

SIMULACIÓN Y ANÁLISIS DEL NIVEL FÍSICO DEL ESTÁNDAR IEEE 802.11B

JESÚS ANDRÉS MERA MEDINA

MARIO JOSÉ DAVID MANZANO

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES
DEPARTAMENTO DE TELECOMUNICACIONES
POPAYÁN
2007**

SIMULACIÓN Y ANÁLISIS DEL NIVEL FÍSICO DEL ESTÁNDAR IEEE 802.11B

JESÚS ANDRÉS MERA MEDINA

MARIO JOSÉ DAVID MANZANO

**Trabajo final de grado presentado como requisito
para optar al título de
Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones**

Director

VICTOR MANUEL QUINTERO FLOREZ

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES
DEPARTAMENTO DE TELECOMUNICACIONES
POPAYÁN
2007**

TABLA DE CONTENIDO

1	MARCO TEÓRICO	1
1.1	HISTORIA Y GENERALIDADES DEL ESTÁNDAR IEEE 802.11B	1
1.2	DESCRIPCIÓN DEL NIVEL FÍSICO	4
1.2.1	El Nivel Físico 802.11	4
1.2.2	802.11b: Mejoras al Nivel Físico	7
1.3	SUBNIVELES PLCP Y PMD	9
1.4	FORMATO PPDU	10
1.4.1	Formato PPDU para el Modo Long PLCP	11
1.4.1.1	Campo SYNC	11
1.4.1.2	Campo SFD	12
1.4.1.3	Campo SIGNAL	12
1.4.1.4	Campo SERVICE	12
1.4.1.5	Campo LENGTH	13
1.4.1.6	Campo CRC	15
1.4.2	Formato PPDU para el modo Short PLCP	15
1.4.2.1	Campo shortSYNC	16
1.4.2.2	Campo shortSFD	16
1.4.2.3	Campo shortSIGNAL	16
1.4.2.4	Campo shortSERVICE	17
1.4.2.5	Campo shortLENGTH	17
1.4.2.6	Campo shortCRC	17
1.5	RANGOS DE FRECUENCIA DE OPERACIÓN	18
1.6	GRUPOS Y CANALES DE OPERACIÓN	19
1.6.1	Máscara Espectral de Transmisión	20
1.7	COMPARACIÓN CON OTRAS TECNOLOGÍAS INALÁMBRICAS DE ÁREA LOCAL	21
1.7.1	802.11 legacy	21
1.7.2	802.11 a	22
1.7.3	802.11 g	23
1.7.4	802.11 n	25
1.7.5	Hyperlan/2	26
1.7.6	HomeRF	27
1.7.7	IrDA	28

2	MODELAMIENTO	30
2.1	FORMULACIÓN DEL PROBLEMA Y PLAN DE ESTUDIOS	30
2.1.1	Adquisición de información sobre el funcionamiento del sistema.	31
2.1.1.1	Subsistema: Transmisor	31
2.1.1.2	Subsistema: Modelo del Canal	32
2.1.1.3	Subsistema: Receptor	33
2.1.2	Fines de la simulación	35
2.1.3	Formulación de los objetivos de la simulación	35
2.2	RECOLECCION Y PROCESAMIENTO DE DATOS	35
2.2.1	Transmisor	36
2.2.1.1	Identificación de las clases y objetos	36
2.2.1.2	Identificación de las estructuras	36
2.2.1.3	Identificación de los sujetos	40
2.2.1.4	Identificación de los Atributos	40
2.2.1.5	Identificación de servicios	44
2.2.2	Modelo del Canal	46
2.2.2.1	Identificación de las Clases y Objetos	46
2.2.2.2	Identificación de las Estructuras	46
2.2.2.3	Identificación de los sujetos	47
2.2.2.4	Definición de los atributos	47
2.2.2.5	Identificación de servicios	48
2.2.3	Receptor	48
2.2.3.1	Identificación de las Clases y Objetos	48
2.2.3.2	Identificación de las Estructuras	48
2.2.3.3	Identificación de los Sujetos	51
2.2.3.4	Definición de los Atributos	51
2.2.3.5	Identificación de Servicios	54
2.3	MODELO DE SIMULACIÓN	56
2.3.1	Modelo de Simulación: Transmisor	56
2.3.1.1	Estructura interna y caracterización del Generador de Información	57
2.3.1.2	Estructura interna y caracterización del Formato PPDU	58
2.3.1.3	Estructura interna y caracterización del Ensanchador-Modulador	63
2.3.2	Modelo de Simulación: Modelo de Canal	68
2.3.3	Modelo de Simulación: Receptor	69
2.3.3.1	Estructura interna y caracterización del Receptor Rake	70
2.3.3.2	Estructura interna y caracterización del Demodulador-Desensanchador	72
2.4	EVALUACIÓN DEL MODELO	76
2.4.1	Chequeo de variables	76
2.4.2	Complejidad resultante de cada objeto (procesos)	77
2.4.3	Evaluación de los objetivos	77
2.4.4	Complejidad del proyecto	77

3	ANALISIS DE RESULTADOS	79
3.1	INTRODUCCIÓN	79
3.2	SUBSISTEMA TRANSMISOR	79
3.2.1	Generador aleatorio de datos binarios	79
3.2.2	Código Barker	80
3.2.3	Ensanchamiento para 1 y 2Mbps	80
3.2.4	Codificación diferencial para 1 Mbps	81
3.2.5	Codificación diferencial para 2 Mbps	82
3.2.6	Codificación para 5.5 Mbps	83
3.2.7	Codificación para 11 Mbps	86
3.2.8	Máscara espectral de transmisión	89
3.3	SUBSISTEMA MODELO DEL CANAL	94
3.3.1	Variación de la máscara espectral de transmisión por cambios en las condiciones del canal para 1Mbps y medición del BER	94
3.3.2	Variación de la máscara espectral de transmisión por cambios en las condiciones del canal para 2 Mbps y medición del BER	98
3.3.3	Variación de la máscara espectral de transmisión por cambios en las condiciones del canal para 5.5 Mbps y medición de la BER	101
3.3.4	Variación de la máscara espectral de transmisión por cambios en las condiciones del canal para 11 Mbps y medición de la BER	104
3.4	SUBSISTEMA RECEPTOR	107
3.4.1	Diagramas de constelación para 1 Mbps.	112
3.4.2	Diagramas de constelación para 2 Mbps.	114
3.4.3	Diagramas de constelación para 5.5 Mbps.	116
3.4.4	Diagramas de constelación para 11 Mbps.	118
3.4.5	Comparación de los datos recibidos.	120
3.4.6	Curvas de medición de la BER.	121
4.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	124
4.1	CONCLUSIONES	124
4.2	RECOMENDACIONES	126
	BIBLIOGRAFIA	129

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Campo SERVICE	13
Tabla 1.2. Ejemplo de cálculo del campo LENGTH para la modulación CCK	15
Tabla 1.3. Esquemas de codificación, modulación y velocidad de transmisión.	18
Tabla 1.4. Plan de frecuencia de canales.	18
Tabla 1.5. Canales de operación en Norte América	19
Tabla 1.6. Canales de operación en Europa (Excepto Francia y España)	20
Tabla 1.7. Características técnicas de estándares inalámbricos	29

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Logo del Estándar IEEE 802.11b “Wi-Fi”	2
Figura 1.2. Arquitectura Básica de una red WLAN	3
Figura 1.3. Diagrama descriptivo del nivel físico de 802.11 y sus extensiones.	5
Figura 1.4. Ejemplo de FHSS con 2 transmisores operando simultáneamente.	6
Figura 1.5. Trama PPDU para el modo long PLCP	10
Figura 1.6. Trama PPDU para el modo short PLCP	11
Figura 1.7. Selección de canales en Norte América – No superpuestos	19
Figura 1.8. Selección de canales en Norte América – Superpuestos	19
Figura 1.9. Selección de canales en Europa – No superpuestos	20
Figura 1.10. Selección de canales en Europa – Superpuestos	20
Figura 1.11. Máscara espectral de transmisión para IEEE 802.11b	21
Figura 1.12. Detalle de un canal IEEE 802.11a	23
Figura 1.13. Rangos de cobertura según tipo de modulación y codificación.	24
Figura 2.1 Estructura Whole-Part del generador de información.	37
Figura 2.2 Estructura Whole-Part del Formato PPDU	38
Figura 2.3. Estructura Whole-Part del Ensanchador-Modulador (para 1 y 2 Mbps)	39
Figura 2.4. Estructura Whole-Part del Ensanchador-Modulador	40
Figura 2.5. Estructura Whole-Part del subsistema Trayectos	47
Figura 2.6. Estructura Whole-Part del Receptor Rake	49
Figura 2.7. Estructura Whole-Part del Demodulador-Desensanchador	50
Figura 2.8. Estructura Whole-Part del Demodulador-Desensanchador	51
Figura 2.9. Estructura del sistema total	56
Figura 2.10. Estructura del subsistema Transmisor	57
Figura 2.11. Estructura interna del bloque Generador de Información	57
Figura 2.12. Estructura interna del bloque Formato PPDU	58
Figura 2.13. Estructura interna del ensanchador	64
Figura 2.14. Estructura interna del modulador	65
Figura 2.15. Estructura interna del Ensanchador-Modulador	66
Figura 2.16. Funcionamiento del bloque Agrupamiento	67
Figura 2.17. Estructura del subsistema Modelo del Canal	69
Figura 2.18. Estructura del subsistema Receptor	70
Figura 2.19. Estructura interna del Receptor Rake	70
Figura 2.20. Estructura interna del Demodulador	73
Figura 2.21 Estructura interna del desensanchador	74
Figura 2.22. Estructura interna del Demodulador-Desensanchador	74
Figura 2.23. Funcionamiento del bloque Demux	76
Figura 3.1 Vector de datos aleatorio de tipo binario generado en 8 μ s.	79
Figura 3.2 Vector de datos aleatorio de tipo binario generado en 8 μ s.	80
Figura 3.3 Dimensión del vector que representa el código Barker	80
Figura 3.4. Operación lógica entre el código Barker y un cero	81
Figura 3.5. Operación lógica entre el código Barker y un uno	81

Figura 3.6 Bloque “Discrete-Time Scatter Plot Scope”.	82
Figura 3.7. Constelación para 1 Mbps.	82
Figura 3.8. Constelación para 2 Mbps.	82
Figura 3.9. Constelación para 5.5 Mbps.	83
Figura 3.10. Ensanchador-Modulador para 5.5 Mbps con despliegues para visualizar los datos que se están procesando.	85
Figura 3.11 Constelación para 11 Mbps.	86
Figura 3.12. Ensanchador-Modulador para 11 Mbps con despliegues para visualizar los datos que se están procesando.	88
Figura 3.13. Máscara espectral de transmisión para los datos de usuario a 1 Mbps	89
Figura 3.14. Máscara espectral de transmisión para la información a 1 Mbps después de ser ensanchada	90
Figura 3.15. Máscara espectral de transmisión para 1 Mbps antes del canal	90
Figura 3.16. Máscara espectral de transmisión para los datos de usuario a 2 Mbps	91
Figura 3.17. Máscara espectral de transmisión para la información a 2 Mbps después de ser ensanchada	91
Figura 3.18. Máscara espectral de transmisión para 2 Mbps antes del canal	92
Figura 3.19. Máscara espectral de transmisión para los datos de usuario a 5.5 Mbps	92
Figura 3.20. Máscara espectral de transmisión para 5.5 Mbps antes del canal	93
Figura 3.21. Máscara espectral de transmisión para los datos de usuario a 11 Mbps	93
Figura 3.22. Máscara espectral de transmisión para 11 Mbps antes del canal	94
Figura 3.23. Máscara espectral de transmisión con E_b/N_0 para -3 dB.	95
Figura 3.24. BER, cantidad de bits transmitidos y errores para $E_b/N_0 = -3$ dB	95
Figura 3.25. Máscara espectral de transmisión con E_b/N_0 para 0 dB.	96
Figura 3.26. BER, cantidad de bits transmitidos y errores para $E_b/N_0 = 0$ dB	96
Figura 3.27. Máscara espectral de transmisión con E_b/N_0 para -6 dB.	97
Figura 3.28. BER, cantidad de bits transmitidos y errores para $E_b/N_0 = -6$ dB	97
Figura 3.29. Máscara espectral de transmisión con E_b/N_0 para 0 dB.	98
Figura 3.30. BER, cantidad de bits transmitidos y errores para $E_b/N_0 = 0$ dB	99
Figura 3.31. Máscara espectral de transmisión con E_b/N_0 para 3 dB.	99
Figura 3.32. BER, cantidad de bits transmitidos y errores para $E_b/N_0 = 3$ dB	100
Figura 3.33. Máscara espectral de transmisión con E_b/N_0 para -3 dB.	100
Figura 3.34. BER, cantidad de bits transmitidos y errores para $E_b/N_0 = -6$ dB	101
Figura 3.35. Máscara espectral de transmisión con E_b/N_0 para 8 dB.	102
Figura 3.36. BER, cantidad de bits transmitidos y errores para $E_b/N_0 = 8$ dB	102
Figura 3.37. Máscara espectral de transmisión con E_b/N_0 para 11 dB.	103
Figura 3.38. BER, cantidad de bits transmitidos y errores para $E_b/N_0 = 11$ dB	103
Figura 3.39. Máscara espectral de transmisión con E_b/N_0 para 5 dB.	104
Figura 3.40. BER, cantidad de bits transmitidos y errores para $E_b/N_0 = 5$ dB	104
Figura 3.41 Máscara espectral de transmisión con E_b/N_0 para 8 dB.	105
Figura 3.42. BER, cantidad de bits transmitidos y errores para $E_b/N_0 = 8$ dB	105
Figura 3.43. Máscara espectral de transmisión con E_b/N_0 para 11 dB.	106
Figura 3.44. BER, cantidad de bits transmitidos y errores para $E_b/N_0 = 11$ dB	106

Figura 3.45. Máscara espectral de transmisión con E_b/N_0 para 5 dB.	107
Figura 3.46. BER, cantidad de bits transmitidos y errores para $E_b/N_0 = 5$ dB	107
Figura 3.47. Operación XOR cuando el símbolo que se transmitió y el código Barker son diferentes.	108
Figura 3.48. Operación XOR cuando el símbolo que se transmitió y el código Barker son iguales.	109
Figura 3.49. Demodulador-Desensanchador para 5.5 Mbps con despliegues para visualizar los datos que se están procesando.	110
Figura 3.50. Demodulador-Desensanchador para 11 Mbps con despliegues para visualizar los datos que se están procesando.	111
Figura 3.51. Constelación de símbolos para 1 Mbps con $E_b/N_0 = -5$ dB	112
Figura 3.52. Constelación de símbolos para 1 Mbps con $E_b/N_0 = 0$ dB	113
Figura 3.53. Constelación de símbolos para 1 Mbps con $E_b/N_0 = 5$ dB	113
Figura 3.54. Constelación de símbolos para 1 Mbps con $E_b/N_0 = 10$ dB	113
Figura 3.55. Constelación de símbolos para 1 Mbps con $E_b/N_0 = 15$ dB	114
Figura 3.56. Constelación de símbolos para 2 Mbps con $E_b/N_0 = -5$ dB	114
Figura 3.57. Constelación de símbolos para 2 Mbps con $E_b/N_0 = 0$ dB	115
Figura 3.58. Constelación de símbolos para 2 Mbps con $E_b/N_0 = 5$ dB	115
Figura 3.59. Constelación de símbolos para 2 Mbps con $E_b/N_0 = 10$ dB	115
Figura 3.60. Constelación de símbolos para 2 Mbps con $E_b/N_0 = 15$ dB	116
Figura 3.61. Constelación de símbolos para 5.5 Mbps con $E_b/N_0 = -5$ dB	116
Figura 3.62. Constelación de símbolos para 5.5 Mbps con $E_b/N_0 = 0$ dB	117
Figura 3.63. Constelación de símbolos para 5.5 Mbps con $E_b/N_0 = 5$ dB	117
Figura 3.64. Constelación de símbolos para 5.5 Mbps con $E_b/N_0 = 10$ dB	117
Figura 3.65. Constelación de símbolos para 5.5 Mbps con $E_b/N_0 = 15$ Db	118
Figura 3.66. Constelación de símbolos para 11 Mbps con $E_b/N_0 = -5$ dB	118
Figura 3.67. Constelación de símbolos para 11 Mbps con $E_b/N_0 = 0$ dB	119
Figura 3.68. Constelación de símbolos para 11 Mbps con $E_b/N_0 = 5$ dB	119
Figura 3.69. Constelación de símbolos para 11 Mbps con $E_b/N_0 = 10$ dB	119
Figura 3.70. Constelación de símbolos para 11 Mbps con $E_b/N_0 = 15$ dB	120
Figura 3.71. Bits transmitidos	120
Figura 3.72. Bits recibidos	120
Figura 3.73. BER para un E_b/N_0 de 5dB y una velocidad de 1 Mbps	120
Figura 3.74. Bits transmitidos	121
Figura 3.75. Bits recibidos	121
Figura 3.76. BER para un E_b/N_0 de -10dB y una velocidad de 1 Mbps	121
Figura 3.77. Curvas de la BER en función de E_b/N_0	123

LISTADO DE ANEXOS

ANEXO A. ESPECTRO ENSANCHADO DE SECUENCIA DIRECTA.

ANEXO B. IMPLEMENTACIÓN DE LA SIMULACIÓN.

ANEXO C. GUIA DE INSTALACIÓN Y MANUAL DE USUARIO SIMULACIÓN ESTANDAR IEEE 802.11B.

ANEXO D. ARTÍCULO EN FORMATO IEEE. SIMULACIÓN Y ANÁLISIS DEL NIVEL FISICO DEL ESTANDAR IEEE 802.11B.

ACRÓNIMOS

AP: Punto de Acceso (*Access Point*)

ATM: Modo de Transferencia Asíncrono (*Asynchronous Transfer Mode*)

AWGN: Ruido Gausiano Blanco Aditivo (*Additive White Gaussian Noise*)

BER: Tasa de Error de Bit (*Bit Error Rate*)

BPSK: Modulación por Desplazamiento de Fase Binaria (*Binary Phase Shift Keying*)

BRAN: Redes de Acceso Radio Banda Ancha (*Broadband Radio Access Networks*).

CCA: Asignación de Canal Limpio (*Clear Channel Assessment*)

CCK: Codificación Complementaria en Código (*Complementary Code Keying*)

CRC: Código de Redundancia Cíclica (*Cyclic Redundancy Check*)

CSMA/CA: Acceso Múltiple por Detección de Portadora Evitando Colisiones (*Carrier-Sense Multiple Access with Collision Avoidance*)

DBPSK: Modulación por Desplazamiento de Fase Binaria Diferencial (*Differential Binary Phase Shift Keying*)

DEC: Corporación de Equipos Digitales (*Digital Equipment Corporation*)

DNA: Arquitectura de Red Digital (*Digital Network Architecture*)

DRS: Cambio Dinámico de Velocidad (*Dynamic Rate Shifting*)

DS: Secuencia Directa (*Direct Sequence*)

DSSS: Espectro Ensanchado por Secuencia Directa (*Direct Sequence Spread Spectrum*)

DQPSK: Modulación por Desplazamiento de Fase Cuaternaria Diferencial (*Differential Quadrature Phase Shift Keying*)

ETSI: Instituto Europeo de Estándares de Telecomunicaciones (*European Telecommunication Standards Institute*)

FCC: Comisión Federal de Comunicaciones (*Federal Communications Commission*)

FH: Salto de Frecuencia (*Frequency Hopping*)

FHSS: Espectro Ensanchado por Salto de Frecuencia (*Frequency Hopping Spread Spectrum*)

HiperLAN: Redes de Área Local basadas en Radio de Alto desempeño (*High performance radio LAN*)

IEEE: Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*)

IMDD: Modulación de Intensidad con Detección Directa (*Intensity Modulation Direct Detection*)

ISM: Industrial Científica y Médica (*Industrial Scientific and Medical*)

ISO: Organización Internacional para la Estandarización (*International Standards Organization*)

IrDA: Asociación de Datos en Infrarrojo (*Infrared Data Association*)

LAN: Redes de Área Local (*Local Area Network*)

LED: Diodo Emisor de Luz (*Light Emitting Diode*)

LLC: Control de Enlace Lógico (*Logical Link Control*)

LSB: Bit Menos Significativo (*Low Significant Bit*)

MAC: Control de Acceso al Medio (*Media Access Control*)

MAN: Redes de Área Metropolitana (*Metropolitan Area Network*)

MIMO: Múltiple-Entrada Múltiple-Salida (*Multi-In Multi-Out*)

MKK: Ministerio de Telecomunicaciones (*Ministry of Telecommunications*)

MSB: Bit Más Significativo (*Most Significant Bit*)

NIC: Tarjeta Interfaz de Red (*Network Interface Card*)

OFDM: Multiplexación por División de Frecuencia Ortogonal (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*)

OSI: Interconexión de Sistemas Abiertos (*Open Systems Interconnection*)

PAN: Redes de Área Personal (*Personal Area Networks*)

PBCC: Codificación Convolutiva Binaria de Paquetes (*Packet Binary Convolutional Code*)

PCs: Computadores Personales (*Personal Computers*)

PLCP: Protocolo de Convergencia de Capa Física (*Physical Layer Convergence Protocol*)

PMD: Dependiente del Medio Físico (*Physical Medium Dependent*)

PN: Pseudo-Ruido (*Pseudo Noise*)

PPDU: Protocolo PLCP de Unidad de Datos (*PLCP Protocol Data Unit*)

PPM: Modulación por Posición de Pulso (*Pulse Position Modulation*)

PSDU: Servicio PLCP de Unidad de Datos (*PLCP Service Data Unit*)

QoS: Calidad de Servicio (*Quality of Service*)

QPSK: Modulación por Desplazamiento de Fase Cuaternaria (*Quadrature Phase Shift Keying*)

SFD: Delimitador de Inicio de Trama (*Start Frame Delimiter*)

SNA: Arquitectura de Sistemas de Red (*Systems Network Architecture*)

SS: Espectro Ensanchado (*Spread Spectrum*)

SWAP: Protocolo de Acceso Inalámbrico Compartido (*Shared Wireless Access Protocol*)

UMTS: Sistema de Telecomunicaciones Móviles Universales (*Universal Mobile Telecommunications System*)

VoIP: Voz sobre Protocolo de Internet (*Voice over Internet Protocol*)

WAN: Redes de Área Extendida (*Wide Area Networks*)

WECA: Alianza para la Compatibilidad de Ethernet Inalámbrica (*Wireless Ethernet Compatibility Alliance*)

Wi-Fi: Fidelidad Inalámbrica (*Wireless Fidelity*)

WBANs: Redes de Área Corporal Inalámbricas (*Wireless Body Area Networks*)

WLANS: Redes de Área Local Inalámbricas (*Wireless Local Area Network*)

WPANs: Redes de Área Personal Inalámbricas (*Wireless Personal Area Networks*)

RESUMEN

El trabajo de grado ilustra los conceptos básicos relacionados con el estándar IEEE 802.11b, haciendo énfasis y profundización en los aspectos más relevantes del nivel físico, el procesamiento de señal en banda base, la técnica de espectro ensanchado por secuencia directa (DSSS, *Direct Sequence Spread Spectrum*), el modelamiento del nivel físico del estándar por medio de la aplicación y adaptación de la metodología de simulación de equipos de telecomunicaciones[1], la simulación realizada en el ambiente Simulink® de Matlab® y los resultados obtenidos y análisis realizados al verificar el funcionamiento de la simulación. IEEE 802.11b es una tecnología para Redes Inalámbricas de Área Local (WLAN, *Wireless Local Area Network*) que opera a velocidades de 1, 2, 5.5 y 11 Mbps en la banda de frecuencia de 2,4 GHz. Se caracteriza principalmente por utilizar la técnica de Espectro Ensanchado por Secuencia Directa (DSSS), la cual utiliza un código pseudo-aleatorio, denominado secuencia de Pseudo-Ruido (PN, *Pseudo-Noise*), que es empleado para “ensanchar” o “expandir” la energía de la señal de información en un ancho de banda mucho mayor que el ancho de banda de la señal de información original. El modelamiento y la simulación desarrollada corresponde al nivel físico de IEEE 802.11b en un enlace unidireccional, en banda base, entre el transmisor y el receptor. Los resultados y análisis no incluyen la etapa de radiofrecuencia por las altas exigencias computacionales de procesamiento que se necesitan.

INTRODUCCION

Las Redes Inalámbricas han tenido un gran auge y desarrollo en el mundo de las telecomunicaciones, lo cual les ha permitido extenderse rápida y ampliamente. En un principio las aplicaciones para este tipo de redes fueron limitadas a grandes empresas, actualmente existen aplicaciones de redes inalámbricas en entornos PAN (*Personal Area Networks*, Redes de Área Personal), LAN (*Local Area Network*, Redes de Área Local), MAN (*Metropolitan Area Network*, Redes de Área Metropolitana) y hasta WAN (*Wide Area Networks*, Redes de Área Extendida).

Las Redes Inalámbricas de Área Local se diseñaron inicialmente como una extensión o alternativa para las redes de área local cableadas. Estas tecnologías están basadas en el estándar IEEE 802.11.

En 1999 el IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*, Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos) aprobó el estándar 802.11b, el cual es una modificación del 802.11 (conocido como 802.11 *legacy*), definiendo velocidades de transmisión de datos desde 1 hasta 11 Mbps y su operación en la banda de frecuencias de 2,4 GHz.

En este documento se presenta un enfoque tanto teórico como metodológico que acompaña el desarrollo de la simulación realizada. En el capítulo primero se fundamentan algunos conceptos generales de la historia y de la tecnología del estándar IEEE 802.11b, y se concluye con una comparación entre las tecnologías existentes de redes inalámbricas de área local. El capítulo segundo contiene la aplicación y adaptación de la metodología de simulación de equipos de telecomunicaciones para la obtención del modelo conceptual y de simulación y posterior desarrollo de la simulación. El capítulo tercero muestra el análisis de los

resultados obtenidos de la simulación implementada al evaluar los aspectos más relevantes en el procesamiento de los datos de usuario desde que son generados hasta que son recuperados en el receptor, algunos de los aspectos evaluados incluyen el efecto de la variación de la relación Energía de Bit a Densidad de Potencia de Ruido (E_b/N_0) en el canal y la comparación de los anchos de banda y espectros de frecuencia de la señal de información original y la señal después de ser procesada en banda base, antes y después de ser afectadas por el canal. Finalmente en el capítulo cuarto presenta algunas conclusiones y recomendaciones. Adicionalmente, el anexo A contiene las principales características de la técnica de transmisión multicanal DSSS, del procesamiento en banda base, y además aspectos básicos de los receptores tipo Rake; el anexo B contiene la descripción de la implementación en el entorno Simulink® de Matlab® del modelo obtenido a partir de la aplicación y adaptación de la metodología de simulación de equipos de telecomunicaciones desarrollada en el capítulo 2 de este documento; el anexo C contiene la guía de instalación y manual de usuario de la aplicación y el anexo D que contiene un artículo ilustrativo del trabajo realizado y de los resultados obtenidos del mismo.

1 MARCO TEÓRICO

1.1 HISTORIA Y GENERALIDADES DEL ESTÁNDAR IEEE 802.11B

Una Red de Área Local Inalámbrica (WLAN, *Wireless Local Area Network*) es un sistema de transmisión de datos diseñado para proveer acceso a la red cableada (puede ser privada al tratarse por ejemplo de la ethernet de una empresa o de acceso al público en general como lo es Internet), independiente de la ubicación y del instante en que se desee la comunicación, a través de dispositivos electrónicos utilizando ondas de radio. Las WLANs son normalmente implementadas como una extensión de la red cableada, dando a los usuarios que poseen una tarjeta de red inalámbrica (NIC, *Network Interface Card*) la posibilidad de acceder a los recursos y servicios de la red cableada, con la ventaja de movilizarse a lo largo de una construcción o escenario de campus sin tener que preocuparse por acceso a puntos cableados de la red, ni cables.

A finales de la década de los 90, los líderes de la industria inalámbrica (3Com, Aironet, Lucent, Nokia, etc.) crearon la Alianza para la Compatibilidad de Ethernet Inalámbrica (WECA, *Wireless Ethernet Compatibility Alliance*), actual alianza WiFi, cuya misión es la de certificar la interoperabilidad y compatibilidad de los productos de redes inalámbricas 802.11b y promover este estándar para la empresa y el hogar. Para indicar la compatibilidad entre dispositivos inalámbricos, tarjetas de red o puntos de acceso de cualquier fabricante, se les incorpora el logo "Wi-Fi" (Estándar de Fidelidad Inalámbrica), y así los equipos con esta marca, soportada por más de 150 empresas, se pueden incorporar en las redes sin ningún problema, siendo incluso posible la incorporación de terminales telefónicos Wi-Fi a estas redes para establecer llamadas de Voz sobre Protocolo de Internet

(VoIP, *Voice over Internet Protocol*). En la Figura 1.1[2] se muestra el logo utilizado en los productos que soportan el Estándar IEEE 802.11b.



Figura 1.1. Logo del Estándar IEEE 802.11b “*Wi-Fi*”

La amplia aceptación de las WLANs ha sido gracias a la estandarización que asegura la compatibilidad y confiabilidad de los productos entre los diferentes fabricantes. El Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos confirmó en 1997 la especificación 802.11 como el estándar para WLANs. Esa versión de 802.11 definió velocidades de transmisión de datos de 1 y 2 Mbps y un conjunto de métodos fundamentales de señalización y otros servicios.

Un esquema típico de WLAN se muestra en la figura 1.2[3], donde se puede observar la existencia de diferentes zonas de cobertura alrededor de cada uno de los APs (*Access Point*, Puntos de Acceso), los cuales se encuentran interconectados entre sí y con otros dispositivos o servidores de la red cableada.

Entre los componentes que permiten configurar una WLAN se pueden mencionar los siguientes: terminales de usuario o clientes (dotados de una NIC que integra un transceptor de radiofrecuencia y una antena), APs y controladores de APs, que incorporan funciones de seguridad, como autorización y autenticación de usuarios, corta fuegos (*firewall*), etc.

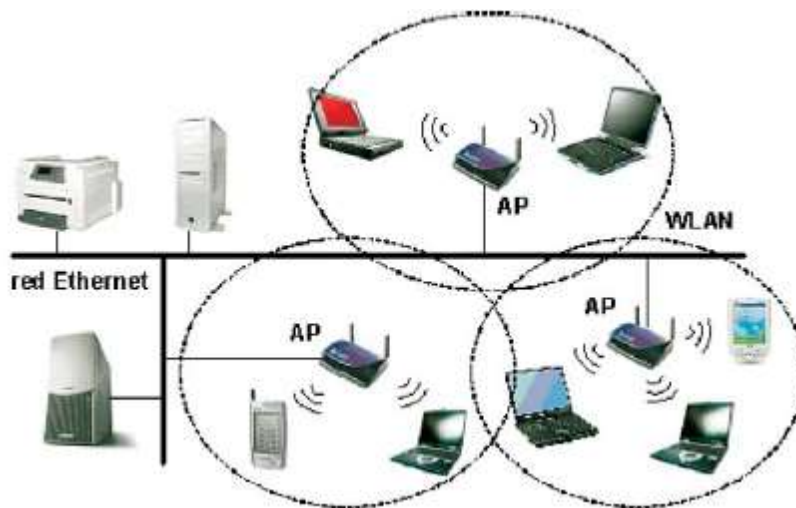


Figura 1.2. Arquitectura Básica de una red WLAN

Todos los equipos que implementan el estándar 802.11 (NIC, AP, etc.) se basan en una estructura de niveles de acuerdo con el modelo de referencia para la Interconexión de Sistemas Abiertos (OSI, *Open Systems Interconnection*). El primer nivel es el medio de transmisión o nivel físico; el siguiente nivel (nivel de enlace) define el Control de Acceso al Medio (MAC, *Media Access Control*) y el Control de Enlace Lógico (LLC, *Logical Link Control*), siendo este último definido por el estándar IEEE 802.2; para los niveles superiores una red 802.11 es equivalente a una red Ethernet, facilitando de este modo la interconexión entre redes heterogéneas basadas en distintos estándares del IEEE.

El tema más crítico que afectaba la demanda de WLANs había sido su limitado desempeño. Las velocidades de transmisión de datos soportadas por el estándar original 802.11 eran demasiado bajas para soportar la mayoría de requerimientos comunes de negocio y ello disminuía la acogida de las WLANs. Reconociendo la necesidad crítica de soportar mayores velocidades de transmisión de datos, el IEEE ratificó el estándar IEEE 802.11b para transmisiones de hasta 11 Mbps.

El estándar IEEE 802.11b opera en la banda de 2,4 GHz utilizando para esto la técnica de Espectro Ensanchado de Secuencia Directa (DSSS, *Direct Sequence Spread Spectrum*), la cual utiliza un código pseudoaleatorio que distribuye la

potencia de los datos a ser transmitidos en un ancho de banda mucho mayor que el ancho de banda de la señal de datos original. Las velocidades de transmisión que se pueden obtener son de 1 Mbps con modulación Diferencial por Desplazamiento de Fase Binaria (DBPSK, *Differential Binary Phase Shift Keying*) y codificación Barker, 2 Mbps con modulación Diferencial por Desplazamiento de Fase Cuaternaria (DQPSK, *Differential Quadrature Phase Shift Keying*) y codificación Barker y utiliza la modulación DQPSK y la codificación por Código Complementario (CCK, *Complementary Code Keying*) para incrementar las velocidades de datos a 5.5 Mbps y 11 Mbps.

La diferencia sustancial de 802.11b respecto a 802.11 es que ofrece una velocidad de transmisión de datos de hasta 11 Mbps, además, en una misma zona de cobertura pueden trabajar simultáneamente tres APs, cada uno de ellos con un alcance en ambientes interiores (Indoor) de 100 metros a 1 Mbps y de unos 30 metros a una velocidad máxima de transmisión de datos de 11 Mbps.

1.2 DESCRIPCIÓN DEL NIVEL FÍSICO

1.2.1 El Nivel Físico 802.11

Las tres normas de nivel físico originalmente definidas en 802.11 incluyen dos normas de radio de espectro ensanchado y una de infrarrojo.

En la figura 1.3[4] se observa un diagrama descriptivo del nivel físico del estándar 802.11 y sus extensiones.

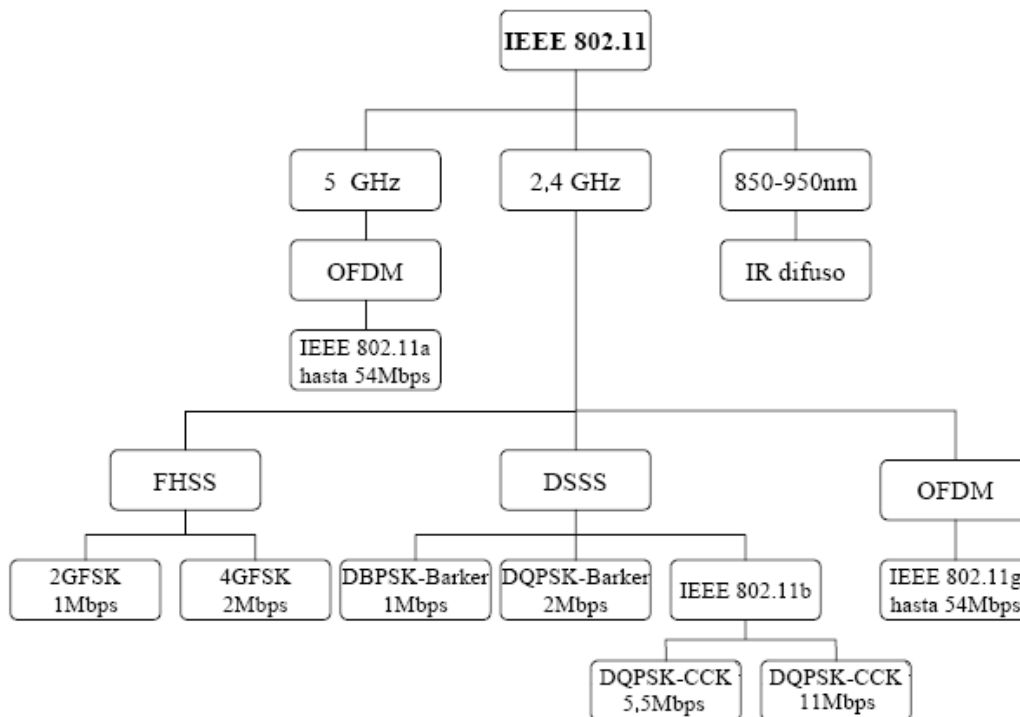


Figura 1.3. Diagrama descriptivo del nivel físico de 802.11 y sus extensiones.

Los estándares basados en radio operan en la banda Industrial, Científica y Médica (ISM, Industrial Scientific and Medical) de 2,4 GHz y de 5,8 GHz. Estas bandas de frecuencia son reconocidas por agencias de regulación internacional, tales como la Comisión Federal de Comunicaciones (FCC, *Federal Communications Commission*) en Estados Unidos, el Instituto Europeo de Estándares de Telecomunicaciones (ETSI, *European Telecommunication Standards Institute*), y el Ministerio de Telecomunicaciones (MKN, *Ministry of Telecommunications*) de Japón.

Las técnicas de espectro ensanchado, como complemento para satisfacer los requerimientos reguladores, incrementan la confiabilidad, aumentan el desempeño y permiten a muchos productos no relacionados compartir el espectro sin cooperación explícita y con mínima interferencia.

El estándar inalámbrico original 802.11 definió velocidades de datos de 1 Mbps y 2 Mbps vía ondas de radio utilizando Espectro Ensanchado por Salto de Frecuencia

ó Espectro Ensanchado de Secuencia Directa en 2,4 GHz. Es importante notar que FHSS y DSSS son fundamentalmente técnicas de multicanalización diferentes y no interoperan el uno con el otro.

Utilizando FHSS, la banda de 2,4 GHz es dividida en 75 subcanales de 1 MHz. El transmisor y el receptor acuerdan un patrón de salto, y los datos son enviados sobre los subcanales. Cada conversación dentro de la red 802.11 ocurre sobre un patrón de salto diferente, y los patrones son diseñados para minimizar la posibilidad que dos transmisores utilicen el mismo subcanal simultáneamente.

En la figura 1.4[5] se muestra un ejemplo simple de cómo funciona esta técnica. En este ejemplo se supone que hay dos dispositivos FHSS emitiendo simultáneamente. Uno de ellos aparece marcado con rojo y el otro con azul. En cada instante de tiempo cada uno de ellos está operando en una frecuencia distinta al otro. Debido a que se utiliza un rango de frecuencias bastante amplio esta técnica se considera dentro del conjunto de técnicas de espectro ensanchado.

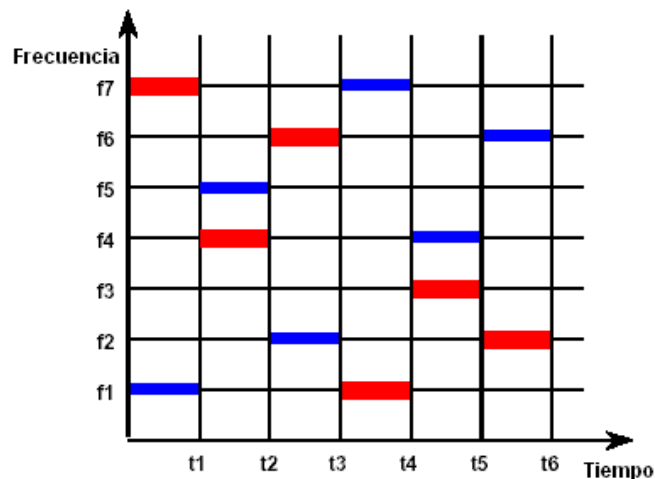


Figura 1.4. Ejemplo de FHSS con 2 transmisores operando simultáneamente.

La técnica FHSS permite un diseño relativamente simple para radio, pero está limitada a velocidades que no superan los 2 Mbps. Esta limitación es impulsada sobre todo por las regulaciones FCC que restringen el ancho de banda de los subcanales a 1 MHz. Estas regulaciones obligan a los sistemas FHSS a expandir su operación a través de toda la banda de 2,4 GHz, lo que se traduce en muchos saltos, que a su vez conduce a una gran cantidad de costos operativos.

En contraste, la técnica de multicanalización de secuencia directa divide la banda de 2,4 GHz en 14 canales. Los canales adyacentes se superponen el uno con el otro parcialmente, con tres de los catorce que no se encuentran superpuestos. Los datos son enviados a través de uno de esos canales sin saltos a otros canales. Para compensar el ruido en un canal dado, se utiliza una técnica llamada “chipping”. Cada bit de datos de usuario es convertido a una serie de bits llamada “chip¹”.

El ensanchamiento de la señal a través del canal generado por el “chipping” provee una forma de control para detección y corrección de errores; aunque parte de la señal se encuentre dañada, ésta puede ser recuperada en muchos casos, minimizando la necesidad de retransmisiones.

1.2.2 802.11b: Mejoras al Nivel Físico

La contribución clave de la adición 802.11b al estándar de las WLANs fue estandarizar el soporte en el nivel físico de dos nuevas velocidades de transmisión de datos: 5.5 Mbps y 11 Mbps.

Para lograr esto, DSSS tuvo que ser seleccionada como la única técnica de nivel físico dado que, como se vio anteriormente, la técnica de salto de frecuencia no puede soportar velocidades más altas sin violar la regulación actual FCC.

¹ Chip: Secuencia específica por la cual se reemplaza cada uno de los bits a ser transmitidos.

Para alcanzar velocidades de transmisión de 11 Mbps y 5.5 Mbps se utiliza la técnica CCK que codifica cada símbolo con 8 o 4 bits respectivamente a velocidades de 1,375 megabaudios. Dado que CCK es una técnica DSSS, existe compatibilidad con los productos del estándar 802.11 original, simplemente reduciendo las velocidades de funcionamiento a 1 Mbps ó 2 Mbps. Posteriormente, un segundo esquema de codificación opcional llamado Codificación Convolutiva Binaria de Paquetes (PBCC, *Packet Binary Convolutional Code*) fue incluido para mejorar la cobertura en el caso de velocidades de transmisión de datos de 5.5 y 11 Mbps, ya que proporciona una ganancia de codificación de 3 dB.

La velocidad de transmisión de datos puede seleccionarse entre 1, 2, 5.5 y 11 Mbps, característica denominada Cambio Dinámico de Velocidad (DRS, *Dynamic Rate Shifting*), lo cual permite a los adaptadores o tarjetas de red inalámbrica reducir las velocidades de transmisión de datos para compensar los posibles problemas de recepción que puedan generarse por las distancias o los materiales que deba atravesar la señal (paredes, muros, ventanas, etc.), especialmente en el caso de interiores. En el caso de espacios abiertos (outdoor), el alcance puede llegar a los 120 m (a 11 Mbps) y 460 m (a 1 Mbps).

Idealmente, los usuarios se conectan a una velocidad de transmisión de datos total de 11 Mbps. Sin embargo, cuando los dispositivos se mueven más allá del rango óptimo de operación para 11 Mbps, o si se presenta una interferencia substancial, los dispositivos 802.11b operarán a una velocidad de transmisión de datos más baja, disminuyendo la velocidad hasta 5.5, 2 y 1 Mbps. De igual manera, si el dispositivo vuelve a ingresar en un área óptima para transmisión de datos a mayor velocidad, la conexión automáticamente incrementará la velocidad de transmisión de datos. El cambio de velocidad de transmisión de datos es un mecanismo del nivel físico transparente al usuario y a los niveles superiores de la pila de protocolos.

1.3 SUBNIVELES PLCP Y PMD

El nivel físico del estándar IEEE 802.11b se divide en dos subniveles, el subnivel PLCP (*Physical Layer Convergence Protocol*, Protocolo de Convergencia de Capa Física), y el subnivel PMD (*Physical Medium Dependent*, Dependiente del Medio Físico)

El subnivel PMD es una interfaz que proporciona herramientas y métodos para transmitir y recibir datos entre diferentes estaciones a través de un medio inalámbrico. Para prestar este servicio, la interfaz PMD está en contacto directo con el medio y proporciona la modulación y codificación adecuada para los datos que se transmitirán de manera inalámbrica.

PMD recibe del subnivel PLCP información del esquema de modulación a utilizar, de la codificación, de la velocidad, entre otras cosas, y cumple funciones típicas del nivel físico. En este subnivel se definen características eléctricas y de los parámetros asociados a la señal RF como los canales y bandas de frecuencia.

Las características que se definen en el subnivel PMD, como la modulación, codificación, canales de frecuencia y velocidades de transmisión se tratan posteriormente en este mismo capítulo.

Para permitir que el nivel MAC opere con la mínima dependencia del subnivel PMD, se define el subnivel PLCP. Este nivel simplifica la interfaz de los servicios del nivel físico con los servicios del nivel MAC, en otras palabras, el subnivel PLCP aísla al nivel MAC del subnivel PMD, con esto obtener un nivel MAC y varios niveles físicos posibles.

El subnivel PLCP presenta una interfaz común para los niveles superiores y proporciona detección de portadora y la señal CCA (*Clear Channel Assessment*,

Asignación de Canal Libre), que es la señal que el nivel MAC necesita para determinar si el medio está actualmente en uso.

La unidad de datos de PLCP es PDU (PLCP *Protocol Data Unit*, Protocolo PLCP de Unidad de Datos), PDU está compuesto por el preámbulo, el encabezado y la “trama”; en donde la “trama” es PSDU (PLCP *Service Data Unit*, Servicio PLCP de Unidad de Datos), que son los datos que vienen desde el nivel 2.

1.4 FORMATO PDU

En PLCP se definen 2 modos de operación, el modo “Long PLCP” y el modo opcional “Short PLCP”.

En la figuras 1.5[6] y 1.6[6] se observa el formato PDU, con sus respectivos campos, para los modos long PLCP y short PLCP.

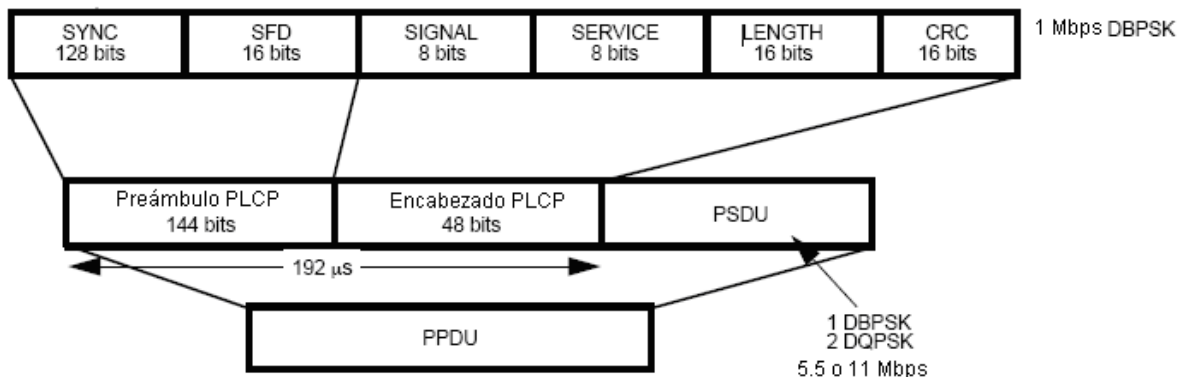


Figura 1.5. Trama PDU para el modo long PLCP

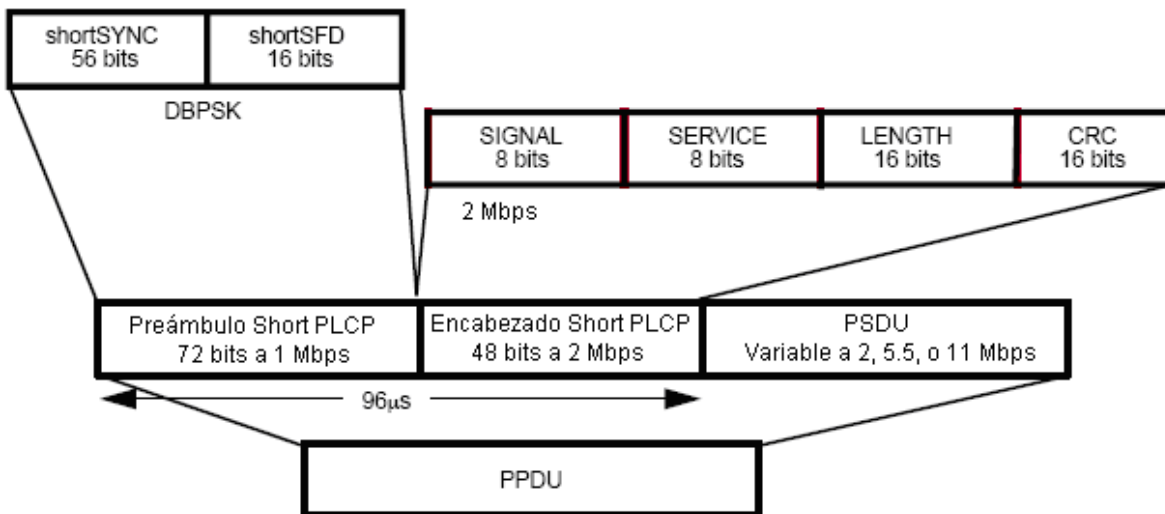


Figura 1.6. Trama PDU para el modo short PLCP

1.4.1 Formato PDU para el Modo *Long* PLCP

En la figura 1.5 se observa el formato PDU para el modo Long PLCP, incluyendo el preámbulo PLCP, el encabezado PLCP y el PSDU. El preámbulo PLCP contiene los siguientes campos: Sincronización (*SYNC*), y el Delimitador de Inicio de Trama (*SFD*, Start Frame Delimiter). El encabezado PLCP contiene los siguientes campos: señalización (*SIGNAL*), servicio (*SERVICE*), longitud (*LENGTH*), y el Código de Redundancia Cíclica (*CRC*, *Cyclic Redundancy Check*) de 16 bits.

A continuación se definen cada uno de los campos

1.4.1.1 Campo *SYNC*

El campo *SYNC* consiste de 128 unos, a los cuales se les aplica el proceso de *scrambling*² antes de la transmisión. Este campo es utilizado por el receptor para la sincronización de las operaciones.

² El *scrambling* es un método para lograr el balance de la componente continua y eliminar largas secuencias de unos y ceros para asegurar una correcta recuperación del sincronismo

1.4.1.2 Campo SFD

El campo SFD es un patrón de 16 bits, que consiste del patrón 1111 0011 1010 0000. Esta secuencia se utiliza para marcar el comienzo de cada trama, donde el bit más a la derecha es transmitido primero

1.4.1.3 Campo SIGNAL

El campo SIGNAL son utilizados por el receptor para identificar la velocidad de transmisión de los datos de usuario. Los 8 bits de este campo representan las velocidades en unidades de 100 Kbps respectivamente.

Por ejemplo, para 1 Mbps, el campo SIGNAL es el número binario 0000 1010 MSB (*Most Significant Bit*, Bit Más Significativo) hasta LSB (*Low Significant Bit*, Bit Menos Significativo) que representa el número decimal 10, y 10 multiplicado por 100 Kbps es igual a 1 Mbps. En donde el bit menos significativo es transmitido primero.

Para las demás velocidades el campo SIGNAL está formado por los siguientes bits:

- 0001 0100 (MSB hasta LSB) para 2 Mbps.
- 0011 0111 (MSB hasta LSB) para 5.5 Mbps.
- 0110 1110 (MSB hasta LSB) para 11 Mbps.

1.4.1.4 Campo SERVICE

En el estándar original (802.11), que manejaba únicamente velocidades de 1 y 2 Mbps, los 8 bits de este campo eran ceros. En IEEE 802.11b se definen tres bits del campo.

El bit más a la derecha, el bit 7, se utiliza como complemento del campo LENGTH; el bit 3 se utiliza para indicar si el método de codificación es CCK (0) o PBCC (1); y el bit 2 se utiliza para indicar que la frecuencia del transmisor y el reloj del símbolo son derivados del mismo oscilador, como se muestra en la tabla 1.1. [6] El bit 0, bit 1, bit 4, bit 5 y bit 6 son colocados en 0.

El primer bit transmitido es el bit 0.

b0	b1	b2	b3	b4	b5	b6	b7
Reservado	Reservado	Igual oscilador 0 = no 1 = si	Modulación 0 = CCK 1 = PBCC	Reservado	Reservado	Reservado	Bit extensión del campo LENGTH

Tabla 1.1 Campo *SERVICE*

1.4.1.5 Campo *LENGTH*

El campo *LENGTH* está compuesto por 16 bits que indican el número de microsegundos requeridos para transmitir los PSDU, en otras palabras, indican la longitud de la carga útil.

El campo *LENGTH* se calcula dependiendo de la velocidad de transmisión y de la modulación.

Para 5.5 Mbps el campo *LENGTH* se calcula de la siguiente forma:

- Se multiplica el número de octetos a transmitir por $8/(5.5)$.
- El producto se aproxima al próximo entero.
- El resultado de la aproximación es el valor correspondiente al campo LENGTH.

Para 11 Mbps el campo *LENGTH* se calcula de la siguiente forma:

- Se multiplica el número de octetos a transmitir por $8/11$.
- El producto se aproxima al próximo entero.
- El resultado de la aproximación es el valor correspondiente al campo *LENGTH*.
- Además, si la parte decimal del resultado de la multiplicación es menor que $8/11$ el bit 7 del campo *SERVICE* toma el valor de 0, y si es mayor o igual que $8/11$ toma el valor de 1.

En el receptor, el número de octetos se calcula de la siguiente forma:

Para 5.5 Mbps:

- Se multiplica el campo *LENGTH* por $(5.5)/8$.
- El producto se aproxima al entero anterior.
- El resultado de la operación anterior es el valor correspondiente al número de octetos que fueron transmitidos.

Para 11 Mbps:

- Se multiplica el campo *LENGTH* por $11/8$.
- El producto se aproxima al entero anterior.
- Si el bit 7 de campo *SERVICE* es "1" se le resta 1 al resultado anterior, si es "0" no se realiza ninguna operación adicional.
- El resultado de la operación anterior es el valor correspondiente al número de octetos que fueron transmitidos.

La tabla 1.2[6] muestra un ejemplo del cálculo de la longitud de varios paquetes para una velocidad de 11 Mbps.

Octetos TX	Octetos (x 8/11)	LENGTH	Bit extensión del campo LENGTH	LENGTH (x 11/8)	Redondear hacia abajo	Octetos RX
1023	744	744	0	1023	1023	1023

1024	744,7273	745	0	1024,375	1024	1024
1025	745,4545	746	0	1025,75	1025	1025
1026	746,1818	747	1	1027,125	1027	1026

Tabla 1.2. Ejemplo de cálculo del campo *LENGTH* para la modulación CCK

El campo *LENGTH* es definido en unidades de microsegundos y corresponde a la longitud de los datos de usuario, y el número de octetos debe ser exacto. El bit menos significativo es transmitido primero.

1.4.1.6 Campo CRC

El bloque CRC se encarga de adicionar 16 bits que permiten detectar errores en los campos *SIGNAL*, *SERVICE* y *LENGTH*. CRC es una técnica de codificación en que dado una trama de k bits, se generan una secuencia de n bits, de tal forma que la trama resultante, n+k bits, sea divisible por el polinomio de grado 16:

$$x^{16} + x^{12} + x^5 + 1$$

Los bits protegidos son procesados en el orden que se transmiten. El receptor utiliza el valor del campo CRC para asegurar que el encabezado llegue correctamente sin cambios durante la transmisión.

En la sección 18.2.3.6 de la norma IEEE 802.11b[6] se encuentra un ejemplo de la generación del campo CRC.

1.4.2 Formato PDU para el modo *Short PLCP*

Es un modo opcional de IEEE 802.11b que incrementa el desempeño para las velocidades altas (2, (5.5) y 11 Mbps) del estándar.

En la figura 1.6 se observa el formato PDU para el modo Short PLCP, incluyendo el preámbulo ShortPLCP, el encabezado ShortPLCP y el PSDU.

Un transmisor usa el modo Short PLCP únicamente cuando interactúa con un receptor que puede trabajar en este modo.

El preámbulo short PLCP utiliza el código de ensanchamiento Barker a 1 Mbps y la modulación DBPSK. El encabezado Short PLCP utiliza el código de ensanchamiento Barker a 2 Mbps con la modulación DQPSK, y el PSDU puede ser transmitido a 2, 5.5 o 11 Mbps.

A continuación se definen cada uno de los campos

1.4.2.1 Campo shortSYNC

El campo SYNC en el modo corto consiste en 56 bits ceros, a los cuales se les aplica el proceso de *scrambling* antes de la transmisión. Este campo proporciona al receptor el desempeño adecuado para realizar las operaciones de sincronización.

1.4.2.2 Campo shortSFD

El campo SFD en el modo corto consiste en un patrón de 16 bits, los cuales son los mismos que en el campo SFD en el modo largo pero en sentido contrario. El patrón de bits es 0000 0101 1100 1111. El bit más a la derecha es el primero en ser transmitido. Un receptor no configurado para utilizar el modo corto, no detectaría este SFD.

1.4.2.3 Campo shortSIGNAL

Los 8 bits del campo *SIGNAL* en el modo corto indican la velocidad de transmisión de los datos de usuario. El modo corto soporta 3 velocidades, determinadas por

las siguientes palabras de 8 bits que representan la velocidad en unidades de 100 Kbps:

- 0001 0100 (MSB hasta LSB) para 2 Mbps.
- 0011 0111 (MSB hasta LSB) para 5.5 Mbps.
- 0110 1110 (MSB hasta LSB) para 11 Mbps.

1.4.2.4 Campo *shortSERVICE*

El campo *SERVICE* del modo *Short* PLCP es igual al campo *SERVICE* del modo *Long* PLCP descrito anteriormente.

1.4.2.5 Campo *shortLENGTH*

El campo *LENGTH* del modo *Short* PLCP es igual al campo *LENGTH* del modo *Long* PLCP descrito anteriormente.

1.4.2.6 Campo *shortCRC*

El campo *CRC* del modo *Short* PLCP es igual al campo *CRC* del modo *Long* PLCP descrito anteriormente. Este campo es calculado sobre los campos *SIGNAL*, *SERVICE* y *LENGTH* del modo *Short* PLCP.

En la tabla 1.3[7], se relaciona la velocidad, modulación y codificación con que se envían el encabezado, el preámbulo y los datos de usuario.

Campo	Velocidad	Codificación	Modulación
PSDU	1 Mbps	Código Barker	DBPSK
PSDU	2 Mbps	Código Barker	DQPSK
PSDU	5.5 Mbps	CCK	DQPSK
PSDU	11 Mbps	CCK	DQPSK

Preámbulo Long PLCP	1 Mbps	Código Barker	DBPSK
Preámbulo Short PLCP	1 Mbps	Código Barker	DBPSK
Encabezado Long PLCP	1 Mbps	Código Barker	DBPSK
Encabezado Short PLCP	2 Mbps	Código Barker	DQPSK

Tabla 1.3. Esquemas de codificación, modulación y velocidad de transmisión.

1.5 RANGOS DE FRECUENCIA DE OPERACIÓN

Las frecuencias centrales de los canales, sus números de identificación (CHNL_ID) y los canales autorizados (marcados con una “x”) por cada organismo regulador se muestran en la tabla 1.4[6].

CHNL_ID	Frecuencia (GHz)	ORGANISMOS REGULADORES				
		FCC	ETSI	España	Francia	Japón (MKK)
1	2,412	X	x	-	-	-
2	2,417	X	x	-	-	-
3	2,422	X	x	-	-	-
4	2,427	X	x	-	-	-
5	2,432	X	x	-	-	-
6	2,437	X	x	-	-	-
7	2,442	X	x	-	-	-
8	2,447	X	x	-	-	-
9	2,452	X	x	-	-	-
10	2,457	X	x	x	x	-
11	2,462	X	x	x	x	-
12	2,467	-	x	-	x	-
13	2,472	-	x	-	x	-
14	2,484	-	-	-	-	x

Tabla 1.4. Plan de frecuencia de canales.

1.6 GRUPOS Y CANALES DE OPERACIÓN

En cada una de las áreas geográficas definidas anteriormente se precisan dos grupos de canales de operación. El primer grupo usa canales de frecuencia no superpuestos para minimizar la degradación de la señal causada por la interferencia, con un espaciamiento de frecuencias centrales de 25 y 30 MHz para Norte América y Europa respectivamente. El segundo grupo usa canales de frecuencia superpuestos, con un espaciamiento de frecuencias centrales de 10 MHz.

Los canales de operación para áreas geográficas específicas están definidos en las tablas 1.5[6] y 1.6[6], y en las figuras 1.7[6], 1.8[6], 1.9[6] y 1.10[6].

Grupo	Número de canales	Número de canales HR/DSSS
1	3	1, 6, 11
2	6	1, 3, 5, 7, 9, 11

Tabla 1.5. Canales de operación en Norte América

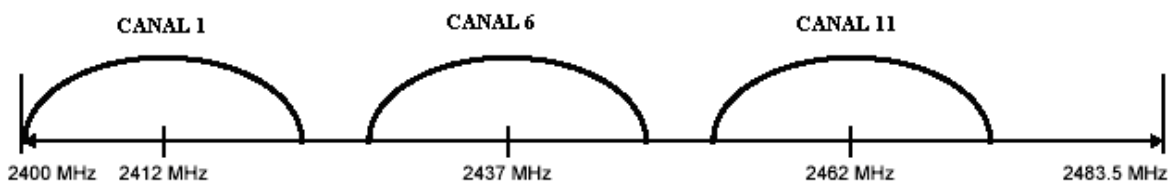


Figura 1.7. Selección de canales en Norte América – No superpuestos

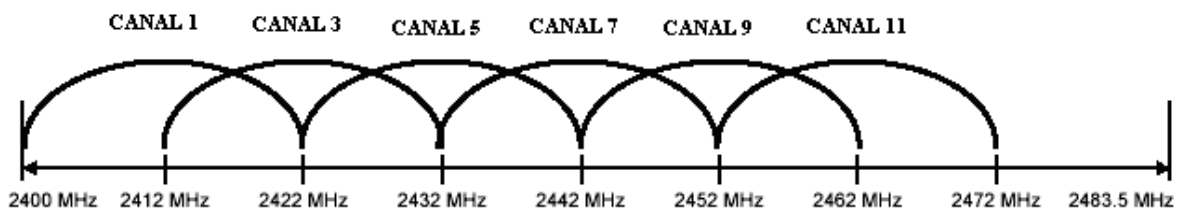


Figura 1.8. Selección de canales en Norte América – Superpuestos

Grupo	Número de canales	Número de canales HR/DSSS
1	3	1, 7, 13
2	7	1, 3, 5, 7, 9, 11, 13

Tabla 1.6. Canales de operación en Europa (Excepto Francia y España)

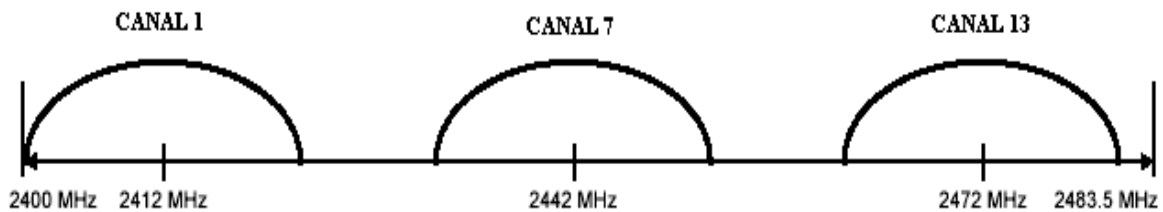


Figura 1.9. Selección de canales en Europa – No superpuestos

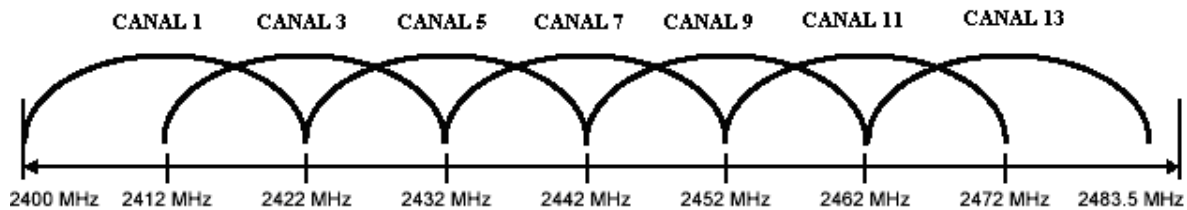


Figura 1.10. Selección de canales en Europa – Superpuestos

1.6.1 Máscara Espectral de Transmisión

Los distintos canales que existen dentro de esta banda tienen que ajustarse a la máscara espectral de transmisión que se muestra en la figura 1.11[6].

Como el estándar trabaja a una velocidad de 11 Mcps, el ancho de banda para cada canal considerando la banda lateral imagen es de 22 MHz. Para prevenir la interferencia con los canales adyacentes, el primer lóbulo lateral es filtrado a 30 dB debajo de la potencia de la frecuencia central del canal, y los lóbulos adicionales son filtrados 50 dB debajo de la potencia de la frecuencia central del canal.

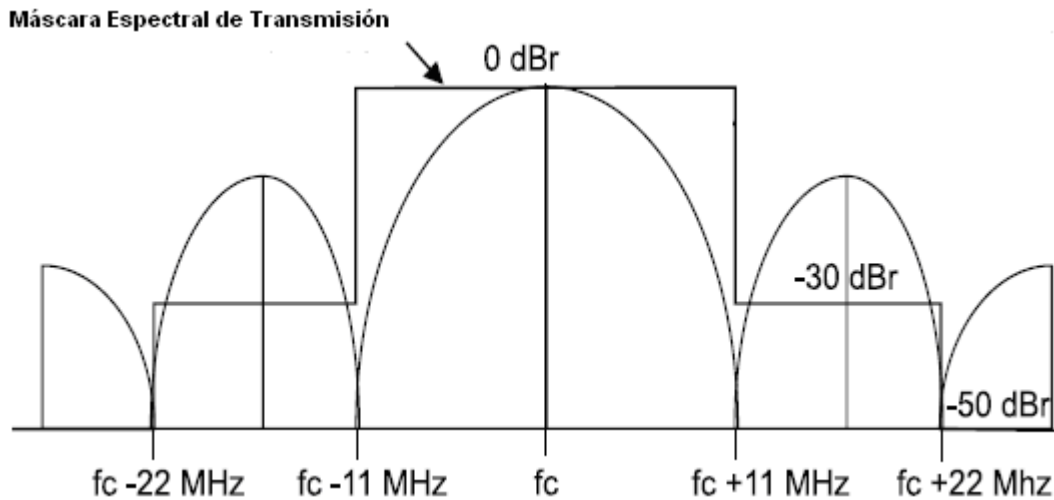


Figura 1.11. Máscara espectral de transmisión para IEEE 802.11b

1.7 COMPARACIÓN CON OTRAS TECNOLOGÍAS INALÁMBRICAS DE ÁREA LOCAL

Además del estándar IEEE 802.11b existen diferentes tipos de estándares y tecnologías para Redes de Área Local (LAN, *Local Area Network*). En este apartado se introducen las más populares, indicando sus características y requerimientos técnicos. Se resumen los aspectos más relevantes de cada uno de ellas.

1.7.1 802.11 legacy

Es la versión original del estándar IEEE 802.11, fue publicada en 1997. En esta versión se especifica dos velocidades de transmisión: 1 y 2 Mbps.

El estándar original define el protocolo de Acceso Múltiple por Detección de Portadora Evitando Colisiones (CSMA/CA, *Carrier-Sense Multiple Access with Collision Avoidance*) como método de acceso.

La banda de frecuencias donde opera el IEEE 802.11 es la ISM (*Industrial, Scientific and Medical*). El espectro que usa esta tecnología va de los 2,4 – 2,4835 GHz.

En el proceso de desarrollo, se escogió utilizar tecnologías que permitieran una buena calidad de servicio respecto a un mejor aprovechamiento del espectro disponible. Por este motivo se apostó por las tecnologías basadas en el espectro ensanchado (*Spread Spectrum*), como DSSS o FHSS.

También se definió el nivel físico de la implementación vía infrarrojo que también soporta velocidades de 1 y 2 Mbps.

1.7.2 802.11 a

En 1999, el IEEE aprobó los estándares IEEE 802.11a y el IEEE 802.11b. En el año 2001 hizo su aparición en el mercado los productos del estándar 802.11a.

El estándar IEEE 802.11a está basado en la técnica de Multiplexación por División de Frecuencia Ortogonal (OFDM, *Orthogonal Frequency Division Multiplexing*), que básicamente consiste en dividir un canal en muchos subcanales y codificar una porción de la señal en cada subcanal en paralelo. De esta forma se consigue llegar a velocidades de transmisión de hasta 54 Mbps.

La frecuencia portadora se subdivide a su vez en 52 subportadoras traslapadas haciendo un uso muy eficiente del espectro radioeléctrico. De las 52, 48 se utilizan para transmitir datos mientras que las 4 restantes se utilizan para alinear las frecuencias en el receptor.

El estándar IEEE 802.11a divide la banda de 5 GHz en 3 bandas, cada una funciona a diferente potencia de salida, la banda “baja” funciona a partir de 5.15 a 5.25 GHz con una potencia de 50 mW, la banda “media” está situada a partir de

5.25 hasta 5.35 GHz con una potencia de salida de 250 mW, y la banda “alta” que esta situada de 5.725 a 5.825 GHz y funciona con una potencia de salida de 1 W.

En la figura 1.12[8] se puede observar a la izquierda los 8 canales en los que se divide el espectro de frecuencias utilizado por el IEEE 802.11a, mientras que a la derecha se ve cómo se ha subdividido un canal en 52 subcanales, con 1 portadora por subcanal. Cada uno de los 8 canales tiene un ancho de banda de 20 MHz, mientras que el de cada subcanal es 300 KHz.

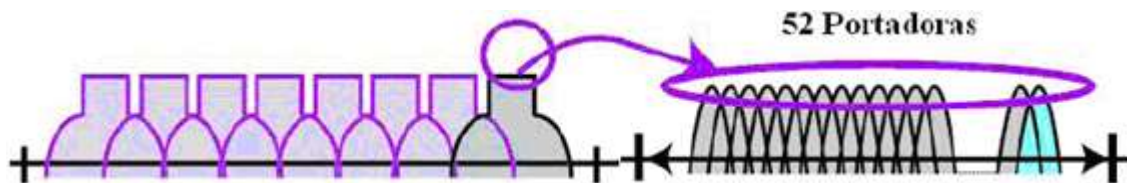


Figura 1.12. Detalle de un canal IEEE 802.11a

Dado que la banda de 2,4 GHz tiene gran uso (pues es la misma banda usada por los teléfonos inalámbricos y los hornos de microondas, entre otros aparatos), el utilizar la banda de 5 GHz representa una ventaja del estándar 802.11a, dado que se presenta menos interferencia. Sin embargo, la utilización de esta banda también tiene sus desventajas, como mayor atenuación y mayores pérdidas al traspasar obstáculos, lo cual restringe el uso de los equipos 802.11a a únicamente puntos en línea de vista, con lo que se hace necesario la instalación de un mayor número de puntos de acceso; esto significa también que los equipos que trabajan con este estándar no pueden lograr las mismas distancias que pueden ser alcanzadas con el estándar 802.11b dado que sus ondas son más fácilmente absorbidas.

1.7.3 802.11 g

En 1999 el TGg (*Task Group g*, Grupo de Tareas g) fue comisionado para incrementar las velocidades de transmisión a más de 20Mbps en la banda 2,4 GHz ISM (*Industrial Scientific Medical*), como consecuencia el estándar 802.11g

fue aprobado en junio del 2003. En el estándar se especifica el nivel físico (PHY) y el nivel MAC (*Medium Access Control*), el nivel físico selecciona el esquema de modulación más apropiado, dadas las condiciones del canal, y provee el ancho de banda necesario, mientras que el nivel MAC decide en forma distribuida como el ancho de banda es compartido entre todas las estaciones.

El estándar IEEE 802.11g utiliza diferentes esquemas de modulación y codificación como OFDM y CCK, siendo OFDM la técnica para alcanzar las mayores velocidades de transmisión. A medida que la distancia al AP se incrementa los productos 802.11g disminuyen la velocidad de transmisión variando el esquema de modulación para conservar la conectividad. En la figura 1.13[9] se observa como OFDM se usa en los lugares más cercanos y a medida que la distancia se incrementa el sistema cambia a CCK.

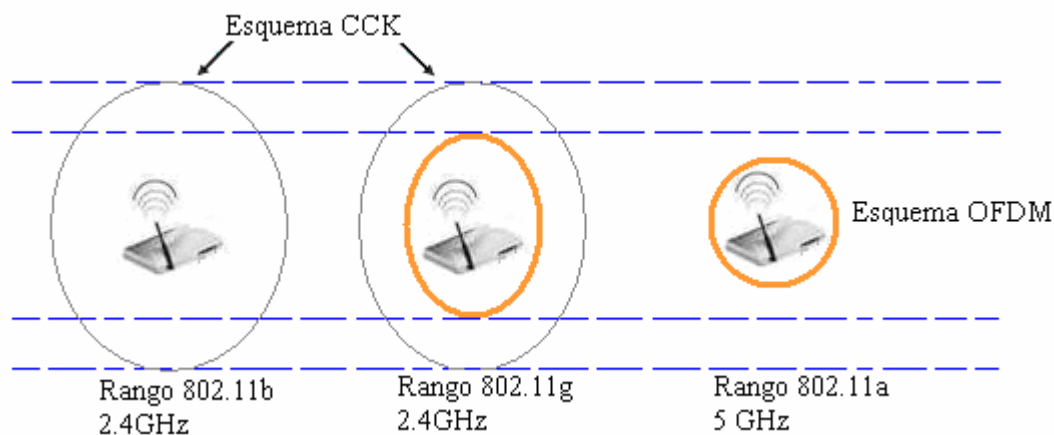


Figura 1.13. Rangos de cobertura según tipo de modulación y codificación.

Buena parte del proceso de diseño del estándar lo tomó el hacer compatibles los dos estándares. Sin embargo, en redes bajo el estándar g la presencia de nodos bajo el estándar b reduce significativamente la velocidad de transmisión.

Los equipos que trabajan bajo el estándar 802.11g llegaron al mercado muy rápidamente, incluso antes de su ratificación. Esto en parte se debió que para

construir equipos bajo este nuevo estándar se podían adaptar los ya diseñados para el estándar b.

1.7.4 802.11 n

En enero de 2004, la IEEE anunció la formación de un grupo de trabajo para desarrollar una nueva revisión del estándar 802.11. La velocidad real de transmisión podría llegar a ser hasta 10 veces más rápida que una red bajo los estándares 802.11a y 802.11g, y cerca de 40 veces más rápida que una red bajo el estándar 802.11b. El uso de las bandas de 2,4 y 5 GHz simultáneamente y la utilización de OFDM y DSSS permite la interoperabilidad con los estándares IEEE 802.11a, b y g. También se espera que con este nuevo estándar incremente la cobertura de operación de las redes.

Uno de los principales cambios que se encuentran en el nivel físico de 802.11n es el de mejorar el desempeño de la modulación OFDM, para incrementar la velocidad de transmisión utilizada en 802.11a y 802.11g.

Otra característica importante está en la utilización de MIMO³ (Multi-In Multi-Out, Multiple-Entrada Multiple-Salida) generando canales de tráfico simultáneos entre las diferentes antenas.

El incremento en el consumo de energía es uno de los problemas del uso de MIMO debido al empleo de más transmisores y receptores. 802.11n no elimina el incremento de consumo de energía causado por la utilización de MIMO, pero si hace más eficiente el empleo de esta. Los datos son normalmente transmitidos en un modo "*bursty*", de ésta manera cuando hay largos periodos de tiempo en que el sistema permanece inactivo o corriendo a una baja velocidad y la utilización de

³ Sistema que utiliza múltiples antenas para transmitir los datos simultáneamente en pequeñas partes al receptor, el cual puede procesar los flujos de datos y los agrupa de nuevo. En este proceso se incrementa proporcionalmente la velocidad de transmisión de datos por un factor igual al número de antenas transmisoras.

MIMO no es requerida, el sistema de circuitos eléctricos se puede mantener inactivo para que de esta manera no exista un consumo elevado de energía.

Cuando 802.11n actúa en un modo opcional incrementa el ancho de banda al doble comparado con estándares anteriores (20 MHz), utilizando un ancho de banda de 40 MHz.

802.11n tiene la posibilidad de inhabilitar la compatibilidad con tecnologías anteriores como 802.11a, 802.11b o 802.11g, cuando en la red todos los dispositivos que operan son 802.11n aumentando la velocidad de transmisión.

Entre los modos de operación de un punto de acceso (AP, Access Point) 802.11n se encuentran los siguientes:

- Modo de operación “*Legacy*” (únicamente soporta 802.11a, b y g).
- Modo de operación “*Mixed*” (soporta 802.11a, b, g y n).
- Modo de operación “*Greenfield*” (soporta únicamente 802.11n), es el modo de máximo desempeño.

1.7.5 Hyperlan/2

Como competidor del estándar IEEE 802.11a, el ETSI desarrollo el estándar HiperLAN (*High performance* radio LAN, Redes de Área Local basadas en Radio de Alto desempeño) dentro de la iniciativa BRAN (*Broadband Radio Access Networks*, Redes de Acceso Banda Ancha vía Radio).

Finalizado en 2003, se trata de un sistema de comunicación inalámbrica basado en ATM (*Asynchronous Transfer Mode*, Modo de Transferencia Asíncrono), que incorpora características adicionales como Calidad de Servicio (QoS, *Quality of Service*) y búsqueda automática de frecuencia de operación, además, es un sistema orientado a la conexión para obtener una mayor eficiencia en la utilización de los recursos de radio, pero sobretodo una elevada velocidad de transmisión de datos que puede llegar hasta los 54 Mbps. Tanto 802.11a como HiperLAN/2

especifican un nivel físico basado en OFDM donde la señal de información se distribuye sobre 52 subportadoras, de las cuales 48 proporcionan caminos paralelos para los datos y las 4 restantes se utilizan como referencia para corregir desviaciones de fase o de frecuencia y proporcionar sincronización.

A pesar de que ambos estándares presentan dicha similitud en el nivel físico, los niveles superiores difieren entre sí, siendo más simple el estándar 802.11a y más complicado y sofisticado el estándar HiperLAN/2. HiperLAN/2 funciona como extensión de otras redes, por lo que los nodos de una red Ethernet ven a los nodos HiperLAN/2 como si fueran otros nodos de la propia red. Al mismo tiempo, también permite el funcionamiento de los protocolos comunes de nivel 3, y con sencillas extensiones puede trabajar con ATM y UMTS (*Universal Mobile Telecommunications System*, Sistema de Telecomunicaciones Móviles Universales).

No obstante, en la actualidad los costes de los sistemas OFDM a 5 GHz todavía se mantienen bastante altos debido a los requisitos de alta linealidad del amplificador de potencia del transmisor y bajo nivel de ruido del amplificador del receptor.

Por lo tanto, los componentes basados en el estándar HiperLAN/2 cuestan mucho más que las alternativas de menor velocidad existentes. En cambio, 802.11a presenta una mayor simplicidad y madurez tecnológica que repercute en unos menores costes y en un acceso más rápido al mercado.

1.7.6 HomeRF

El grupo de trabajo de HomeRF desarrolló una especificación denominada SWAP (*Shared Wireless Access Protocol*, Protocolo de Acceso Inalámbrico Compartido), para la interoperabilidad de un conjunto amplio de dispositivos de consumo.

La especificación contempla la transferencia de datos y voz en la banda de 2,4GHz empleando a nivel físico la técnica FHSS. El valor diferencial fundamental de la solución propuesta en HomeRF es que permite el acceso simultáneo de varios usuarios de voz con buena calidad. Este estándar ha sido superado comercialmente por el estándar IEEE 802.11, y en la actualidad sólo permanece una actividad marginal en HomeRF.

La especificación HomeRF opera a una frecuencia 2,4 GHz, manejando velocidades de transmisión de 0,8 Mbps, 1,6 Mbps, 5Mbps y 10 Mbps; entre las medidas de seguridad esta el cifrado de 128 bits, los saltos de frecuencia, y los identificadores de red de 48 bits. Esta especificación finalizó en el 2003.

1.7.7 IrDA

Las primeras redes inalámbricas utilizaban la radiación infrarroja. La principal limitación de las redes infrarrojas es que se necesita visión directa entre un trancceptor infrarrojo y otro, los infrarrojos se siguen utilizando actualmente en las agendas electrónicas, teléfonos móviles y algunas computadoras portátiles donde su uso esta reservado para conexiones punto a punto.

El organismo que ha desarrollado estándares para conexiones basadas en infrarrojos es la IrDA (Infrared Data Association, Asociación de Datos en Infrarrojo), este organismo especifica el nivel físico para transmisiones con infrarrojos.

En las aplicaciones de WLAN, el modo operativo consiste en modular la intensidad de la luz producida por el emisor mediante una señal modulada eléctricamente. El detector percibe las variaciones de intensidad de la señal infrarroja y las convierte en una señal eléctrica equivalente. Este modo de operación se llama IMDD (Intensity Modulation Direct Detection, Modulación de Intensidad con Detección Directa) y se emplea en diversos métodos de modulación.

En cuanto a las señales de infrarrojo las modulaciones son de 16-PPM (Pulse Position Modulation, Modulación por Posición de Pulso) y 4-PPM que permiten 1 y 2 Mbps de transmisión. En 16-PPM cada grupo de 4 bits de datos, es mapeado a un símbolo formado por 16 bits; en 4-PPM cada grupo de 2 bits de datos es mapeado a 1 símbolo formado por 4 bits.

Sin embargo la IrDA está trabajando con un nuevo protocolo de comunicaciones para infrarrojos de alta velocidad. El nuevo protocolo, llamado IrSimple permite velocidades de transmisión de datos al menos 4 a 10 veces mayores que las actuales, mejorando la eficiencia del actual protocolo IrDA incluido en muchos dispositivos móviles. IrSimple también permite compatibilidad con dispositivos que implementen el protocolo IrDA.

El modo VFIR (Very Fast Infrared) del IrSimple soporta velocidades de transmisión de datos por encima de los 16Mbps, mientras el modo UFIR (Ultra Fast Infrared), que soportaría velocidades del orden de los 100Mbps se encuentra en desarrollo. La tabla 1.7 muestra un resumen de las características técnicas de los estándares WLAN tratados anteriormente.

Estándar WLAN	Organismo	Banda de frecuencia	Velocidad máxima	Nivel Físico
802.11b	IEEE	2,4GHz (ISM)	11 Mbps	DSSS
802.11a	IEEE	5 GHz	54 Mbps	OFDM
802.11g	IEEE	2,4GHz (ISM)	54 Mbps	OFDM
802.11n	IEEE	2,4 GHz y 5 GHz	~500 Mbps	OFDM - DSSS
HiperLAN2	ETSI (Europa)	5 GHz	54 Mbps	OFDM
Home RF	HomeRF	2,4 GHz (ISM)	10 Mbps	FHSS
IrDA	IrDA	Infrarrojos	16 Mbps	VFIR

Tabla 1.7. Características técnicas de estándares inalámbricos

2 MODELAMIENTO

Este capítulo incluye la aplicación y adaptación de la metodología de simulación de equipos de telecomunicaciones[1] a el nivel físico de la norma IEEE 802.11b para la obtención de un modelo conceptual y un modelo de simulación de un enlace de transmisión unidireccional transmisor-receptor.

La implementación del modelo de simulación resultante se hizo en Simulink de Matlab®, por lo tanto el análisis y los resultados obtenidos se enfocaron hacia este objetivo.

2.1 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA Y PLAN DE ESTUDIOS

Cada estudio debe comenzar con una declaración clara de los objetivos que se quieren cumplir con la simulación. Los objetivos de la simulación deben plantearse de modo que aporten elementos para definir las variables de salida y la forma como van a presentarse y las variables o parámetros de entrada que afectarán esa salida. Una buena selección de los objetivos se reflejará en una selección correcta de los parámetros de entrada y de un resultado satisfactorio.

Para llegar a la correcta formulación de los objetivos de la simulación se recomienda seguir los siguientes pasos:

- Adquirir información sobre el funcionamiento del sistema.
- Identificar los fines de la simulación.
- Formulación de los objetivos.

2.1.1 Adquisición de información sobre el funcionamiento del sistema.

A continuación se da respuesta a una serie de preguntas con el objetivo de recolectar información acerca del funcionamiento general del sistema para así proceder a definir sus variables de entrada y salida con un mínimo de margen de error.

2.1.1.1 Subsistema: Transmisor

- ¿Qué tipo de señales va a tratar el subsistema?

Este subsistema se encarga de la generación aleatoria de datos de tipo binario que representan la información del usuario que será transmitida y procesada por el sistema; esta señal será procesada internamente hasta convertirla en una señal de espectro ensanchado (símbolos 802.11b) que será enviada a través de un canal inalámbrico en donde será afectada por la multitrayectoria y por el Ruido Blanco Gaussiano Aditivo (AWGN, Additive White Gaussian Noise).

- ¿Qué pasos sigue el subsistema para el tratamiento de las señales en cuestión?

En este subsistema se siguen los siguientes pasos para obtener una señal de espectro ensanchado a partir de una señal de datos binarios.

- **Generador de información**

En el generador de información se fijan los parámetros de periodo de bit y la cantidad de bits por trama que serán generados de acuerdo con la velocidad de transferencia de datos con la que se esté trabajando.

- Formato PPDU

En este proceso a la señal binaria que proviene del Generador de Información, que representa los datos del usuario, se le agregan el encabezado y el preámbulo PLCP. El preámbulo PLCP está compuesto por el campo *SYNC* y el campo *SFD*. El encabezado PLCP está compuesto por el campo *SIGNAL*, el campo *SERVICE*, el campo *LENGTH* y el campo *CRC*.

- Ensanchador-Modulador

Este proceso se encarga de tomar los bits de la trama PPDU y ensancharlos por medio de la multiplicación con secuencias pseudoaleatorias o por códigos complementarios y modularlos con DBPSK o DQPSK.

- ¿Qué factores serán evaluados con la simulación?

Con la simulación del subsistema transmisor se evaluarán los siguientes factores:

- La dimensión de las señales después de cada proceso.
- La comparación visual entre una muestra de la señal que representan la información de usuario y la señal recibida y procesada por el subsistema de recepción.
- Se calcularán parámetros como la BER (*Bit Error Rate*, Tasa de Error de Bit) comparando los datos recibidos y la trama PPDU

2.1.1.2 Subsistema: Modelo del Canal

- ¿Qué tipo de señales va a tratar el subsistema?

Este subsistema recibirá una señal de espectro ensanchado correspondiente a la señal de salida del transmisor y entregará una señal

de espectro ensanchado afectada por el Ruido Blanco Gaussiano Aditivo y por la multitrayectoria, características propias de los canales inalámbricos o de radio.

- ¿Qué pasos sigue el subsistema para el tratamiento de la señal en cuestión?

En el modelo del canal se siguen dos procesos para la obtención de la señal de salida:

- Aplicación de las características de desvanecimiento por multitrayectoria:

En este proceso, la señal de entrada se somete a 4 trayectos independientes lo que implica retardos diferentes, y luego se suman las componentes de cada trayecto para formar una sola señal de salida.

-Adición de ruido (AWGN):

A cada trayecto independiente obtenido en el proceso anterior se le adiciona una componente de ruido AWGN para obtener una señal afectada tanto por multitrayectoria como por ruido.

- ¿Qué factores serán evaluados durante la simulación?
 - La dimensión de las señales después de cada proceso.
 - La comparación visual entre una muestra de la señal de entrada de cada trayectoria del canal con una muestra de salida del mismo.

2.1.1.3 Subsistema: Receptor

- ¿Qué tipo de señales va a tratar el subsistema?

El subsistema Receptor recibirá una señal de espectro ensanchado afectada por el Ruido Blanco Gaussiano Aditivo y por la multitrayectoria correspondiente a la señal de salida del subsistema modelo del canal y entregará una señal de datos de tipo binario correspondiente a la información de usuario del sistema recuperada.

- ¿Qué pasos sigue el subsistema para el tratamiento de las señales en cuestión?

En el Receptor se siguen los siguientes pasos para la recuperación de los datos del usuario:

-Aplicación de un Receptor RAKE:

En este paso el receptor RAKE compensa el efecto de desvanecimiento por multitrayectoria utilizando una técnica de correlación para detectar cada uno de los ecos de la señal y enseguida realiza una suma algebraica de estos en forma constructiva.

-Demodulador-Desensanchador:

En este proceso se demodula y decodifica la señal proveniente del receptor RAKE para obtener los datos que el usuario transmitió.

- ¿Qué factores serán evaluados con la simulación?

-Se calcularán parámetros como la BER comparando los datos recibidos y la trama PPDU

2.1.2 Fines de la simulación

El propósito de esta simulación es mostrar los diferentes procesos y fenómenos (modulación, codificación, degradamiento de la señal, demodulación, decodificación) que afectan una señal de un sistema IEEE 802.11b en su nivel físico a través de los diferentes componentes del sistema como son el transmisor, el modelo de canal y el receptor que hacen parte del sistema total.

Se obtendrá un modelo de simulación del nivel físico de Redes de Área Local Inalámbrica (WLAN) basadas en la norma IEEE 802.11b para un enlace unidireccional entre dos dispositivos.

2.1.3 Formulación de los objetivos de la simulación

- Analizar el procesamiento de la señal (codificación CCK, codificación Barker, modulación DBPSK y modulación DQPSK).
- Analizar el desempeño de la norma a nivel físico para cada una de las tasas de transmisión del estándar (1 Mbps, 2 Mbps, 5.5 Mbps y 11 Mbps)
- Determinar si el modelo implementado representa adecuadamente el sistema por medio de la verificación y visualización de algunos parámetros como las señales de entrada y salida, y por medio del BER (Bit Error Rate, Tasa de Error de Bit) y la relación energía de bit a densidad de ruido (E_b/N_0).

2.2 RECOLECCION Y PROCESAMIENTO DE DATOS

Para cumplir con el objetivo de identificar los elementos y propiedades del sistema a simular se recurre a la información disponible en la Norma IEEE 802.11b que especifica todas las características del estándar en su nivel físico. Debido a la

complejidad del sistema a simular se realiza el siguiente procedimiento para cada uno de los subsistemas mencionados con anterioridad:

- Identificación de las clases y objetos.
- Identificación de las estructuras.
- Identificación de los sujetos.
- Definición de los atributos.
- Identificación de servicios o métodos.

2.2.1 Transmisor

2.2.1.1 Identificación de las clases y objetos

El subsistema transmisor consta de las siguientes partes básicas: Generador de Información, formato PPDU y ensanchador-modulador. Estos elementos corresponden a los objetos del subsistema.

2.2.1.2 Identificación de las estructuras

El término estructura es una expresión que se emplea para manejar la complejidad de un sistema. El análisis orientado a objetos basa su trabajo en las estructuras *Gen-Spec*⁴ (Generalización-Especificación) y *Whole-Part* (Todo -Parte).

Según las características del subsistema transmisor, las estructuras que lo conforman se pueden basar en la estructura tipo *Whole-Part*, también conocida como estructura de ensamblaje. Se identifican las siguientes estructuras en este subsistema.

⁴ Esta estructura es conocida como estructura de clasificación. Va desde las clases con atributos y servicios generales hasta las clases mas especializadas.

- **Generador de Información**

El generador de información no tiene una subdivisión interna en componentes. Su estructura *Whole-Part* se muestra en la figura 2.1.

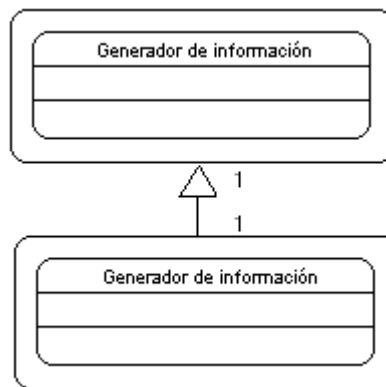


Figura 2.1 Estructura *Whole-Part* del generador de información.

- **Formato PPDU**

Se divide en 2 componentes básicos: el encabezado PLCP y el preámbulo PLCP. A su vez el preámbulo PLCP se subdivide en el campo *SYNC* y en el campo *SFD*. El encabezado PLCP también se subdivide en los campos *SIGNAL*, *SERVICE*, *LENGTH* y *CRC*. Figura 2.2.

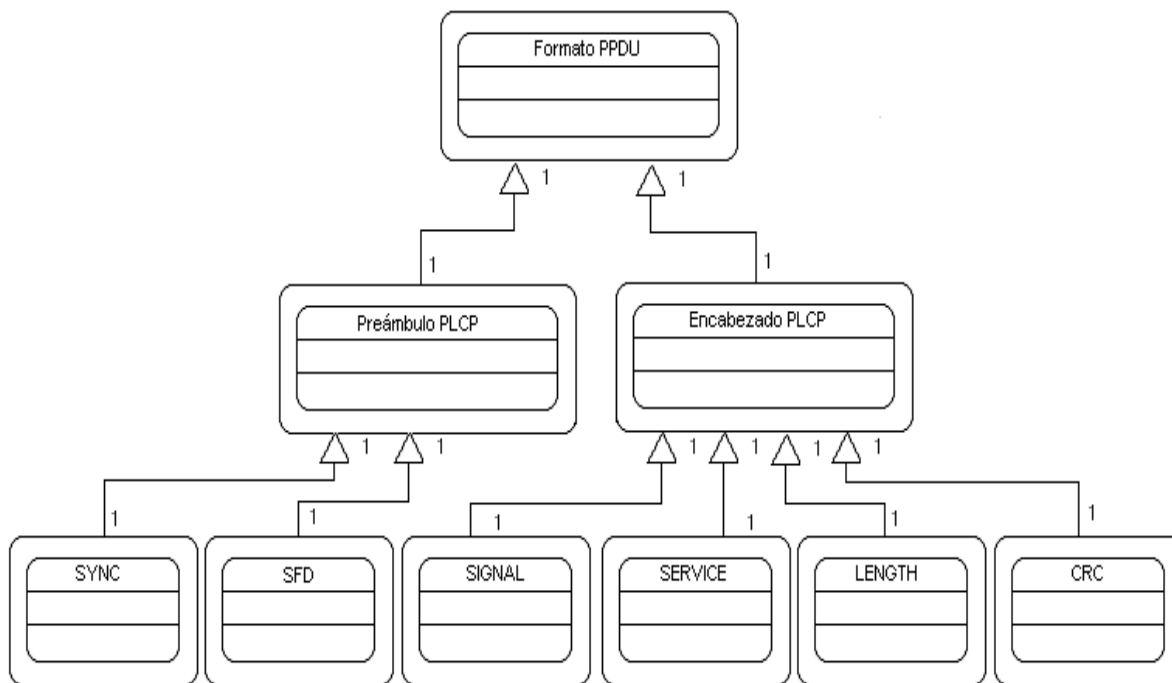


Figura 2.2 Estructura *Whole-Part* del Formato PPDU

- **Ensanchador-Modulador**

Se identifican dos estructuras diferentes. Una estructura para las velocidades de transmisión de datos de 1 y 2 Mbps, y otra estructura para las velocidades de transmisión de datos de 5.5 y 11 Mbps

- **Ensanchador-Modulador (Para 1 y 2 Mbps)**

El Ensanchador-Modulador se divide en dos componentes básicos: Codificador y Modulador. El codificador, a su vez, se subdivide en un operador lógico y código Barker. Su estructura *Whole-Part* se muestra en la figura 2.3.

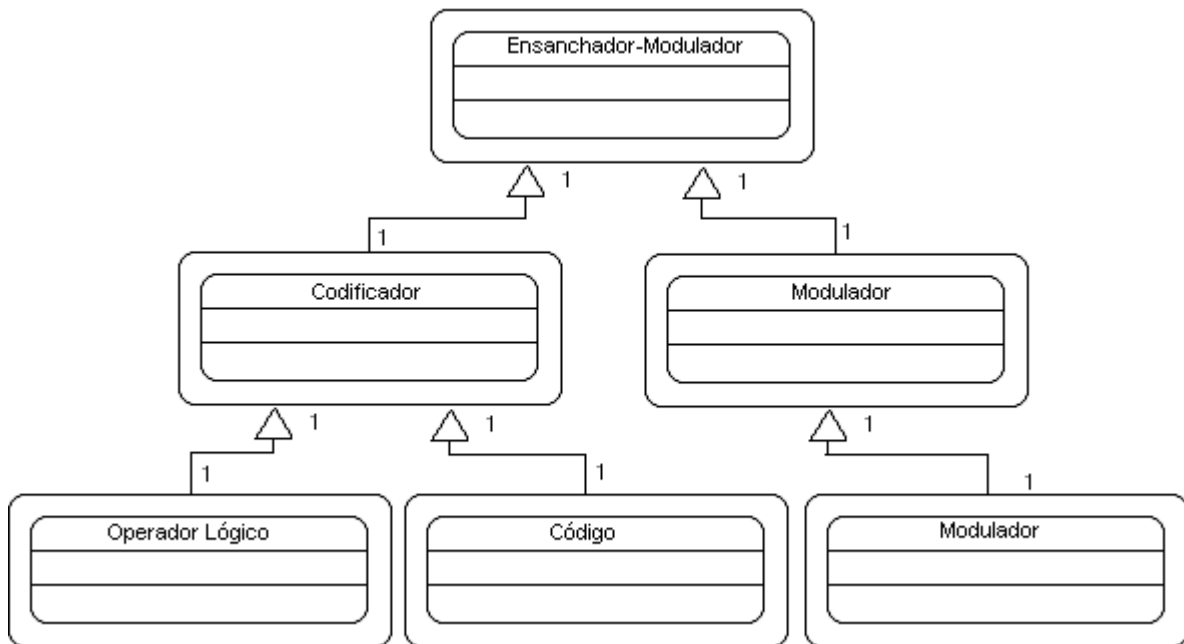


Figura 2.3. Estructura *Whole-Part* del Ensanchador-Modulador (para 1 y 2 Mbps)

- **Ensanchador-Modulador (Para 5.5 y 11 Mbps)**

El Ensanchador-Modulador para velocidades de transmisión de datos de 5.5 y 11 Mbps se divide en el bloque Codificador CCK, el bloque de Ángulos de Fase y bloque Agrupamiento. El codificador CCK, a su vez, se subdivide en sumadores y exponenciales. El bloque Ángulos de Fase, a su vez, se subdivide en un Modulador Diferencial y en tres bloques Multiplicador-Sumador. Su estructura *Whole-Part* se muestra en la figura 2.4.

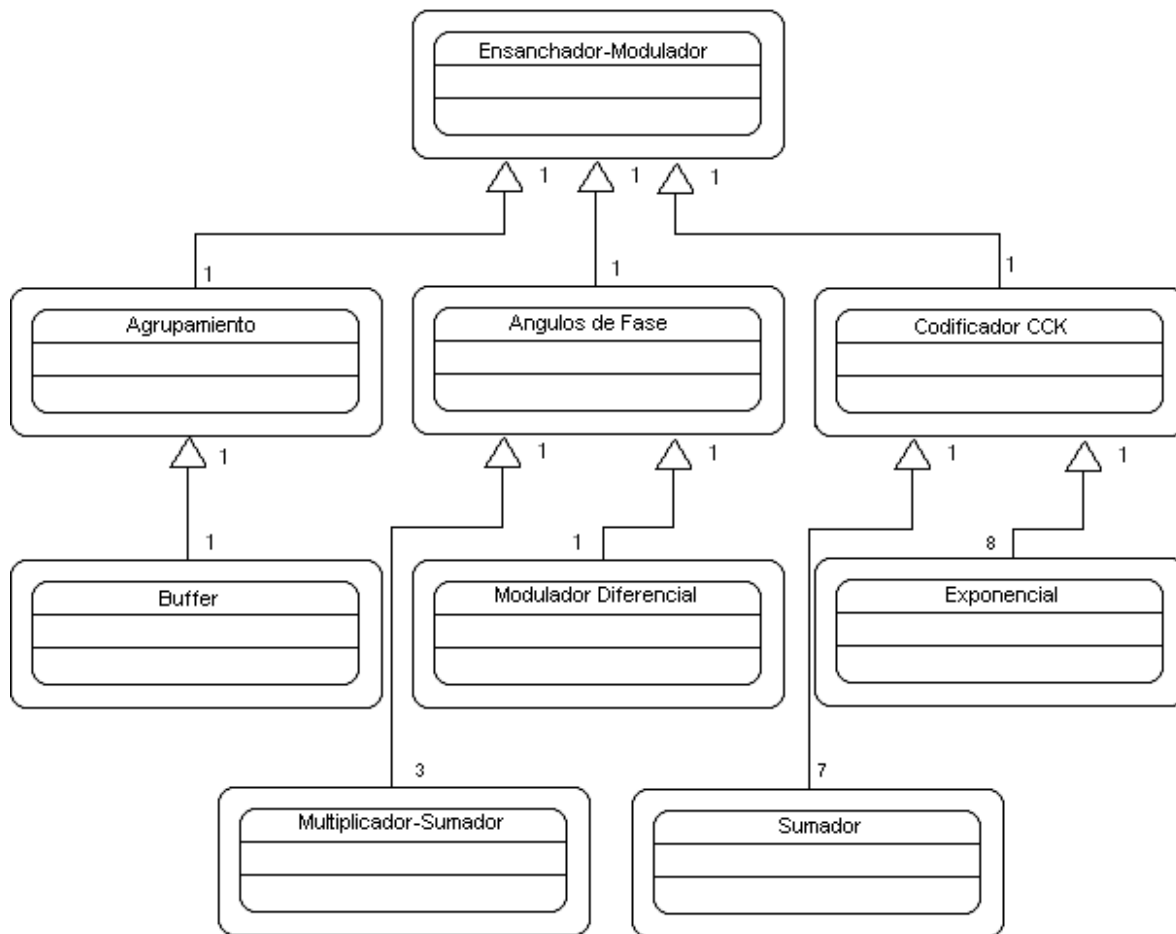


Figura 2.4. Estructura *Whole-Part* del Ensanchador-Modulador

2.2.1.3 Identificación de los sujetos

En el análisis orientado a objetos, “sujeto” es un concepto que representa el todo de un sistema o una estructura desde una perspectiva alta.

En el subsistema se identificaron tres sujetos, el generador de información, el formato PPDU y el Ensanchador-Modulador, a los cuales se les realiza su respectiva estructura.

2.2.1.4 Identificación de los Atributos

En la definición de atributos se considera cada objeto en forma independiente.

▪ **Definición de los atributos para el Generador de Información**

- Nombre: Tipo de dato de salida.
Descripción: Se indica el tipo de datos que se desea generar, en este caso son de tipo binario.
- Nombre: Periodo.
Descripción: en este atributo se determina el periodo de duración de cada dato generado (bit).
- Nombre: Probabilidad.
Descripción: en este atributo se determina la probabilidad de generación de un uno (1) o un cero (0).
- Nombre: Datos por trama.
Descripción: En este atributo se especifica la cantidad de datos (bits) que serán generados por el generador de información para cada trama de datos.

▪ **Definición de los atributos para el formato PPDU**

- Nombre: Bits de sincronización.
Descripción: Este atributo consiste en 128 bits unos, estos bits son proporcionados para que el receptor pueda realizar la sincronización de las operaciones.
- Nombre: Patrón SFD.
Descripción: Este atributo consiste en el patrón 1111 0011 1010 0000. Esta secuencia se utiliza para marcar el comienzo de cada trama.
- Nombre: Velocidad de transmisión

Descripción: Atributo que representa la velocidad de transmisión de datos a la cual se va a enviar la información.

- Nombre: Tipo de modulación

Descripción: Este atributo representa el tipo de modulación que se emplea para transmitir los datos de usuario.

- Nombre: Longitud

Descripción: en este atributo se determina la longitud de la carga útil a transmitir.

- Nombre: CRC.

Descripción: Atributo que representa los bits en cargados de la detección de errores en los campos *SIGNAL*, *SERVICE* y *LENGTH*.

- **Definición de los Atributos para el Ensanchador-Modulador**

- **Definición de los Atributos para el Ensanchador-Modulador (para 1 y 2 Mbps)**

- Nombre: Secuencia pseudoaleatoria.

- Descripción: Atributo que determina el código de ensanchamiento.

- Nombre: Operador Lógico.

- Descripción: Atributo que determina la operación que realiza el ensanchamiento de la señal.

- Nombre: Tipo de entrada

- Descripción: Atributo que determina el tipo de dato de entrada que será modulado, que en este caso son números binarios.

- Nombre: Ordenamiento de la constelación.
Descripción: Atributo que determina la forma en que los bits son mapeados en símbolos de la constelación.
- **Definición de los atributos para el Ensanchador-Modulador (para 5.5 y 11 Mbps)**
- Nombre: Tamaño del buffer de salida.
Descripción: Atributo que determina el número el tamaño de la trama de salida.
- Nombre: Tipo de entrada.
Descripción: Atributo que determina el tipo de dato de entrada que será modulado, que en este caso son números binarios.
- Nombre: Ordenamiento de la constelación.
Descripción: Atributo que determina la forma en que los bits son mapeados en símbolos de la constelación.
- Nombre: Factor de ganancia.
Descripción: Atributo que multiplica determinados bits por Π .
- Nombre: Lista de señales.
Descripción: Atributo que determina el numero de señales de entrada del bloque sumador.
- Nombre: Exponencial complejo.
Descripción: Atributo que aplica la función exponencial a una entrada real utilizando la formula de Euler $y = e^{(jx)} = \cos(x) + j\sin(x)$.

2.2.1.5 Identificación de servicios

“Servicio” se define como el comportamiento específico que puede presentar un objeto, por tanto lo esencial cuando se define un servicio es definir el comportamiento requerido.

▪ Identificación de Servicios para el Generador de Información

- Nombre: Generar datos binarios aleatoriamente.
Descripción: Se generan ceros y unos con una cantidad y periodo definidos.

▪ Identificación de servicios para el formato PPDU

- Nombre: Agregar bits de sincronización.
Descripción: Agrega 128 unos, los cuales son utilizados en recepción para una adecuada sincronización con la señal transmitida.
- Nombre: Agregar bits de inicio de trama.
Descripción: Agrega un patrón que se utiliza para marcar el comienzo de cada trama.
- Nombre: Determinar velocidad de transmisión.
Descripción: Agrega bits que indican la velocidad a la cual se transmite la información del usuario.
- Nombre: Determinar tipo de modulación.
Descripción: Agrega bits que indican el tipo de modulación que se utiliza para enviar la información del usuario.
- Nombre: Determinar longitud de datos que representan la información del usuario 2.

Descripción: Agrega bits específicos que indican la longitud de la carga útil que se quiere transmitir.

- Nombre: Agregar detección de errores al encabezado PLCP.

Descripción: Agrega bits que se utilizan para determinar si se encuentran errores en el encabezado PLCP.

- **Identificación de Servicios para el Ensanchador-Modulador**

- **Identificación de servicios para el Ensanchador-Modulador (para 1 y 2 Mbps)**

- Nombre: Ensanchar la señal.

- Descripción: Realiza una operación lógica entre los bits que representan la trama PPDU y los bits que representan el código pseudoaleatorio para realizar el ensanchamiento de la señal.

- Nombre: Modular la señal.

- Descripción: Realiza la Modulación de los bits de entrada mapeándolos en cada uno de los puntos de la constelación determinados por el valor del vector complejo I-Q. La selección de los datos de entrada y el mapeo de estos en la constelación se realizan de acuerdo con el valor de los atributos tipo de entrada y ordenamiento de la constelación.

- **Identificación de servicios para el Ensanchador-Modulador (para 5.5 y 11 Mbps)**

- Nombre: Agrupar.

- Descripción: Agrupa la información que representa los datos de usuario en 4 bits.

- Nombre: Crear Ángulos de Fase.
Descripción: Toma grupos de 4 bits de información de usuario y por medio de DQPSK, de la multiplicación de determinados bits por Π y de la suma de constantes crea 4 ángulos que luego son utilizados por el codificador CCK.
- Nombre: Codificar la señal
Descripción: Codifica los 4 ángulos de fase en una palabra código (símbolo) de 8 chips, por medio de sumadores y exponenciales complejos.

2.2.2 Modelo del Canal

2.2.2.1 Identificación de las Clases y Objetos

El subsistema de modelo de canal consta de 4 Trayectos, cada uno de ellos adiciona AWGN y retardo a la señal. Estos elementos corresponden a los objetos del subsistema.

2.2.2.2 Identificación de las Estructuras

Según las características del subsistema modelo del canal, las estructuras que lo conforman se pueden basar en la estructura tipo Whole-Part. Se identifica la siguiente estructura en este subsistema

▪ Trayectos

El subsistema Trayectos se divide en dos componentes básicos: El bloque AWGN y el bloque retardos. Se definen 4 caminos y cada uno de ellos esta conformado por una componente de AWGN y tres de ellos por una componente de retardo. Su estructura Whole-Part se muestra en la figura 2.5.

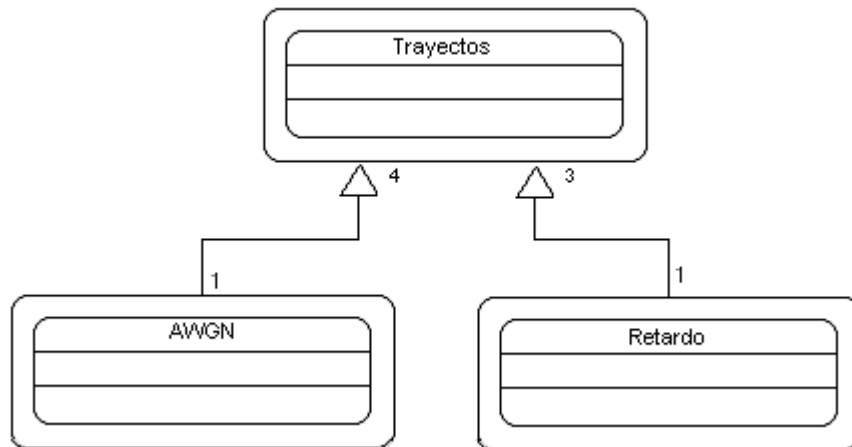


Figura 2.5. Estructura Whole-Part del subsistema Trayectos

2.2.2.3 Identificación de los sujetos

En el subsistema se identificaron tres sujetos, el generador de información, el formato PPDU y el Ensanchador-Modulador, a los cuales se les realiza su respectiva estructura.

En el subsistema se identifican 4 sujetos, los cuales poseen la misma estructura.

2.2.2.4 Definición de los atributos

- Nombre: relación señal a ruido.
Descripción: en este atributo se determina el nivel del ruido que se adicionará al canal en el modelo.
- Nombre: Numero de retardos.
Descripción: En este atributo se determina el número de periodos de tiempo que es retrazada la señal.

2.2.2.5 Identificación de servicios

▪ Identificación de Servicios para el Ruido AWGN

- Nombre: agregar multitrayectoria.
Descripción: Se distribuye la señal en varios trayectos y de acuerdo al atributo numero de retardos la señal se retrasa determinado periodo de tiempo por cada trayecto.
- Nombre: agregar ruido AWGN.
Descripción: De acuerdo al atributo relación señal a ruido, adiciona un determinado nivel de ruido (AWGN) a la señal.

2.2.3 Receptor

2.2.3.1 Identificación de las Clases y Objetos

El subsistema Receptor consta de las siguientes partes básicas: Receptor RAKE y Demodulador-Desensanchador. Estos elementos corresponden a los objetos del subsistema.

2.2.3.2 Identificación de las Estructuras

Según las características del subsistema Receptor, las estructuras que lo conforman se pueden basar en la estructura tipo Whole-Part. Se identifican las siguientes estructuras en este subsistema.

- **Receptor RAKE**

El receptor *RAKE* se divide en dos componentes básicos: Ramas del Receptor y Correlación. El componente correlación se divide en ganancia, sumador y Demux. La estructura *Whole-Part* del Receptor RAKE se muestra en la figura 2.6.

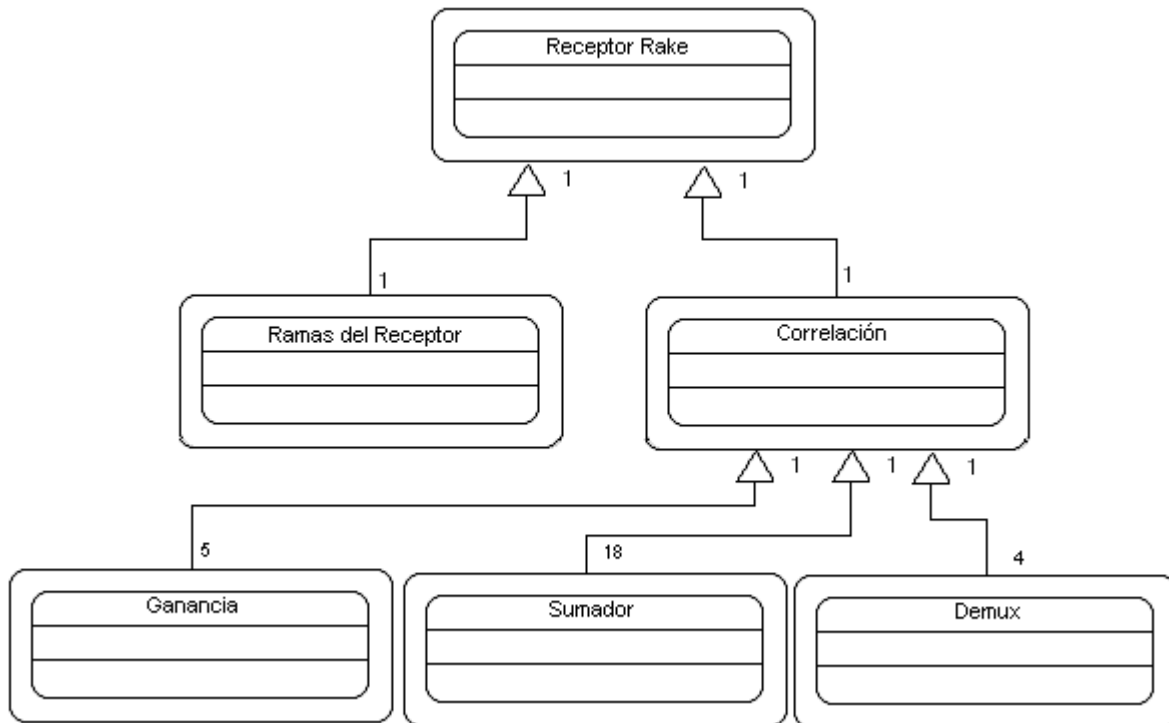


Figura 2.6. Estructura *Whole-Part* del Receptor RAKE

- **Demodulador-Desensanchador**

- **Demodulador-Desensanchador (para 1 y 2 Mbps)**

El Demodulador-Desensanchador realiza dos procesos básicos: Demodular y decodificar la señal proveniente del receptor RAKE. Su estructura *Whole-Part* se muestra en la figura 2.7.

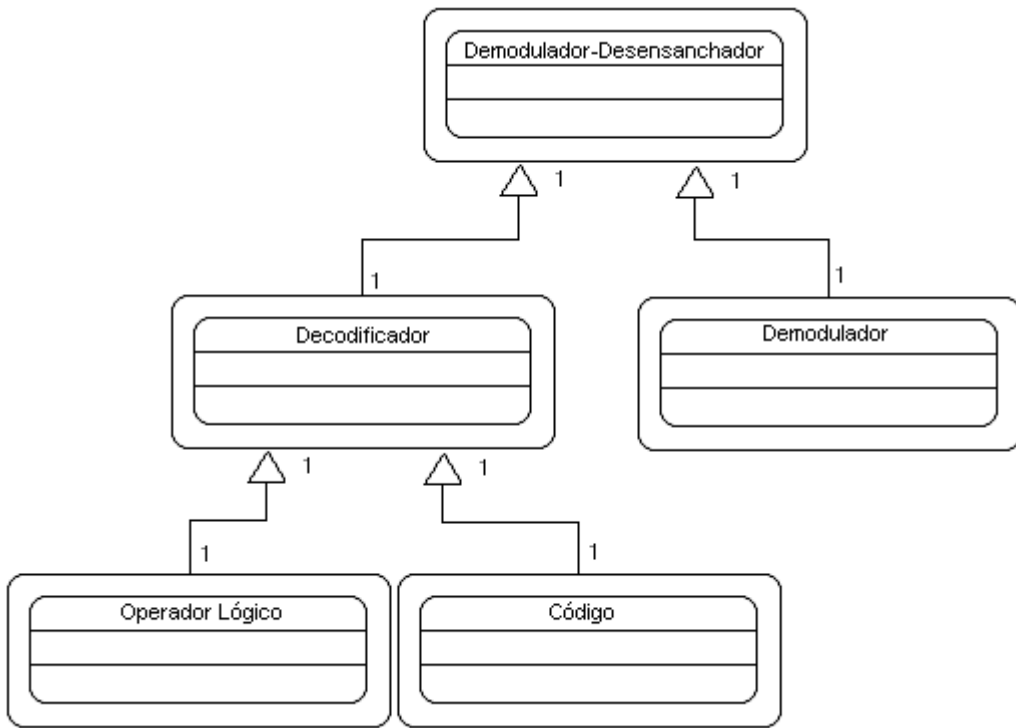


Figura 2.7. Estructura *Whole-Part* del Demodulador-Desensanchador

- **Demodulador-Desensanchador (para 5.5 y 11)**

El Demodulador-Desensanchador realiza dos procesos básicos: Demodular y decodificar la señal proveniente del receptor RAKE. Su estructura *Whole-Part* se muestra en la figura 2.8.

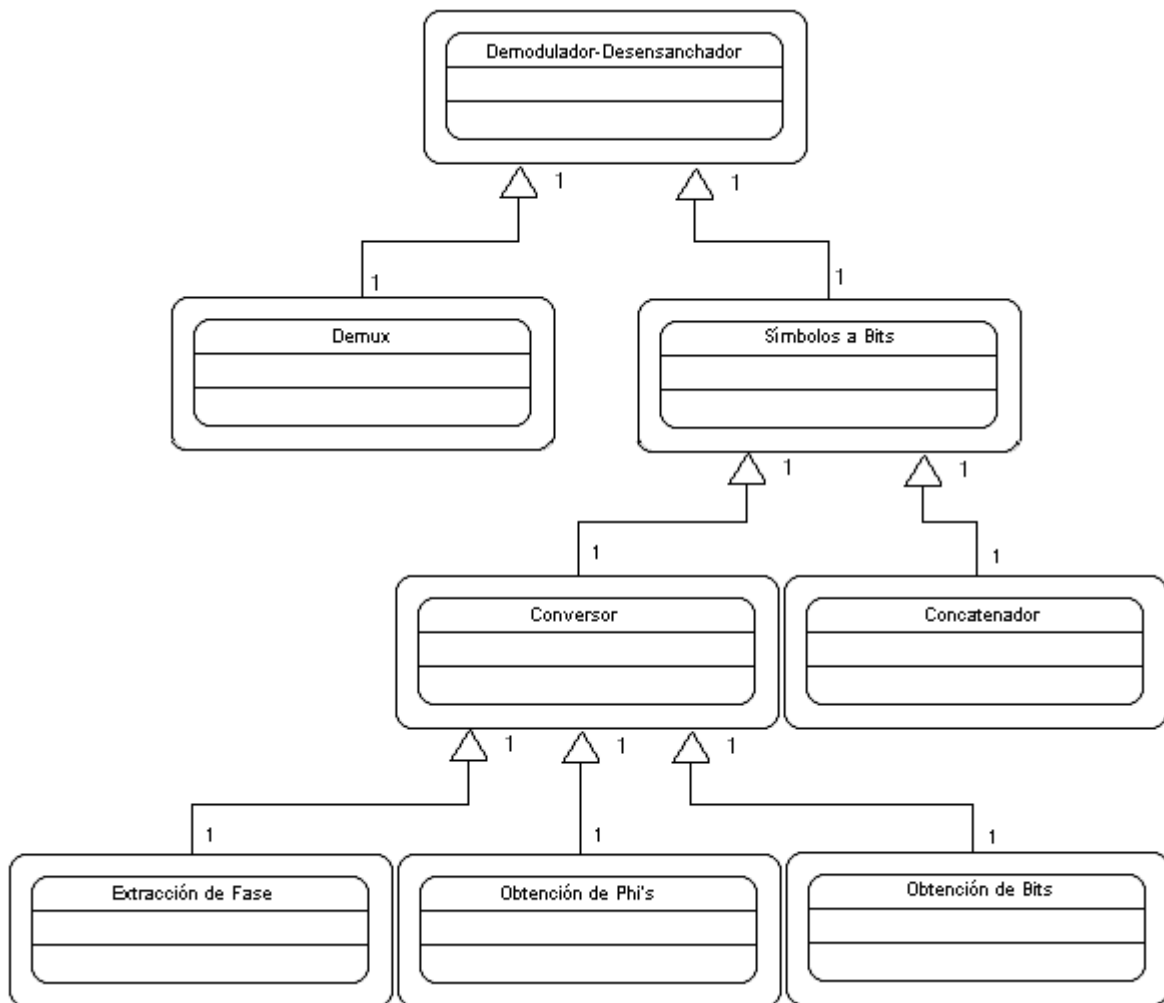


Figura 2.8. Estructura *Whole-Part* del Demodulador-Desensanchador

2.2.3.3 Identificación de los Sujetos

En el subsistema se identificaron dos sujetos, el receptor *RAKE* y el Demodulador-Desensanchador a los cuales se les realiza su respectiva estructura.

2.2.3.4 Definición de los Atributos

▪ Definición de los Atributos para el Receptor *RAKE*

- Nombre: Número de Salidas.

Descripción: Atributo que determina el número de salidas, y opcionalmente la dimensión de cada puerto de salida.

- Nombre: Lista de signos.

Descripción: Atributo que introduce los caracteres más “+” o “-” según el número de entradas del bloque y la operación que se desee realizar con ellas. La operación por defecto es la adición, si se quiere realizar esta operación con las señales de entrada del bloque únicamente se escribe el número de las señales de entrada.

- Nombre: Ganancia.

Descripción: Atributo que especifica el valor por el cual debe ser multiplicada la entrada.

- Nombre: Multiplicación.

Descripción: Este atributo especifica el modo de la multiplicación que en el caso de la simulación corresponde a Element-wise ($K*u$), en donde cada elemento de la entrada es multiplicado por cada elemento de la ganancia.

- **Definición de los Atributos para el Demodulador-Desensanchador**

- **Definición de los Atributos para el Demodulador-Desensanchador (para 1 y 2 Mbps)**

- Nombre: Código de ensanchamiento.

- Descripción: Atributo que determina el código de ensanchamiento, esta secuencia es igual a la del receptor.

- Nombre: Periodo de Muestreo.

- Descripción: Periodo de cada elemento de la señal de salida.

- Nombre: Ordenamiento de la constelación.

Descripción: Este atributo determina la forma en que los símbolos de la constelación son mapeados en bits de datos.

○ **Definición de los Atributos para el Demodulador-Desensanchador (para 5.5 y 11 Mbps)**

- Nombre: Número de Salidas.

Descripción: Atributo que determina el numero de salidas, y opcionalmente la dimensión de cada puerto de salida.

- Nombre: Concatenador.

Descripción: Atributo del concatenador que especifica el numero de las señales de entrada a ser concatenadas.

- Nombre: Salida.

Descripción: Atributo del bloque *Extracción de Fase* que determina el tipo de la señal de salida. Este atributo se puede variar para que en la salida se obtenga la magnitud y el ángulo, únicamente la magnitud o únicamente el ángulo de una señal de entrada compuesta por valores complejos.

- Nombre: Lista de signos.

Descripción: Atributo del bloque *Obtención de Phi's* que introducen los caracteres "+" o "-" según el numero de entradas del bloque y la operación que se desee realizar con ellas. La operación por defecto es la adición, si se quiere realizar esta operación con las señales de entrada del bloque únicamente se escribe el numero de las señales de entrada.

- Nombre: Valor Constante

Descripción: Atributo del bloque *Obtención Bits* que determina el valor constante de una señal a generar.

- Nombre: Entrada

Descripción: Atributo del bloque *Obtención Bits* que especifica si la entrada es un ángulo, un complejo o las dos para luego convertir esa señal en un complejo.

- Nombre: Tipo de salida

Descripción: Atributo que determina el tipo de la señal de salida del demodulador diferencial DQPSK.

- Nombre: Ordenamiento de la constelación.

Descripción: Este atributo determina la forma en que los símbolos son mapeados en pares de bits.

- Nombre: Numero de entradas.

Descripción: Atributo del bloque "Producto" que introducen los caracteres "*" o "/" según el numero de entradas del bloque y la operación que se desee realizar con ellas. La operación por defecto es la multiplicación.

2.2.3.5 Identificación de Servicios

▪ Identificación de Servicios para el receptor *RAKE*

- Nombre: Correlacionar.

Descripción: Correlaciona la señal de salida del subsistema Modelo del Canal.

- Nombre: Combinar.

Descripción: Suma de las señales obtenidas con la correlación

▪ Identificación de Servicios para el Demodulador-Desensanchador

- **Identificación de Servicios para el Demodulador-Desensanchador (para 1 y 2 Mbps)**

- Nombre: Demodular la señal

Descripción: Realiza la demodulación de la señal recuperada por el receptor *Rake* en bits de datos. El proceso se realiza de acuerdo con el valor de los atributos: tipo de salida y ordenamiento de la constelación.

- Nombre: Desensanchar la señal.

Descripción: Multiplica la señal que proviene del demodulador con el código de ensanchamiento.

- **Identificación de Servicios para el Demodulador-Desensanchador (para 5 y 11 Mbps)**

- Nombre: Agrupar

Descripción: Agrupa la información proveniente del canal en grupos de 8 símbolos.

- Nombre: Recuperar Ángulos de Fase

Descripción: Toma grupos de 8 símbolos provenientes del canal y por medio de la solución de ecuaciones de sistemas lineales recupera los 4 ángulos de fase que fueron empleados para codificar la información por medio de CCK.

- Nombre: Decodificar la señal

Descripción: Toma los 4 Ángulos de fase y por medio de los Demoduladores DQPSK y QPSK, y de sumas y divisiones encuentra los grupos de bits (4 bits para 5.5 Mbps y 8 bits para 11 Mbps) que fueron codificados con anterioridad en el receptor.

2.3 MODELO DE SIMULACIÓN

Después del estudio del estándar IEEE 802.11b y de acuerdo a los objetivos planteados en esta metodología de simulación, se procede a plantear un modelo de simulación en donde se consideran únicamente los aspectos más importantes y de mayor interés para lograr los objetivos planteados. Esta abstracción permite reducir la complejidad del sistema, mostrar con mayor claridad los procesos que son objetos de estudio y simular el modelo. Debido a la complejidad del sistema a simular, se dividió el sistema total en subsistemas para facilitar el análisis del comportamiento del mismo y la recolección de datos. Estos sistemas en su orden son:

- Subsistema Transmisor.
- Subsistema Modelo del Canal.
- Subsistema Receptor.

La estructura del sistema total basada en los subsistemas anteriores se muestra en la figura 2.9.

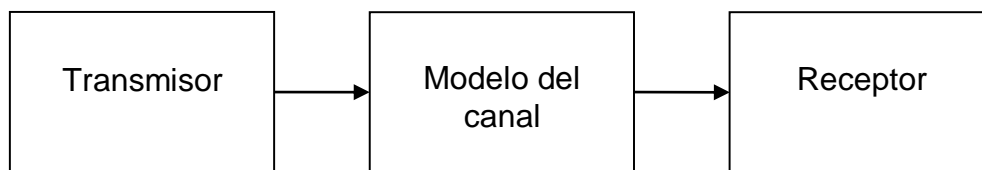


Figura 2.9. Estructura del sistema total

2.3.1 Modelo de Simulación: Transmisor

La implementación del transmisor en su nivel más alto de abstracción se muestra en la figura 2.10.

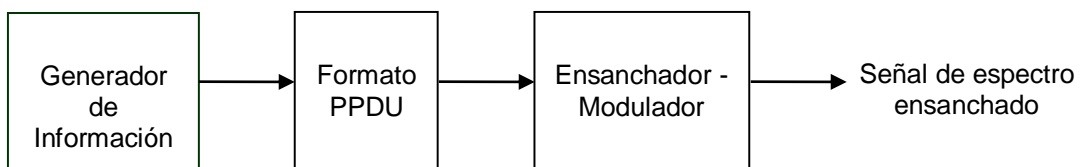


Figura 2.10. Estructura del subsistema Transmisor

De acuerdo al análisis de la sección anterior, existen 3 sujetos con su respectiva estructura interna definida, cada una se detalla a continuación:

2.3.1.1 Estructura interna y caracterización del Generador de Información

La estructura interna del Generador de Información se muestra en la figura 2.11.

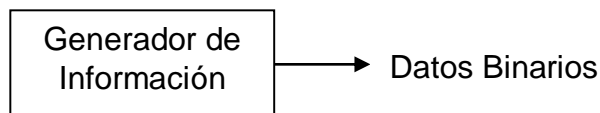


Figura 2.11. Estructura interna del bloque Generador de Información

La caracterización para el Generador de Información es el siguiente:

Señales de entrada:

Ninguna

Variables de entrada

Tipo de dato de salida: binario.

Periodo: de acuerdo a las velocidades de transmisión.

Probabilidad: $\frac{1}{2}$.

Datos por Trama: de acuerdo a las velocidades de transmisión de datos.

Señales de salida:

Datos binarios.

Señales propias de procesos internos:

Ninguna.

2.3.1.2 Estructura interna y caracterización del Formato PPDU

La estructura interna del Formato PPDU se muestra en la figura 2.12.

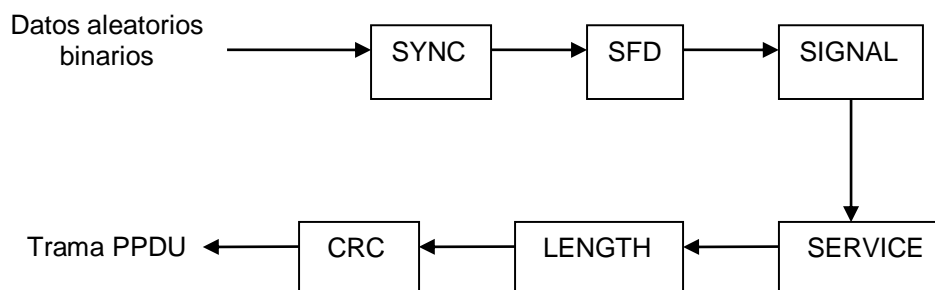


Figura 2.12. Estructura interna del bloque Formato PPDU

La caracterización para el Formato PPDU es la siguiente:

Señales de entrada:

Señal binaria que corresponde a la información del usuario.

Variables de entrada:

Velocidad de bits (valor).

Bits por trama (valor).

Señales de salida:

Señal binaria que representa la trama PPDU.

Señales propias de procesos internos:

El bloque Formato PPDU, identificado como sujeto en el análisis y recolección de información, tiene internamente 6 componentes con sus respectivas señales y variables. Estas se muestran a continuación para cada componente.

- **SYNC**

Señales de entrada:

Ninguna.

Variables de entrada:

Velocidad de bits (1 Mbps).

Valor de bits.

Bits por trama (128).

Señales de salida:

Señal binaria a 1 Mbps compuesta por 128 bits.

Variables de salida:

Velocidad de bits (1 Mbps).

Valor de bits.

Bits por trama (128).

Descripción Matemática:

El bloque SYNC se encarga de adicionar 128 bits a los datos aleatorios binarios que representan los datos de usuario, los bits son enviados por el transmisor a una velocidad de 1 Mbps.

- **SFD**

Señales de entrada:

Ninguna.

Variables de entrada:

Velocidad de bits (1 Mbps).

Patrón SFD 1111 0011 1010 0000.

Bits por trama (16).

Señales de salida:

Señal binaria a 1 Mbps compuesta por 16 bits.

Descripción Matemática:

El bloque SFD se encarga de adicionar 16 bits a los datos aleatorios binarios que representan los datos de usuario, los bits son enviados por el transmisor a una velocidad de 1 Mbps.

▪ **SIGNAL**

Señales de entrada:

Ninguna

Variables de entrada:

Velocidad de bits (1 Mbps)

Patrón de bits que indica la velocidad a la cual será transmitida la información del usuario

Bits por trama (8)

Señales de salida:

Señal binaria a 1 Mbps compuesta por 8 bits.

Descripción Matemática:

El bloque *SIGNAL* se encarga de adicionar 8 bits a los datos aleatorios binarios que representan los datos de usuario, indican la velocidad en que los datos de usuario serán transmitidos, los bits son enviados por el transmisor a una velocidad de 1 Mbps.

- ***SERVICE***

Señales de entrada:

Ninguna

Variables de entrada:

Velocidad de bits (1 Mbps)

Patrón de bits que indica el tipo de modulación que se utiliza para enviar la información del usuario

Bits por trama (8)

Señales de salida:

Señal binaria a 1 Mbps compuesta por 8 bits.

Descripción Matemática:

El bloque *SERVICE* se encarga de adicionar 8 bits a los datos aleatorios binarios que representan los datos de usuario, para indicar el tipo de modulación que se utilizará para enviar los datos binarios que representan la información del usuario, los bits son enviados por el transmisor a una velocidad de 1 Mbps.

- ***LENGTH***

Señales de entrada:

Ninguna

Variables de entrada:

Velocidad de bits (1 Mbps)

Bits que indican la longitud de la información de usuario que se desea enviar.

Bits por trama (16)

Señales de salida:

Señal binaria a 1 Mbps compuesta por 16 bits.

Descripción Matemática:

El bloque *LENGTH* se encarga de adicionar 16 bits que indican el número de microsegundos requeridos para transmitir los PSDU, en otras palabras, indican la longitud de la carga útil que se utilizara para enviar los datos binarios que representan la información del usuario, los bits son enviados por el transmisor a una velocidad de 1 Mbps.

- **CRC**

Señales de entrada:

Ninguna

Variables de entrada:

Velocidad de bits (1 Mbps)

Bits aleatorios indicadores de calidad para los campos *SIGNAL*, *SERVICE* y *LENGTH*.

Bits por trama (16)

Señales de salida:

Señal binaria a 1 Mbps compuesta por 16 bits.

Descripción Matemática:

El bloque CRC se encarga de adicionar 16 bits que permiten detectar errores cuando un mensaje ha sido transmitido. CRC es una técnica de codificación en que dado una trama de k bits, se generan una secuencia de n bits, de tal forma que la trama resultante, $n+k$ bits, sea divisible por un

polinomio generador de grado 16. En el receptor se realiza la operación inversa.

2.3.1.3 Estructura interna y caracterización del Ensanchador-Modulador

- **Estructura interna y caracterización del Ensanchador-Modulador (para 1 y 2 Mbps)**

Señales de entrada:

Trama PPDU que contiene la información del usuario.

Variables de entrada:

Código de ensanchamiento.

Bit por trama.

Velocidad de bit.

Operación Lógica.

Tipo de entrada.

Ordenamiento de la constelación.

Señales de salida:

Símbolos modulados en DPSK.

Señales propias de procesos internos:

El bloque Ensanchador-Modulador, identificado como sujeto en el análisis y recolección de información, tiene internamente 2 componentes con sus respectivas señales y variables. Estas se muestran a continuación para cada componente.

- **Estructura interna y caracterización del Ensanchador**

La estructura interna del Ensanchador se muestra en la figura 2.13.



Figura 2.13. Estructura interna del ensanchador

La caracterización para el ensanchador es la siguiente:

Señales de entrada:

Trama PPDU que contiene la información del usuario.

Variables de entrada:

Código de ensanchamiento.

Bit por trama.

Velocidad de bit.

Operación Lógica.

Señales de salida:

Señal ensanchada por medio del código Barker:

Descripción matemática:

Este bloque realiza el ensanchamiento de la señal por medio de una operación lógica entre la señal de entrada y el código Barker. El código Barker de 11 chips se utiliza para codificar todos los datos enviados. Esta secuencia incrementa la resistencia a las interferencias de la señal en una red. Cuando se utiliza este código, si uno o mas bits del patrón son afectados durante la transmisión, los datos pueden ser recuperados debido a la redundancia.

- **Estructura Interna y Caracterización del Modulador**

La estructura interna del Modulador se muestra en la figura 2.14.



Figura 2.14. Estructura interna del modulador

Señales de entrada:

Señal ensanchada por medio de la codificación barker.

Variables de entrada:

Tipo de entrada

Ordenamiento de la constelación.

Señales de salida:

Símbolos modulados en DPSK

Descripción matemática:

En el estándar 802.11b utiliza DBPSK y DQPSK, más que modular, lo que realmente hacen es codificar la señal, puesto que por cada bit o 2 bits de entrada, generan unos coeficientes reales y complejos para 1Mbps y 2 Mbps respectivamente que al multiplicarse con la portadora de RF, hacen que esta realice los cambios de fase respectivos.

- **Estructura interna y caracterización del Ensanchador-Modulador (para 5.5 y 11 Mbps)**

La estructura interna del Ensanchador-Modulador se muestra en la figura 2.15.

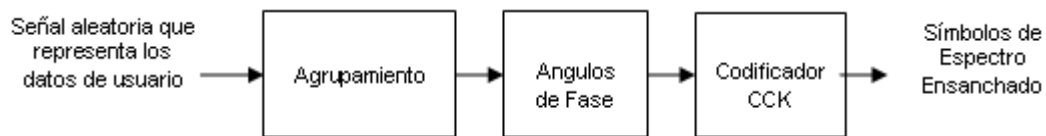


Figura 2.15. Estructura interna del Ensanchador-Modulador

Señales de Entrada:

Señal binaria aleatoria que representa la información del usuario.

Variables de Entrada:

- Tamaño del buffer de salida (4 para 5.5 Mbps y 8 para 11 Mbps).
- Bits por trama.

Señales de Salida:

Símbolos de Espectro Ensanchado.

Señales propias de procesos internos:

El bloque Ensanchador-Modulador, identificado como sujeto en el análisis y recolección de información, tiene internamente 3 componentes con sus respectivas señales y variables. Estas se muestran a continuación para cada componente.

- **Agrupamiento**

Señales de entrada:

Señal binaria aleatoria que representa la información del usuario.

Variables de entrada:

Tamaño del buffer de salida (4 para 5.5 Mbps y 8 para 11 Mbps).

Señales de salida:

Grupos de 4 o 8 bits (dependiendo de la velocidad) de la señal de información.

Descripción matemática:

Este bloque recibe un flujo de bits y forma tramas de 4 o 8 bits, según la velocidad de transmisión. En la figura 2.16 se observa el funcionamiento del bloque agrupamiento.



Figura 2.16. Funcionamiento del bloque Agrupamiento

- **Ángulos de Fase**

Señales de entrada:

Grupos de 4 o 8 bits (dependiendo de la velocidad) de la señal de información.

Variables de entrada:

Ordenamiento de la constelación.

Ganancia.

Valor constante.

Señales de salida:

4 ángulos de fase.

Descripción matemática:

El estándar IEEE 802.11b define que para la velocidad de 5.5 y 11 Mbps los 4 o 8 bits son codificados para encontrar φ_1 , φ_2 , φ_3 y φ_4 . En el capítulo 1 se explicó en forma detallada la forma de encontrar los 4 ángulos de fase para las velocidades de 5.5 y 11 Mbps.

- **Codificador CCK**

Señales de entrada:

4 ángulos de fase

Variables de entrada:

- Lista de signos
- Exponencial complejo

Señales de salida:

- Símbolos de espectro ensanchado

Descripción matemática:

Para la codificación CCK, la longitud del código de ensanchamiento es 8 y se encuentra basada en códigos complementarios complejos. La duración del símbolo es exactamente de 8 chips.

La ecuación (1) se utiliza para obtener la palabra código que realiza el ensanchamiento en 5.5 y 11 Mbps por medio de los 4 ángulos de fase.


$$\begin{aligned} & \left[\cos\left(\frac{2\pi}{8}k\right) \cos\left(\frac{2\pi}{8}l\right) \cos\left(\frac{2\pi}{8}m\right) \cos\left(\frac{2\pi}{8}n\right) \right. \\ & \left. - \cos\left(\frac{2\pi}{8}k\right) \cos\left(\frac{2\pi}{8}l\right) \cos\left(\frac{2\pi}{8}m\right) \sin\left(\frac{2\pi}{8}n\right) \right] \end{aligned} \quad (1)$$

2.3.2 Modelo de Simulación: Modelo de Canal

La implementación del subsistema Modelo de Canal en el nivel más alto de abstracción se muestra en la figura 2.17.

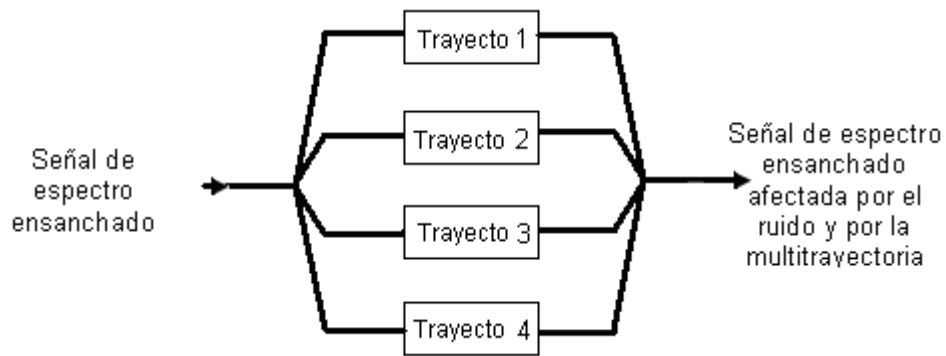


Figura 2.17. Estructura del subsistema Modelo del Canal

Señales de entrada:

Símbolos de espectro ensanchado.

Variables de entrada:

Número de caminos.

Valor del retardo.

Relación E_b/N_0 .

Señales de salida:

Señal de espectro ensanchado afectada por la multitrayectoria y el ruido (AWGN).

Descripción matemática.

Este bloque simula un canal con multitrayectoria por medio de la aplicación de diferentes retardos y la adición de una cantidad de ruido (AWGN) determinada por la relación E_b/N_0 a cada una de las ramas en las que se distribuye la señal de entrada

2.3.3 Modelo de Simulación: Receptor

La implementación del receptor en su nivel más alto de abstracción se muestra en la figura 2.18.

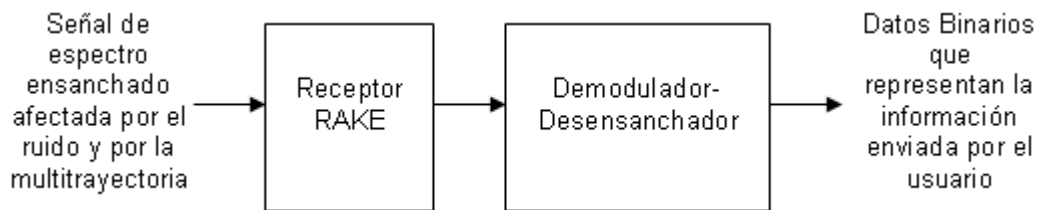


Figura 2.18. Estructura del subsistema Receptor

De acuerdo al análisis de la sección anterior, existen 2 sujetos con su respectiva estructura interna definida, cada una se detalla a continuación.

2.3.3.1 Estructura interna y caracterización del Receptor Rake

La estructura interna del Receptor Rake se muestra en la figura 2.19.

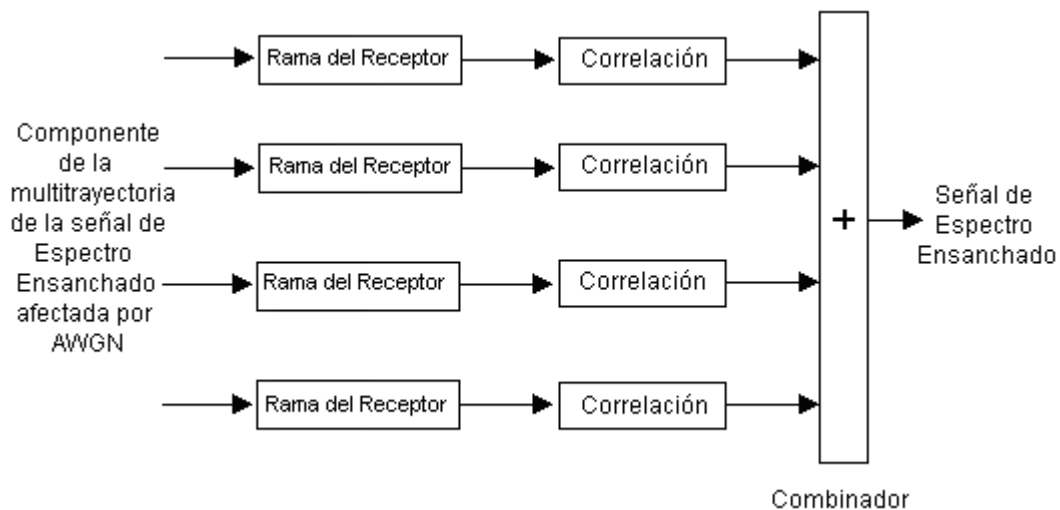


Figura 2.19. Estructura interna del Receptor Rake

Señales de entrada:

Señal de espectro ensanchado afectada por ruido y por multitrayectoria en el subsistema Modelo del Canal.

Variables de entrada:

Número de puertos de salida.

Ganancia.

Señales de salida:

Señal de espectro ensanchado.

Descripción matemática:

El receptor tipo RAKE se utiliza para contrarrestar los efectos de la multitrayectoria. Entre sus principales funciones esta alinear en el mismo tiempo las señales que llegan en diferentes momentos por efecto de la multitrayectoria, utilizar la técnica de correlación para detectar de forma independiente los ecos de la señal y realizar la suma algebraica de los ecos en forma constructiva.

Como el interés de este trabajo de grado no es profundizar con lo relacionado al receptor tipo Rake, se asumen que en el canal la señal toma solamente 4 trayectorias, que son recuperadas independientemente por una de las 4 ramas del receptor.

Señales propias de procesos internos:

El Bloque Receptor Rake, tiene internamente 2 componentes con sus respectivas señales y variables. Estas se muestran a continuación para cada componente.

- **Ramas del Receptor**

Señales de entrada:

Señal de espectro ensanchado afectada por el ruido y por la multitrayectoria proveniente del modelo del canal

Variables de entrada:

Número de puertos de salida

Señales de salida:

Señales compuestas de bits sincronizados.

Descripción:

Este bloque recupera la señal de cada trayectoria en una de las 4 ramas del receptor.

- **Correlación.**

Señales de entrada:

Señales compuestas de bits sincronizados.

Variables de entrada:

Ganancia.

Señales de salida:

Señal de espectro ensanchado.

2.3.3.1 Estructura interna y caracterización del Demodulador-Desensanchador

- **Estructura interna y caracterización del Demodulador-Desensanchador (para 1 y 2 Mbps).**

Señales de entrada:

Señal proveniente del receptor RAKE.

Variables de entrada:

Tipo de salida.

Ordenamiento de la constelación.

Código de ensanchamiento.

Periodo de muestreo.

Señales de salida:

Datos binarios Des-ensanchados.

Señales propias de procesos internos:

El bloque Demodulador-Desensanchador, identificado como sujeto en el análisis y recolección de información, tiene internamente 2 componentes con sus respectivas señales y variables. Estos se muestran a continuación para cada componente.

- **Estructura interna y caracterización del Demodulador**

La estructura interna del Demodulador se muestra en la figura 2.20.

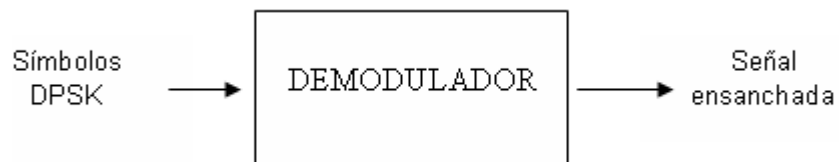


Figura 2.20. Estructura interna del Demodulador

Teniendo en cuenta los objetos mostrados en la figura 20, la caracterización para el demodulador es la siguiente:

Señales de entrada:

Símbolos DPSK.

Variables de entrada:

Tipo de salida.

Ordenamiento de la constelación.

Señales de salida:

Señal ensanchada.

Descripción matemática:

Ver la sección 2.3.1.3.

- **Estructura interna y caracterización del Desensanchador**

La estructura interna del Desensanchador se muestra en la figura 2.21.

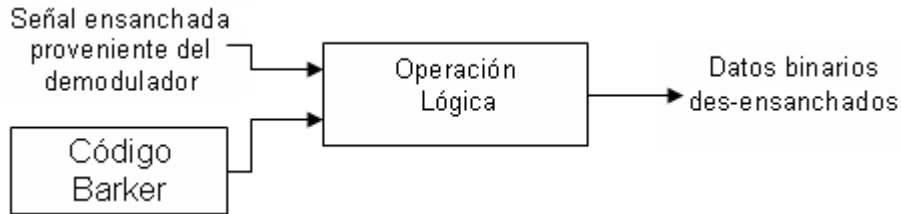


Figura 2.21 Estructura interna del desensanchador

La caracterización para el desensanchador es la siguiente:

Señales de entrada:

Señal de espectro ensanchado que proviene del demodulador.

Variables de entrada:

Código de ensanchamiento.

Periodo de muestreo.

Señales de salida:

Datos binarios des-ensanchados

Descripción matemática:

Este bloque realiza una operación lógica entre la señal de entrada proveniente del demodulador y la secuencia de ensanchamiento.

- **Estructura interna y caracterización del Demodulador-Desensanchador (para 5.5 y 11 Mbps).**

La estructura interna del Demodulador-Desensanchador se muestra en la figura 2.22.

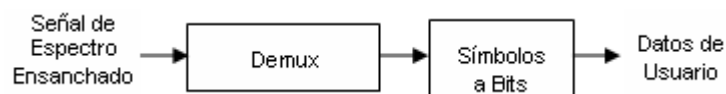


Figura 2.22. Estructura interna del Demodulador-Desensanchador

Señales de entrada:

Señal de espectro ensanchado.

Variables de entrada:

Número de puertos de entrada.

Señales de salida:

Datos de usuario

Señales propias de procesos internos:

El bloque Demodulador-Desensanchador, identificado como sujeto en el análisis y recolección de información, tiene internamente 2 componentes con sus respectivas señales y variables. Estas se muestran a continuación para cada componente.

- **Demux**

Señales de entrada:

Símbolos de la señal de espectro ensanchado.

Variables de entrada:

Número de puertos de entrada.

Señales de salida:

Símbolos independientes en grupos de 8.

Descripción matemática:

Este bloque extrae los componentes de una señal de entrada y los envía como señales separadas. En la figura 2.23 se observa el funcionamiento del bloque Demux.

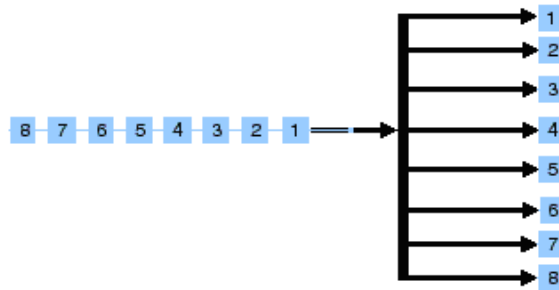


Figura 2.23. Funcionamiento del bloque Demux

- **Símbolos a Bits.**

Señales de entrada:

Símbolos independientes en grupos de 8.

Variables de entrada:

Ordenamiento de la constelación.

Valor constante.

Complejo a ángulo.

Señales de salida:

Datos de usuario

Descripción matemática:

2.4 Este bloque se encarga de recuperar los 4 ángulos de fase ($\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3$ y φ_4) para luego obtener los bits (4 o 8, dependiendo de la velocidad de transmisión) e ir recuperando los datos que representan la información del usuario.**EVALUACIÓN DEL MODELO**

2.4.1 Chequeo de variables

Después de analizar cada uno de los objetos, y teniendo en cuenta el estándar IEEE 802.11b, se puede decir que el tipo y número de variables que se han

definido para cada bloque satisfacen los requisitos para la representación de la información de entrada y salida de cada uno de los subsistemas del sistema total.

2.4.2 Complejidad resultante de cada objeto (procesos)

El sistema que se simulará presenta una alta complejidad, sin embargo, el análisis realizado está enfocado hacia subsistemas que facilita la descripción y definición de los atributos y servicios de cada bloque u objeto, lo cual permite visualizar claramente los comportamientos y procesos de interés definidos en los objetivos y fines de esta simulación, manejar un alto nivel de abstracción con la consecuente disminución de objetos, comprobar y visualizar las variables y las señales a lo largo de todo el sistema.

2.4.3 Evaluación de los objetivos

De acuerdo al modelo planteado y a los objetivos definidos, se puede concluir que este modelo permite evaluar y observar el comportamiento de los diferentes procesos que actúan sobre la señal de entrada a cada subsistema.

El modelo por medio de los objetos y variables de cada subsistema permite la visualización y análisis de los procesos de codificación, ensanchamiento y recepción que sufre la señal de información que se introduce al sistema.

Como consecuencia de la correcta definición de variables y de la adecuada subdivisión del sistema se puede decir que el modelo implementado representa adecuadamente al sistema y permite observar sus principales características por medio del análisis de los datos observados.

2.4.4 Complejidad del proyecto

El proyecto simulará únicamente un enlace unidireccional entre el transmisor y el receptor, a nivel físico del estándar IEEE 802.11b, probando las 4 velocidades de transmisión de datos.

Se han omitido algunos aspectos que se nombran a continuación debido a la alta complejidad que presentan y debido a las limitaciones propias de los equipos de cómputo utilizados para suplir las necesidades de las herramientas para la simulación de los mismos:

- No se realizaron procesos de conversión hacia arriba (Upconversion) y de conversión hacia abajo (Downconversion) para la transmisión y recepción de RF.
- Los datos de usuario (datos que vienen desde la capa 2) se generan por medio de un “Generador Aleatorio de Datos”
- El campo SYNC de la trama PPDU está compuesto por 128 bits aleatorios para representar el proceso de scrambling.
- No se trabajó con el modo opcional Short PLCP
- No se simulan elementos de la subcapa de Control de Acceso al Medio (MAC, Medium Access Control) y elementos como el esquema opcional de Codificación Convolutiva Binaria de Paquetes (PBCC, *Packet Binary Convolutional Code*) y el Cambio Dinámico de Velocidad (DRS, *Dynamic Rate Shifting*) mencionados en la sección 1.2.2 de este trabajo de grado.

3 ANALISIS DE RESULTADOS

3.1 INTRODUCCIÓN

Este capítulo incluye el análisis de los resultados obtenidos por la implementación del modelo de simulación del nivel físico del estándar IEEE 802.11b y se evalúan los aspectos más relevantes relacionados con el ensanchamiento, la máscara espectral de transmisión, la codificación diferencial y la BER.

3.2 SUBSISTEMA TRANSMISOR

3.2.1 Generador aleatorio de datos binarios

Los datos de usuario son representados por un vector de datos aleatorios de tipo binario. Se toma como ejemplo al sistema funcionando a 2 Mbps y por medio del bloque “vector scope” se observan los datos que se están generando para un tiempo de simulación de 8 μ s (figura 3.1).

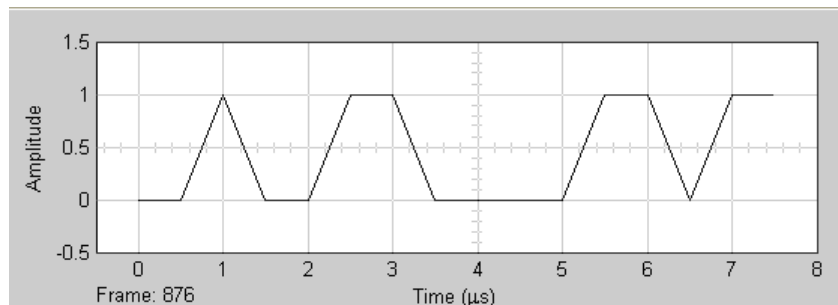


Figura 3.1 Vector de datos aleatorio de tipo binario generado en 8 μ s.

Al ejecutarse nuevamente la simulación para el mismo tiempo de simulación, se observa (figura 3.2) que los datos difieren de los obtenidos anteriormente,

comprobando así que los datos son completamente aleatorios y que no tienen el mismo valor para los mismos instantes de tiempo.

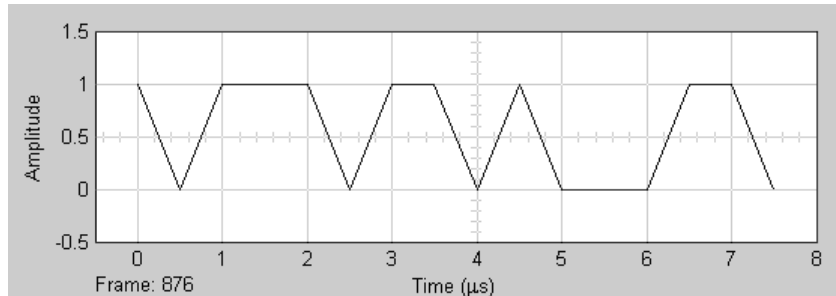


Figura 3.2 Vector de datos aleatorio de tipo binario generado en 8 μ s.

3.2.2 Código Barker

Para realizar el ensanchamiento de los bits transmitidos para las velocidades de 1 y 2Mbps se utiliza el bloque “DSP *constant*”, el cual toma como valor constante el vector [0 0 0 1 1 1 0 1 1 0 1] que representa el Código Barker.

Habilitando la función *Port/Signal Displays: Signal Dimensions* ubicada en *Format* en la barra de menú, se puede observar las dimensiones de las señales de entrada y salida de cada bloque de Simulink. Como se observa en la figura 3.3 la dimensión de la señal de salida del bloque generador del Código Barker es 11.

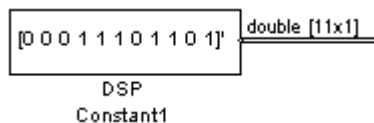


Figura 3.3 Dimensión del vector que representa el código Barker

3.2.3 Ensanchamiento para 1 y 2Mbps

El bloque “*Logical Operator*” realiza la operación lógica entre el Código Barker y los bits que representan los datos de usuario. En la salida se puede obtener el Código Barker ó el Código Barker invertido, dependiendo si el dato de entrada es

un cero o un uno respectivamente, dado que la operación lógica corresponde a una XOR, como se muestra en las figuras 3.4 y 3.5.

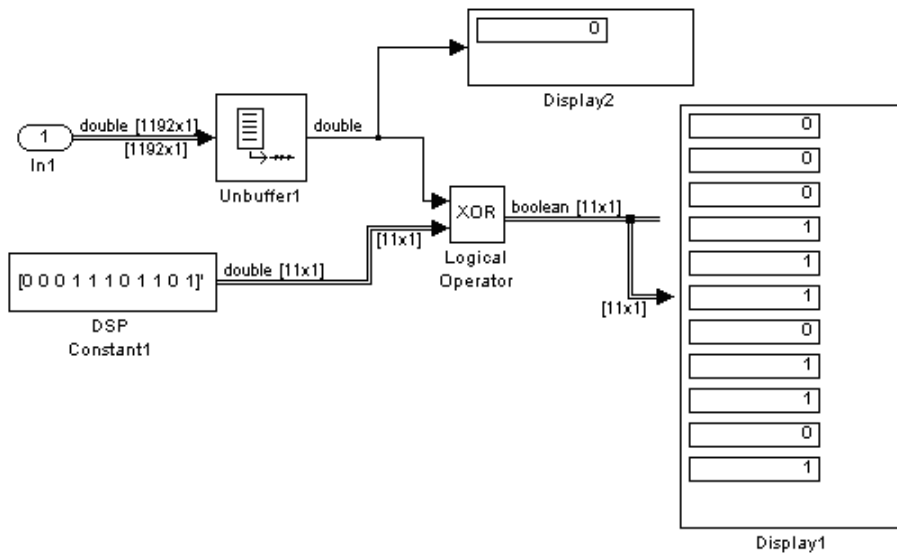


Figura 3.4. Operación lógica entre el código Barker y un cero

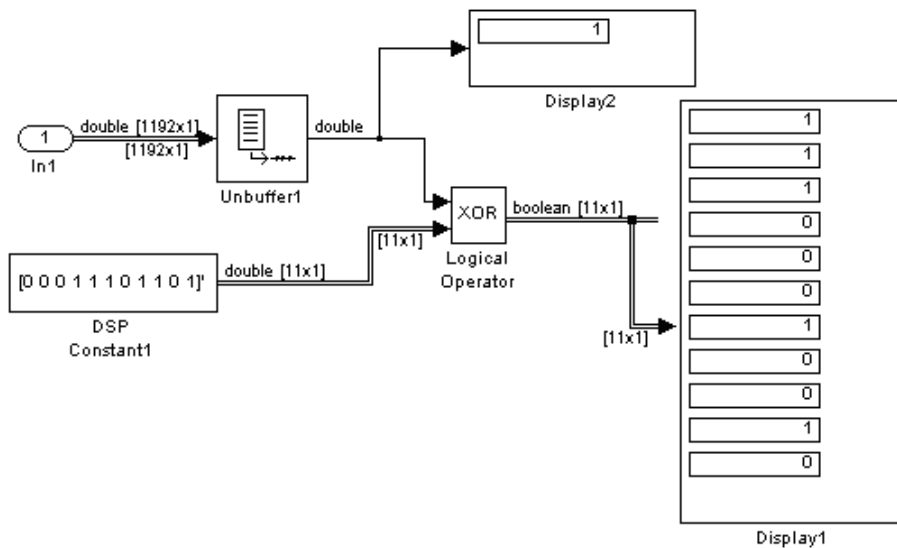


Figura 3.5. Operación lógica entre el código Barker y un uno

3.2.4 Codificación diferencial para 1 Mbps

El bloque “*Discrete-Time Scatter Plot Scope*” (figura 3.6) permite observar las componentes de la señal en fase y en cuadratura correspondientes a los cambios de fase de la señal producidos por DBPSK, empleada por el estándar para la velocidad de transmisión de datos de 1 Mbps, como se observa en la figura 3.7. El

bloque se coloca a la salida del subsistema transmisor, antes de que la señal sea afectada por el canal.

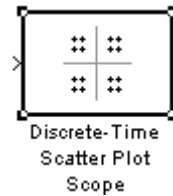


Figura 3.6 Bloque "Discrete-Time Scatter Plot Scope".

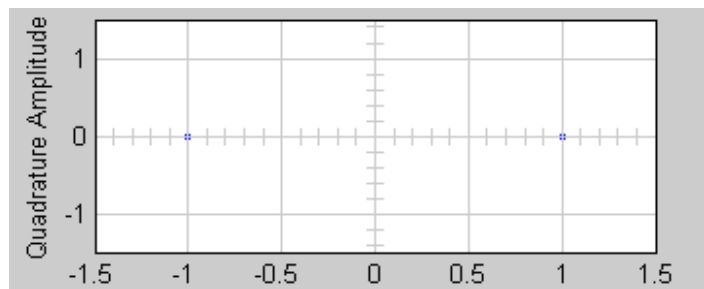


Figura 3.7. Constelación para 1 Mbps.

Como se puede observar se obtienen 2 puntos con las fases 0 y π que indican los cambios de fase propios de la codificación DBPSK.

3.2.5 Codificación diferencial para 2 Mbps

El bloque "Discrete-Time Scatter Plot Scope" permite observar las componentes de la señal en fase y en cuadratura correspondientes a los cambios de fase de la señal producidos por DQPSK, empleada por el estándar para la velocidad de transmisión de datos de 2 Mbps, como se observa en la figura 3.8. El bloque se coloca a la salida del subsistema transmisor, antes de que la señal sea afectada por el canal.

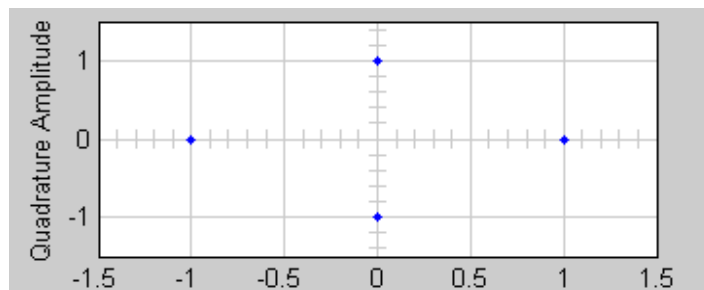


Figura 3.8. Constelación para 2 Mbps.

Como se puede observar se obtienen 4 puntos con las fases 0 , $\pi/2$, π y $3\pi/2$ que indican los cambios de fase propios de la modulación DQPSK.

3.2.6 Codificación para 5.5 Mbps

La figura 3.9 muestra el diagrama de constelación para la velocidad de 5.5 Mbps, se observan los cambios de fase producidos por los chips complejos creados por la codificación CCK.

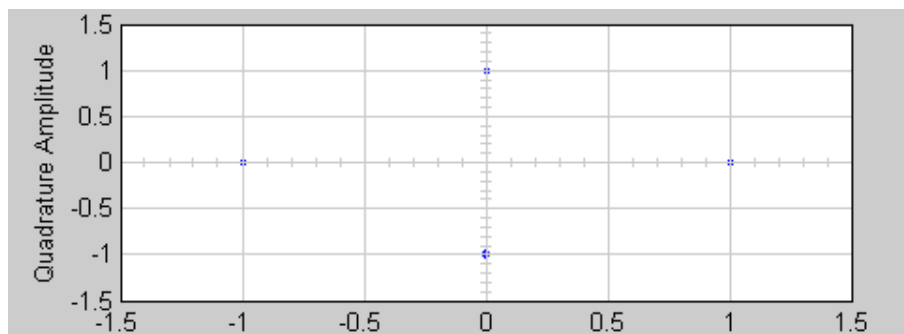


Figura 3.9. Constelación para 5.5 Mbps.

Por medio de despliegues o visualizadores se pueden observar el valor que toma cada uno de los chips complejos, dependiendo del valor de φ_1 , φ_2 , φ_3 y φ_4 . En la figura 3.10 se muestran los 4 bits que representan la información de usuario, los 4 valores de φ que se obtienen y los valores correspondientes a los 8 chips complejos que representan el símbolo a transmitir.

En el ejemplo, se desean transmitir los bits 0 0 0 0.

Se tiene respectivamente los siguientes valores:

$d_0 = 0$	$d_2 = 0$
$d_1 = 0$	$d_3 = 0$

Con el primer dicit (d0 d1) codifica a φ_1 basado en la modulación DQPSK, cabe recordar que como este tipo de modulación es diferencial, el valor de φ_1 también

depende de los dos bits modulados anteriormente con DQPSK. Para el ejemplo el valor de φ_1 es π .

Para φ_2 , φ_3 y φ_4 , se aplica la ecuación número (2) del anexo A.

$$\varphi_2 = (d_2 \times \pi) + \pi / 2 = (0 \times \pi) + \pi / 2 = \pi / 2$$

$$\varphi_3 = 0$$

$$\varphi_4 = d_3 \times \pi = 0 \times \pi = 0$$

En la simulación los valores obtenidos para los 8 chips complejos son los siguientes:

$c_0 = -1,837 \times 10^{-16} - j$	$\approx -j$	$c_4 = -1,837 \times 10^{-16} - j$	$\approx -j$
$c_1 = -1 + 1,225 \times 10^{-16} j$	≈ -1	$c_5 = -1 + 1,225 \times 10^{-16} j$	≈ -1
$c_2 = -1,837 \times 10^{-16} - j$	$\approx -j$	$c_6 = 1,837 \times 10^{-16} + j$	$\approx j$
$c_3 = 1 - 1,225 \times 10^{-16} j$	≈ 1	$c_7 = -1 + 1,225 \times 10^{-16} j$	≈ -1

Se puede comprobar los valores obtenidos utilizando la ecuación número (1) del capítulo 2.



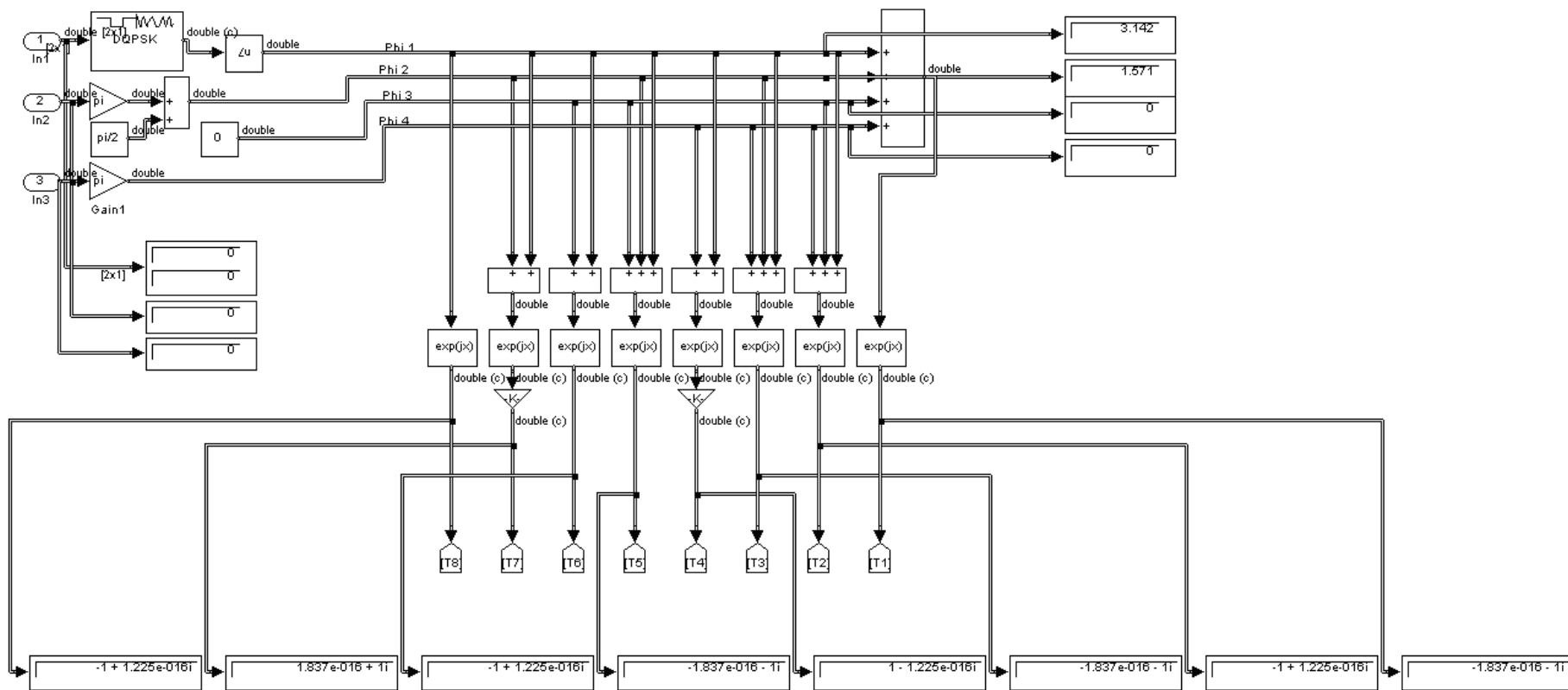


Figura 3.10. Ensanchador-Modulador para 5.5 Mbps con despliegues para visualizar los datos que se están procesando.

3.2.7 Codificación para 11 Mbps

La figura 3.11 muestra el diagrama de constelación para la velocidad de 11 Mbps, se observan los cambios de fase producidos por los chips complejos creados por la codificación CCK.

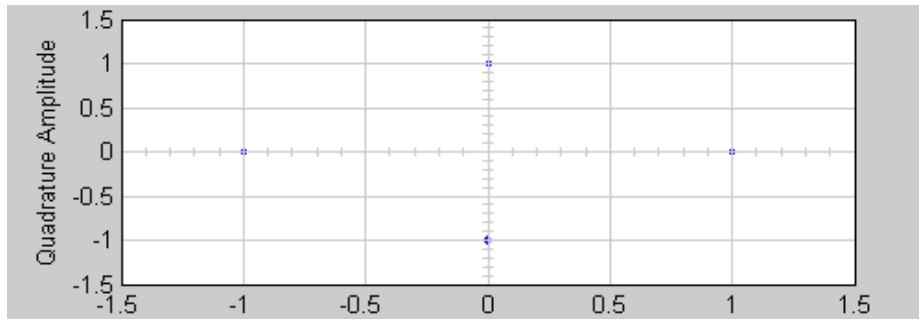


Figura 3.11 Constelación para 11 Mbps.

Por medio de visualizadores se pueden observar el valor que toman cada uno de los chips complejos, dependiendo del valor de φ_1 , φ_2 , φ_3 y φ_4 . La figura 3.12 muestra los 4 valores φ y los valores correspondientes de chips complejos en un determinado instante de tiempo.

En el ejemplo, se desean transmitir los bits 1 1 0 1 1 1 0 1.

Se tiene respectivamente los siguientes valores:

d0 = 1	d4 = 1
d1 = 1	d5 = 1
d2 = 0	d6 = 0
d3 = 1	d7 = 1

El primer dicit (d0 d1) codifica a φ_1 basado en la modulación DQPSK, cabe recordar que como este tipo de modulación es diferencial, el valor de φ_1 también depende de los dos bits modulados anteriormente con DQPSK. Para el ejemplo el valor de φ_1 es 0.

φ_2 , φ_3 y φ_4 , se obtienen por la modulación QPSK (tabla 9 del anexo A).

$$\varphi_2 = -\pi/2$$

$$\varphi_3 = \pi$$

$$\varphi_4 = -\pi/2$$

En la simulación los valores obtenidos para los 8 chips complejos son los siguientes:

$$c_0 = -1,837 \times 10^{-16} - j \approx -j$$

$$c_1 = -1 + 1,225 \times 10^{-16} j \approx -1$$

$$c_2 = -1 + 3,216 \times 10^{-16} j \approx -1$$

$$c_3 = 1,608 \times 10^{-16} + 1j \approx j$$

$$c_4 = 2,833 \times 10^{-16} + j \approx j$$

$$c_5 = -1 + 1,225 \times 10^{-16} j \approx -1$$

$$c_6 = -1,608 \times 10^{-16} + j \approx j$$

$$c_7 = 1$$

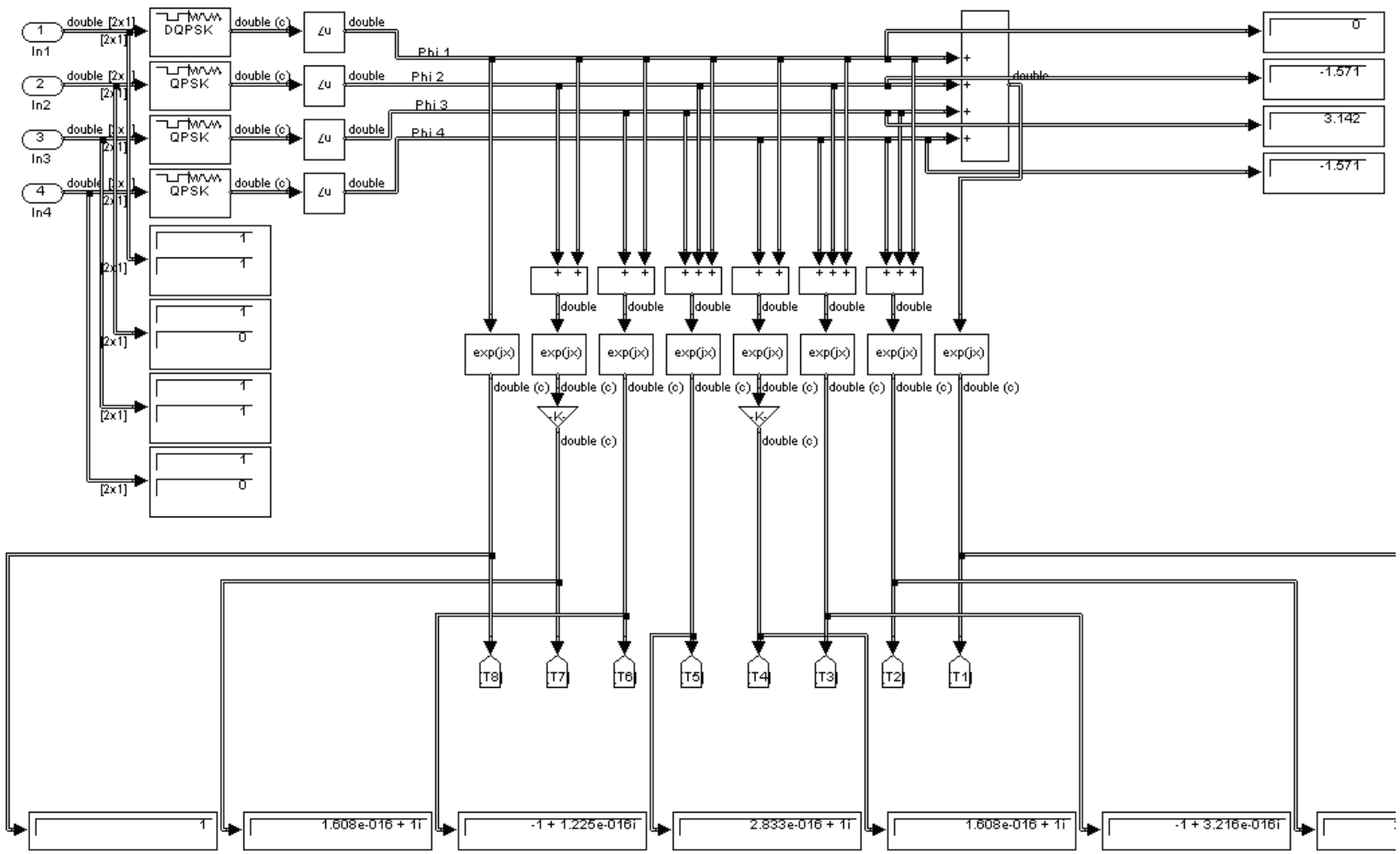


Figura 3.12. Ensanchador-Modulador para 11 Mbps con despliegues para visualizar los datos que se están procesando.

3.2.8 Máscara espectral de transmisión

En esta sección se visualiza la máscara espectral de la información, la máscara espectral después del ensanchamiento (para 1 y 2 Mbps) y la máscara espectral a la salida de la etapa de BB.

Teniendo en cuenta que a la salida del generador de información (para todas las velocidades del estándar) y después del ensanchamiento (para 1 y 2 Mbps), se tienen secuencias de bits (1 y 0); para poder observar las respectivas máscaras espectrales en esos puntos se utiliza un modulador (DBPSK o BPSK), un filtro Banda Base y el bloque “*spectrum scope*”.

3.2.8.1 Máscara espectral de transmisión para 1 Mbps

La máscara espectral de transmisión para los datos de usuario a una velocidad de 1 Mbps se muestra en la figura 3.13.

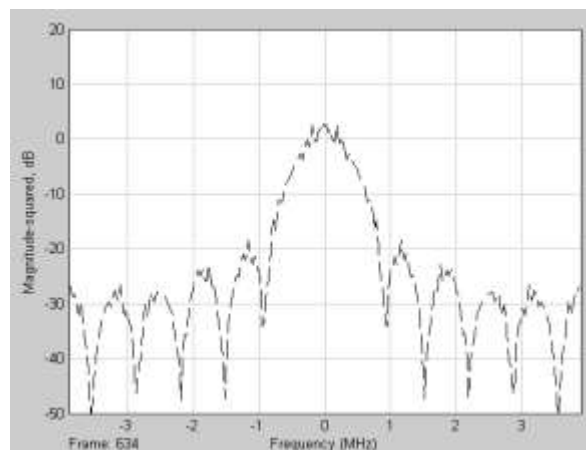


Figura 3.13. Máscara espectral de transmisión para los datos de usuario a 1 Mbps

Después del ensanchamiento, se obtiene la máscara espectral de transmisión de la figura 3.14.

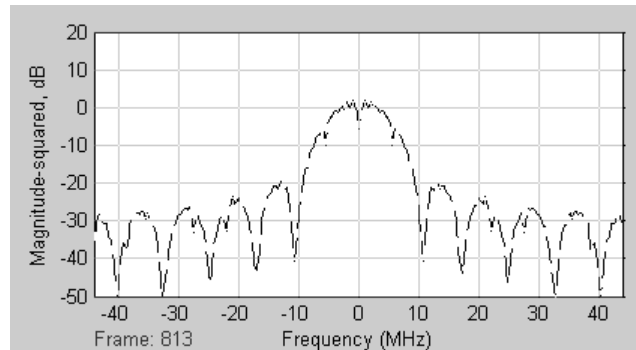


Figura 3.14. Máscara espectral de transmisión para la información a 1 Mbps después de ser ensanchada

Para visualizar la máscara espectral de transmisión de la señal que esta siendo afectada por la codificación DBPSK, conecta el bloque “*Spectrum Scope*” a la salida del transmisor, esta señal se observa que el ancho de banda es igual a 22 MHz considerando la banda lateral imagen (figura 3.15).

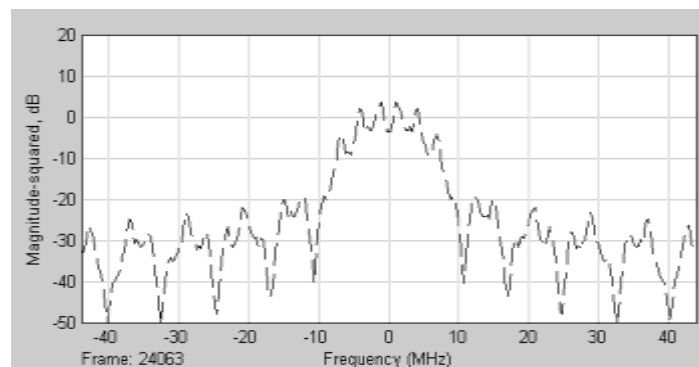


Figura 3.15. Máscara espectral de transmisión para 1 Mbps antes del canal

Se observa que el factor de ensanchamiento para la velocidad de 1 Mbps es de 11 ($11\text{Mbps}/1\text{Mbps} = 11$). El ancho de banda de la señal ensanchada es igual al ancho de banda de la señal a la salida de la etapa de BB, esto se debe a que DBPSK codifica la información para que cada bit de entrada represente un cambio relativo de fase.

3.2.8.2 Máscara espectral de transmisión para 2 Mbps

La máscara espectral de transmisión para los datos de usuario a una velocidad de 2 Mbps se muestra en la figura 3.16.

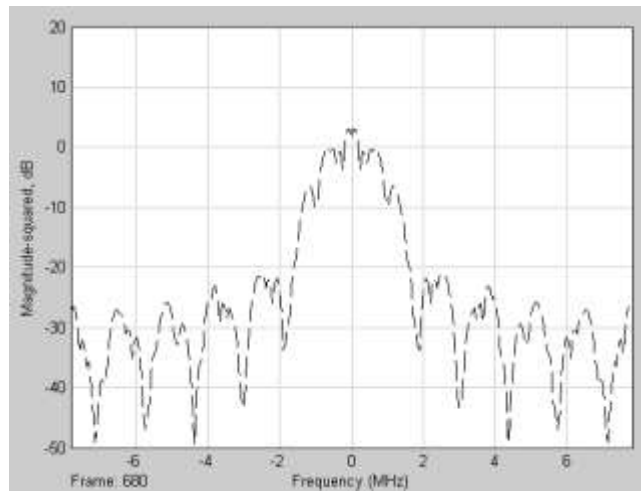


Figura 3.16. Máscara espectral de transmisión para los datos de usuario a 2 Mbps

En la figura 3.17 se observa que después del ensanchamiento el ancho de banda de la señal es de 44 MHz considerando la banda lateral imagen.

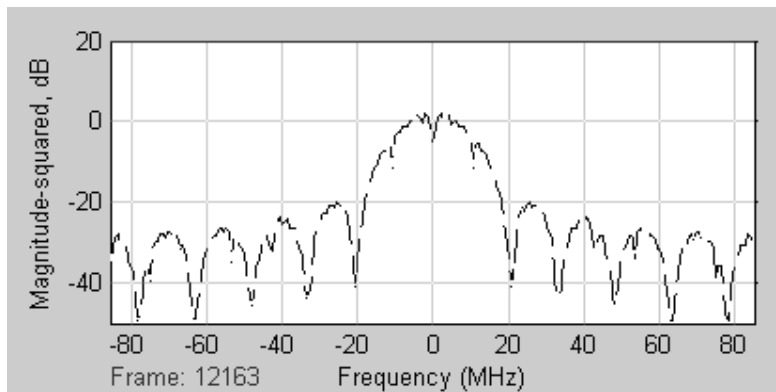


Figura 3.17. Máscara espectral de transmisión para la información a 2 Mbps después de ser ensanchada

Para visualizar la máscara espectral de transmisión se conecta el bloque “*Spectrum Scope*” a la salida del transmisor, se observa que el ancho de banda es igual a 22 MHz considerando la banda lateral imagen (figura 3.18).

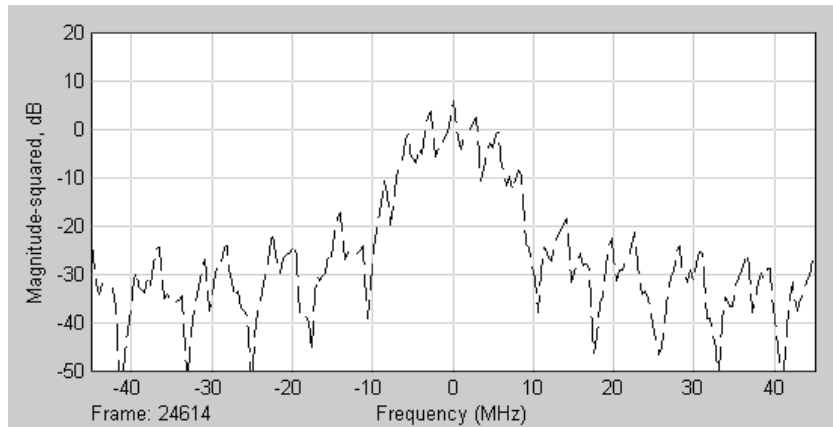


Figura 3.18. Máscara espectral de transmisión para 2 Mbps antes del canal

Se observa que el factor de ensanchamiento para la velocidad de 2 Mbps es de 5.5 ($11\text{Mbps}/2\text{Mbps} = 5.5$). A diferencia de 1Mbps, el ancho de banda de la señal ensanchada es el doble del ancho de banda de la señal a la salida de la etapa de BB, esto se debe a que DQPSK codifica la información para que cada 2 bits de entrada representen un cambio relativo de fase.

3.2.8.3 Máscara espectral de transmisión para 5.5 Mbps

La máscara espectral de transmisión para los datos de usuario a una velocidad de 5.5 Mbps se muestra en la figura 3.19.

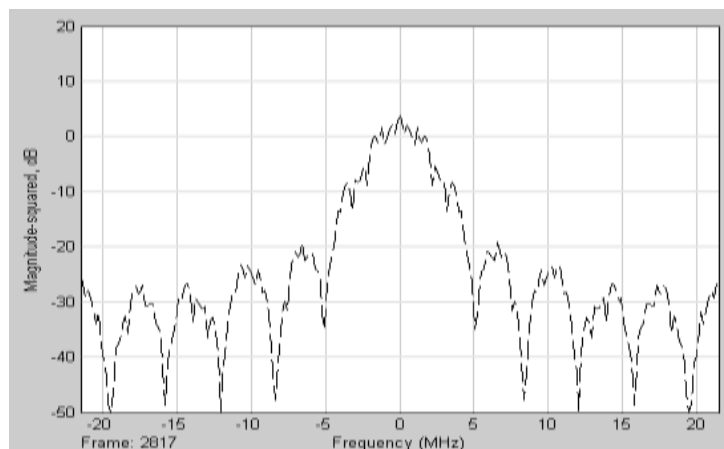


Figura 3.19. Máscara espectral de transmisión para los datos de usuario a 5.5 Mbps

Para visualizar la máscara espectral de transmisión se conecta el bloque “*Spectrum Scope*” a la salida del transmisor, se observa que el ancho de banda es igual a 22 MHz considerando la banda lateral imagen (figura 3.17).

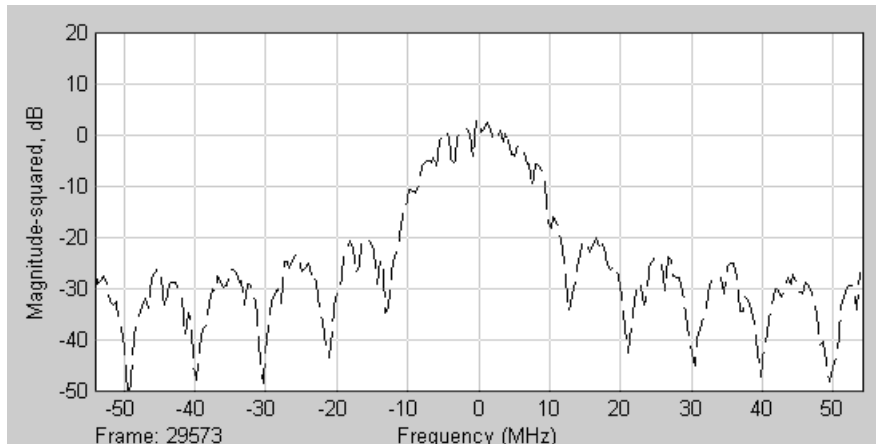


Figura 3.20. Máscara espectral de transmisión para 5.5 Mbps antes del canal

Se observa que el factor de ensanchamiento para la velocidad de 5.5 Mbps es de 2 ($11\text{Mbps}/5.5\text{Mbps} = 2$).

3.2.8.4 Máscara espectral de transmisión para 11 Mbps

La máscara espectral de transmisión para los datos de usuario a una velocidad de 11 Mbps se muestra en la figura 3.21.

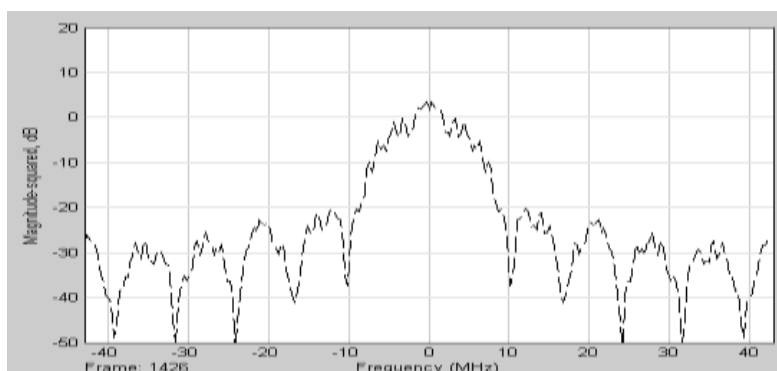


Figura 3.21. Máscara espectral de transmisión para los datos de usuario a 11 Mbps

Para visualizar la máscara espectral de transmisión se conecta el bloque “*Spectrum Scope*” a la salida del transmisor, se observa que el ancho de banda es igual a 22 MHz considerando la banda lateral imagen (figura 3.19).

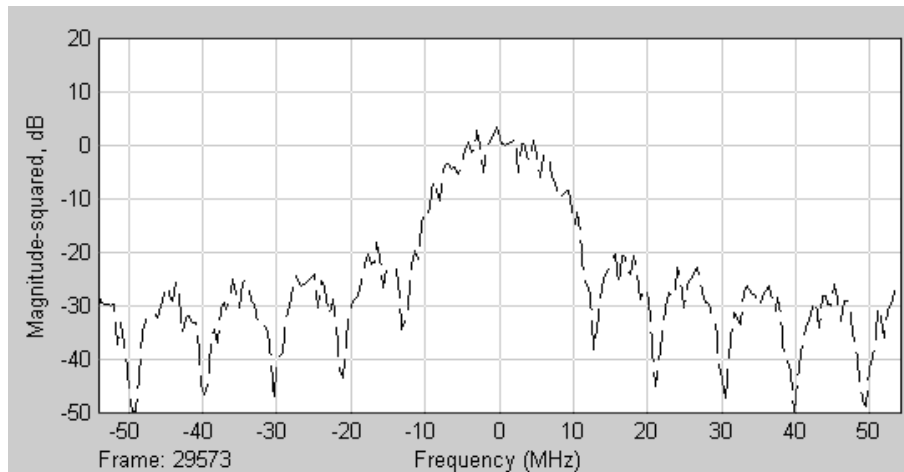


Figura 3.22. Máscara espectral de transmisión para 11 Mbps antes del canal

Se observa que el factor de ensanchamiento para la velocidad de 11 Mbps es de 1 ($11\text{Mbps}/11\text{Mbps} = 1$).

3.3 SUBSISTEMA MODELO DEL CANAL

En esta sección se analiza el cambio de las condiciones del canal de transmisión, representadas por el parámetro E_b/N_0 , y en los bits recibidos y procesados en el receptor para cada velocidad de transmisión.

3.3.1 Variación de la máscara espectral de transmisión por cambios en las condiciones del canal para 1Mbps y medición del BER

Observando las gráficas de la BER de la figura 3.75, se encuentra un nivel de umbral para la relación E_b/N_0 del canal para la cual la BER empieza a aumentar. Para el caso de 1 Mbps, el nivel de umbral de E_b/N_0 es aproximadamente de -3 dB. A continuación se analizan 3 casos: para -3 dB que es aproximadamente el

nivel de umbral; para 0 dB, que está 3 dB por encima del valor umbral y para -6 dB, que está 3 dB por debajo del valor umbral.

Eb/No = -3 dB

En la figura 3.23 se muestra la máscara espectral después del canal. En este caso la relación Eb/No es igual al nivel de umbral de -3dB, se observa que algunas frecuencias con niveles elevados de potencia con respecto a otras componentes han sido comprometidas por el nivel de ruido y se han perdido, ocasionando errores en la transmisión.

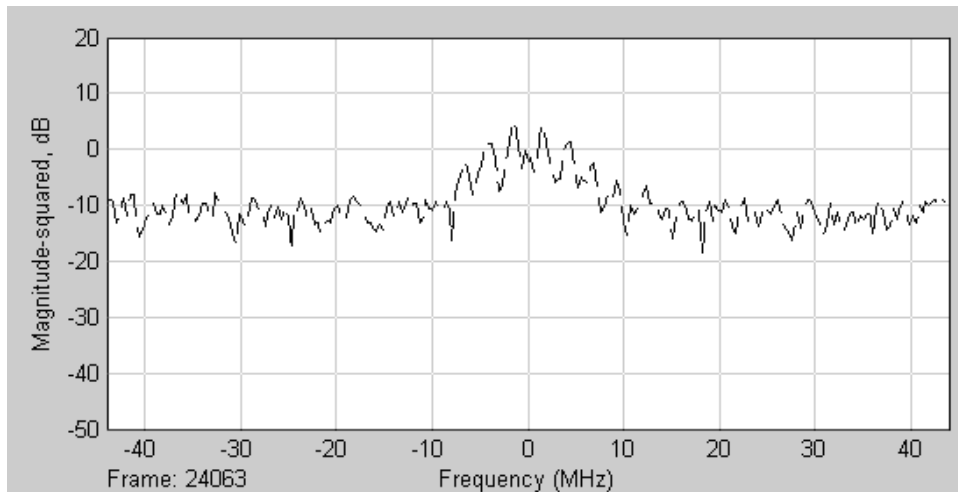


Figura 3.23. Máscara espectral de transmisión con Eb/No para -3 dB.

En la figura 3.24 se muestra la BER, la cantidad de bits transmitidos y la cantidad de errores para un Eb/No de -3 dB y una velocidad de transmisión de 1 Mbps. Se observa que por 40.960 bits transmitidos hay 37 bits erróneos, produciendo una BER de $0,9033 \times 10^{-6}$.

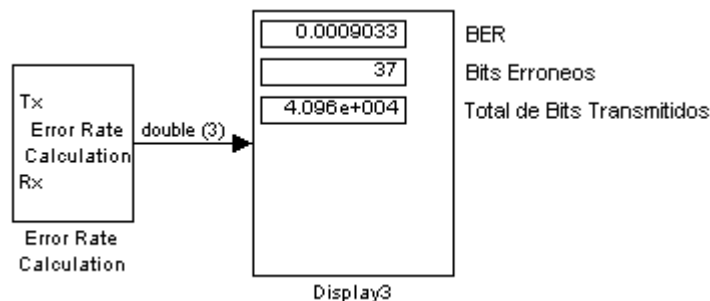


Figura 3.24. BER, cantidad de bits transmitidos y errores para Eb/No = -3 dB

$E_b/N_0 = 0$ dB

En la figura 3.25 se muestra la máscara espectral después del canal para una relación E_b/N_0 de 0 dB. En este caso la E_b/N_0 es el doble del valor umbral, se observa que las componentes de frecuencia con mayor potencia aun se conservan ocasionando que los datos puedan ser recuperados con alta exactitud y pocos errores.

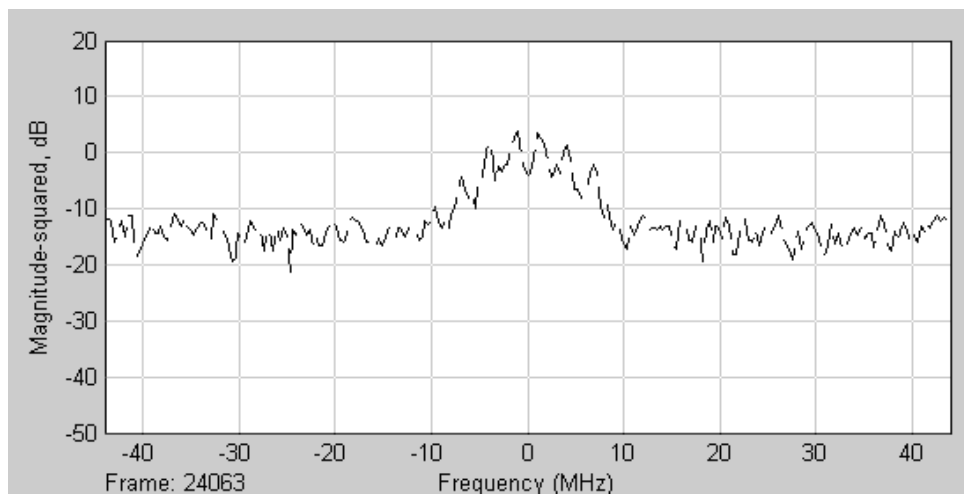


Figura 3.25. Máscara espectral de transmisión con E_b/N_0 para 0 dB.

En la figura 3.26 se muestra la BER, la cantidad de bits transmitidos y la cantidad de errores para un E_b/N_0 de 0 dB y una velocidad de transmisión de 1 Mbps. Se observa que por 40.960 bits transmitidos no hay bits erróneos, produciendo una BER de 0.

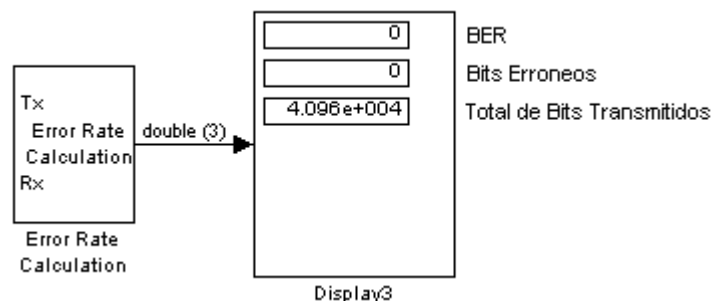


Figura 3.26. BER, cantidad de bits transmitidos y errores para $E_b/N_0 = 0$ dB

$E_b/N_0 = -6$ dB

En la figura 3.27 se muestra la máscara espectral después del canal con un E_b/N_0 para un E_b/N_0 de -6 dB. En este caso la E_b/N_0 es la mitad del valor umbral, se observa que la gran mayoría de las componentes de frecuencia con alta potencia han sido enmascaradas por el ruido, lo cual hace muy difícil recuperar la información transmitida.

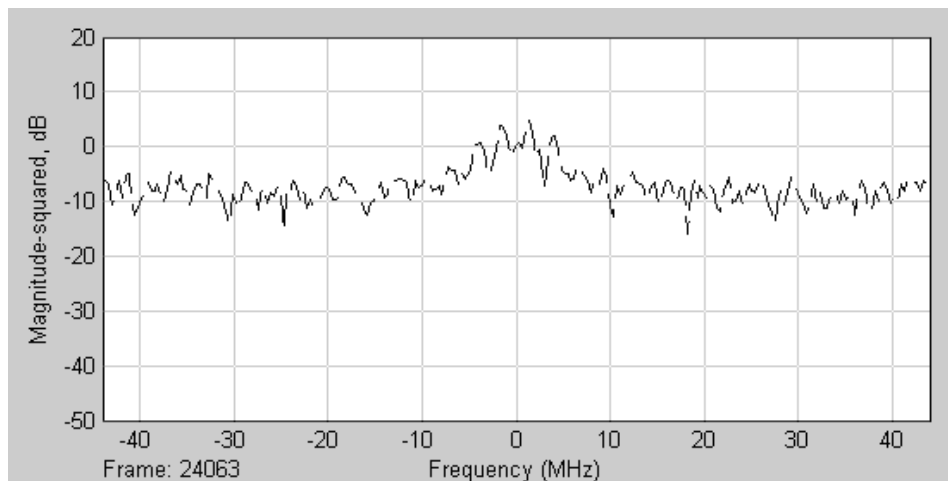


Figura 3.27. Máscara espectral de transmisión con E_b/N_0 para -6 dB.

En la figura 3.28 se muestra la BER, la cantidad de bits transmitidos y la cantidad de errores para un E_b/N_0 de 0 dB y una velocidad de transmisión de 1 Mbps. Se observa que la BER aumenta considerablemente, debido a que por 40.960 bits transmitidos hay 966 bits erróneos, produciendo una BER de 0,02358.

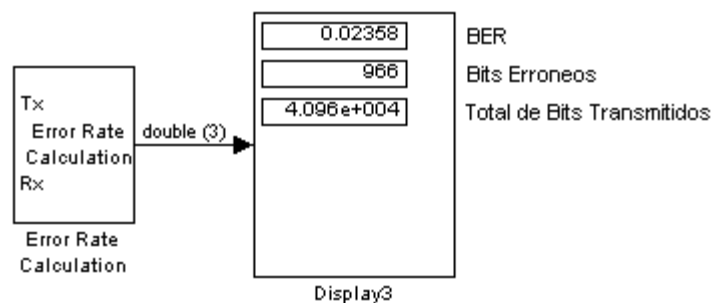


Figura 3.28. BER, cantidad de bits transmitidos y errores para $E_b/N_0 = -6$ dB

3.3.2 Variación de la máscara espectral de transmisión por cambios en las condiciones del canal para 2 Mbps y medición del BER

Observando la gráfica de la BER de la figura 3.77 se encuentra un nivel de umbral para la relación E_b/N_0 para la cual la BER empieza a aumentar. Para el caso de 2 Mbps, el nivel de umbral de E_b/N_0 es aproximadamente de 0 dB. A continuación se analizan 3 casos: para 0 dB que es aproximadamente el nivel de umbral; para 3 dB, que está 3 dB por encima del valor umbral y para -3 dB, que está 3 dB por debajo del valor umbral.

$E_b/N_0 = 0$ dB

En la figura 3.29 se muestra la máscara espectral después del canal para un E_b/N_0 igual al nivel de umbral de 0 dB, se observa que algunas componentes de frecuencia con niveles elevados de potencia con respecto a otras componentes han sido comprometidas por el nivel de ruido y se han perdido, ocasionando errores en la transmisión.

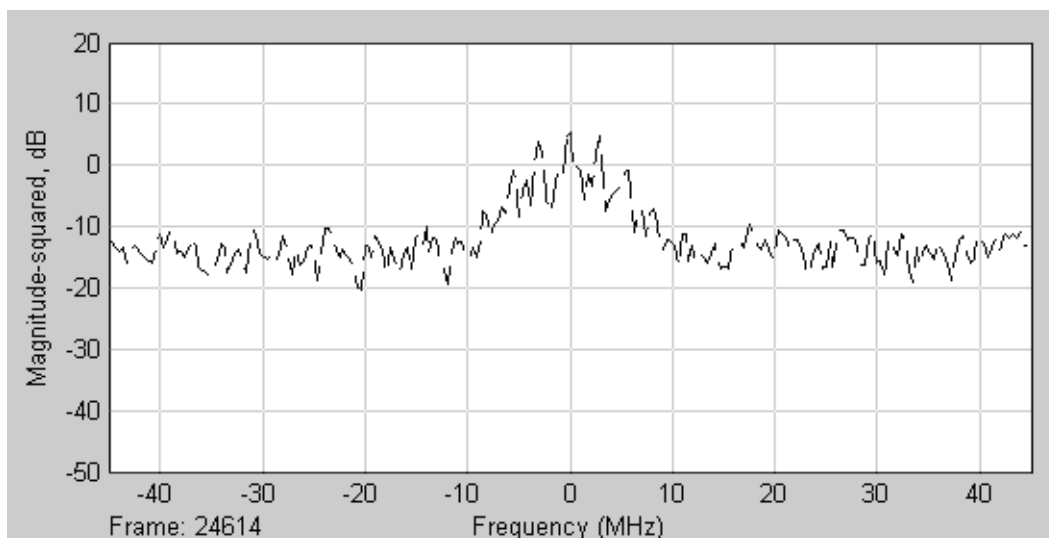


Figura 3.29. Máscara espectral de transmisión con E_b/N_0 para 0 dB.

En la figura 3.30 se muestra la BER, la cantidad de bits transmitidos y la cantidad de errores para una relación E_b/N_0 de 0 dB y una velocidad de transmisión de 2

Mbps. Se observa que por 106.500 bits transmitidos hay 44 bits erróneos, produciendo una BER de $0,4132 \times 10^{-3}$.

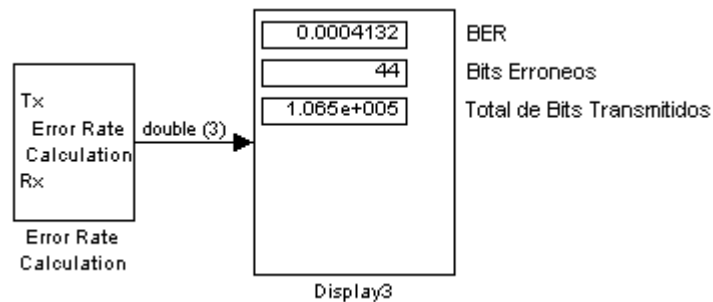


Figura 3.30. BER, cantidad de bits transmitidos y errores para $E_b/N_0 = 0$ dB

$E_b/N_0 = 3$ dB

En la figura 3.31 se muestra la máscara espectral después del canal para un E_b/N_0 de 3 dB. En este caso la relación E_b/N_0 es el doble del valor umbral. Se observa que los componentes de frecuencia con mayor potencia aun se conservan ocasionando que los datos puedan ser recuperados con gran exactitud y pocos errores.

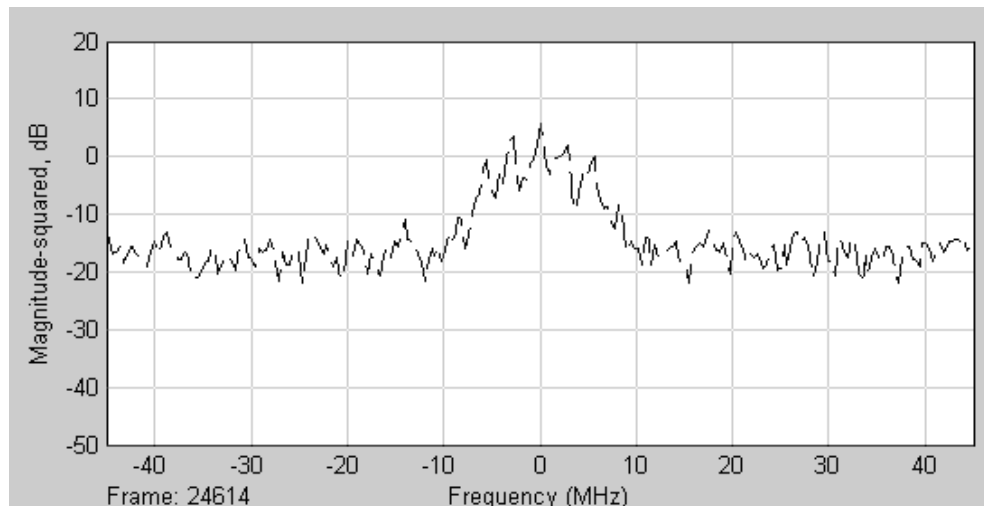


Figura 3.31. Máscara espectral de transmisión con E_b/N_0 para 3 dB.

En la figura 3.32 se muestra la BER, la cantidad de bits transmitidos y la cantidad de errores para un E_b/N_0 de 3 dB y una velocidad de transmisión de 2 Mbps. Se

observa que por 106.500 bits transmitidos no hay bits erróneos, produciendo una BER de 0.

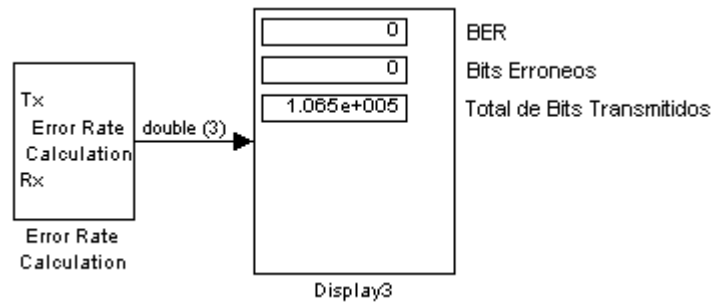


Figura 3.32. BER, cantidad de bits transmitidos y errores para $E_b/N_0 = 3$ dB

$E_b/N_0 = -3$ dB

En la figura 3.33 se muestra la máscara espectral después del canal para una relación E_b/N_0 de -3 dB. En este caso la E_b/N_0 es la mitad del valor umbral. Se observa que la gran mayoría de las componentes de frecuencia con alta potencia han sido enmascaradas por el ruido, lo cual hace muy difícil recuperar la información transmitida.

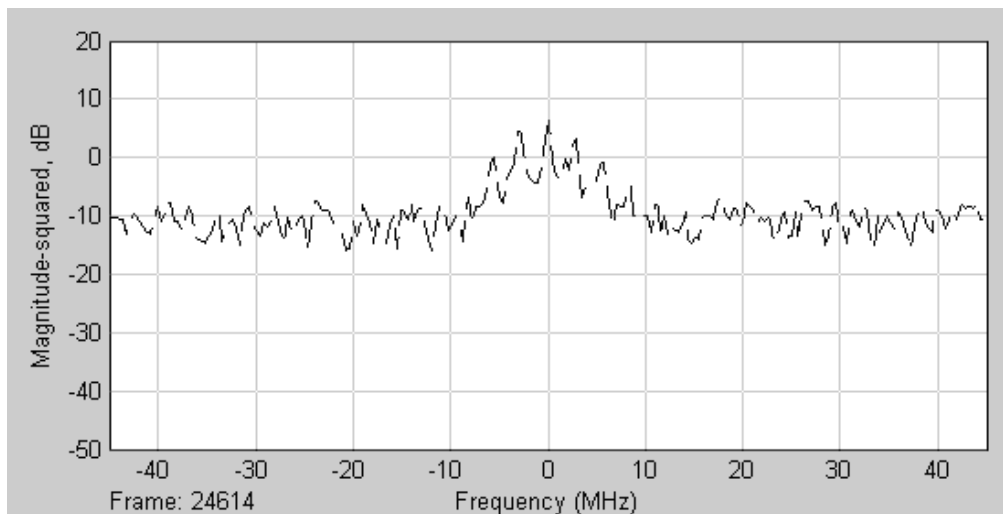


Figura 3.33. Máscara espectral de transmisión con E_b/N_0 para -3 dB.

En la figura 3.34 se muestra la BER, la cantidad de bits transmitidos y la cantidad de errores para una relación E_b/N_0 de -3 dB y una velocidad de transmisión de 2 Mbps. Se observa que la BER aumenta considerablemente, debido a que 106.500 bits transmitidos hay 1.392 bits erróneos, produciendo una BER de 0,01307.

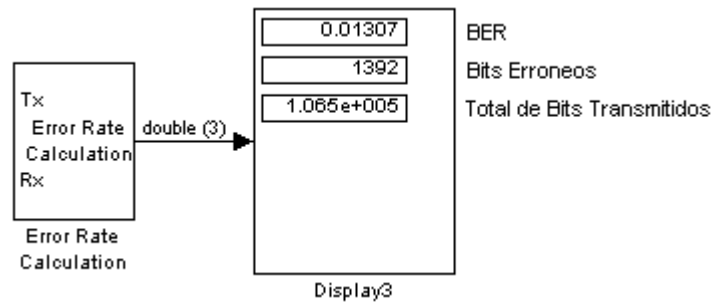


Figura 3.34. BER, cantidad de bits transmitidos y errores para $E_b/N_0 = -6$ dB

3.3.3 Variación de la máscara espectral de transmisión por cambios en las condiciones del canal para 5.5 Mbps y medición de la BER

Debido al tiempo de simulación en que se generaron las graficas de la BER de la figura 3.77, no se alcanza a observar el nivel de umbral para las velocidades de 5.5 y 11 Mbps; para estas dos velocidades se encuentra un nivel de umbral por ensayo y error variando la relación E_b/N_0 para el cual la BER empieza a aumentar. Para el caso de 5.5 Mbps, el nivel de umbral de E_b/N_0 es aproximadamente de 8 dB. A continuación se analizan 3 casos: para 8 dB que es aproximadamente el nivel de umbral; para 11 dB, que está 3 dB por encima del valor umbral y para 5 dB, que está 3 dB por debajo del valor umbral.

$E_b/N_0 = 8$ dB

En la figura 3.35 se muestra la Máscara espectral después del canal. En este caso la relación E_b/N_0 es igual al nivel de umbral de 8 dB, se observa que algunas componentes de frecuencia con niveles elevados de potencia han sido comprometidas por el nivel de ruido y se han perdido, ocasionando errores en la transmisión.

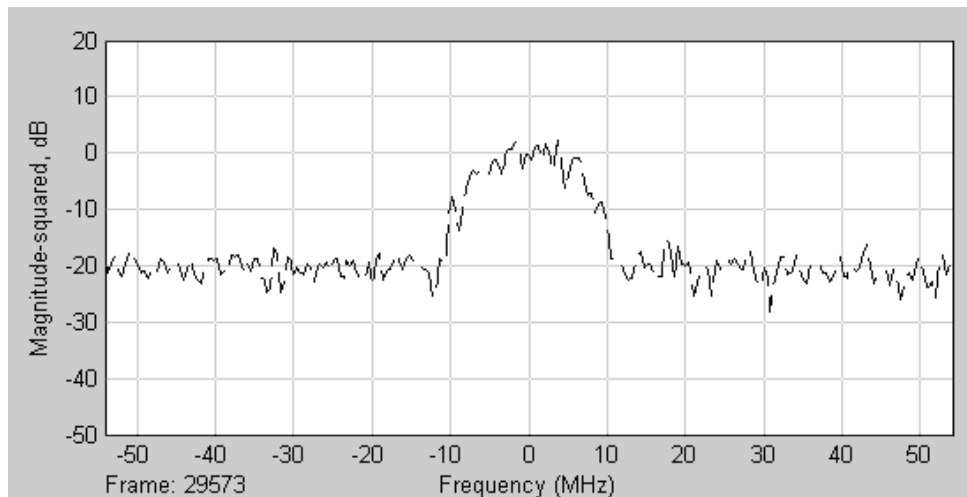


Figura 3.35. Máscara espectral de transmisión con E_b/N_0 para 8 dB.

En la figura 3.36 se muestra la BER, la cantidad de bits transmitidos y la cantidad de errores para una relación E_b/N_0 de 8 dB y una velocidad de transmisión de 5.5 Mbps. Se observa que por 360.400 bits transmitidos hay 85 bits erróneos, produciendo una BER de $0,2358 \times 10^{-3}$.

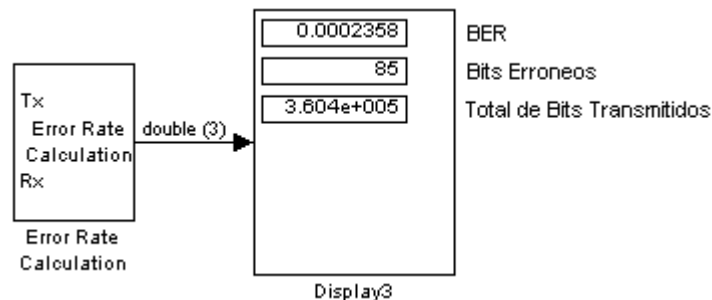


Figura 3.36. BER, cantidad de bits transmitidos y errores para $E_b/N_0 = 8$ dB

$E_b/N_0 = 11$ dB

En la figura 3.37 se muestra la máscara espectral después del canal para una relación E_b/N_0 de 11 dB. En este caso la E_b/N_0 es el doble del valor umbral, se observa que los componentes de frecuencia con mayor potencia aun se conservan ocasionando que los datos puedan ser recuperados con gran exactitud y pocos errores.

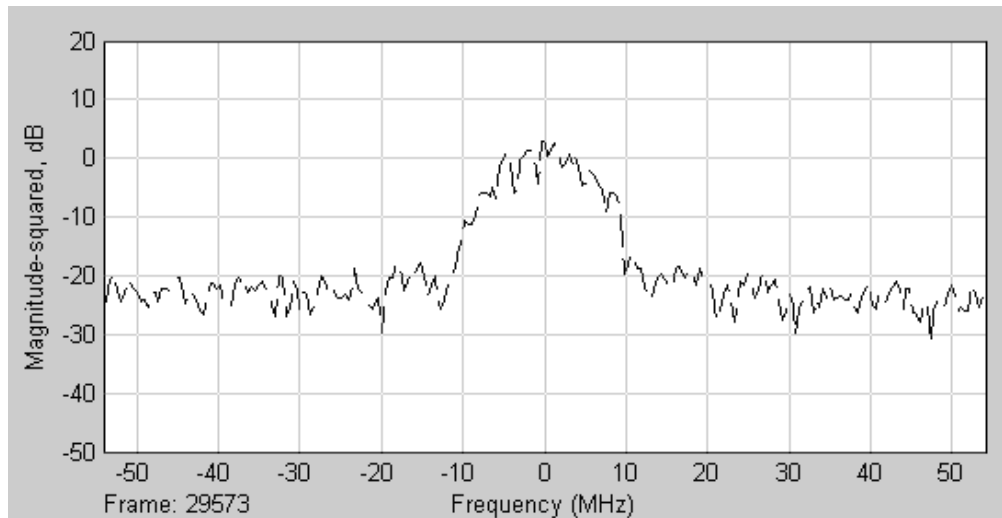


Figura 3.37. Máscara espectral de transmisión con E_b/N_0 para 11 dB.

En la figura 3.38 se muestra la BER, la cantidad de bits transmitidos y la cantidad de errores para un E_b/N_0 de 11 dB y una velocidad de transmisión de 5.5 Mbps. Se observa que por 360.400 bits transmitidos hay 1 bit erróneo, produciendo una BER de $2,774 \times 10^{-6}$.

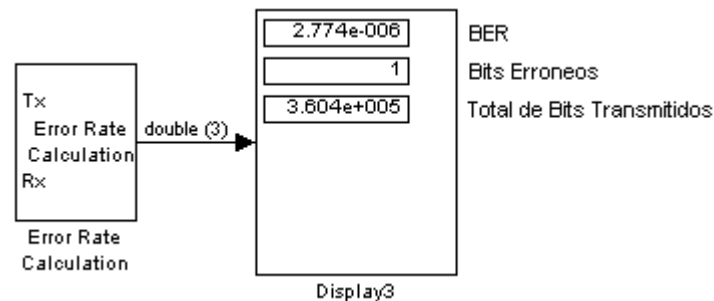


Figura 3.38. BER, cantidad de bits transmitidos y errores para $E_b/N_0 = 11$ dB

$E_b/N_0 = 5$ dB

En la figura 3.39 se muestra la máscara espectral recibida para un E_b/N_0 de 5 dB. En este caso la E_b/N_0 es la mitad del valor umbral, se observa que la gran mayoría de las componentes de frecuencia con alta potencia han sido enmascaradas por el ruido, lo cual hace muy difícil recuperar la información transmitida.

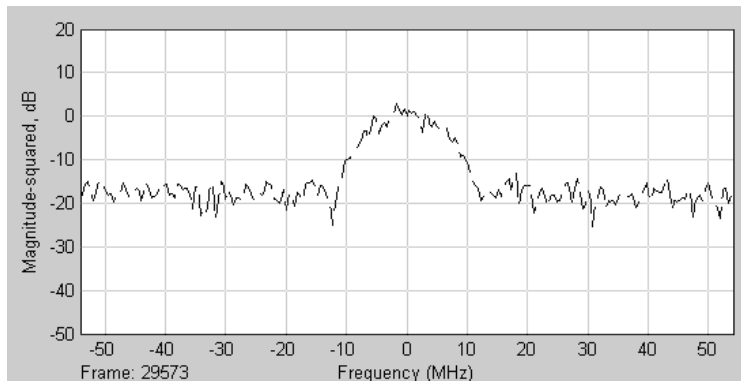


Figura 3.39. Máscara espectral de transmisión con E_b/N_0 para 5 dB.

En la figura 3.40 se muestra la BER, la cantidad de bits transmitidos y la cantidad de errores para una relación E_b/N_0 de 5 dB y una velocidad de transmisión de 5.5 Mbps. Se observa que la BER aumenta considerablemente. Se observa que por 360.400 bits transmitidos hay 1.968 bits erróneos, produciendo una BER de $5,46 \times 10^{-3}$.

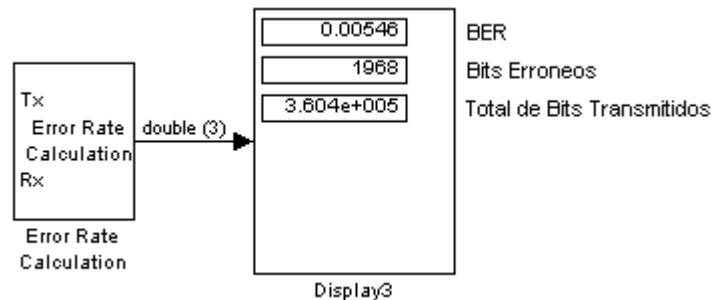


Figura 3.40. BER, cantidad de bits transmitidos y errores para $E_b/N_0 = 5$ dB

3.3.4 Variación de la máscara espectral de transmisión por cambios en las condiciones del canal para 11 Mbps y medición de la BER

Mediante ensayo y error, se encuentra un nivel de umbral para la relación E_b/N_0 para la cual la BER empieza a aumentar. Para el caso de 11 Mbps, el nivel de umbral de E_b/N_0 es aproximadamente de 8 dB. A continuación se analizan 3 casos: para 8 dB que es aproximadamente el nivel de umbral; para 11 dB, que

está 3 dB por encima del valor umbral y para 5 dB, que está 3 dB por debajo del valor umbral.

Eb/No = 8 dB

En la figura 3.41 se muestra la máscara espectral después del canal. En este caso la Eb/No es igual al nivel de umbral de 8 dB, se observa que algunas componentes de frecuencia con niveles elevados de potencia han sido comprometidas por el nivel de ruido y se han perdido, ocasionando errores en la transmisión.

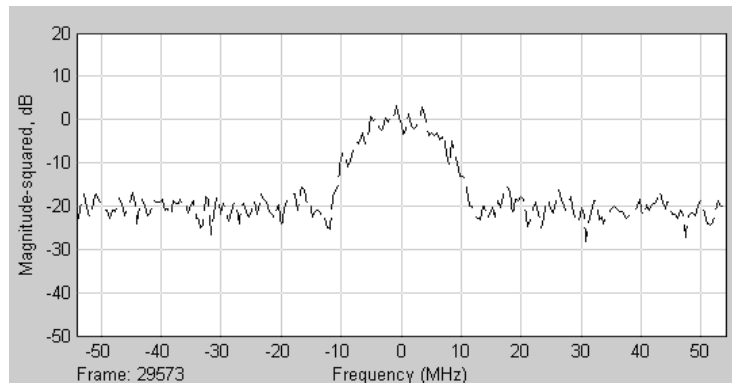


Figura 3.41 Máscara espectral de transmisión con Eb/No para 8 dB.

En la figura 3.42 se muestra la BER, la cantidad de bits transmitidos y la cantidad de errores para un Eb/No de 8 dB y una velocidad de transmisión de 11 Mbps. Se observa que por 720.900 bits transmitidos hay 376 bits erróneos, produciendo una BER de $0,5216 \times 10^{-3}$.

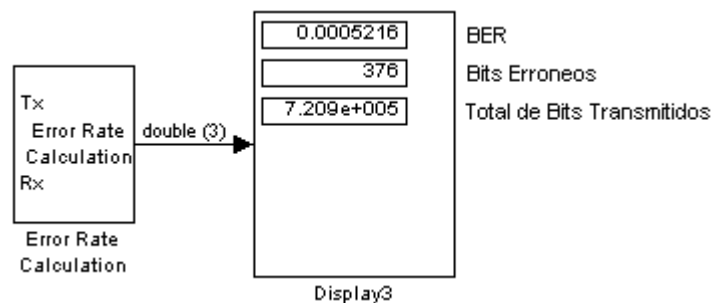


Figura 3.42. BER, cantidad de bits transmitidos y errores para Eb/No = 8 dB

Eb/No = 11 dB

En la figura 3.43 se muestra la máscara espectral después del canal para una relación de Eb/No de 11 dB. En este caso la Eb/No es el doble del valor umbral, se observa que los componentes de frecuencia con mayor potencia aun se conservan y es debido a esto que los datos pueden ser recuperados con alta exactitud y pocos errores.

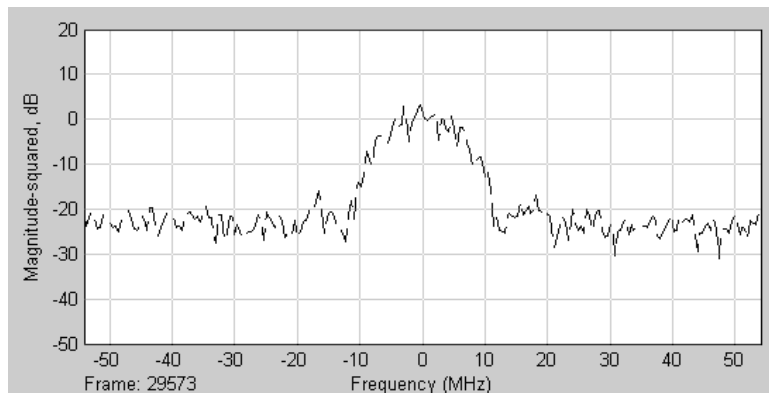


Figura 3.43. Máscara espectral de transmisión con Eb/No para 11 dB.

En la figura 3.44 se muestra la BER, la cantidad de bits transmitidos y la cantidad de errores para un Eb/No de 11 dB y una velocidad de transmisión de 11 Mbps. Se observa que por 720.900 bits transmitidos hay 1 bits erróneos, produciendo una BER de $1,387 \times 10^{-6}$.

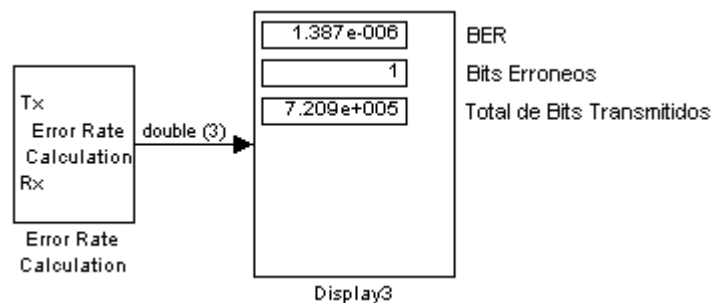


Figura 3.44. BER, cantidad de bits transmitidos y errores para Eb/No = 11 dB

Eb/No = 5 dB

En la figura 3.45 se muestra la máscara espectral para un E_b/N_0 de 5 dB. En este caso la E_b/N_0 es la mitad del valor umbral, se observa que la gran mayoría de las frecuencias con altas potencias han sido enmascaradas por el ruido, lo cual hace muy difícil poder recuperar la información transmitida.

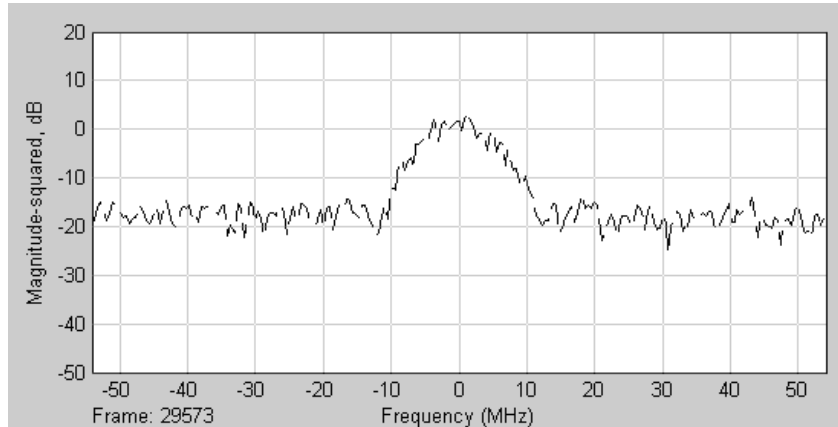


Figura 3.45. Máscara espectral de transmisión con E_b/N_0 para 5 dB.

En la figura 3.46 se muestra la BER, la cantidad de bits transmitidos y la cantidad de errores para un E_b/N_0 de 5 dB y una velocidad de transmisión de 11 Mbps. Se observa que la BER aumenta considerablemente, debido a que por 720.900 bits transmitidos hay 8.861 bits erróneos, produciendo una BER de 0,01229.

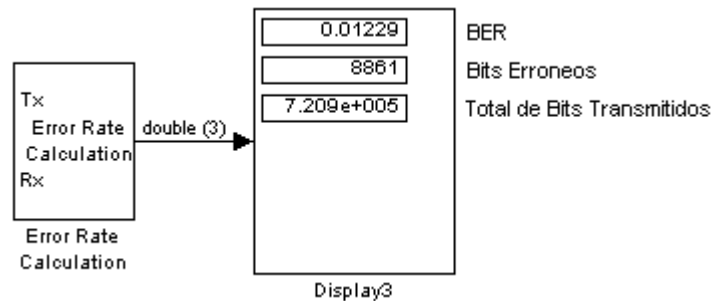


Figura 3.46. BER, cantidad de bits transmitidos y errores para $E_b/N_0 = 5$ dB

3.4 SUBSISTEMA RECEPTOR

Para las velocidades de 1 y 2 Mbps se realiza el desensanchamiento utilizando el código Barker. En las figuras 3.47 y 3.48 se muestran los valores obtenidos en un determinado instante de tiempo de los 11 chips que representan el símbolo que se transmitió, del código Barker y de los valores correspondientes al resultado de la operación XOR entre los 2 datos anteriores. Se observa que cuando el código

Barker es igual al símbolo que se transmitió, el resultado de la operación es 0, y cuando el símbolo es completamente diferente al código Barker el resultado de la operación es 1.

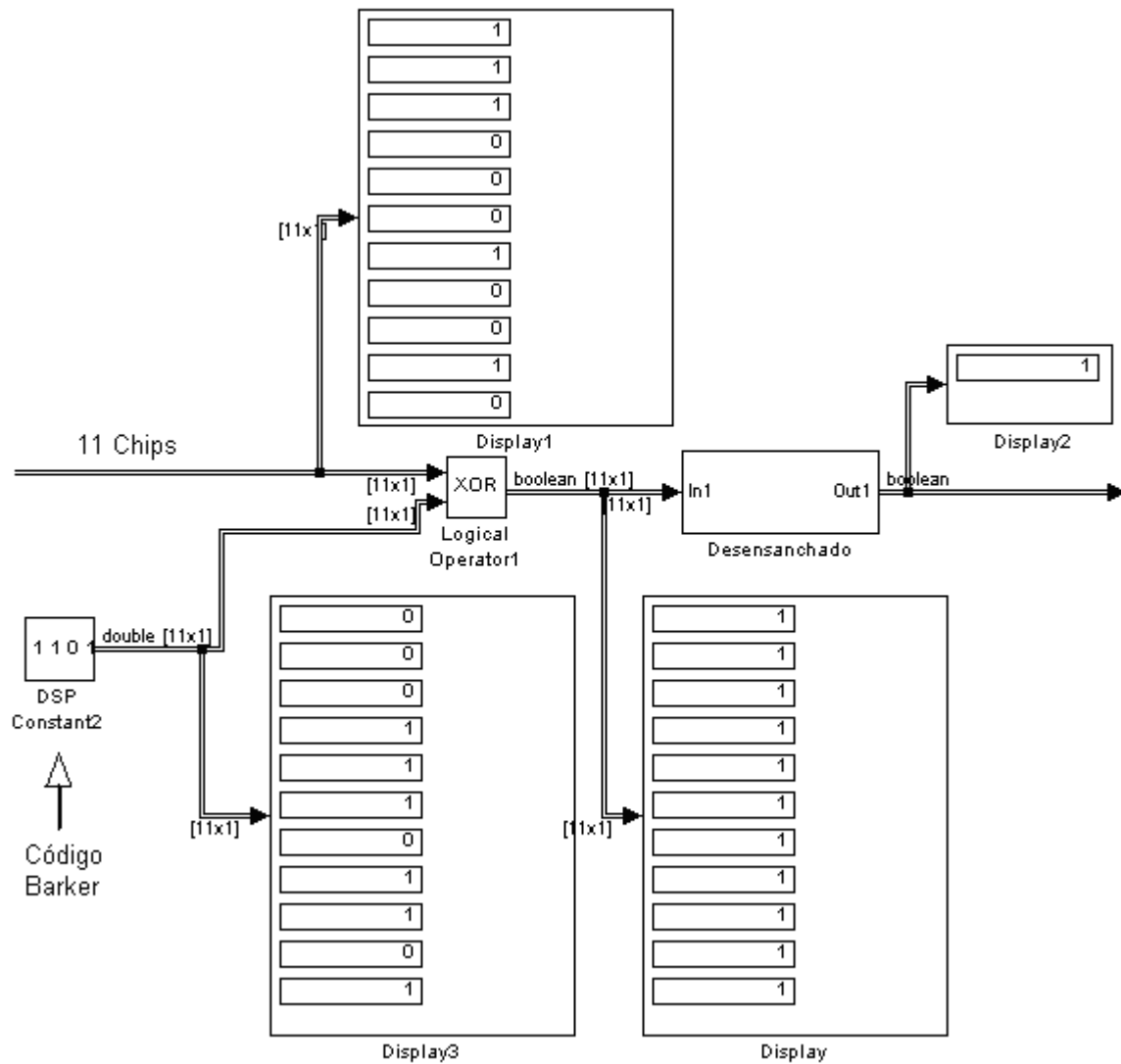


Figura 3.47. Operación XOR cuando el símbolo que se transmitió y el código Barker son diferentes.

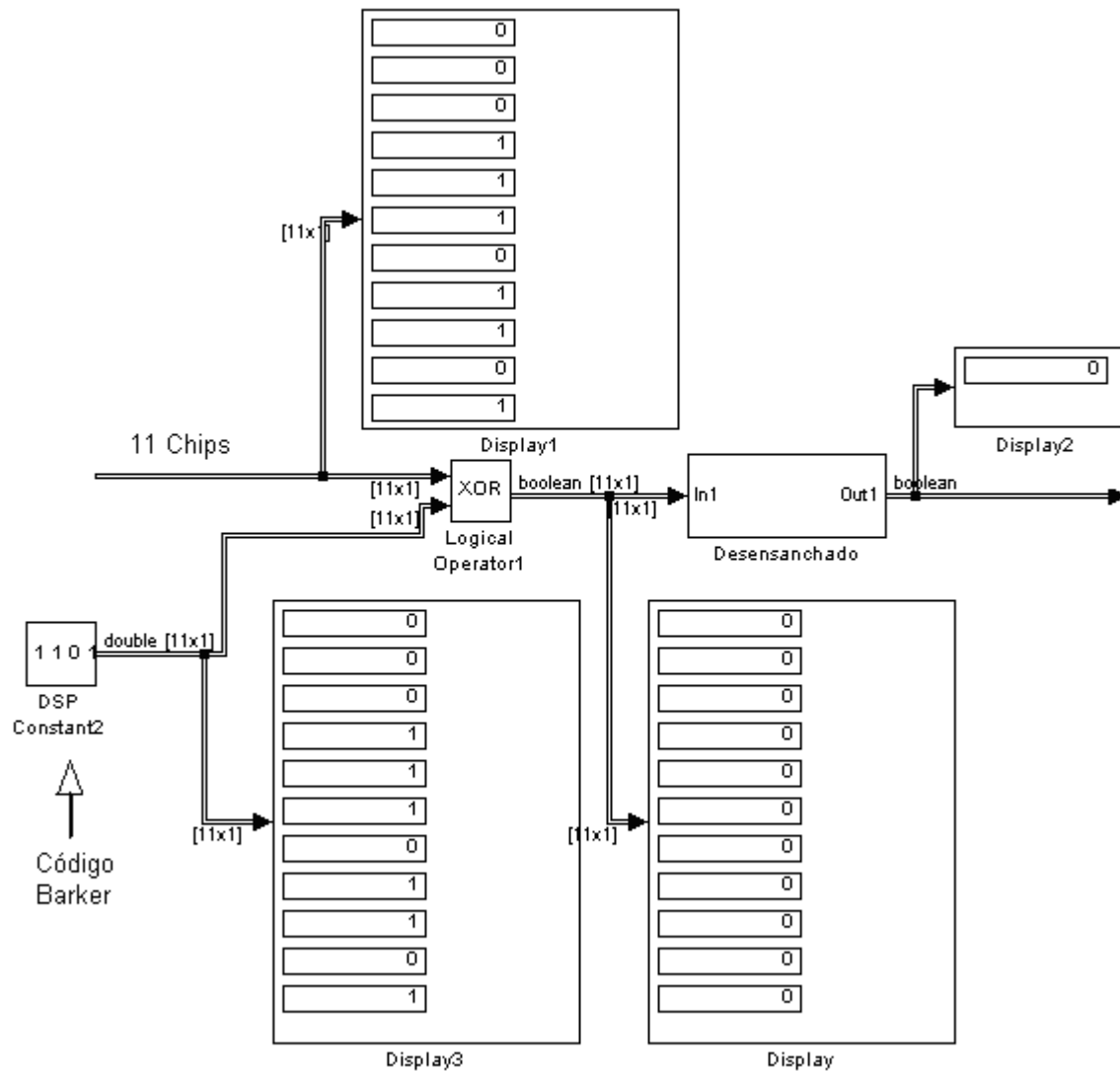


Figura 3.48. Operación XOR cuando el símbolo que se transmitió y el código Barker son iguales.

En las figuras 3.49 y 3.50 se muestran los valores que se obtuvieron en un determinado instante de tiempo de los 8 chips complejos que representan el símbolo que se transmitió, de los 4 valores de ϕ y de los valores correspondientes a los 4 o 8 bits (5.5 y 11 Mbps respectivamente) que se codificaron para ser enviados dependiendo de la velocidad de transmisión.

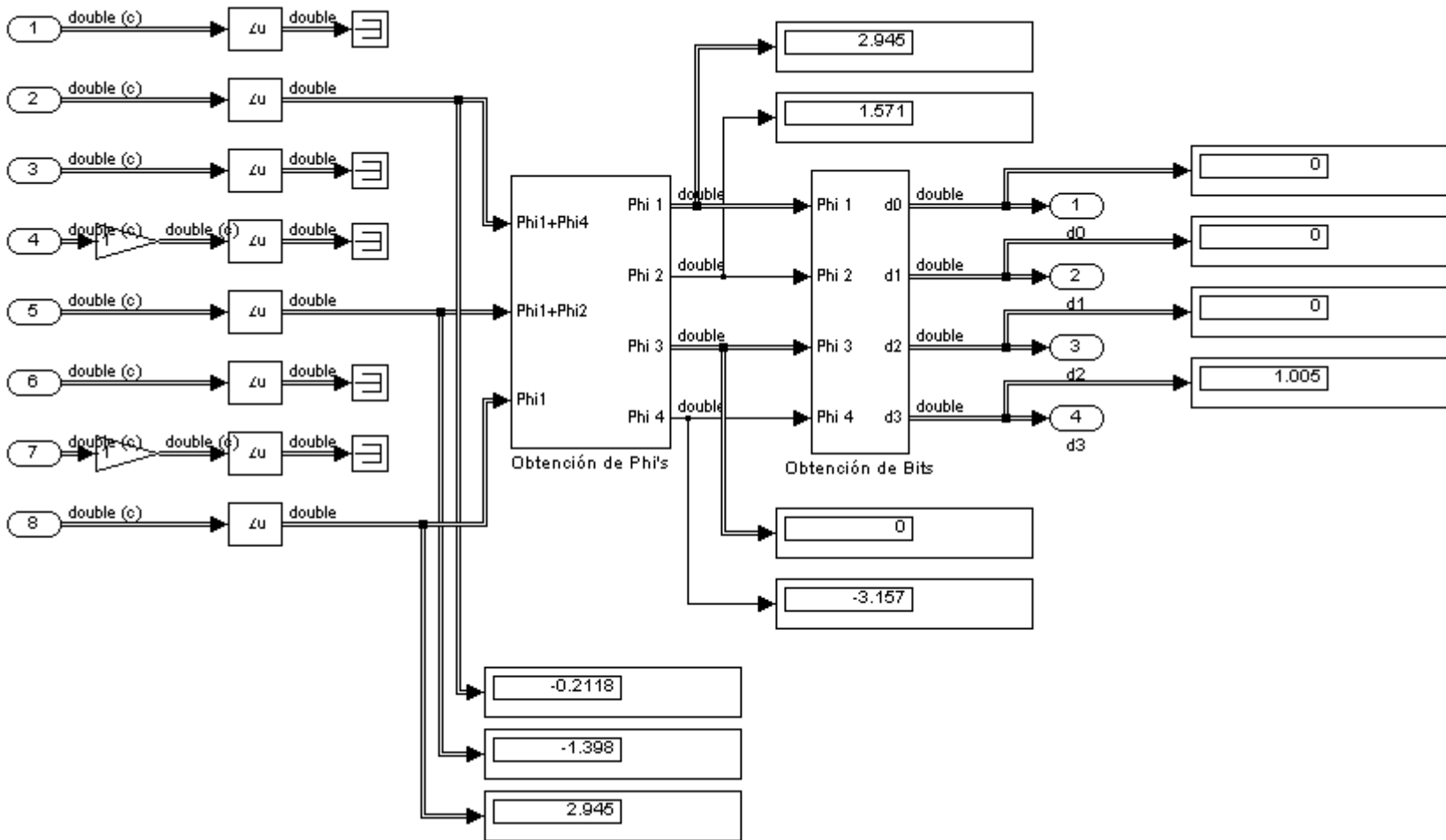


Figura 3.49. Demodulador-Desensanchador para 5.5 Mbps con despliegues para visualizar los datos que se están procesando.

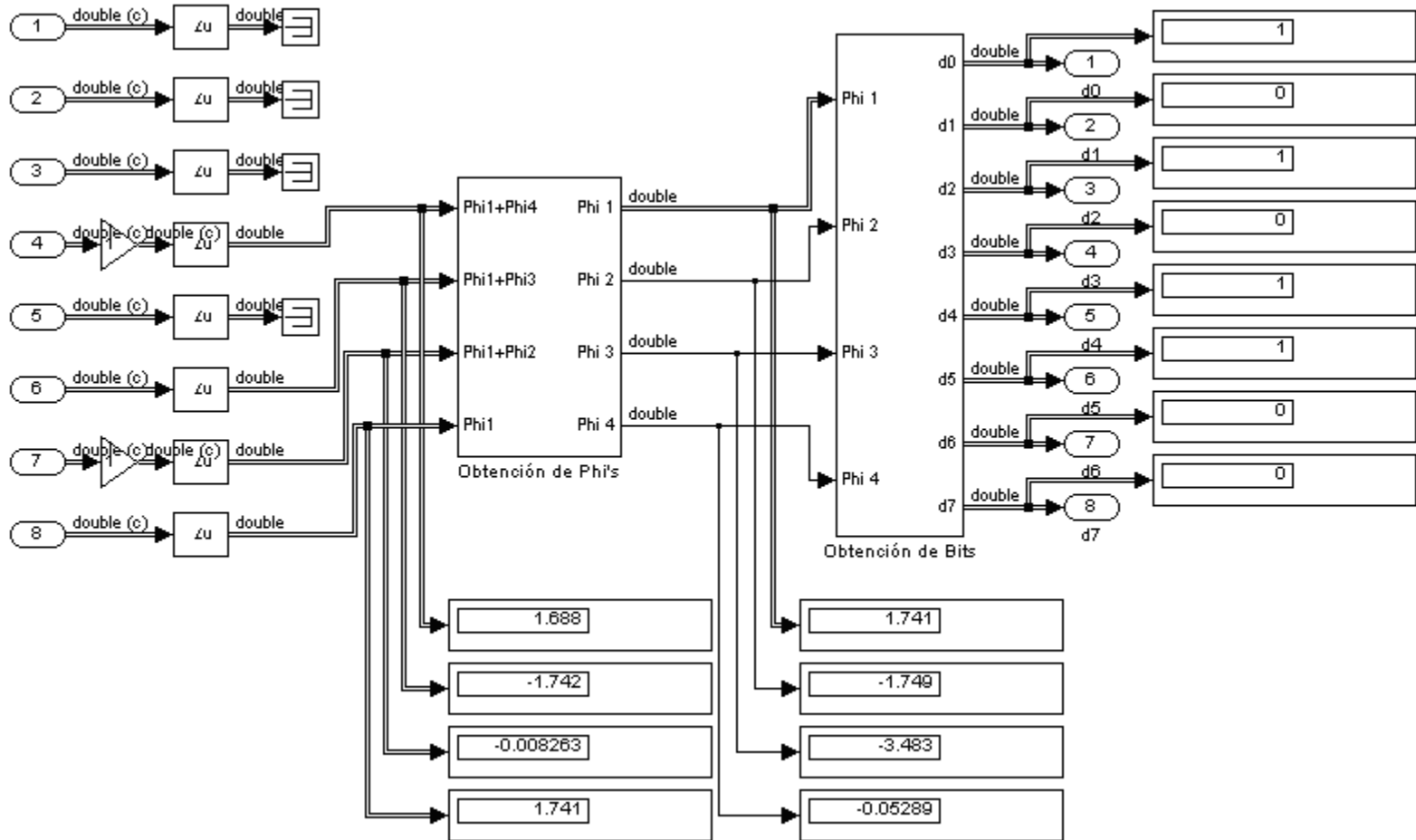


Figura 3.50. Demodulador-Desensanchador para 11 Mbps con despliegues para visualizar los datos que se están procesando.

Por medio del bloque "Discrete-Time Scatter Plot Scope" se muestran a continuación los diagramas de constelación, para cada velocidad de transmisión realizando una variación de la E_b/N_0 en el canal. El bloque se coloca a la entrada del subsistema receptor, después que la señal ha sido afectada por el canal.

3.4.1 Diagramas de constelación para 1 Mbps.

En las figuras 3.51 a 3.55 se observa el diagrama de constelación tomando como valores de -5, 0, 5, 10 y 15 de E_b/N_0 y una velocidad de transmisión de datos de 1 Mbps.

Los símbolos DBPSK recibidos se evalúan de forma visual mediante la utilización de diagramas de constelación en donde se observan los 2 puntos correspondientes a las 2 fases de la modulación DBPSK.

La figura 3.51 muestra la constelación de símbolos DBPSK donde puede observarse que la mayoría de símbolos cruzan el umbral de decisión (eje Q), generándose así una gran cantidad de bits erróneos.

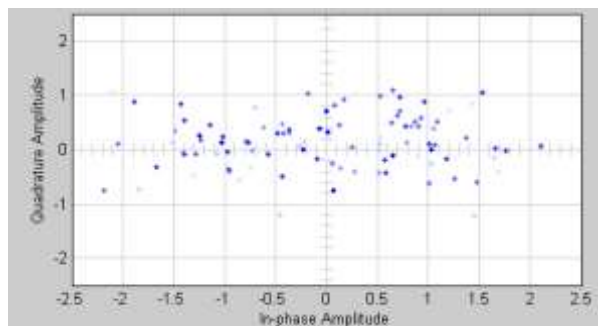


Figura 3.51. Constelación de símbolos para 1 Mbps con $E_b/N_0 = -5$ dB

En la figura 3.52 se muestra la constelación de símbolos DBPSK en la cual se observan desplazamientos de fase apreciables y que la mayoría de los símbolos están cerca del umbral de decisión (eje Q) lo cual se traduce en posibles errores en la decodificación diferencial y por ende en los bits recibidos

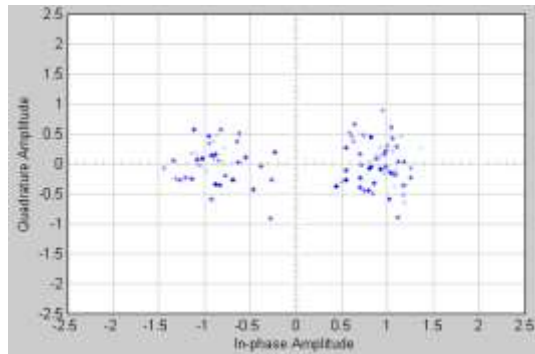


Figura 3.52. Constelación de símbolos para 1 Mbps con $E_b/N_0 = 0$ dB

En las figuras 3.53, 3.54 y 3.55, a medida que se van mejorando las condiciones del canal se puede observar que la respuesta del sistema es casi perfecta, y los símbolos DBPSK tienen una de las 2 fases posibles sin mayores desplazamientos.

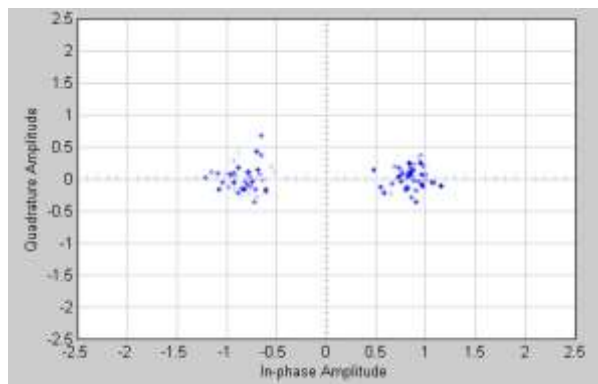


Figura 3.53. Constelación de símbolos para 1 Mbps con $E_b/N_0 = 5$ dB

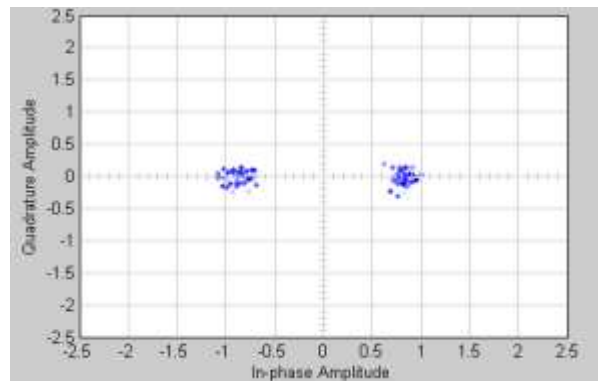


Figura 3.54. Constelación de símbolos para 1 Mbps con $E_b/N_0 = 10$ dB

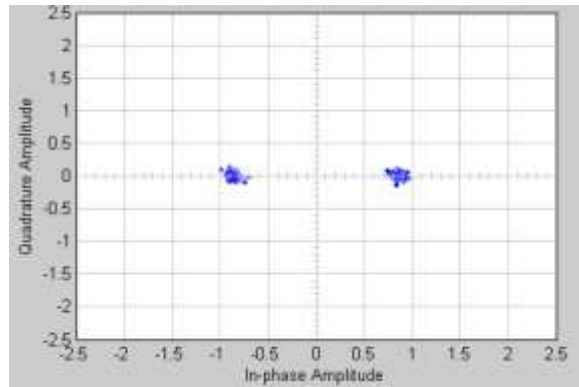


Figura 3.55. Constelación de símbolos para 1 Mbps con $E_b/N_0 = 15$ dB

3.4.2 Diagramas de constelación para 2 Mbps.

En las figuras 3.56 a 3.60 se observan los diagramas de constelación tomando como valores -5, 0, 5, 10 y 15 para E_b/N_0 y una velocidad de transmisión de datos de 2 Mbps.

Los símbolos DQPSK recibidos se evalúan de forma visual mediante la utilización de diagramas de constelación en donde se observan los 4 puntos correspondientes a las 4 fases de la modulación DQPSK.

La figura 3.56 muestra la constelación de símbolos DQPSK en donde puede observarse que la mayoría de puntos cruzan el umbral de decisión (en los ejes I y Q), generándose así una gran cantidad de bits erróneos.

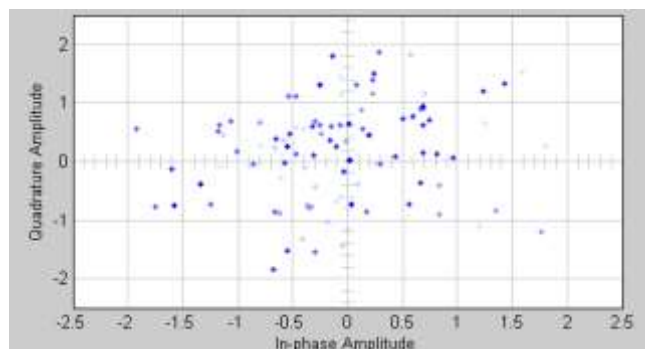


Figura 3.56. Constelación de símbolos para 2 Mbps con $E_b/N_0 = -5$ dB

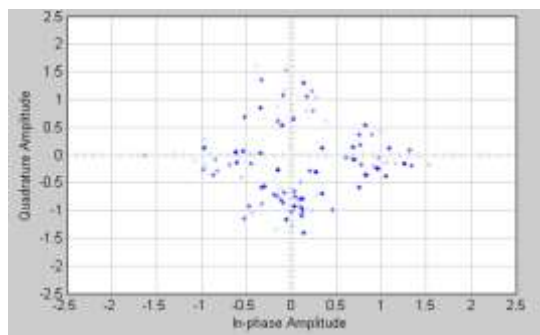


Figura 3.57. Constelación de símbolos para 2 Mbps con $E_b/N_0 = 0$ dB

En la figura 3.57 se muestra la constelación de símbolos DQPSK en donde puede observarse que los desplazamientos de fase son apreciables y que la mayoría de los puntos están cerca de los umbrales de decisión, lo cual traduce en posibles errores en la modulación y por ende en los bits recibidos

En las figuras 3.58, 3.59 y 3.60, a medida que se van mejorando las condiciones del canal se puede observar que la respuesta del sistema es casi perfecta, y los símbolos DQPSK tienen una de las 4 fases posibles sin mayores desplazamientos.

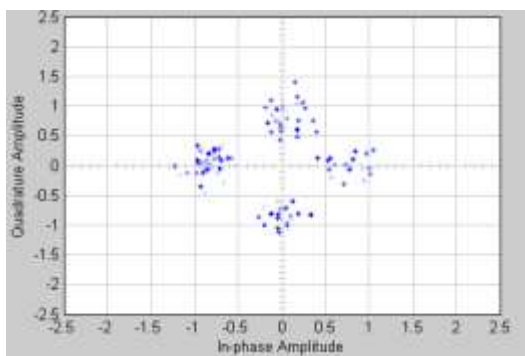


Figura 3.58. Constelación de símbolos para 2 Mbps con $E_b/N_0 = 5$ dB

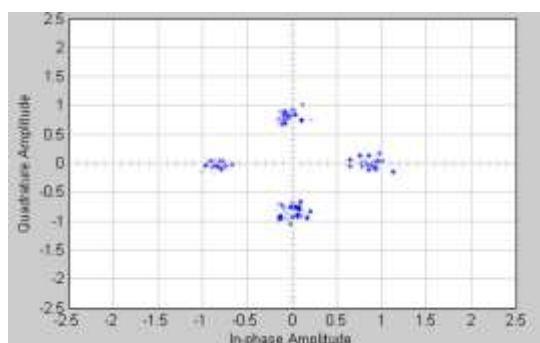


Figura 3.59. Constelación de símbolos para 2 Mbps con $E_b/N_0 = 10$ dB

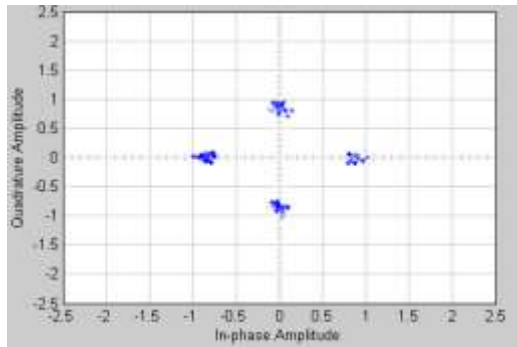


Figura 3.60. Constelación de símbolos para 2 Mbps con $E_b/N_0 = 15$ dB

3.4.3 Diagramas de constelación para 5.5 Mbps.

En las figuras 3.61 a 3.65 se observan los diagramas de constelación para valores de la relación E_b/N_0 de -5, 0, 5, 10 y 15 para una velocidad de transmisión de datos de 5.5 Mbps.

En la figura 3.61 se observa que para un E_b/N_0 de -5db la mayoría de los puntos cruzan los umbrales de decisión (ejes I y Q) ocasionando que la respuesta del sistema no sea la más adecuada para la transmisión de datos debido al aumento de bits erróneos.

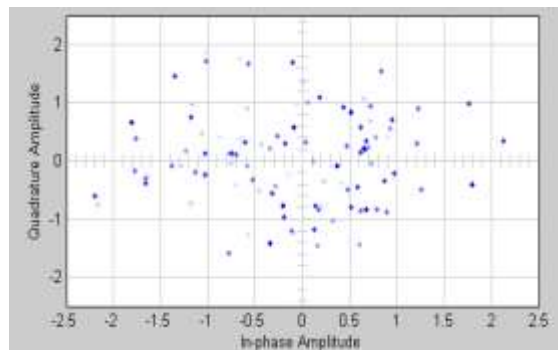


Figura 3.61. Constelación de símbolos para 5.5 Mbps con $E_b/N_0 = -5$ dB

En la figura 3.62 se muestran los cambios de fase producido por la codificación CCK en la cual se observa que los desplazamientos de fase son apreciables y que la mayoría de los símbolos están cerca de los umbrales de decisión, lo cual traduce en posibles errores en la decodificación y por ende en los bits recibidos

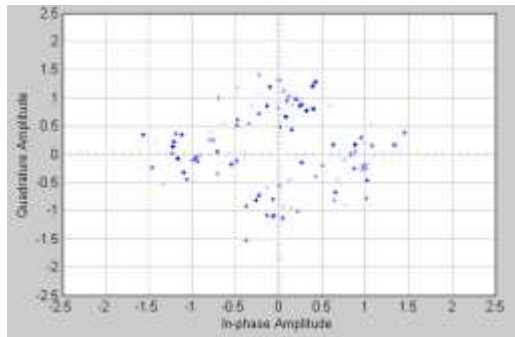


Figura 3.62. Constelación de símbolos para 5.5 Mbps con $E_b/N_0 = 0$ dB

En las figuras 3.63, 3.64 y 3.65, a medida que se mejoran las condiciones del canal se observa que la respuesta del sistema es casi perfecta, y los puntos tienen una de las 4 fases posibles sin mayores desplazamientos.

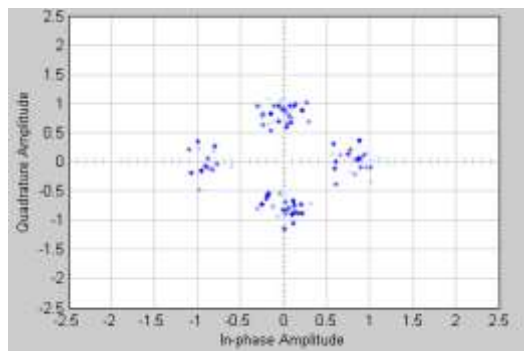


Figura 3.63. Constelación de símbolos para 5.5 Mbps con $E_b/N_0 = 5$ dB

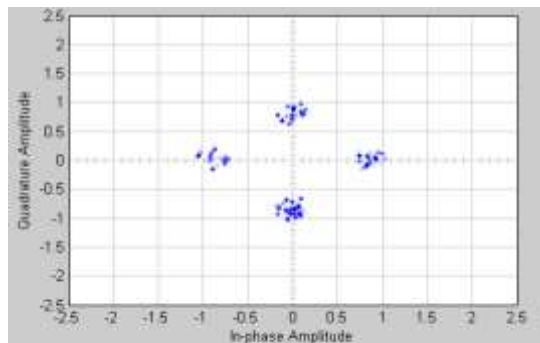


Figura 3.64. Constelación de símbolos para 5.5 Mbps con $E_b/N_0 = 10$ dB

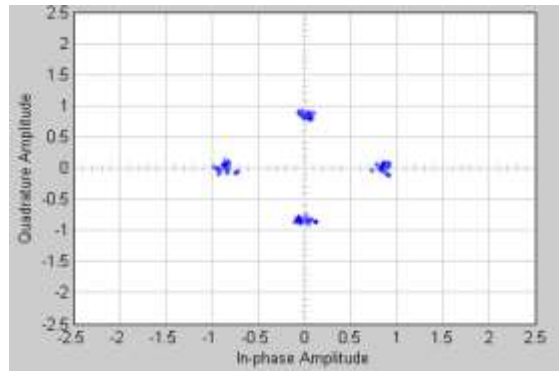


Figura 3.65. Constelación de símbolos para 5.5 Mbps con $E_b/N_0 = 15 \text{ Db}$

3.4.4 Diagramas de constelación para 11 Mbps.

En las figuras 3.66 a 3.70 se observan los diagramas de constelación tomando como valores -5, 0, 5, 10 y 15 para E_b/N_0 y una velocidad de transmisión de datos de 11 Mbps.

En la figura 3.66 se observa que para un E_b/N_0 de -5db la mayoría de símbolos cruzan el nivel de decisión (en los ejes I y Q), la respuesta del sistema no sería la más adecuada para la transmisión de datos, ocasionando que los bits erróneos aumenten considerablemente.

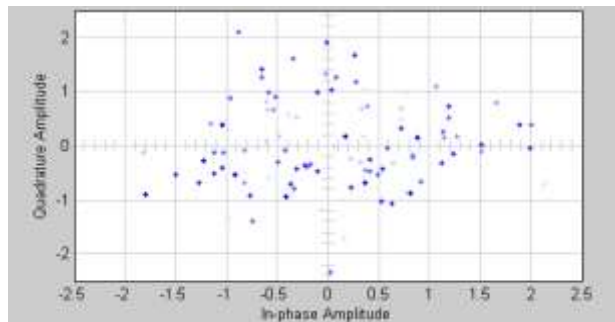


Figura 3.66. Constelación de símbolos para 11 Mbps con $E_b/N_0 = -5 \text{ dB}$

En la figura 3.67, con el incremento de E_b/N_0 , se muestra que los desplazamientos de fase son apreciables y que la mayoría de los puntos están cerca de los umbrales de decisión, lo cual traduce en posibles errores en la decodificación y por ende en los bits recibidos

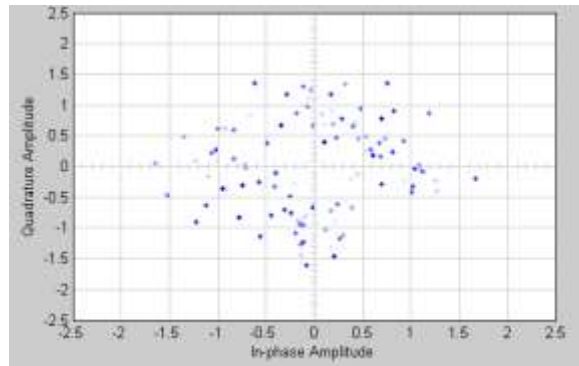


Figura 3.67. Constelación de símbolos para 11 Mbps con $E_b/N_0 = 0$ dB

En las figuras 3.68, 3.69 y 3.70, a medida que se mejoran las condiciones del canal se observa que la respuesta del sistema es casi perfecta, y los símbolos tienen una de las 4 fases posibles sin mayores desplazamientos.

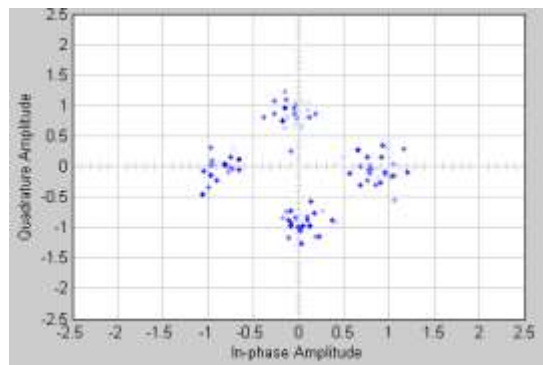


Figura 3.68 Constelación de símbolos para 11 Mbps con $E_b/N_0 = 5$ dB

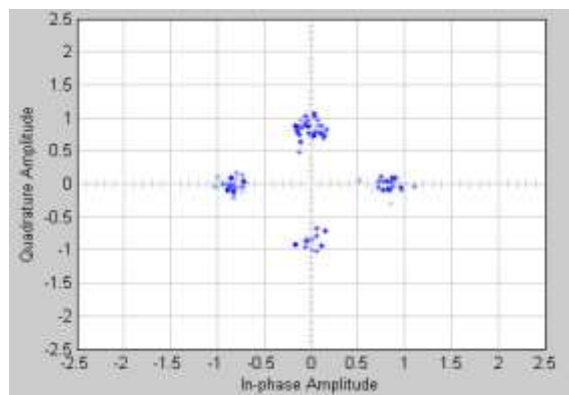


Figura 3.69. Constelación de símbolos para 11 Mbps con $E_b/N_0 = 10$ dB

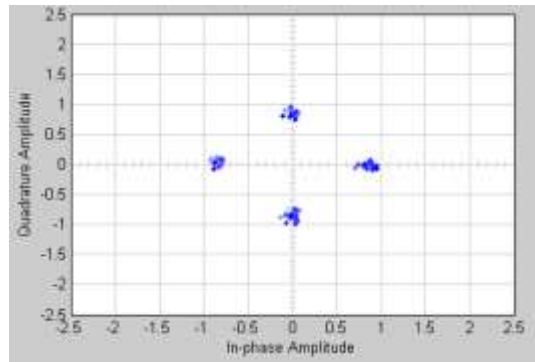


Figura 3.70. Constelación de símbolos para 11 Mbps con $E_b/N_0 = 15$ dB

3.4.5 Comparación de los datos recibidos.

En las figuras 3.71 y 3.72 se muestra un ejemplo en el cual los datos transmitidos y recibidos son iguales, el ejemplo se realizó para una velocidad de transmisión de 1Mbps y se tomo un valor de E_b/N_0 de 5 dB.

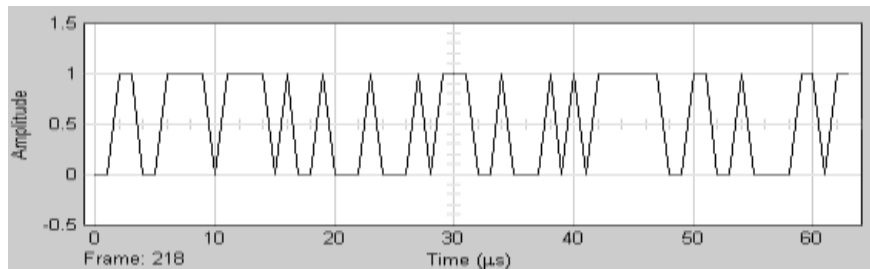


Figura 3.71. Bits transmitidos

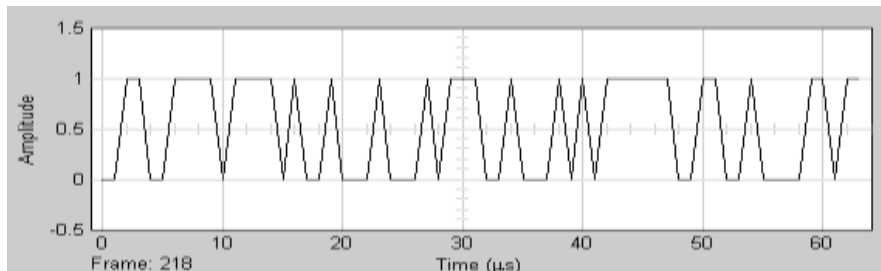


Figura 3.72. Bits recibidos

En la figura 3.73 se muestra que no hay errores en la transmisión.

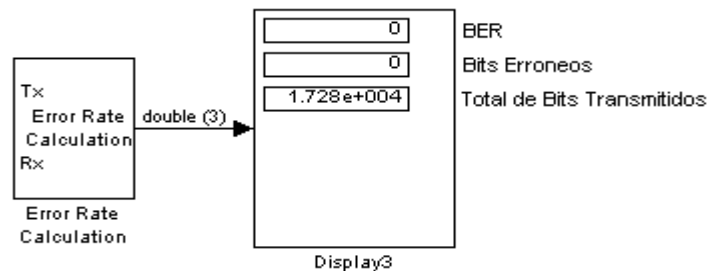


Figura 3.73. BER para un E_b/N_0 de 5dB y una velocidad de 1 Mbps

En las figuras 3.74 y 3.75 se muestra un ejemplo que presenta diferencia entre los datos transmitidos y recibidos, el ejemplo se realizó para una velocidad de transmisión de 1Mbps y se tomo un valor de Eb/No de -10 dB.

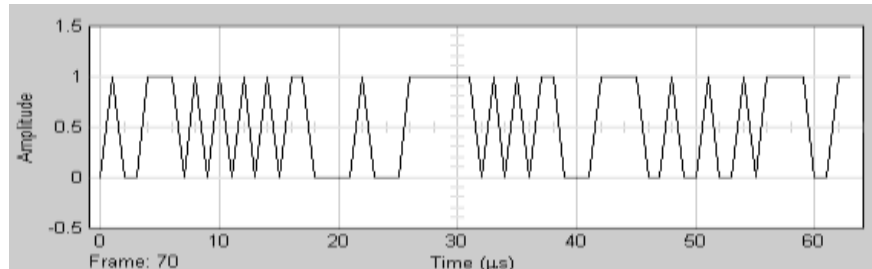


Figura 3.74. Bits transmitidos

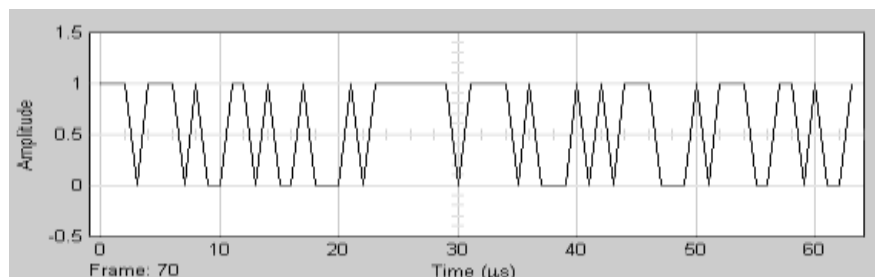


Figura 3.75. Bits recibidos

En la figura 3.76 se muestra que la BER aumenta, como consecuencia de los cambios en las condiciones del canal.

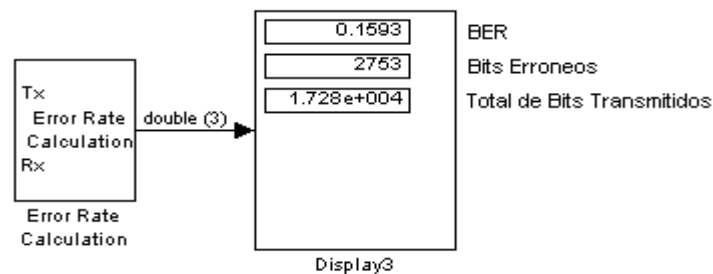


Figura 3.76. BER para un Eb/No de -10dB y una velocidad de 1 Mbps

3.4.6 Curvas de medición de la BER.

Para cada una de las velocidades de transmisión (1 Mbps, 2 Mbps, 5.5 Mbps y 11 Mbps) se generaron las curvas que relacionan la BER y la relación energía de bit a densidad de ruido (Eb/No), teniendo en cuenta diferentes condiciones en el canal de transmisión (Figura 3.77). Para obtener las curvas del BER se utiliza el siguiente código:

```

clear results;
modelName='principal';
Modes={'1 Mbps','2 Mbps','5.5 Mbps','11 Mbps'};
rango = -15:2:5;
for Mode=1:length(Modes)
    disp(['Testing Mode: ' Modes{Mode}])
    set_param([modelName '/Subsystem'],'ttd',Modes{Mode})
    for i = 1:length(rango)
        EbNo = rango(i);
        disp(['EbNo=' num2str(EbNo)])
        sim(modelName)
        results(i,Mode) = BER;
    end
end

semilogy(rango,flipI(results),'*-'); grid;
title('BER v EbNo');
xlabel('EbNo');
ylabel('BER');
legend(char(flipI(Modes)));

```

El código anterior fue tomado y modificado de [10].

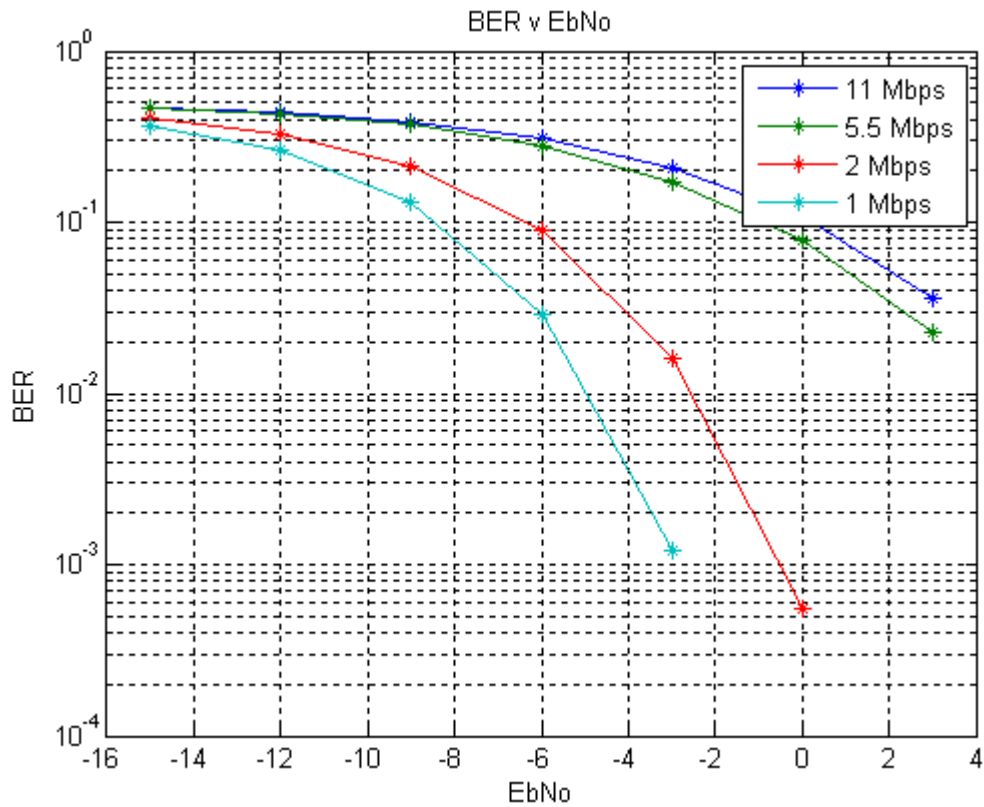


Figura 3.77 Curvas de la BER en función de EbNo

Basados en las gráficas del BER se puede concluir que, para condiciones de canal similares, a medida que el sistema trabaja a una velocidad de transmisión de datos mayor, mayor es la relación de bit erróneos con respecto al total de bits transmitidos.

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 CONCLUSIONES

- Para canales de comunicaciones con condiciones similares, a medida que un sistema que implementa el Estándar IEEE 802.11b trabaja a una velocidad de transmisión de datos mayor la relación de bits erróneos con respecto a los bits transmitidos se incrementa.
- La aplicación y adaptación de una metodología de simulación es importante porque permitió definir de forma clara los objetivos, las etapas y alcances de la simulación, requisitos indispensables para el desarrollo del modelo adecuado que facilitó la construcción de la simulación, su estudio y análisis, proporcionando los resultados esperados.
- La metodología de simulación de equipos de telecomunicaciones es adecuada para el modelamiento de sistemas de telecomunicaciones porque permite disminuir la complejidad del sistema a través de la división en subsistemas y bloques funcionales que fácilmente se adaptan a entornos de simulación como Simulink®.
- La simulación, por sus características, y por los desarrollos computacionales que se han conseguido en los últimos años, sigue presentando una serie de ventajas (como un costo inferior, manipulación del tiempo, mayor número de repeticiones y seguridad) que no sólo la convierten en el procedimiento más adecuado en muchos casos, sino que hacen que sea la única alternativa tecnológica en muchos otros.

- Matlab® y Simulink® constituyen una potente herramienta para el modelamiento, simulación y análisis de diferentes sistemas de telecomunicaciones, proporcionando una amplia variedad de librerías y conjunto de bloques (DSP, Comunicaciones, etc.) que permiten el desarrollo y aplicaciones específicas de sistemas inalámbricos básicos y avanzados.
- El modelamiento y la simulación son un instrumento de enseñanza y aprendizaje para ingenieros y estudiantes en el área de las telecomunicaciones inalámbricas, ya que permiten complementar los conocimientos adquiridos con la teoría.
- DQPSK permite una transmisión de datos 2 veces mayor que DBPSK utilizando el mismo espectro de frecuencia, pero incrementa la cantidad de errores, y la diferencia en la BER entre las dos modulaciones se hace mayor a medida que se incrementa la relación de E_b/N_0 .
- La técnica de codificación CCK que se implementa en el estándar IEEE 802.11b para lograr velocidades de transmisión a 5.5 y 11 Mbps permite una mayor eficiencia del uso del espectro, ya que en el mismo ancho de banda que se utilizaba para 1 y 2 Mbps, envía mayor cantidad de información.
- El estándar no define un receptor en especial para ser ubicado en los dispositivos que lo implementen, sin embargo, existen los receptores tipo Rake que permiten mejorar el desempeño del sistema, mediante el procesamiento de las señales procedentes de diversas trayectorias.
- El ancho de banda a la salida de Banda Base es el mismo para todas las velocidades de información, 11Mhz. Esto es muy importante porque permite

colocar sobre el canal de transmisión una señal de RF también con ancho de banda fijo.

- La simulación desarrollada permitió observar y analizar el procesamiento de la señal en Banda Base de IEEE 802.11b desde que ésta es generada en el transmisor hasta que es recuperada y comparada en el receptor.

4.2 RECOMENDACIONES

- Motivar e incentivar la aplicación de metodologías y uso de herramientas Software para simulación desde los primeros semestres, lo cual brinda la posibilidad de tener un laboratorio en un computador, y esto toma mayor relevancia debido a las limitaciones y carencias con las que se trabaja en los laboratorios de la Facultad.
- Desarrollar bancos de simulaciones de otras tecnologías de redes inalámbricas de área local, personal y extendida tales como sistemas celulares, 802.11a, 802.11g, 802.11n, Zigbee, Wimax, entre otras, que permitan un estudio y análisis profundo del comportamiento y funcionamiento de estos sistemas.
- Desarrollar a partir de esta simulación un sistema más complejo que incluya aspectos no tratados como la etapa de RF y el nivel MAC, utilizando las herramientas adecuadas para ello.

REFERENCIAS

- [1] MUÑOZ, Carlos y MUÑOZ, José. Metodología para la Simulación de Equipos de Telecomunicaciones. Popayán: Tesis Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones, Universidad del Cauca; 1995.
- [2] WiFi Alliance – Home Page; 2007 [Sitio en Internet]. Disponible en: <http://www.wi-fi.org/>
- [3] Ramos Pascual Francisco: Estándares de redes Wlan. Documento PDF. 2005. 7 Páginas. Se encuentra en: <http://portal.astic.es/NR/rdonlyres/9A3E3753-79C8-4C55-8A55-E9BAFF202751/0/tecno1.pdf>
- [4] HERNANDEZ, Daniel. Estudio de la capa física del 802.11. Documento PDF. 2002; 32 páginas. [Documento en Internet]. Se encuentra en <http://www.olotwireless.net/catala/antics%20i%20altres%20utils/wireless/802-11-PHY.pdf>
- [5] MEEL, Jan. *Spread Spectrum (SS). An Introduction*, Documento PDF. 1999. 33 Páginas. Disponible en: http://www.sss-mag.com/pdf/Ss_jme_denayer_intro_print.pdf
- [6] ANSI/IEEE. Std. 802.11b, “*Higher-Speed Physical Layer Extension in the 2.4 GHz Band*”, 1999. [Documento en Internet]. Se encuentra en: www.ieee.org/~standards/
- [7] SARINNAPAKORN, Kanoksri. IEEE 802.11b “High Rate” Wireless Local Area Networks. 2001 [Documento en Internet]. Se encuentra en: <http://umsis.miami.edu/~ksarinna/IEEE80211b.html>

- [8] SÁNCHEZ, Olga. Implementación de un modelo de canal inalámbrico para redes 802.11 bajo el simulador ns-2. Cataluña: Universidad Politécnica de Cataluña. Trabajo de fin de carrera; 2005. 64 páginas.
- [9] REYNOLDS, Janice. *Going Wi-Fi: A Practical Guide to Planning and Building an 802.11 Network*. CMP Books; 2003. 538 Páginas. ISBN 1578203015.
- [10] McGARRITY, Stuart. 802.11b PHY Simulink Model. 2002. Se encuentra en: <http://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/>

BIBLIOGRAFIA

- ANSI/IEEE. Std. 802.11b, “*Higher-Speed Physical Layer Extension in the 2.4 GHz Band*”, 1999. [Documento en Internet]. Se encuentra en: www.ieee.org/~standards/
- MEEL, Jan. *Spread Spectrum (SS). An Introduction*, Documento PDF. 1999. 33 Páginas. Disponible en: http://www.sss-mag.com/pdf/Ss_jme_denayer_intro_print.pdf
- INTERSIL. *A Condensed Review of Spread Spectrum. Techniques for ISM Band Systems, Application note 9820.1*. Documento PDF. 2000; 13 páginas. [Documento en Internet]. Se encuentra en: <http://www.wingshing.com/product/intersil/AN9820.pdf>
- HIDROBO, José Manuel. *Wi-Fi*. 2003; [Documento en Internet]. Se encuentra en: <http://www.monografias.com/trabajos14/wi-fi/wi-fi.shtml>
- WINCH, Robert G. *Telecommunications Transmission Systems*. McGraw-Hill; 2000. 608 Páginas. ISBN 9780071369503
- REYNOLDS, Janice. *Going Wi-Fi: A Practical Guide to Planning and Building an 802.11 Network*. CMP Books; 2003. 538 Páginas. ISBN 1578203015.
- VOCAL Technologies, Ltd. *IEEE 802.11b White Paper*. Documento PDF. 2001; 17 páginas. [Documento en Internet]. Se encuentra en: <http://www.vocal.com/>

- HERNANDEZ, Daniel. Estudio de la capa física del 802.11. Documento PDF. 2002; 32 páginas. [Documento en Internet]. Se encuentra en <http://www.olotwireless.net/catala/antics%20i%20altres%20utils/wireless/802-11-PHY.pdf>
- PEARSON, Bob. *Complementary code keying made simple*, Application note 9850. Documento PDF. 2000; 7 páginas. [Documento en Internet]. Se encuentra en: <http://www.intersil.com/data/an/an9/an9850/an9850.pdf>
- DUARTE, Melissa. Análisis y Simulación de un receptor Rastrillo y comparación con el receptor óptimo para CDMA. Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana. Tesis; 2004. 127 páginas.
- MUÑOZ, Carlos y MUÑOZ, José. Metodología para la Simulación de Equipos de Telecomunicaciones. Popayán: Tesis Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones, Universidad del Cauca; 1995.
- BOLAÑOS, Camilo; ESTUPIÑAN, Andrés. Estudio, Análisis y Simulación de Sistemas de Comunicaciones Móviles Basados en CDMA. Popayán: Tesis Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones, Universidad del Cauca; 2004. 149 Páginas.
- HERNANDEZ, Pedro Antonio. WLAN Un Complemento Para LAN. Monografía, Documento PDF. 2005. 107 Páginas. Disponible en: <http://www.ilustrados.com/documentos/wlan.pdf>
- DIAZ, José Crispín. Wi-Fi LA TENDENCIA EN LAS REDES DE ÁREA LOCAL. Documento PDF. 2005. 9 Páginas. Disponible en: Disponible en: <http://pwp.007mundo.com/jose.diaz>

- RAMOS Pascual, Francisco: Estándares de redes Wlan. Documento PDF. 2005. 7 Páginas. Se encuentra en: <http://portal.astic.es/NR/rdonlyres/9A3E3753-79C8-4C55-8A55-E9BAFF202751/0/tecno1.pdf>
- CORDOBA, Hernán; CHAVEZ, Patricia. Estudio, Modelamiento y Simulación de Sistemas de Espectro Ensanchado Secuencia Directa y Salto De Frecuencia. Documento PDF. 2005. 8 Páginas. Se encuentra en: http://www.rte.espol.edu.ec/archivos/Revista_2005/46.pdf
- Díaz Urrego José Crispín. Wi-Fi LA TENDENCIA EN LAS REDES DE ÁREA LOCAL. Documento PDF. 2005. 9 Páginas. Se encuentra en: <http://pwp.007mundo.com/jose.diaz>
- MATHWORKS. MATLAB Help. Manual de consulta 2005.
- WIKIPEDIA FOUNDATION, INC: Wikipediam, la enciclopedia libre; 2007 [sitio en Internet]. Disponible en: <http://es.wikipedia.org/wiki/Portada/>
- Google Inc; Google; 2007 [Sitio en Internet]. Disponible en: <http://www.google.com/>