

# ÍNDICE

Presentación .....	25
Contenido.....	27
1. INTRODUCCIÓN A LAS REDES DE COMUNICACIONES ANALÓGICAS Y DIGITALES. ESTRUCTURA BÁSICA .....	29
1.1. Introducción y orientaciones para el estudio.....	31
1.2. Objetivos .....	31
1.3. Fundamentos de la comunicación .....	31
1.4. Introducción a los medios de transmisión de datos .....	35
1.4.1. Características físicas del medio .....	35
1.4.1.1. Características de las señales.....	36
1.4.1.2. Propagación de las señales en el medio.....	39
1.4.1.2.1. Atenuación .....	39
1.4.1.2.2. Retardo .....	40
1.4.1.2.3. Ruido.....	41
1.4.1.3. Capacidad de transmisión del medio.....	42

1.4.2.	Medios de transmisión .....	43
1.4.2.1.	Medios guiados .....	44
1.4.2.2.	Medios no guiados .....	46
1.5.	Estructuras básicas en la comunicación .....	47
1.5.1.	Transmisión de datos en paralelo .....	48
1.5.2.	Transmisión de datos en serie .....	48
1.5.2.1.	Modos de comunicación punto a punto .....	49
1.5.2.1.1.	Modo simplex .....	49
1.5.2.1.2.	Modo half duplex .....	49
1.5.2.1.3.	Modo full duplex .....	50
1.5.2.2.	Topologías de redes multipunto .....	50
1.5.2.2.1.	Bus de datos (canal de distribución).....	51
1.5.2.2.2.	Estrella .....	51
1.5.2.2.3.	De jerarquía o de árbol .	52
1.5.2.2.4.	Anillo .....	52
1.5.2.2.5.	Malla .....	52
1.5.2.2.6.	Bucle .....	52
1.6.	Introducción a la codificación de datos .....	53
1.6.1.	Codificación en las comunicaciones analógicas	53
1.6.1.1.	Información analógica .....	53
1.6.1.2.	Información digital .....	55
1.6.1.2.1.	Codificación en amplitud (ASK) .....	55
1.6.1.2.2.	Codificación en frecuencia (FSK) .....	56
1.6.1.2.3.	Codificación en fase (PSK) .....	56

---

1.6.2.	Codificación en las comunicaciones digitales....	58
1.6.2.1.	Información digital .....	58
1.6.2.1.1.	Codificaciones polares..	59
1.6.2.1.2.	Codificaciones bifase ....	59
1.6.2.1.3.	Codificaciones bipolares	60
1.6.2.2.	Información analógica .....	61
1.6.2.2.1.	Teorema de muestreo de Shannon.....	61
1.6.2.2.2.	Modulación por codificación de impulsos	64
1.6.2.2.3.	Modulación delta.....	65
1.7.	Principios generales de la multiplexación .....	66
1.7.1.	Multiplexación por división de frecuencia (FDM)	66
1.7.2.	Multiplexación por división en el tiempo (TDM) .	67
1.8.	Protocolos y control de enlace de datos .....	68
1.8.1.	Acceso al medio.....	69
1.8.1.1.	Acceso controlado.....	70
1.8.1.2.	Reserva .....	70
1.8.1.3.	Acceso aleatorio .....	71
1.8.2.	Control de enlace de datos .....	72
1.9.	Conclusiones .....	72
1.10.	Bibliografía .....	73
1.11.	Evaluación .....	73
1.11.1.	Ejercicios teóricos .....	73
1.11.2.	Evaluación objetiva .....	76
2.	MODELO OSI. ESTÁNDARES. PROTOCOLOS. MODELO TCP/IP.....	79
2.1.	Introducción y orientación en el estudio.....	81

---

2.2.	Objetivos .....	81
2.3.	Arquitectura de protocolos .....	81
2.3.1.	Arquitectura de protocolos normalizada .....	83
2.4.	Modelo OSI .....	84
2.4.1.	Capa física .....	86
2.4.2.	Capa de enlace de datos .....	86
2.4.3.	Capa de red .....	87
2.4.4.	Capa de transporte .....	87
2.4.5.	Capa de sesión .....	88
2.4.6.	Capa de presentación .....	88
2.4.7.	Capa de aplicación .....	88
2.5.	Modelo TCP/IP .....	89
2.5.1.	Internet y TCP/IP .....	92
2.5.2.	Protocolo de Internet o IP .....	92
2.5.3.	Protocolo de control de transmisión o TCP .....	96
2.5.4.	Otros protocolos de TCP/IP .....	100
2.6.	IP versión 6 .....	101
2.6.1.	Encabezado base .....	102
2.6.2.	Encabezado de extensión .....	103
2.7.	Conclusiones .....	104
2.8.	Bibliografía .....	104
2.9.	Evaluación .....	105
2.9.1.	Evaluación objetiva .....	105
3.	MEDIOS Y MODOS DE TRANSMISIÓN .....	109
3.1.	Introducción y orientación en el estudio .....	111
3.2.	Objetivos .....	111
3.3.	Conceptos básicos de los medios físicos .....	112

---

3.3.1.	El espectro electromagnético.....	113
3.3.1.1.	Unidades y nomenclatura.....	117
3.3.2.	Las bandas de comunicación y sus aplicaciones .....	118
3.3.2.1.	Radiofrecuencia.....	119
3.3.2.2	Microondas.....	124
3.3.2.3.	Banda óptica.....	126
3.4.	Los conductores metálicos .....	130
3.4.1.	Características .....	130
3.4.2.	Cableado estructurado.....	133
3.4.3.	Certificación de cables.....	135
3.5.	Las fibras ópticas .....	137
3.5.1.	Características .....	137
3.5.2.	Tipos de modos .....	140
3.5.3.	Nomenclatura de las portadoras ópticas .....	141
3.6.	Los satélites espaciales de comunicaciones .....	143
3.6.1.	Conceptos básicos.....	143
3.6.2.	Tipos de órbitas .....	146
3.6.3.	Servicios VSAT .....	148
3.7.	La multiplexación y la modulación .....	150
3.7.1.	Las señales analógicas y digitales.....	150
3.7.2.	Multiplexación .....	154
3.7.3.	El concepto de modulación.....	161
3.8.	Modulación en banda base y banda ancha .....	162
3.8.1.	Modulación en banda base.....	162
3.8.2.	La modulación en banda ancha.....	163
3.8.2.1.	Moduladora analógica .....	164
3.8.2.2.	Moduladora digital .....	167

---

3.9.	Aplicaciones de la multiplexación y modulación .....	169
3.9.1.	Redes de cable CATV y PLC.....	169
3.9.2.	Redes de cable xDSL .....	171
3.9.3.	Redes de satélites .....	173
3.9.4.	Buses de campo .....	179
3.10.	Conclusiones .....	183
3.11.	Bibliografía .....	184
3.12.	Evaluación .....	184
3.12.1.	Ejercicios resueltos .....	184
3.12.2.	Evaluación objetiva .....	187
4.	ACCESO AL MEDIO .....	191
4.1.	Introducción y orientación para el estudio .....	193
4.2.	Objetivos .....	194
4.3.	Capa de enlace: enlace lógico y acceso al medio .....	194
4.4.	Estructura del mensaje .....	196
4.5.	Detección de errores.....	198
4.5.1.	Códigos de palabras .....	198
4.5.2.	Códigos de tramas.....	200
4.6.	Control de errores.....	202
4.7.	Control de flujo.....	204
4.8.	Control de acceso al medio .....	204
4.8.1.	Maestro/Esclavo .....	207
4.8.2.	Paso de testigo delegado .....	208
4.8.3.	Paso de testigo .....	209
4.8.4.	Acceso múltiple por división de tiempo (TDMA)	209
4.8.5.	Acceso múltiple por detección de portadora (CSMA) .....	211

---

4.8.5.1.	CSMA/CD .....	211
4.8.5.2.	CSMA/CR/CA .....	212
4.9.	Evaluación de redes .....	213
4.10.	Conclusiones .....	215
4.11.	Bibliografía .....	216
4.12.	Evaluación .....	216
4.12.1.	Ejercicios resueltos .....	216
4.12.2.	Evaluación objetiva .....	222
5.	REDES DE ÁREA LOCAL. COMPONENTES .....	225
5.1.	Introducción y orientaciones al estudio .....	227
5.2.	Objetivos .....	227
5.3.	Características generales de las LAN.....	228
5.4.	Topologías y medios de transmisión .....	228
5.4.1.	Topologías .....	228
5.4.1.1.	Topología en bus.....	229
5.4.1.2.	Topología en árbol.....	231
5.4.1.3.	Topología en anillo .....	232
5.4.1.4.	Topología en estrella .....	235
5.4.2.	Medios de transmisión .....	236
5.4.2.1.	Cable de par trenzado .....	236
5.4.2.2.	Cable coaxial.....	237
5.4.2.3.	Fibra óptica.....	238
5.4.2.4.	Transmisión inalámbrica.....	239
5.5.	Modelo IEEE 802, IEEE 802.3 y ETHERNET .....	240
5.5.1.	Modelo de referencia IEEE 802 .....	240
5.5.1.1.	Control de enlace lógico .....	241

5.5.1.1.1.	Protocolo de control de enlace lógico .....	242
5.5.1.2.	Control de acceso al medio .....	243
5.5.1.2.1.	Algoritmos de asignación de canal de acceso múltiple .....	244
5.5.1.2.2.	La trama MAC.....	246
5.5.2.	IEEE 802.3 y ETHERNET .....	246
5.5.3.	Redes de área local virtuales.....	248
5.6.	Dispositivos de interconexión de redes .....	249
5.6.1.	Repetidores.....	249
5.6.2.	Puentes.....	249
5.6.3.	Encaminadores o Routers .....	251
5.6.4.	Pasarela o Gateway.....	252
5.7.	Redes de área local de alta velocidad .....	252
5.7.1.	IEEE 802.3 100 Mbps (FAST ETHERNET) .....	253
5.7.2.	GIGABIT ETHERNET .....	253
5.7.3.	Canal de Fibra .....	255
5.8.	Redes inalámbricas .....	257
5.8.1.	Requisitos de las redes de área local inalámbricas.....	258
5.8.2.	Clasificación de LAN inalámbricas.....	259
5.8.3.	Arquitectura del 802.11 .....	260
5.8.3.1.	Pila de protocolos .....	260
5.8.3.1.1.	Capa física .....	260
5.8.3.1.2.	Capa de enlace de datos .....	262
5.8.3.2.	Servicios.....	263
5.9.	Aplicaciones.....	264
5.9.1.	Bus de campo o Fieldbus .....	264



---

5.9.1.1. Profibus .....	265
5.9.2. Redes LAN de ordenadores personales .....	265
5.9.3. Redes de respaldo y almacenamiento .....	266
5.10. Conclusiones .....	266
5.11. Bibliografía .....	267
5.12. Evaluación .....	267
5.12.1. Evaluación objetiva .....	267
6. REDES DE ÁREA AMPLIA. COMPONENTES. REDES IP ....	271
6.1. Introducción y objetivos .....	273
6.2. Características generales de las redes de área amplia..	273
6.3. Protocolos de redes de área amplia: HDLC, PPP, FR, etc. ....	275
6.3.1. Protocolo HDLC .....	275
6.3.2. Protocolo PPP .....	276
6.3.3. Protocolo <i>Frame Relay</i> .....	277
6.3.4. Dos aproximaciones al mismo problema: RDSI y ADSL .....	279
6.4. Las redes IP: redes WAN públicas .....	283
6.5. Direccionamiento IP y encaminamiento en IP .....	284
6.6. Los encaminadores como componentes típicos de WAN.....	289
6.7. Comunicación IP cliente/servidor mediante <i>sockets</i> .....	292
6.8. Operación de aplicaciones TCP, orientadas a conexión	294
6.9. Operación de aplicaciones UDP .....	296
6.10. Operación de aplicaciones del nivel de red .....	296
6.11. Conclusiones .....	299
6.12. Bibliografía .....	299
6.13. Evaluación .....	300

6.13.1.	Evaluación objetiva .....	300
7.	<b>SISTEMAS DE COMUNICACIONES INALÁMBRICOS Y MÓVILES</b> .....	303
7.1.	Introducción y orientaciones para el estudio.....	305
7.2.	Objetivos .....	305
7.3.	Conceptos básicos de la propagación inalámbrica.....	306
7.3.1.	Efectos de la propagación .....	306
7.3.2.	Reducción de los efectos de la propagación .....	309
7.3.3.	Métricas de prestaciones y factor de mérito .....	313
7.4.	Diseño de redes inalámbricas y móviles.....	316
7.4.1.	Elementos básicos.....	316
7.4.2.	Planificación y dimensionamiento de una red de radiocomunicación .....	319
7.4.3.	Evolución tecnológica .....	321
7.4.3.1.	Sistemas MIMO .....	322
7.4.3.2.	Sistemas de radio definido por programación.....	323
7.5.	Redes de área local móviles (WLAN) .....	323
7.5.1.	Introducción .....	323
7.5.2.	La Norma IEEE 802.11 .....	330
7.5.3.	HIPERLAN .....	333
7.5.4.	Óptica del espacio libre (FSO) .....	334
7.6.	Redes de área personal (WPAN) .....	336
7.6.1.	Introducción .....	336
7.6.2.	Bluetooth (IEEE 802.15.1) .....	336
7.6.3.	UBW (IEEE 802.15.3) .....	337
7.6.4.	ZigBee (IEEE 802.15.4) .....	338
7.6.5.	IrDA.....	342

---

7.7.	Redes fijas de acceso inalámbrico (WMAN).....	343
7.7.1.	Banda ancha (MMDS y LMDS).....	343
7.7.2.	Normas ETSI .....	344
7.7.3.	WiMAX (IEEE 802.16) .....	345
7.7.4.	IEEE 802.20 e IEEE 802.22.....	348
7.7.5.	Banda estrecha (WLL).....	349
7.8.	Redes de acceso celular (WWAN) .....	350
7.8.1.	Configuración de los sistemas celulares.....	350
7.8.2.	Normas internacionales .....	354
7.9.	Redes de satélites espaciales .....	358
7.9.1.	Sistemas celulares basados en satélites .....	358
7.9.2.	Servicios de navegación global .....	359
7.10.	Las redes inalámbricas y los buses de campo .....	363
7.10.1.	Tecnologías inalámbricas en redes industriales	363
7.10.2.	Redes en malla ( <i>Mesh</i> ).....	365
7.10.3.	Ingeniería de protocolos de capa cruzada ( <i>Cross-Layer</i> ).....	366
7.11.	Conclusiones .....	367
7.12.	Bibliografía .....	367
7.13.	Evaluación .....	368
7.13.1.	Ejercicios resueltos .....	368
7.13.2.	Evaluación objetiva .....	370
8.	SEGURIDAD EN LAS COMUNICACIONES. CALIDAD DEL SERVICIO .....	373
8.1.	Introducción y objetivos .....	375
8.2.	Factores de inseguridad en sistemas y en dispositivos..	376
8.2.1.	Problemas de seguridad física.....	377

---

8.2.2.	Problemas generales de seguridad en sistemas operativos y aplicaciones .....	379
8.2.2.1.	Mala codificación .....	380
8.2.2.2.	Ingeniería social .....	381
8.2.3.	Problemas comunes de seguridad en sistemas operativos .....	382
8.2.4.	Problemas comunes de seguridad en aplicaciones .....	383
8.2.4.1.	Implementación incorrecta de protocolos .....	384
8.2.4.2.	Diseño peligroso de protocolos y aplicaciones .....	385
8.2.4.3.	Incorrecta selección de protocolos de aplicación .....	387
8.2.4.4.	Otros .....	387
8.2.5.	Factores de inseguridad en dispositivos de comunicaciones .....	388
8.3.	Soluciones actuales en sistemas y dispositivos de seguridad .....	390
8.4.	Política de seguridad para redes .....	392
8.5.	Defensas no criptográficas .....	395
8.5.1.	Cortafuegos .....	395
8.5.2.	Sistemas de detección de intrusiones .....	398
8.5.3.	Detectores de vulnerabilidades .....	399
8.6.	Defensas criptográficas .....	400
8.6.1.	Algoritmos criptográficos: Clave privada, funciones <i>Hash</i> y clave pública .....	402
8.6.2.	Protocolos criptográficos: SSL, IPSec y otros ..	407
8.6.3.	Redes privadas virtuales .....	410
8.7.	Seguridad en protocolos industriales .....	411
8.7.1.	OPC .....	411

---

8.7.2.	MMS.....	412
8.7.3.	IEC 61850 .....	413
8.7.4.	IICP .....	413
8.7.5.	Recomendaciones de políticas de seguridad ....	414
8.8.	Introducción al concepto de calidad del servicio en redes .....	414
8.9.	Aproximaciones estándar a la calidad del servicio en redes .....	415
8.10.	Los encaminadores y la calidad del servicio.....	418
8.11.	Conclusiones .....	419
8.12.	Bibliografía .....	420
8.13.	Evaluación .....	420
8.13.1.	Evaluación objetiva .....	420
9.	INTRODUCCIÓN A LAS COMUNICACIONES INDUSTRIALES Y A LOS SISTEMAS DE TIEMPO REAL.....	423
9.1.	Introducción y orientaciones para el estudio.....	425
9.2.	Objetivos .....	426
9.3.	Características de las redes de comunicación industrial	427
9.4.	Modelo de integración de redes de comunicación.....	429
9.4.1.	Integración de la red de comunicaciones .....	429
9.4.2.	Redes de control y redes de datos .....	431
9.5.	Comunicación y sistemas de tiempo real .....	432
9.5.1.	Sistemas de tiempo real .....	432
9.5.2.	Comunicación en tiempo rea .....	433
9.5.3.	Comunicación en los sistemas distribuidos de control en tiempo real .....	434
9.6.	Sistemas disparados por tiempo y disparados por evento .....	435
9.6.1.	Mensajes críticos y no críticos .....	437

9.6.2. Mensajería periódica y aperiódica .....	439
9.7. Planificación de mensajes de tiempo real .....	439
9.7.1. Políticas de planificación.....	440
9.7.2. Test de planificabilidad .....	441
9.7.3. Planificación con desalojo .....	441
9.7.4. Planificación sin desalojo .....	442
9.8. Prioridades estáticas y dinámicas .....	442
9.8.1. Planificación cíclica .....	443
9.8.2. Planificación estática .....	444
9.8.3. Planificación dinámica .....	445
9.8.4. Algoritmo de planificación <i>Rate Monotonic</i> .....	445
9.8.5. Algoritmo de planificación <i>Deadline Monotonic</i> .	447
9.8.6. Algoritmo de planificación <i>Earliest Deadline First</i> .....	451
9.9. Análisis de tiempo real en redes de comunicación .....	453
9.10. Conclusiones .....	454
9.11. Bibliografía .....	455
9.12. Evaluación .....	455
9.12.1. Evaluación objetiva .....	455
10. INTRODUCCIÓN A LOS BUSES DE CAMPO Y A LOS SISTEMAS DISTRIBUIDOS .....	459
10.1. Introducción y orientaciones para el estudio.....	461
10.2. Objetivos .....	462
10.3. Los buses de campo. Definición .....	462
10.4. Los sistemas distribuidos.....	462
10.5. Estructuración de los sistemas distribuidos industriales.	463
10.6. Características de distribución.....	465

---

10.7. Características de la mensajería de los buses de campo .....	467
10.8. Normalizaciones en los buses de campo .....	469
10.9. Modelo general de operación de los buses de campo ...	470
10.10. Funcionalidades comunes .....	477
10.11. Conclusiones.....	479
10.12. Bibliografía .....	480
10.13. Evaluación.....	480
10.13.1. Ejercicios resueltos.....	480
10.13.2. Evaluación objetiva.....	481
ANEXO.	
SOLUCIONES A LAS PREGUNTAS DE EVALUACIÓN OBJETIVA.....	485