso múltiple por división de código	462
Consideraciones de diseño de CDMA móvil inalámbrico	463
IS-95	464
Enlace de ida en IS-95	464
Enlace de retorno en IS-95	467
14.4. Sistemas de tercera generación	470
Interfaces alternativas	471
Consideraciones de diseño de CDMA	472
14.5. Lecturas y sitios web recomendados	473
14.6. Términos clave, cuestiones de repaso y ejercicios	474
Términos clave	474
Cuestiones de repaso	475
Ejercicios	475

PARTE IV
Redes de área local

Capítulo 15. Visión general de las redes de área local	479
15.1. Aplicaciones de las redes LAN	480
Redes LAN de computadores personales	480
Redes de respaldo y almacenamiento	481
Redes ofimáticas de alta velocidad	483
Redes LAN troncales	483

15.2. Topologías y medios de transmisión	484
Topologías	484
Elección de la topología	488
Elección del medio de transmisión	489
15.3. Arquitectura de protocolos de redes LAN	489
Modelo de referencia IEEE 802	490
Control del enlace lógico	492
Control de acceso al medio	495
15.4. Puentes	497
Funciones de los puentes	498
Arquitectura de protocolos de los puentes	499
Encaminamiento estático	500
Técnica del árbol de expansión	502
15.5. Conmutadores de la capa 2 y la capa 3	504
Concentradores	504
Conmutadores de la capa 2	505
Conmutadores de la capa 3	508
15.6. Lecturas y sitios web recomendados	510
15.7. Términos clave, cuestiones de repaso y ejercicios	510
Términos clave	510
Cuestiones de repaso	510
Ejercicios	511
Capítulo 16. Redes LAN de alta velocidad	513
16.1. Surgimiento de las redes LAN de alta velocidad	515
16.2. Ethernet	516
Control de acceso al medio en IEEE 802.3	516
Especificaciones IEEE 802.3 10 Mbps (Ethernet)	522
Especificaciones IEEE 802.3 100 Mbps (Fast Ethernet)	513
Gigabit Ethernet	526
Ethernet de 10 Gpbs	519
16.3. Anillo con paso de testigo	530
Funcionamiento del anillo	530
Control de acceso al medio	532
Opciones de medios de transmisión en IEEE 802.5	534
16.4. Canal de fibra	535
Elementos del canal de fibra	536
Arquitectura de protocolos del canal de fibra	537
Medios físicos y topologías del canal de fibra	537
Perspectivas del canal de fibra	539
16.5. Lecturas y sitios web recomendados	539
16.6. Términos clave, cuestiones de repaso y ejercicios	540
Términos clave	540
Cuestiones de repaso	541
Ejercicios	541

Apéndice 16A. Codificación de señales digitales para redes LAN	543
4B/5B-NRZI	543
MLT-3	545
8B6T	546
8B/10B	548
Apéndice 16B. Análisis de prestaciones	548
Efecto del retardo de propagación y la velocidad de transmisión	549
Modelos sencillos de eficiencia para las técnicas de paso de testigo y CSMA/CD	552
Capítulo 17. Redes LAN inalámbricas	557
17.1. Visión general	558
Aplicaciones de las redes LAN inalámbricas	558
Requisitos de las redes LAN inalámbricas	561
17.2. Tecnología LAN inalámbrica	563
Redes LAN de infrarrojos	563
Redes LAN de espectro expandido	565
Redes LAN de microondas de banda estrecha	566
17.3. Arquitectura y servicios de IEEE 802.11	567
Arquitectura de IEEE 802.11	567
Servicios de IEEE 802.11	569
17.4. Control de acceso al medio en IEEE 802.11	572
Entrega fiable de datos	572
Control de acceso	573
Trama MAC	577
17.5. Capa física de IEEE 802.11	579
Capa física original de IEEE 802.11	580
IEEE 802.11a	581
IEEE 802.11b	581
IEEE 802.11g	581
17.6. Lecturas y sitios web recomendados	582
17.7. Términos clave y cuestiones de repaso	583
Términos clave	583
Cuestiones de repaso	583

PARTE V
Protocolos de interconexión

Capítulo 18. Protocolos de interconexión de redes	587
18.1. Funciones básicas de los protocolos	588
Encapsulamiento	589
Fragmentación y reensamblado	589
Control de conexión	590
Entrega ordenada	592
Control de flujo	592
Control de errores	592
Direccionamiento	593
Multiplexación	595
Servicios de transmisión	596

18.2. Principios de la interconexión entre redes	597
Requisitos	598
Enfoques sobre la arquitectura	599
18.3. Interconexión entre redes sin conexión	600
Funcionamiento de un esquema de interconexión no orientado a conexión	601
Cuestiones de diseño	603
18.4. El protocolo Internet	608
Servicios IP	608
Protocolo IP	609
Direcciones IP	611
Protocolo de mensajes de control de internet (ICMP)	614
18.5. IPv6	617
IP de nueva generación	617
Estructura IPv6	619
Cabecera IPv6	620
Direcciones IPv6	623
Cabecera de opciones salto a salto	624
Cabecera de fragmentación	626
Cabecera de encaminamiento	626
Cabecera de opciones para el destino	627
18.6. Lecturas y sitios web recomendados	627
18.7. Términos clave, cuestiones de repaso y ejercicios	628
Términos clave	628
Cuestiones de repaso	628
Ejercicios	628
Capítulo 19. Funcionamiento de la interconexión de redes	631
19.1. Multidifusión	633
Requisitos para la multidifusión	635
Protocolo de gestión de grupos de Internet	638
19.2. Protocolos de encaminamiento	642
Sistemas autónomos	642
Estrategias de encaminamiento	644
Protocolo de pasarela frontera	645
Protocolo del primer camino más corto disponible	651
19.3. Arquitectura de servicios integrados	654
Tráfico en Internet	654
Enfoque ISA	657
Componentes ISA	658
Servicios ISA	659
Disciplinas de atención de cola	662
Protocolo de reserva de recursos	663
19.4. Servicios diferenciados	665
Servicios	666
Octeto DS	668
Configuración y funcionamiento de los DS	670
Comportamiento por salto	672

19.5. Lecturas y sitios web recomendados	674
19.6. Términos clave, cuestiones de repaso y ejercicios	676
Términos clave	676
Cuestiones de repaso	677
Ejercicios	677
Capítulo 20. Protocolos de transporte	679
20.1. Mecanismos de los protocolos de transporte orientados a conexión	680
Servicio de red de entrega ordenada fiable	681
Servicio de red no fiable	689
20.2. TCP	699
Servicios TCP	699
Formato de la cabecera TCP	699
Mecanismos TCP	703
Opciones en los criterios de implementación de TCP	705
20.3. Control de congestión de TCP	707
Gestión de temporizadores de retransmisión	707
Gestión de ventana	714
20.4. UDP	716
20.5. Lecturas recomendadas	718
20.6. Términos clave, cuestiones de repaso y ejercicios	718
Términos clave	718
Cuestiones de repaso	718
Ejercicios	719
Capítulo 21. Seguridad en redes	723
21.1. Requisitos de seguridad y ataques	725
Ataques pasivos	725
Ataques activos	726
21.2. Privacidad con cifrado simétrico	726
Cifrado simétrico	727
Algoritmos de cifrado	728
Localización de los dispositivos de cifrado	732
Distribución de claves	733
Relleno de tráfico	735
21.3. Autenticación de mensajes y funciones de dispersión («hash»)	735
Alternativas para la autenticación de mensajes	735
Funciones de dispersión seguras	739
La función de dispersión segura SHA-1	740
21.4. Cifrado de clave pública y firmas digitales	742
Cifrado de clave pública	742
Firma digital	744
El algoritmo de cifrado de clave pública RSA	745
Gestión de claves	748
21.5. Capa de sockets segura (SSL) y capa de transporte segura (TLS)	749
Arquitectura SSL	749
Protocolo de registro de SSL	750

Protocolo de cambio de especificación de cifrado	751
Protocolo de alerta	752
Protocolo de negociación bilateral	752
21.6. Seguridad en IPv4 e IPv6	754
Aplicaciones de IPSec	754
Ámbito de IPSec	755
Asociaciones de seguridad	755
Cabecera de autenticación	756
Encapsulado de la carga útil de seguridad	758
21.7. Lecturas y sitios web recomendados	759
21.8. Términos clave, cuestiones de repaso y ejercicios	759
Términos clave	759
Cuestiones de repaso	760
Ejercicios	760
Capítulo 22. Aplicaciones distribuidas	763
22.1. Correo electrónico-SMTP y MIME	764
Protocolo simple de transferencia de correo (SMTP)	765
Extensiones multipropósito de correo electrónico (MIME)	772
22.2. Protocolo de transferencia de hipertexto (HTTP)	780
Descripción general de HTTP	780
Mensajes	784
Mensajes de solicitud	786
Mensajes de respuesta	790
Entidades	792
22.3. Gestión de red-SNMP	793
Sistemas de gestión de red	794
Protocolo simple de gestión de red, versión 1 (SNMPv1)	794
Protocolo simple de gestión de red, versión 2 (SNMPv2)	798
Protocolo simple de gestión de red, versión 3 (SNMPv3)	803
22.4. Lecturas y sitios web recomendados	804
22.5. Términos clave, cuestiones de repaso y ejercicios	805
Términos clave	805
Cuestiones de repaso	805
Ejercicios	805
Apéndice A. RFC citados en este libro	807
Apéndice B. Análisis de Fourier	809
B.1. Desarrollo en serie de Fourier para señales periódicas	809
B.2. Transformada de Fourier para señales no periódicas	810
Densidad de potencia espectral y ancho de banda	810
B.3. Lecturas recomendadas	813
Apéndice C. Programación de sockets	815

Apéndice D. Proyectos para la enseñanza de comunicaciones de datos y redes de computadores	817
D.1. Proyectos de simulación	817
D.2. Modelado de rendimiento	818
D.3. Proyectos de investigación	819
D.4. Trabajos de lecturas y elaboración de informes	819
Glosario	821
Bibliografía	831
Índice alfabético	839