

CONTENIDO

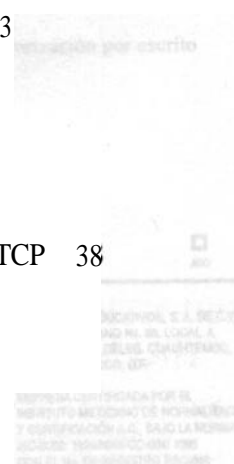
PREFACIO

xv

1 INTRODUCCIÓN

1

- 1.1 USOS DE LAS REDES DE COMPUTADORAS 3
 - 1.1.1 Redesp para compañías 3
 - 1.1.2 Redesp para gente 4
 - 1.1.3 Consideraciones sociales 6
- 1.2 *HARDWARE* DE RED 7
 - 1.2.1 Redes de área local 9
 - 1.2.2 Redes de área metropolitana 10
 - 1.2.3 Redes de área amplia 11
 - 1.2.4 Redes inalámbricas 13
 - 1.2.5 Interredes 16
- 1.3 *SOFTWARE* DE RED 16
 - 1.3.1 Jerarquías de protocolos 17
 - 1.3.2 Consideraciones de diseño para las capas 21
 - 1.3.3 Interfaces y servicios 22
 - 1.3.4 Servicios orientados a conexión y sin conexión 23
 - 1.3.5 Primitivas de servicios 25
 - 1.3.6 La relación entre servicios y protocolos 27
- 1.4 MODELOS DE REFERENCIA 28
 - 1.4.1 El modelo de referencia OS1 28
 - 1.4.2 El modelo de referencia **TCP/IP** 35
 - 1.4.3 Comparación de los modelos de referencia OS1 y **TCP** 38
 - 1.4.4 Una crítica del modelo y los protocolos OS1 40
 - 1.4.5 Una crítica del modelo de referencia **TCP/IP** 43
- 1.5 EJEMPLOS DE REDES 44
 - 1.5.1 Netware de Novell 45
 - 1.5.2 La ARPANET 47
 - 1.5.3 NSFNET 50
 - 1.5.4 La Internet 52
 - 1.5.5 Plataformas de pruebas de **gigabits** 54



- 1.6 EJEMPLOS DE SERVICIOS DE COMUNICACIÓN DE DATOS 56
 - 1.6.1 SMDS — Servicio de datos conmutado de multimegabits 57
 - 1.6.2 Redes X.25 59
 - 1.6.3 *Frame relay* 60
 - 1.6.4 ISDN de banda ancha y ATM 61
 - 1.6.5 Comparación de los servicios 66
- 1.7 ESTANDARIZACIÓN DE REDES 66
 - 1.7.1 Quién es quién en el mundo de las telecomunicaciones 67
 - 1.7.2 Quién es quién en el mundo de los estándares internacionales 69
 - 1.7.3 Quién es quién en el mundo de los estándares de Internet 70
- 1.8 ESQUEMA DEL RESTO DEL LIBRO 72
- 1.9 RESUMEN 73

2 LA CAPA FÍSICA

- 2.1 BASES TEÓRICAS DE LA COMUNICACIÓN DE DATOS 77
 - 2.1.1 Análisis de Fourier 78
 - 2.1.2 Señales limitadas por el ancho de banda 78
 - 2.1.3 La tasa de envío máxima de un canal 81
- 2.2 MEDIOS DE TRANSMISIÓN 82
 - 2.2.1 Medios magnéticos 82
 - 2.2.2 Par trenzado 83
 - 2.2.3 Cable coaxial de banda base 84
 - 2.2.4 Cable coaxial de banda ancha 85
 - 2.2.5 Fibra óptica 87
- 2.3 TRANSMISIÓN INALÁMBRICA 94
 - 2.3.1 El espectro electromagnético 94
 - 2.3.2 Radiotransmisión 97
 - 2.3.3 Transmisión por microondas 98
 - 2.3.4 Ondas infrarrojas y milimétricas 100
 - 2.3.5 Transmisión por ondas de luz 100
- 2.4 EL SISTEMA TELEFÓNICO 102
 - 2.4.1 Estructura del sistema telefónico 103
 - 2.4.2 La política de los teléfonos 106
 - 2.4.3 El lazo local 108
 - 2.4.4 Troncales y multiplexión 118
 - 2.4.5 Conmutación 130

- 2.5 ISDN DE BANDA ESTRECHA 139
 - 2.5.1 Servicios ISDN 140
 - 2.5.2 Arquitectura del sistema ISDN 140
 - 2.5.3 La interfaz ISDN 142
 - 2.5.4 Perspectiva de N-ISDN 143
- 2.6 ISDN DE BANDA ANCHA Y ATM 144
 - 2.6.1 Circuitos virtuales y conmutación de circuitos 145
 - 2.6.2 Transmisión en redes ATM 146
 - 2.6.3 Conmutadores ATM 147
- 2.7 RADIO CELULAR 155
 - 2.7.1 Sistemas de aviso 155
 - 2.7.2 Teléfonos inalámbricos 157
 - 2.7.3 Teléfonos celulares analógicos 157
 - 2.7.4 Teléfonos celulares digitales 162
 - 2.7.5 Servicios de comunicaciones personales 162
- 2.8 SATÉLITES DE COMUNICACIONES 163
 - 2.8.1 Satélites geosincrónicos 164
 - 2.8.2 Satélites de órbita baja 167
 - 2.8.3 Satélites y fibra 168
- 2.9 RESUMEN 170

3 LA CAPA DE ENLACE DE DATOS

175

- 3.1 CUESTIONES DE DISEÑO DE LA CAPA DE ENLACE DE DATOS 176
 - 3.1.1 Servicios proporcionados a la **capa** de red 176
 - 3.1.2 Enmarcado 179
 - 3.1.3 control de errores 182
 - 3.1.4 control de flujo 183
- 3.2 DETECCIÓN Y CORRECCIÓN DE ERRORES 183
 - 3.2.1 Códigos de corrección de errores 184
 - 3.2.2 Códigos de detección de errores 186
- 3.3 PROTOCOLOS ELEMENTALES DE ENLACE DE DATOS 190
 - 3.3.1 Un protocolo **símples sin restricciones** 195
 - 3.3.2 Protocolo **símples** de parada y espera. 195
 - 3.3.3 Protocolo **símples** para un canal ruidoso 197

- 3.4 PROTOCOLO DE VENTANA CORREDIZA 202
 - 3.4.1 Un protocolo de ventana corrediza de un bit 206
 - 3.4.2 Un protocolo que usa regresar n 207
 - 3.4.3 Protocolo usando repetición selectiva 213
- 3.5 ESPECIFICACIÓN Y VERIFICACIÓN DE LOS PROTOCOLOS 219
 - 3.5.1 Modelos de máquina de estado finito 213
 - 3.5.2 Modelos de red de Petri 223
- 3.6 EJEMPLOS DE PROTOCOLOS DE ENLACE DE DATOS 225
 - 3.6.1 HDLC — Control de enlace de datos de alto nivel 225
 - 3.6.2 La capa de enlace de datos en Internet 229
 - 3.6.3 La capa de enlace de datos en ATM 235
- 3.7 RESUMEN 239

4 LA SUBCAPA DE ACCESO AL MEDIO

243

- 4.1 EL PROBLEMA DE REPARTO DEL CANAL 244
 - 4.1.1 Reparto estático de canal en las LAN y las MAN 244
 - 4.1.2 Reparto dinámico de canales en las LAN y MAN 245
- 4.2 PROTOCOLOS DE ACCESO MÚLTIPLE 246
 - 4.2.1 ALOHA 246
 - 4.2.2 Protocolos de acceso múltiple con detección de portadora 250
 - 4.2.3 Protocolos libres de colisiones 254
 - 4.2.4 Protocolos de contención limitada 256
 - 4.2.5 Protocolos de acceso múltiple de división en longitud de onda 260
 - 4.2.6 Protocolos de LAN inalámbricas 262
 - 4.2.7 Radio celular digital 266
- 4.3 ESTÁNDAR IEEE 802 PARA LAN Y MAN 275
 - 4.3.1 Estándar IEEE 802.3 y Ethernet 276
 - 4.3.2 Estándar IEEE 802.4: *token bus* 287
 - 4.3.3 Estándar IEEE 802.5: *token ring* 292
 - 4.3.4 Comparación del 802.3, el 802.4 y el 802.5 299
 - 4.3.5 Estándar IEEE 802.6: *bus* doble de colas distribuidas 301
 - 4.3.6 Estándar IEEE 802.2: control lógico de enlace 302

- 4.4 PUENTES 304
 - 4.4.1 Puentes de 802.x a 802.y 307
 - 4.4.2 Puentes transparentes 310
 - 4.4.3 Puentes de enrutamiento desde el origen 314
 - 4.4.4 Comparación de puentes 802 316
 - 4.4.5 Puentes remotos 317
- 4.5 LAN DE ALTA VELOCIDAD 318
 - 4.5.1 FDDI 319
 - 4.5.2 Ethernet rápido 322
 - 4.5.3 HIPPI — Interfaz paralela de alto desempeño 325
 - 4.5.4 Canal de fibra 326
- 4.6 REDES SATELITALES 327
 - 4.6.1 Sondeo 328
 - 4.6.2 ALOHA 329
 - 4.6.3 FDM 330
 - 4.6.4 TDM 330
 - 4.6.5 CDMA 333
- 4.7 RESUMEN 333

5 LA CAPA DE RED 339

- 5.1 TEMAS DE DISEÑO DE LA CAPA DE RED 339
 - 5.1.1 Servicios proporcionados a la capa de transporte 340
 - 5.1.2 Organización interna de la capa de red 342
 - 5.1.3 Comparación de las subredes de circuitos virtuales y de datagramas 344
- 5.2 ALGORITMOS DE ENRUTAMIENTO 345
 - 5.2.1 Principio de optimación 347
 - 5.2.2 Enrutamiento por la trayectoria más corta 348
 - 5.2.3 Inundación 351
 - 5.2.4 Enrutamiento basado en flujo 353
 - 5.2.5 Enrutamiento por vector de distancia 355
 - 5.2.6 Enrutamiento por estado de enlace 359
 - 5.2.7 Enrutamiento jerárquico 365
 - 5.2.8 Enrutamiento para hosts móviles 367
 - 5.2.9 Enrutamiento por difusión 370
 - 5.2.10 Enrutamiento por multitransmisión 372

- 5.3 ALGORITMOS DE CONTROL DE CONGESTIONAMIENTOS 374
 - 5.3.1 Principios generales del control de congestionamiento 376
 - 5.3.2 Políticas de prevención de congestionamientos 378
 - 5.3.3 Conformación de tráfico 379
 - 5.3.4 Especificaciones de flujo 384
 - 5.3.5 Control de congestionamientos en las subredes de circuitos virtuales 386
 - 5.3.6 Paquetes de estrangulamiento 387
 - 5.3.7 Desprendimiento de carga 390
 - 5.3.8 Control de fluctuación 392
 - 5.3.9 Control de congestionamiento para multitransmisión 393
- 5.4 INTERREDES 396
 - 5.4.1 Diferencias entre las redes 399
 - 5.4.2 Circuitos virtuales concatenados 401
 - 5.4.3 Interredes sin conexiones 402
 - 5.4.4 Proceso de túnel 404
 - 5.4.5 Enrutamiento por interred 405
 - 5.4.6 Fragmentación 406
 - 5.4.7 Muros de seguridad 410
- 5.5 LA CAPA DE RED EN INTERNET 412
 - 5.5.1 El protocolo IP 413
 - 5.5.2 Direcciones IP 416
 - 5.5.3 Subredes 418
 - 5.5.4 Protocolos de control de Internet 419
 - 5.5.5 Protocolo de enrutamiento de pasarela interior: OSPF 424
 - 5.5.6 Protocolo de enrutamiento de pasarela exterior: BGP 429
 - 5.5.7 Multifusión Internet 431
 - 5.5.8 IP móvil 432
 - 5.5.9 CIDR — Enrutamiento interdominios sin clases 434
 - 5.5.10 IPv6 437
- 5.6 LA CAPA DE RED EN LAS REDES ATM 449
 - 5.6.1 Formatos de célula 450
 - 5.6.2 Establecimiento de la conexión 452
 - 5.6.3 Enrutamiento y conmutación 455
 - 5.6.4 Categorías de servicios 458
 - 5.6.5 Calidad del servicio 460
 - 5.6.6 Conformación y vigilancia de tráfico 463
 - 5.6.7 Control de congestionamientos 467
 - 5.6.8 LAN ATM 471
- 5.7 RESUMEN 473

6 LA CAPA DE TRANSPORTE

479

- 6.1 EL SERVICIO DE TRANSPORTE 479
 - 6.1.1 Servicios proporcionados a las capas superiores 479
 - 6.1.2 Calidad del servicio 481
 - 6.1.3 Primitivas de servicio de transporte 483
- 6.2 ELEMENTOS DE LOS PROTOCOLOS DE TRANSPORTE 488
 - 6.2.1 Direccionamiento 489
 - 6.2.2 Establecimiento de una conexión 493
 - 6.2.3 Liberación de una conexión 498
 - 6.2.4 Control de flujo y *buffers* 502
 - 6.2.5 Multiplexión 506
 - 6.2.6 Recuperación de caídas 508
- 6.3 UN PROTOCOLO DE TRANSPORTE SENCILLO 510
 - 6.3.1 Las primitivas de servicio de ejemplo 510
 - 6.3.2 La entidad de transporte de ejemplo 512
 - 6.3.3 El ejemplo como máquina de estados finitos 519
- 6.4 LOS PROTOCOLOS DE TRANSPORTE DE INTERNET (TCPY UDP) 521
 - 6.4.1 Modelo de servicio TCP 523
 - 6.4.2 El protocolo TCP 524
 - 6.4.3 La cabecera de segmento TCP 526
 - 6.4.4 Gestión de una conexión TCP 529
 - 6.4.5 Política de transmisión del TCP 533
 - 6.4.6 Control de congestionamientos con TCP 536
 - 6.4.7 Gestión de temporizadores del TCP 539
 - 6.4.8 UDP 542
 - 6.4.9 TCP/UDP inalámbricos 543
- 6.5 LOS PROTOCOLOS DE CAPA ATM AAL 545
 - 6.5.1 Estructura de la capa de adaptación de ATM 546
 - 6.5.2 AAL 1 547
 - 6.5.3 AAL 2 549
 - 6.5.4 AAL 3/4 550
 - 6.5.5 AAL 5 552
 - 6.5.6 Comparación de los protocolos AAL 554
 - 6.5.7 SSCOP — Protocolo de servicio específico orientado a conexiones 555
- 6.6 DESEMPEÑO 555
 - 6.6.1 Problemas de desempeño en las redes de cómputo 556
 - 6.6.2 Medición del desempeño de las redes 559

- 6.6.3 Diseño de sistemas para un mejor desempeño 561
- 6.6.4 Procesamiento rápido de las TPDU 565
- 6.6.5 Protocolos de redes de gigabits 568
- 6.7 RESUMEN 572

7 LA CAPA DE APLICACIÓN

577

- 7.1 SEGURIDAD DE LA RED 577
 - 7.1.1 Cifrado tradicional 580
 - 7.1.2 Dos principios criptográficos fundamentales 585
 - 7.1.3 Algoritmos de clave secreta 587
 - 7.1.4 Algoritmos de clave pública 597
 - 7.1.5 Protocolos de validación de identificación 601
 - 7.1.6 Firmas digitales 613
 - 7.1.7 Aspectos sociales 620
- 7.2 DNS — SISTEMA DE NOMBRES DE DOMINIO 622
 - 7.2.1 El espacio de nombres del DNS 622
 - 7.2.2 Registros de recursos 624
 - 7.2.3 Servidores de nombres 628
- 7.3 SNMP — PROTOCOLO SENCILLO DE ADMINISTRACIÓN DE REDES 630
 - 7.3.1 El modelo SNMP 631
 - 7.3.2 ASN.1 — Notación de sintaxis abstracta 1 633
 - 7.3.3 SMI — Estructura de la información de administración 639
 - 7.3.4 La MIB — Base de información de administración 641
 - 7.3.5 El protocolo SNMP 642
- 7.4 CORREO ELECTRÓNICO 643
 - 7.4.1 Arquitectura y servicios 645
 - 7.4.2 El agente de usuario 646
 - 7.4.3 Formatos de mensaje 650
 - 7.4.4 Transferencia de mensajes 657
 - 7.4.5 Confidencialidad en el correo electrónico 663
- 7.5 NOTICIAS USENET 669
 - 7.5.1 USENET desde el punto de vista del usuario 670
 - 7.5.2 Implementación de USENET 675

- 7.6 LA WORLD WIDE WEB 681
 - 7.6.1 El lado del cliente 682
 - 7.6.2 El lado del servidor 685
 - 7.6.3 Escritura de una página de Web en HTML 691
 - 7.6.4 Java 706
 - 7.6.5 Localización de información en la Web 720
- 7.7 MULTIMEDIA 723
 - 7.7.1 Audio 724
 - 7.7.2 Vídeo 727
 - 7.7.3 Compresión de datos 730
 - 7.7.4 Vídeo a solicitud 744
 - 7.7.5 MBone — Backbone de multidifusión 756
- 7.8 RESUMEN 760

8 LISTA DE LECTURAS Y BIBLIOGRAFÍA

767

- 8.1 SUGERENCIAS PARA LECTURA ADICIONAL 767
 - 8.1.1 Introducción y obras generales 768
 - 8.1.2 La física 769
 - 8.1.3 La capa de enlace de datos 770
 - 8.1.4 La subcapa de acceso al medio 770
 - 8.1.5 La capa de red 771
 - 8.1.6 La capa de transporte 772
 - 8.1.7 La capa de aplicación 772
- 8.2 BIBLIOGRAFÍA ALFABÉTICA 775

ÍNDICE 795