

INDICE

Prefacio	XVII
Prologo a la edición española	XXV
1. Servicios y Redes de Comunicación	1
1.1. Redes y servicios	1
1.2. Aproximaciones al diseño de la red	8
1.2.1. Funciones y topología de la red	8
1.2.2. Conmutación de mensajes, paquetes y circuitos	12
1.2.3. Las redes de la telégrafos y la conmutación de mensajes	12
1.2.4. Las redes de telefonía y la conmutación de circuitos	15
1.2.5. Internet y la conmutación de paquetes	17
1.2.6. Estudio de las técnicas de conmutación	25
1.3. Factores clave en la evolución de las redes de comunicación	26
1.3.1. El papel de la tecnología	27
1.3.2. El papel del marco regulador	28
1.3.3. El papel del mercado	29
1.3.4. El papel de los estándares	30
1.4. Resumen del libro	30
Términos clave	33
Bibliografía complementaria	33
Problemas	34
2. Aplicaciones y Arquitectura de Capas	37
2.1. Ejemplos de estructura en capas	38
2.2. El modelo de referencia OSI	43
2.2.1. Visión unificada de las capas, protocolos y servicios	43
2.2.2. El modelo de siete capas	45
2.3. Introducción a la arquitectura TCP/Ip	49
2.3.1. El protocolo TCP/IP: cómo cooperan las capas	52
2.4. La API de Berkeley	56
2.4.1. Llamadas del sistema socket	57
2.4.2. Funciones de utilidades de red	61
2.5. Protocolos de aplicación y utilidades TCP/IP	69
2.5.1. Telnet	69
2.5.2. Protocolo de transferencia de archivos	70
2.5.3. Utilidades IP	70
Resumen	72
Términos clave	75
Bibliografía complementaria	76
Problemas	76
3. Fundamentos de Transmisión digital	81
3.1. Representación digital de la información	82
3.1.1. Representación binaria de los distintos tipos de información	82
3.1.2. Requisitos de red de los distintos tipos de información	86
3.2. ¿Por qué comunicaciones digitales?	88
3.2.1. Propiedades fundamentales de los sistemas de transmisión digital	91
3.3. Caracterización de los canales de comunicación	94
3.3.1. Caracterización en el dominio de la frecuencia	95
3.3.2. Caracterización en el dominio del tiempo	96

3.4. Límites fundamentales de la transmisión digital	99
3.4.1. Velocidad de señalización de Nyquist	100
3.4.2. La capacidad del canal de Shannon	101
3.5. Codificación de línea	104
3.6. Modems y modulación digital	107
3.6.1. Constelaciones de la señal y estándares para los modems de telefonía	112
3.7. Propiedades de los medios y sistemas de transmisión digital	114
3.7.1. El par trenzado	116
3.7.2. El cable coaxial	120
3.7.3. La fibra óptica	123
3.7.4. Transmisión de radio	127
3.7.5. Rayos infrarrojos	130
3.8. Detección y corrección de errores	131
3.8.1. Detección de errores	132
3.8.2. Comprobación de paridad bidimensional	135
3.8.3. Suma de comprobación en Internet	136
3.8.4. Códigos polinómicos	138
3.8.5. Códigos con polinomios normalizados	141
3.8.6. Capacidad de detección de errores de un código polinómico	142
3.8.7. Códigos lineales	144
3.8.8. Corrección de errores	150
Resumen	153
Términos clave	154
Bibliografía complementaria	155
Problemas	156
Apéndice 3A. Transmisión de datos asíncrona	161
Apéndice 3B. Series de Fourier	164
4. Sistemas de Transmisión y Red Telefónico	167
4.1. Multiplexación	168
4.1.1. Multiplexación por división en frecuencia	169
4.1.2. Multiplexación por división en el tiempo	170
4.2. SONET	172
4.2.1. Multiplexación en SONET	173
4.2.2. Estructura de trama SONET	178
4.3. Multiplexación por división en longitud de onda	181
4.4. Conmutadores de circuitos	184
4.4.1. Conmutadores por división espacial	185
4.4.2. Conmutadores por división temporal	187
4.5. La red telefónica	191
4.5.1. Equipos de transmisión	193
4.5.2. Servicios digitales extremo a extremo	196
4.6. Señalización	198
4.6.1. Arquitectura del sistema de señalización número 7	201
4.7. Control de tráfico y de sobrecarga en las redes telefónicas	202
4.7.1. Concentración	205
4.7.2. Control de encaminamiento	205
4.7.3. Controles de sobrecarga	208

4.8. Redes telefónicas celulares	209
4.9. Redes celulares con satélites	215
Resumen	218
Términos clave	219
Bibliografía complementaria	220
Problemas	221
5. Protocolos entre Entidades Paritarias	229
5.1. Protocolos entre paritarios y modelos de servicio	230
5.1.1. Modelos de servicio	233
5.1.2. Requisitos extremo a extremo y funciones de adaptación	234
5.1.3. Extremo a extremo frente a salto a salto	236
5.2. Protocolos ARQ	238
5.2.1. ARQ de Parada y espera	239
5.2.2. ARQ adelanto – atrás N (Go – back N)	243
5.2.3. ARQ de repetición selectiva	249
5.2.4. Eficiencia de transmisión de los protocolos ARQ	253
5.3. Otras funciones de adaptación	259
5.3.1. Control de flujo de ventana deslizante	259
5.3.2. Recuperación de temporización para servicios síncronos	261
5.3.3. Servicio de secuencia continua fiable	264
5.4. Controles de enlace de datos	265
5.4.1. Control de enlace de datos HDLC	265
5.4.2. Protocolo punto a punto	272
5.5. Enlaces compartidos utilizando multiplexores	274
5.5.1. Multiplexación estadística	274
5.5.2. Interpolación de voz y multiplexación de paquetes de voz	282
Resumen	285
Términos clave	287
Bibliografía complementaria	287
Problemas	288
6. Redes de Área Local y Protocolos de Control de Acceso al Medio	297
6.1. Comunicaciones de acceso múltiple	297
6.2. Redes de área local	306
6.2.1. Estructura de las LAN	306
6.2.2. Subcapa de control de acceso al medio	307
6.2.3. Capa de control de enlace lógico	309
6.3. Acceso aleatorio	310
6.3.1. ALOHA	311
6.3.2. ALOHA ranurado	314
6.3.3. CSMA	315
6.3.4. CSMA – CD	316
6.4. Técnicas de planificación para el control de acceso al medio	321
6.4.1. Sistemas basados en reserva	321
6.4.2. Sondeo	323
6.4.3. Anillo con paso de testigo	326
6.4.4. Comparación de las técnicas de planificación para el control de acceso al medio	331
6.4.5. Comparación entre las técnicas de acceso aleatorio y de planificación para el control de acceso al medio	332

6.5. Canalización	333
6.5.1. FDMA	333
6.5.2. TDMA	334
6.5.3. CDMA	335
6.5.4. Canalización en redes telefónicas celulares	342
6.5.5. Comparación entre las técnicas de acceso aleatorio y de planificación para el control de acceso al medio	332
6.6. Estándares LAN	350
6.6.1. Ethernet y el estándar LAN IEEE 802.3	350
6.6.2. Anillo con paso de testigo y el estándar LAN IEEE 802.5	358
6.6.3. FDDI	363
6.6.4. LAN inalámbrica y el estándar IEEE 802. 11 ₂	366
6.7. Puentes LAN	382
6.7.1. Puentes transparentes	384
9.7.2. Puentes de encaminamiento del origen	391
6.7.3. Puentes de medio heterogéneo	393
Resumen	394
Términos clave	395
Bibliografía complementaria	396
Problemas	397
7. Redes de Conmutación de Paquete	403
7.1. Servicios de red y funcionamiento interno de la red	404
7.2. Topología de las redes de paquetes	408
7.3. Datagramas y circuitos virtuales	413
7.3.1. Estructura de los conmutadores/dispositivos de encaminamiento	413
7.3.2. Conmutación de paquetes no orientada a conexión	416
7.3.3. Conmutación de paquetes mediante circuitos virtuales	420
7.4. Encaminamiento en redes de paquetes	423
7.4.1. Clasificación de los algoritmos de encaminamiento	424
7.4.2. Tablas de encaminamiento	425
7.4.3. Encaminamiento jerárquico	427
7.4.4. Encaminamiento basado en el estado del enlace frente a vector distancia	247
7.5. Algoritmos del cambio más corto	429
7.5.1. Algoritmo de Bellman – Ford	430
7.5.2. Algoritmo de Dijkstra	434
7.5.3. Otras técnicas de encaminamiento	436
7.6. BRedes ATM;	440
7.7. Gestión de tráfico y QoS	443
7.7.1. Colas FIFO y con prioridad	445
7.7.2. Colas equitativas	447
7.8. Control de congestión	452
7.8.1. Control en bucle abierto	453
7.8.2. Control en bucle cerrado	461
Resumen	468
Términos clave	468
Bibliografía complementaria	469
Problemas	469
8. TCP/IP	475

8.1. La arquitectura TCP/IP	476
8.2. El protocolo Internet	479
8.2.1. El paquete IP	479
8.2.2. Direccionamiento IP	481
8.2.3. Direccionamiento en subred	482
8.2.4. Encaminamiento IP	484
8.2.5. Encaminamiento entre dominios sin clave (CIDR)	486
8.2.6. Resolución de direccionamiento	487
8.2.7. Resolución inversa de direcciones	488
8.2.8. Fragmentación y reensamblado	488
8.2.9. ICMP: Mensajes de error y control	490
8.3. IPv6	490
8.3.1. Formato de la cabecera	491
8.3.2. Direccionamiento de red	492
8.3.3. Cabeceras de extensión	495
8.4. Protocolo de datagrama de usuario	497
8.5. Protocolo de control de la transmisión	498
8.5.1. Servicio de flujo seguro de TCP	498
8.5.2. Funcionamiento de TCP	499
8.5.3. Protocolo TCP	502
8.6. DHCP e IP móvil	513
8.6.1. Protocolo de configuración dinámica de computadoras	514
8.6.2. IP móvil	514
8.7. Protocolos de encaminamiento de Internet	516
8.7.1. Protocolo de información de encaminamiento	517
8.7.2. Protocolo abierto del primer camino más corto	519
8.7.3. Protocolo de pasarela frontera	526
8.8. Encaminamiento multidifusión	535
8.8.1. Difusión por camino inverso	536
8.8.2. Protocolo de gestión de grupos de Internet	537
8.8.3. Multidifusión por camino inverso	539
8.8.4. Protocolo de encaminamiento multidifusión vector – distancia	540
Resumen	540
Términos clave	541
Bibliografía complementaria	542
Problemas	543
9. Redes ATM	549
9.1. ¿Por qué utilizar ATM?	549
9.2. El modelo de referencia RDSIBA	550
9.3. La capa ATM	554
9.3.1. La cabecera de la celda ATM	554
9.3.2. Conexiones virtuales	556
9.3.3. Parámetros de QoS	556
9.3.4. Descriptores del tráfico	558
9.3.5. Categorías de servicios ATM	559
9.3.6. Contratos de tráfico, control de admisión de conexión, y gestión del tráfico	561
9.5. La señalización ATM	575

9.5.1. Direccionamiento ATM	575
9.5.2. Señalización UNI	577
9.5.3. Señalización PNNI	579
9.6. Encaminamiento PNNI	580
Resumen	584
Términos clave	585
Bibliografía complementaria	585
Problemas	585
10. Arquitectura Avanzadas de Red	591
10.1. Arquitecturas de encaminamiento IP	591
10.2. Modelo de superposición	593
10.2.1. IP sobre ATM clásico	593
10.2.2. LANE	594
10.2.3. NHRP	596
10.2.4. MPOA	597
10.3. MPLS	599
10.3.1. Fundamentos de etiquetas	601
10.3.2. Pila de etiquetas	602
10.3.3. Intercalado de VC	603
10.3.4. Protocolo de distribución de etiquetas	604
10.3.5. Encaminamiento explícito para la ingeniería de tráfico	605
10.3.6. Soporte MPLS para redes virtuales	606
10.4. Servicio integrados en Internet	607
10.4.1. Servicio garantizado	608
10.4.2. Servicio de carga controlada	609
10.5. RSVP	609
10.5.1. Reserva iniciada por el receptor	611
10.5.2. Intercalado de reservas	612
10.5.3. Estilos de reserva	612
10.5.4. Estado flexible	613
10.5.5. Formato del mensaje RSVP	615
10.6. Servicio diferenciados	517
10.6.1. Campo DS	618
10.6.2. Comportamiento por salto	619
10.6.3. Acondicionador de tráfico	620
10.6.4. Negociador de ancho de banda	621
Resumen	622
Términos clave	622
Bibliografía complementaria	623
Problemas	623
11. Protocolos de Seguridad	627
11.1. Algoritmos de seguridad y criptografía	627
11.1.1. Aplicaciones de la criptografía a la seguridad	629
11.1.2. Distribución de claves	633
11.2. Protocolos de seguridad	636
11.2.1. Escenarios de aplicación	636
11.2.2. Tipos de servicio	638
11.2.3. Establecimiento de una asociación de seguridad	640

11.2.4. IPSec	642
11.2.5. Capa de sockets segura y seguridad de la capa de transporte	644
11.3. Algoritmo criptográficos	648
11.3.1. DES	648
11.3.2. RSA	651
Resumen	652
Términos clave	653
Bibliografía complementaria	654
Problemas	655
12. Información Multimedia y Redes	657
12.1. Compresión de datos sin pérdidas	658
12.1.1. Códigos Huffman	658
12.1.2. Códigos longitud de ráfagas <<Run – Length>>	662
12.1.3. Códigos adaptables	667
12.2. Representación digital de señales analógicas	669
12.2.1. Propiedades de las señales analógicas	669
12.2.2. Conversión analógica a digital	672
12.2.3. Transmisión digital de señales analógicas	673
12.2.4. Medida de la SNR en los cuantizadores	578
12.3. Técnicas para incrementar la compresión	679
12.3.1. Codificación predictiva	681
12.3.2. Codificación con transformada	683
12.3.3. Codificación en sub – bandas	683
12.3.4. Codificación mediante la transformada discreta del coseno	685
12.3.5. El estándar para codificación de imágenes LPEG	685
12.3.6. Compresión de señales de vídeo	688
12.3.7. Los estándares de codificación de video MPEG	690
12.3.8. Multiplexación en MPEG	694
12.4. Protocolo de transporte para tiempo real	695
12.4.1. Terminología y escenarios real	695
12.4.2. Formato de los paquetes RTP	697
12.4.3. Protocolo de control RTP (RTCP)	698
12.5. Protocolos para el control de la sesión	699
12.5.1. Protocolo de inicio de la sesión	699
12.5.2. Sistemas de comunicación multimedia H.323	700
12.5.3. Protocolos de control entre pasarelas o convertidores de media	702
Resumen	703
Términos clave	704
Bibliografía complementaria	704
Problemas	705
Epílogo. Tendencias en Arquitectura de Redes	711
Apéndice A. Retardo y Pérdida de Prestaciones	713
A.1. Análisis del retardo y fórmula de Little	713
A.1.1. Definiciones de tasas de llegada y carga de tráfico	714
A.1.2. Fórmula de Little	715
A.2. Modelos básicos de colas	718
A.2.1. Proceso de llegada	718
A.2.2. Tiempos de servicio	719

A.2.3. Clasificación de un sistema de cola	720
A.3. M/M/1: Un modelo de multiplexor básico	722
A.3.1. Probabilidades de estado estable M/M/1 y noción de estabilidad	723
A.3.2. Efectos de escala en las prestaciones	726
A.3.3. Retardo medio de paquetes en una red	727
A.4. Modelo M/G/1	728
A.4.1. Variabilidad y retardo del tiempo de servicio	728
A.4.2. Sistemas de colas prioritarias	729
A.4.3. Modelo de inactividad y prestaciones de multiplexores	730
A.5. Fórmula de B de Erlang: Sistema M/M/C/C	731
Bibliografía complementaria	732
Apéndice B. Gestión de Redes	733
B.1. Revisión de gestión de redes	734
B.2. Protocolo sencillo de gestión de redes SNMP (Simple Network Management Protocol)	735
B.3. Estructura de la información de gestión	737
B.4. Base de información de gestión	740
B.5. Monitorización remota de redes	740
Bibliografía complementaria	741
Lista de siglas y acrónimos	743
Índice	751