



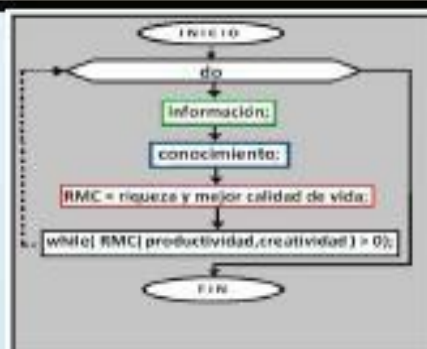
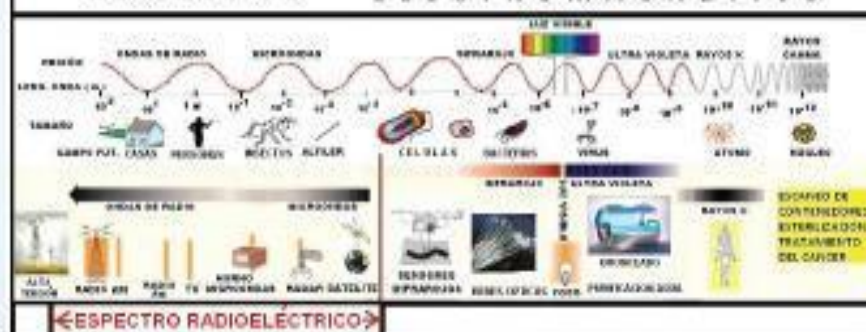
PROYECTO PAPIME P103911



Nombre	Interacción	Formulando
estática	$\nabla \cdot \vec{E} = \frac{\rho}{\epsilon_0}$	$\oint_C \vec{E} \cdot d\vec{l} = \frac{q}{\epsilon_0}$
estática con campo magnético	$\nabla \cdot \vec{B} = 0$	$\oint_C \vec{B} \cdot d\vec{l} = 0$
estática	$\nabla \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$	$\oint_C \vec{E} \cdot d\vec{l} = -\frac{d}{dt} \int_S \vec{B} \cdot d\vec{S}$
estática con corriente	$\nabla \times \vec{B} = \mu_0 \vec{J} + \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}$	$\oint_C \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 \int_S \vec{J} \cdot d\vec{S} + \mu_0 \epsilon_0 \frac{d}{dt} \int_S \vec{E} \cdot d\vec{S}$

FUNDAMENTOS DE TELECOMUNICACIONES ENFOQUE TEÓRICO PRÁCTICO DE LOS SISTEMAS

ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO



Juan Fernando Solórzano Palomares

Fátima Mountadl

Cuauhtémoc Solórzano Santana

Jesús Reyes García

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**FUNDAMENTOS DE TELECOMUNICACIONES
ENFOQUE TEÓRICO PRÁCTICO DE LOS SISTEMAS**

Juan Fernando Solórzano Palomares

Fátima Moumtadi

Cuauhtémoc Solórzano Santana

Jesús Reyes García

DIVISIÓN DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA EN COMPUTACIÓN

SOLÓRZANO PALOMARES, Juan Fernando, Fátima Moumtadi. *Fundamentos de telecomunicaciones enfoque teórico práctico de los sistemas. 1ª edición.* México, Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería, 2012, 434 p.

Fundamentos de telecomunicaciones enfoque teórico práctico de los sistemas

Primera edición: diciembre de 2012

D.R. © 2012, Universidad Nacional Autónoma de México

Avenida Universidad No. 3000

Col. Universidad Nacional Autónoma de México, C.U.,

Delegación Coyoacán, México, D.F.

Código Postal 04510

Facultad de Ingeniería

<http://www.ingeniería.unam.mx/>

Prohibida la reproducción o transmisión total o parcial de esta obra por cualquier medio sin la autorización escrita del titular de los derechos patrimoniales.

Diseño de portada: Autores
Impreso y hecho en México.

PRÓLOGO

Con el continuo avance de la electrónica y los medios de comunicación, han surgido las especializaciones en computación, electrónica y telecomunicaciones, aparentemente separadas pero en realidad complementarias una de la otra. De esta manera, es conveniente que todo ingeniero de estas áreas conozca y aplique los conocimientos complementarios que le correspondan. Es impensable el desarrollo de los sistemas de telecomunicaciones y redes actuales sin el impulso de la electrónica, y de la computación. Por consiguiente, todo ingeniero debe tener sólidos conocimientos de:

- a) La electrónica
- b) Los sistemas de telecomunicaciones actuales
- c) La computación y
- d) Los conocimientos especializados de su área específica de la ingeniería

En el contexto multidisciplinario de la ingeniería, el conocimiento de los sistemas de telecomunicaciones resulta indispensable para todo profesional del área, sin menoscabo de su área específica de aplicación. de conocimientos. Por consiguiente, es necesario adecuar los conocimientos fundamentales sobre telecomunicaciones para todas las carreras del área eléctrica que se imparten en la Facultad de Ingeniería, de conformidad con los planes vigentes. En este documento se intenta plasmar lo que a juicio de los autores, resulta indispensable para todos los estudiantes de las diversas carreras, considerando que todo estudiante e ingeniero, debe conocer al menos a nivel descriptivo los grandes bloques de todos los sistemas de telecomunicaciones y las características generales de los medios de comunicación tanto guiados como no guiados.

Desde un punto de vista de formación integral en el área eléctrica, es necesario dotar a los estudiantes con los conocimientos básicos o fundamentales (teórico – prácticos) sobre telecomunicaciones que les

permita resolver problemas asociados a conocimientos teóricos afines y aplicados de las áreas de ingeniería. Se seleccionó para dicho fin el presentar el desarrollo de todos y cada uno de los principales avances en la electrónica y su impacto en el desarrollo de los sistemas de telecomunicaciones. De esta manera se presenta la teoría y el funcionamiento de los inventos que han sido puestos para el uso de las mayorías y que han propiciado desarrollos en las telecomunicaciones:

Considerando que es necesario impulsar la cultura de los estudiantes, los sistemas de telecomunicaciones se presentan conforme el desarrollo del panorama de la historia de las telecomunicaciones que describe brevemente tanto el desarrollo de los dispositivos como el de los sistemas, incluyendo unas breves notas sobre acontecimientos en la historia de las telecomunicaciones en México.

Los autores agradecen a la Dirección General del Personal Académico el apoyo recibido para este proyecto PAPIME PE103911, el cual ha resultado idóneo para una mejor realización del mismo, al contar con recursos materiales diversos. Sobre este particular, los autores también agradecen al M. I. Aurelio Sánchez Vaca su valiosa colaboración en la revisión y apoyo logístico para la edición de este texto.

Los autores.

M. I. Juan Fernando Solórzano Palomares

Dra. Fátima Moumtadi

Ing. Cuauhtémoc Solórzano Santana

Ing. Jesús Reyes García

ÍNDICE

CAPÍTULO 1	1
Conceptos generales.....	1
1.1 Definiciones	1
1.2 Concepto de comunicación	2
1.3 Antecedentes.....	3
 CAPÍTULO 2	 7
Panorama de los principios básicos de la electricidad, el electromagnetismo y del surgimiento de la electrónica	7
2.1 Los antecedentes y fundamentos teórico-prácticos para el surgimiento de las telecomunicaciones	7
2.1.1 La invención de la pila, conceptos básicos	7
2.2 Leyes, conceptos y componentes (las bases)	9
2.2.1 La ley de Coulomb.....	9
2.3 El surgimiento de la electrónica, primeros componentes electrónicos y leyes	11
2.3.1 La ley de Ohm	12
2.3.2 Componentes básicos	12
2.3.3 La ley de Joule	14
2.4 Ley de Faraday.....	15
2.5 Ley de gauss para el flujo eléctrico	19
2.6 La ley de Gauss para el campo magnético.....	20
2.7 La ley de Amper	22
2.8 Las ecuaciones de maxwell.....	23
2.9 Las leyes de Kirchhoff	24
2.10 El surgimiento de las telecomunicaciones	24
2.11 El surgimiento del primer gran sistema de telecomunicaciones: El sistema Telegráfico	25
2.12 El surgimiento del segundo gran sistema de telecomunicaciones: El Sistema telefónico	27
2.13 El surgimiento de las telecomunicaciones inalámbricas o no guiadas	33
2.13.1 Antecedentes.....	34
2.13.2 El desarrollo de la radiodifusión.....	35
2.13.3 El primer transmisor de pulsos	36
2.13.4 La telegrafía inalámbrica	37
2.14 El surgimiento de la electrónica con el bulbo o válvula de vacío	39
2.15 El surgimiento de la radiodifusión de amplitud modulada con base en el	

oscilador de bulbo.....	42
2.15.1 Los primeros equipos básicos para transmitir música y voz.....	48
2.15.2 El funcionamiento del transmisor (con modulación en amplitud).....	49
2.15.3 Las primeras transmisiones comerciales de voz y música	52
2.15.4 El receptor superheterodino	53
2.15.4.1 El receptor superheterodino portátil y la invención de la FM	53
2.15.4.2 La modulación en fase.....	56
2.16 La evolución de la electrónica: Los transistores de efecto de campo	56
2.17 La radio - experimentación de onda corta	57
2.18 El desarrollo del radar (Radio Detection and Ranging).....	59
2.19 Las bandas comerciales para la radiodifusión	60
2.20 Las trayectorias de la señal en la atmósfera en función de la frecuencia.....	61
2.21 Aplicaciones de las ondas electromagnéticas	63
2.22 El alcance teórico de la onda electromagnético	64
2.23 La potencia medida en decibeles	65
2.24 Tipos de telecomunicaciones eléctricas y ventajas	67
2.25 El desarrollo del transistor más empleado en el siglo pasado	68
2.26 Las técnicas de multiplexaje	70
2.26.1 Concepto de multiplexaje	70
2.26.2 El multiplexaje en frecuencia	70
2.26.3 El multiplexaje en tiempo	71
2.26.4 El multiplexaje por código.....	71
2.26.5 El multiplexaje espacial	72

CAPÍTULO 3 73

La evolución de la televisión.....	73
3.1 Generalidades	73
3.2 El primer sistema mecánico de TV	74
3.3 El primer sistema electrónico de TV	76
3.4 El desarrollo del iconoscopio	76
3.5 Características de la TV monocromática (Blanco y Negro)	79
3.5.1 Elementos de una imagen	80
3.5.2 Barridos horizontal y vertical.....	80
3.5.3 Líneas por cuadro.....	82
3.5.4 Cuadros por segundo	82
3.5.5 Información de la señal de video	83
3.5.6 Imágenes en movimiento.....	85
3.5.7 Frecuencias de cuadros y de campos	87
3.5.8 Frecuencias de barridos horizontal y vertical.....	88

3.5.9 Sincronizaciones horizontal y vertical	90
3.5.10 Borrados horizontal y vertical	92
3.6 La primera TV análoga de color	93
3.6.1 La compatibilidad BN y color	94
3.6.2 El transmisor de TV a color	95
3.6.3 El receptor de TV a color	100
3.7 Estándares de televisión analógica a color	102
3.7.1 El estándar NTSC.....	107
3.7.2 El estándar PAL.....	108
3.7.3 El estándar SECAM.....	109
3.7.4 Esquema general de la TV analógica a color	110
3.7.4.1 El procesamiento del audio	110
3.7.4.2 Barridos horizontal y vertical.....	111
3.7.4.3 Generación de colores.....	112
3.7.4.4 Distribución de la TV analógica (hasta 1980 – 90)	112
3.7.4.5 Combinaciones de los principales sistemas análogos de TV	113
3.7.4.6 Mejoras a la televisión analógica.....	115
3.7.4.6.1 Televisión estereofónica	115
3.7.4.6.2 Sistema BTSC o sistema MTS	116
3.7.4.6.3 Sistema de doble portadora o sistema FM - FM.....	118
3.7.4.6.4 Sistema NICAM 728	118
3.7.4.6.5 Visualización de diálogos en pantalla (closed caption	120
3.7.4.6.6 Sonido envolvente (Surround sound)	120
3.7.4.6.7 Supervideo (S video)	121
3.7.4.6.8 Imagen en imagen (Picture in Picture o PIP).....	121
CAPÍTULO 4	123
El sistema de comunicaciones digital	123
4.1 Conceptos básicos	123
4.1.1 Definición de mensaje, señal digital y fuentes de señal digital	123
4.2 Las etapas del sistema de telecomunicaciones digital	127
4.2.1 Descripción de las etapas asociadas al transmisor	128
4.2.1.1 Filtro analógico pasabanda.....	128
4.2.1.2 Codificador analógico digital.....	128
4.2.1.3 La importancia de la conversión Analógico/Digital	131
4.3 Teorema del muestreo (PCM)	132
4.3.1 Modulación de amplitud de pulsos (PAM Pulse Amplitud Modulation)	138
4.3.2 Modulación de pulsos codificados(PCM Pulse Code Modulation).....	140

4.3.2.1	Cuantización	141
4.3.2.2	Codificación	142
4.3.2.3	Proceso de muestreo.....	142
4.3.2.4	Proceso de cuantización y codificación	144
4.3.3	Recuperación de la señal de información $f(t)$ de la señal PCM	147
4.3.4	Convertidor Digital/Analógico (D/A)	148
4.4	Observaciones sobre la tasa de transmisión	149
4.5	Codificador de fuente.....	152
4.6	Codificador de canal	153
4.7	Modulación de la señal	154
4.7.1	Antecedentes.....	154
4.7.2	La modulación digital	158
4.7.2.1	Objetivo de la modulación	158
4.7.2.2	Tipos de modulación empleados hasta la fecha.....	159
4.8	Desarrollo de la modulación digital.....	161
4.9	Esquemas básicos de modulación digital	162
4.9.1	Modulación digital por cambio de amplitud ASK (Amplitude Shift Keying)	162
4.9.1.1	Transmisión y recepción de ASK con portadora suprimida	168
4.9.2	Modulación digital por cambio de frecuencia FSK (Frequency Shift Keying)...	169
4.9.3	Modulación digital por cambio de fase PSK (Phase Shift Keying)	172
4.9.3.1	Modulación digital 2PSK (Binary Phase Shift Keying)	173
4.9.3.2	Modulación digital 4PSK (Quaternary Phase Shift Keying)	176
4.9.3.2.1	Demodulación de 4PSK (QPSK)	179
4.9.3.3	Modulación digital 8PSK (Eight Phase Shift Keying)	182
4.9.3.4	Modulación digital 16PSK (Sixteen Phase Shift Keying)	185
4.9.4	Probabilidad de error en el receptor ASK	188
4.9.5	Modulaciones mQAM (Modulaciones en cuadratura).....	189
4.9.5.1	Modulación 4QAM	190
4.9.5.2	Modulación 8QAM	191
4.9.5.2.1	Etapas de recepción.....	195
4.9.5.3	Constelación para la modulación 16QAM.....	196
4.9.6	Recuperación de portadora en receptores mPSK y mQAM	196
4.9.6.1	Squaring loop	197
4.9.6.2	Costas loop.....	198
4.11	Modulación BPSK diferencial o DBPSK	200
4.11.1	Circuitos para modulación BPSK diferencial	200
4.11.2	Demodulación DBPSK	201
4.12	El canal o medio de transmisión	202

CAPÍTULO 5	207
Codificación digital síncrona de mensajes.....	207
5.1 Código digital síncrono	207
5.1.1 Componentes de un mensaje digital	208
5.1.2 La densidad espectral de potencia	208
5.1.2.1 La importancia del primer lóbulo.....	209
5.2 Reconstrucción de bits	210
5.3 Definiciones	210
5.4 La codificación de mensajes.....	210
5.5 Clasificación de códigos	211
5.5.1 La codificación de línea	211
5.5.2 El código base o patrón (NRZ – L)	212
5.5.2.1 Espectro de NRZ - L	213
5.5.3 El código NRZ – S	213
5.5.3.1 Espectro de NRZ - S.....	214
5.5.4 El código NRZ – M.....	214
5.5.4.1 Espectro de NRZ - M	215
5.5.5 El código NRZ Bipolar	215
5.5.5.1 Espectro de NRZ Bipolar	216
5.5.6 El código RZ Unipolar.....	216
5.5.6.1 Espectro de la señal RZ Unipolar	217
5.5.7 El código AMI (Bipolar)	217
5.5.7.1 Densidad espectral de la señal AMI	218
5.5.8 Códigos multinivel	219
5.5.8.1 Codificación multinivel	219
5.5.8.2 Espectro código multinivel	220
5.5.9 Códigos BNZS (Binary N Zero Sustitution o de sustitución de N ceros).....	220
5.5.9.1 Código B6ZS	221
5.5.9.2 Código HDB3.....	222
5.6 Códigos de protección	222
5.6.1 Clasificación de las técnicas de corrección de errores	223
5.6.1.1 Ventajas FEC	223
5.6.1.2 Desventajas FEC.....	223
5.6.3 Procedimiento de detección de error por paridad	224
5.6.3.1 Método de corrección de error por verificación cruzada	224
5.6.4 Método del síndrome	225
5.6.5 Método de Hamming para corrección de un error	227
5.6.6 Código convolucional “método del árbol”	229

CAPÍTULO 6	233
Medios o canales de comunicación	233
6.1 Transmisión de mensajes a través de medios específicos.....	233
6.2 Tipos o modalidades de comunicación.....	235
6.3 Características generales de los canales de telecomunicaciones.....	236
6.4 Características del receptor	236
6.5 Planta telefónica exterior típica.....	237
6.6 Redes: de área local (LAN`s), MAN y WAN	237
6.7 Coaxiales.....	238
6.8 Interfases de comunicación entre microcomputadoras	238
6.8.1 Enlace o interconexión remota de microcomputadoras	240
6.9 Fibras ópticas	241
6.9.1 Panorama de la historia de las comunicaciones ópticas	241
6.9.2 Descripción de la fibra óptica.....	242
6.9.3 Características principales en fibras comerciales (1995).....	243
6.9.4 Ventajas de la fibra óptica	243
6.9.5 Desventajas de la fibra óptica.....	243
6.9.6 Parámetros de transmisión.....	244
6.10 Transmisión vía la atmósfera.....	244
6.10.1 Limitaciones en las comunicaciones radioeléctricas (vía la atmósfera).....	244
6.10.2 Propagación en función de la frecuencia.....	245
6.10.3 Principales fenómenos atmosféricos que impactan a las señales	245
6.10.4 Los tipos de servicios de telecomunicaciones	248
6.10.5 Ancho de banda de un canal	249
6.10.6 Bandas empleadas en telecomunicaciones.....	250
6.10.7 El espectro electromagnético	252
6.11 Comunicaciones vía satélite	253
6.11.1 Definición de satélite para telecomunicaciones y órbitas.....	253
6.11.2 Tipos clásicos de órbitas que emplean los satélites.....	253
6.11.2.1 Características de la órbita	255
6.11.3 Satélites de órbitas baja y media como apoyo a las telecomunicaciones.....	257
6.11.3.1 Orbcomm	258
6.11.3.2 Globalstar	258
6.11.3.3 Iridium.....	259
6.11.3.4 GPS.....	259
6.11.3.5 Proyecto Teledesic	259
6.11.3.6 Immarsat.....	259
6.11.4 Aplicaciones de los sistemas de comunicación vía satélite	260
6.11.4.1 Los sistemas de "difusión directa al hogar" de TV	261

6.11.4.2	Los sistemas de localización global.....	262
6.11.4.3	Como complemento y respaldo a las redes terrestres.....	263
6.11.4.4	Como apoyo a la investigación.....	263
6.11.4.5	Comunicaciones militares, control y defensa de soberanía nacional	265
6.11.4.6	Comunicación inmediata de noticias y eventos diversos.....	266
6.11.5	Tendencias en las telecomunicaciones	266
6.12	Reglas/acuerdos internacionales para las telecomunicaciones.....	268
6.12.1	Objetivos de los Protocolos	268
6.12.2	Organismos reguladores	268
6.12.3	Tipos de protocolos	269
6.12.3.1	Protocolos asíncronos	270
6.12.3.1.1	Protocolo XMODEM	270
6.12.3.1.2	Protocolo MNP.....	270
6.12.3.2	Protocolos síncronos	270
6.12.4	Evolución de los principales protocolos (SBSC, HDLC, SDLC; X25, FRAME RELAY, ATM).....	271
6.12.4.1	Redes X25 y normatividad para la transmisión de paquetes.....	271
6.12.4.2	Protocolos SBSC, HDLC,SDLC.....	271
6.12.4.3	Desarrollo Frame Relay.....	272
6.12.4.4	ATM (asynchronous Transfer Mode o “Cell Relay”	273
6.12.5	Normatividad OSI	273
6.12.5.1	El modelo OSI.....	274
6.13	Multiplexación en tiempo y jerarquización de los canales PDH.....	276
6.14	Clasificación de las redes: asíncronas, síncronas y de paquete	276
6.14.1	Subclasificación de las redes de paquete.....	277
6.15	Estándares americano y europeo para el multiplexaje	278
6.15.1	El canal E0 y el multiplexaje	278
6.15.2	Los canales digitales T1, T2, T3, T4M, T5.....	280
6.16	Normatividad ISDN.....	282
6.17	Estado actual de los sistemas de comunicaciones digitales.....	282
6.17.1	Ventajas de una transmisión digital	284
6.17.2	Desventajas de una transmisión digital	285

CAPÍTULO 7287

	La radio y televisión digitales.....	287
7.1	La radio digital	287
7.2	Los principales estándares de la radio digital	288
7.2.1	Características principales del sistema DAB	288
7.2.1.1	Características generales del sistema DAB.....	289

7.2.1.2 Funcionamiento del sistema DAB.....	291
7.2.1.3 El sistema DAB+.....	292
7.2.1.4 El transmisor DAB+	293
7.3 Introducción al sistema IBOC	293
7.3.1 Descripción general del sistema IBOC	294
7.3.2 Características técnicas generales de IBOC	294
7.3.3 Funcionamiento del sistema IBOC	296
7.3.3.1 Subsistema de transmisión/RF.....	297
7.3.3.2 Subsistema de transporte y múltiplex de servicio	297
7.3.3.3 Subsistema de audio y datos.....	297
7.4 Introducción al sistema DRM.....	298
7.4.1 El surgimiento del sistema DRM.....	298
7.4.2 Características generales del sistema DRM.....	299
7.4.3 Funcionamiento del sistema DRM.....	298
7.5 Integrated Services Digital Broadcasting y Digital Multimedia Broadcasting	305
7.5.1 Integrated Services Digital Broadcasting	305
7.5.1.1 Características generales de ISDB.....	305
7.5.2 Digital Multimedia Broadcasting	306
7.5.2.1 Características generales de DMB	306
7.6 Sistemas de radio digital satelital	307
7.6.1 Sistema DARS (Digital Audio Radio Services)	308
7.6.2 Sistema XM Satellite Radio	309
7.6.2.1 Características generales de XM Satellite Radio.....	310
7.6.3 Sirius Satellite Radio.....	311
7.6.3.1 Características generales de Sirius Satellite Radio	311
7.6.4 Worldspace.....	314
7.6.4.1 Características generales de Worldspace	314
7.7 El desarrollo de la TV digital	315
7.7.1 Resolución HD.....	316
7.7.2 Pantallas planas	316
7.7.3 Pantallas de relación de aspecto 16:9	317
7.8 Ventajas de la TV digital sobre la analógica	318
7.9 Ventajas para el usuario	318
7.10 Ventajas para el gobierno.....	321
7.11 Ventajas para los radiodifusores, fabricantes de equipo y proveedores de servicio	322
7.12 Estándares de televisión digital	323
7.13 El apagón analógico	324
7.14 Normas estadounidense, japonesa y europea TV digital.....	324

7.14.1	Introducción a los estándares de la TV digital	324
7.14.1.1	ATSC (Advanced Television Systems Committee).....	324
7.14.1.2	ISDB-T (Integrated Services Digital Broadcasting – Terrestrial).....	327
7.14.1.3	DVB-T (Digital Video Broadcasting – Terrestrial)	329
7.14.1.4	TV. 3D	332
7.14.1.5	Cuadruple HDTV	332
Anexo “1” Fenómenos atmosféricos que impactan las telecomunicaciones		333
Anexo “2” Técnicas de compresión de video y de imágenes.....		347
Anexo “3” Fibras ópticas.....		375
Bibliografía.....		436