

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

**“ESTUDIO DE LA TECNOLOGÍA MMDS PARA EL
DISEÑO DE UN SISTEMA PARA EL SERVICIO DE
RADIODIFUSIÓN DE TELEVISIÓN INALÁMBRICA”**

**Tesis previa a la obtención del Título en INGENIERÍA EN
ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES**

LUIS ANÍBAL MALATAXI AMAGUA.

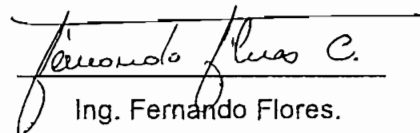
EDWIN RODRIGO PANCHI MASAPANTA.

Quito, Julio del 2000

Certifico que la presente Tesis ha sido desarrollada en su totalidad por los señores:

LUIS ANÍBAL MALATAXI AMAGUA.

EDWIN RODRIGO PANCHI MASAPANTA.


Ing. Fernando Flores.

DIRECTOR DE TESIS.

AGRADECIMIENTO

Nuestros sinceros agradecimientos a los Ingenieros Fernando Flores y Milton Ludeña porque con sus sólidos conocimientos han hecho posible que este trabajo sea realizado de la mejor manera.

También manifestamos nuestra gratitud hacia todos nuestros profesores y demás personas que colaboraron en forma directa o indirecta para la culminación de este trabajo.

Luis y Edwin.

DEDICATORIA

A mis padres que con infinito amor
supieron guiarme, en el camino de la vida
para alcanzar una profesión y ser un
hombre de bien y útil a la sociedad.

A Dios porque gracias a él obtuve
confianza, para salir adelante y
terminar con éxito este trabajo.

A ellos dedico este trabajo
fruto de mi sacrificio y
esfuerzo constante.

Luis.

DEDICATORIA

A Dios por concederme el don de la vida

A mis Padres, Adolfo y Teresa por su constante abnegación y paciencia

A mis Hermanos por todo el apoyo brindado.

Edwin.

ÍNDICE

PRÓLOGO

i

INTRODUCCIÓN

I.1. SISTEMAS DE COMUNICACIÓN

iii

I.2. ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO

iii

CAPÍTULO 1

TECNOLOGÍA DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN MULTIPUNTO MULTICANAL (MMDS)

1.1. SISTEMAS INALÁMBRICOS.....	1
1.1.1. TRANSMISIÓN VÍA RADIO.....	1
1.1.2. TRANSMISIÓN POR MICROONDAS.....	2
1.1.2.1. TECNOLOGÍA CELULAR.....	2
1.2. TECNOLOGÍAS PARA REDES DE ACCESO.....	3
1.3. TECNOLOGÍAS QUE COMPITEN CON EL SISTEMA INALÁMBRICO MMDS.....	4
1.3.1. TECNOLOGÍA DE PAR TRENZADO.....	4
1.3.2. TECNOLOGÍA DE CABLE COAXIAL.....	5
1.3.3. TECNOLOGÍA DE FIBRA ÓPTICA.....	6
1.3.4. TECNOLOGÍA HÍBRIDA (HFC)	7
1.3.5. TECNOLOGÍA SATELITAL	8
1.3.6. SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN MULTICANAL MULTIPUNTO/LOCAL (MMDS/LMDS)	9
1.4. SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN MULTIPUNTO MULTICANAL (MMDS).....	10
1.4.1. ¿QUÉ ES EL SISTEMA MMDS?.....	10
1.4.2. ORIGEN Y CRECIMIENTO DEL SISTEMA MMDS.....	10
1.4.3. ESPECTRO DE FRECUENCIA DEL SISTEMA MMDS.....	11
1.4.4. GENERALIDADES DEL SISTEMA MMDS.....	13
1.4.4.1. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL SISTEMA MMDS.....	14
1.4.5. VISIÓN GENERAL DE LA TECNOLOGÍA.....	15
1.5. TÉCNICAS UTILIZADAS EN EL SISTEMA MMDS.....	16
1.5.1. TÉCNICAS DE MODULACIÓN UTILIZADAS.....	16
1.5.1.1. MODULACIÓN POR CAMBIO DE FASE M-aria (M-ary PSK)	17
1.5.1.2. MODULACIÓN DE AMPLITUD EN CUADRATURA (QAM).....	18
1.5.1.3. MODULACIÓN EN BANDA LATERAL VESTIGIAL (VSB).....	20
1.5.1.4. ESPECTRO DISPERSO (SPREAD SPECTRUM).....	20
1.5.2. TÉCNICAS DE CORRECCIÓN DE ERRORES.....	20
1.5.3. TÉCNICAS DE COMPRESIÓN DE DATOS.....	21
1.5.4. OBTENCIÓN DE LA SEÑAL EN EL TRANSMISOR INALÁMBRICO PARA LA DIFUSIÓN.....	22

CAPÍTULO 2

EL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN MULTIPUNTO MULTICANAL UNIDIRECCIONAL (MMDS) Y SUS APLICACIONES

2.1. INTRODUCCIÓN.....	24
2.2. SISTEMAS GENERALES DE TELEVISIÓN.....	24
2.2.1. ESTÁNDARES PARA TELEVISIÓN ANALÓGICA.....	25
2.2.2. ESTÁNDARES PARA TELEVISIÓN DIGITAL.....	25
2.2.2.1. ESTÁNDAR DE COMPRESIÓN PARA VIDEO DIGITAL.....	27
2.2.2.2. FORMATO DE PAQUETE DEL FLUJO DE TRANSPORTE MPEG-2.....	28
2.3. ESTÁNDARES DEL SISTEMA MMDS PARA LA ENTREGA DE TELEVISIÓN DIGITAL.....	29
2.3.1. SISTEMA MMDS "A" DE DISTRIBUCIÓN DE TELEVISIÓN DIGITAL.....	29

2.3.1.1. CONCEPTO DE SISTEMA MMDS "A".....	29
2.3.2. SISTEMA MMDS "B" DE DISTRIBUCIÓN DE TELEVISIÓN DIGITAL.....	31
2.3.3. SISTEMA MMDS "C" DE DISTRIBUCIÓN DE TELEVISIÓN DIGITAL.....	31
2.3.3.1. CONCEPTO DE SISTEMA MMDS "C".....	31
2.3.4. SISTEMA MMDS "D" DE DISTRIBUCIÓN DE TELEVISIÓN DIGITAL.....	32
2.3.4.1. CONCEPTO DEL SISTEMA MMDS "D" VSB.....	33
2.3.5. COMPARACIÓN DE LOS SISTEMAS MMDS.....	36
2.4. TECNOLOGÍA INVOLUCRADA EN LA TRANSMISIÓN DIGITAL DE VIDEO A ALTAS VELOCIDADES.....	37
2.4.1. TRATAMIENTO DE LA SEÑAL CON MODULACIÓN QAM.....	37
2.4.2. MEZCLADORES Y AMPLIFICADORES GaAs MMIC.....	39
2.4.3. RUIDO DE FASE DEL OSCILADOR LOCAL.....	39
2.4.4. AMPLIFICADORES DE POTENCIA GaAs FET.....	40
2.4.5. LINEALIZACIÓN FEEDFORWARD.....	42
2.5. TRANSMISIÓN DIGITAL DE VIDEO.....	42
2.5.1. DESEMPEÑO DE UN SISTEMA DE TRANSMISIÓN MMDS.....	42
2.5.1.1. EL SISTEMA DE TRANSMISIÓN MMDS.....	42
2.5.1.2. FÓRMULA DE TRANSMISIÓN DE FRIIS.....	44
2.5.1.3. LÍMITE DE SHANNON EN LA CAPACIDAD DEL CANAL.....	45
2.5.1.4. AMPLIFICADOR DE POTENCIA Y EFECTO CLIFF.....	46
2.5.1.5. DESBORDAMIENTO ESPECTRAL Y CIR.....	48
2.5.1.6. MÚLTIPLES TRAYECTORIAS, ECUALIZACIÓN, Y RESPUESTA IMPULSIVA DEL SISTEMA.....	50
2.5.1.7. BER DEL SISTEMA EN PRESENCIA DE RUIDO.....	53
2.5.2. SISTEMA MMDS TÍPICO PARA LA TRANSMISIÓN DE VIDEO.....	54
2.5.3. AVANCES EN LA TECNOLOGÍA DEL SISTEMA MMDS.....	55
2.5.4. ARQUITECTURA PARA LA TRANSMISIÓN DE VIDEO.....	57
2.5.4.1. PROBLEMAS Y SOLUCIONES EN LA TRANSMISIÓN.....	59
2.5.5. ARQUITECTURA PARA LA RECEPCIÓN DE VIDEO.....	61
2.5.6. SEGURIDAD Y CONTROL EN EL SISTEMA.....	64
2.5.7. LA TV INALÁMBRICA FRENTE A OTROS SISTEMAS EXISTENTES.....	65
2.5.7.1. DIFUSIÓN DE TV.....	65
2.5.7.2. TV POR CABLE.....	67
2.5.7.3. DIFUSIÓN DIGITAL POR SATÉLITE.....	69

CAPÍTULO 3

EL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN MULTIPUNTO MULTICANAL BIDIRECCIONAL (MMDS) Y SUS APLICACIONES

3.1. INTRODUCCIÓN.....	71
3.2. SISTEMAS GENERALES.....	71
3.2.1. MODELO DE REFERENCIA OSI.....	71
3.2.2. MODELO DE REFERENCIA TCP/IP.....	73
3.2.3. PROTOCOLO IP.....	74
3.2.4. PROTOCOLOS DE TRANSPORTE DE INTERNET.....	75
3.2.4.1. PROTOCOLO TCP.....	76
3.2.4.2. PROTOCOLO UDP.....	78
3.2.5. PROTOCOLO DE ADMINISTRACIÓN DE REDES.....	78
3.2.5.1. MODELO SNMP.....	78
3.2.5.2. PROTOCOLO SNMP.....	79
3.3. EL SISTEMA MMDS BIDIRECCIONAL.....	80
3.3.1. TÉCNICAS DE MULTIPLEXACIÓN.....	83
3.3.1.1. MULTIPLEXACIÓN FDD.....	83
3.3.1.2. MULTIPLEXACIÓN TDD.....	84
3.3.2. LUGARES DE INTERFERENCIA.....	85
3.3.3. REUTILIZACIÓN DE FRECUENCIAS EN EL SISTEMA MMDS BIDIRECCIONAL.....	86
3.3.3.1. REUTILIZACIÓN DE FRECUENCIA EN UNA CELDA.....	87
3.3.3.2. REUTILIZACIÓN DE FRECUENCIA EN ESCENARIOS MULTICELDA.....	90
3.3.3.3. ESCENARIOS MULTICELDA Y DISEÑOS EXTENDIDOS.....	92

3.3.3.4. POLARIZACIÓN ALTERNADA EN MULTICELDAS.....	94
3.3.3.5. CAPACIDAD.....	95
3.4. TOPOLOGÍAS DE REDES DE DATOS BIDIRECCIONALES USANDO MMDS.....	96
3.4.1. TOPOLOGÍA ASIMÉTRICA.....	96
3.4.2. TOPOLOGÍA PUNTO A PUNTO.....	96
3.4.3. TOPOLOGÍA PUNTO MULTIPUNTO.....	97
3.5. PROBLEMAS DE CAPACIDAD.....	97
3.6. TECNOLOGÍA Y ADELANTOS EN EL CABLE MÓDEM.....	97
3.6.1. ESTÁNDAR MCNS Y DOCSIS.....	98
3.6.2. MICROREFLEXIONES EN UN SISTEMA MMDS.....	99
3.6.3. PROTOCOLOS DE COMUNICACIÓN.....	100
3.6.3.1. FUNCIÓN DE LA SUBCAPA MAC.....	100
3.6.3.2. FUNCIÓN DE LA CAPA FÍSICA Y SUBCAPAS.....	101
3.6.4. CONTROL DE ACCESO AL MEDIO.....	101
3.6.5. MODULACIÓN Y CODIFICACIÓN UPSTREAM.....	104
3.6.6. MODULACIÓN Y CODIFICACIÓN DOWNSTREAM.....	107
3.7. TRANSMISIÓN DE DATOS Y ACCESO A INTERNET A ALTA VELOCIDAD.....	109
3.7.1. TRANSMISIÓN BÁSICA DE INTERNET.....	109
3.7.2. SISTEMA DE UN CABLE MÓDEM.....	110
3.7.3. ARQUITECTURA DEL CABLE MÓDEM.....	111
3.7.4. ARQUITECTURA DE UN SISTEMA DE DOWNSTREAM INALÁMBRICO.....	112
3.7.5. ARQUITECTURA DE RECEPCIÓN DE LA SEÑAL.....	114
3.7.6. OPCIONES DE RETORNO INALÁMBRICO.....	114
3.7.6.1. UTILIZACIÓN DE BANDAS ISM.....	115
3.7.6.2. UTILIZACIÓN DE LA SEÑAL QPSK DE UN CABLE MÓDEM.....	116
3.7.7. SISTEMA DE TRANSMISIÓN MMDS/WCS PARA EL ACCESO A INTERNET.....	117
3.8. VIDEO BAJO DEMANDA Y VIDEOCONFERENCIAS.....	118
3.8.1. APRECIACIÓN DE LA APLICACIÓN.....	119
3.8.2. ENLACE DE COMUNICACIÓN.....	119

CAPÍTULO 4

PROYECCIONES FUTURAS DEL SISTEMA MMDS Y SU APLICACIÓN EN EL ECUADOR.

4.1. INTRODUCCIÓN.....	121
4.2. SISTEMA DE ENTREGA DE BANDA ANCHA PRIZM.....	121
4.2.1. ARQUITECTURA DE UN SISTEMA PRIZM.....	123
4.3. SISTEMA DE BANDA ANCHA MMDS HYPERCABLE.....	125
4.3.1. FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA.....	125
4.3.2. CELULARIZACIÓN DEL HYPERCABLE.....	126
4.3.3. VENTAJAS DE HYPERCABLE.....	126
4.4. PROYECTOS Y EXPERIMENTOS INALÁMBRICOS DE BANDA ANCHA DE LOS LABORATORIOS AT&T.....	127
4.4.1. APLICACIONES.....	127
4.4.2. ACCESO DE PAQUETES USANDO MMDS.....	127
4.4.3. ARQUITECTURA DEL SISTEMA EXPERIMENTAL.....	128
4.4.3.1. SUBSISTEMAS DE RADIO Y MAC.....	129
4.4.3.2. LA RED IP.....	130
4.4.3.3. SISTEMA DE ADMINISTRACIÓN DE RED BASADO EN WEB.....	130
4.5. SISTEMA DE ENTREGA DE BANDA ANCHA AXITY.....	131
4.5.1. ARQUITECTURA DEL SISTEMA DE ADC.....	131
4.5.2. ADMINISTRACIÓN DE LA RED MEDIANTE SNMP.....	132
4.5.3. SOLUCIONES DE BANDA ANCHA DE AXITY.....	132
4.5.4. ENLACE UPSTREAM Y DOWNSTREAM.....	134
4.5.4.1. ENLACE DOWNSTREAM.....	134
4.5.4.2. ENLACE UPSTREAM.....	135
4.6. EL SISTEMA MMDS EN EL ECUADOR.....	135
4.6.1. UTILIZACIÓN DEL ESPECTRO EN EL ECUADOR.....	135
4.6.2. SISTEMA MMDS DE UNIVISA.....	136

4.7. PROPUESTA DE NORMALIZACIÓN PARA EL USO DE TRANSMISIONES UNIDIRECCIONALES PARA MMDS.....	136
4.7.1. DEFINICIONES.....	137
4.7.1.1. SERVICIO MMDS.....	137
4.7.1.3. ATRIBUCIÓN DE FRECUENCIAS.....	137
4.7.1.3. ESTACIONES REPETIDORAS DE SEÑAL.....	138
4.7.2. PROBLEMAS DE PROCEDIMIENTO DE PETICIÓN.....	139
4.7.2.1. REGISTRO INICIAL DE UNA SEMANA.....	139
4.7.2.2. REGISTRO DE ALMACENAMIENTO DESLIZANTE.....	139
4.7.2.3. PROCEDIMIENTOS DE PETICIÓN.....	140
4.7.3. INTERFERENCIA.....	141
4.7.4. NORMAS TÉCNICAS.....	142
4.7.4.1. CANALIZACIÓN.....	142
4.7.4.2. MÉTODOS DE MODULACIÓN.....	143
4.7.4.3. MÁSCARA ESPECTRAL.....	143
4.7.4.4. TOLERANCIA DE FRECUENCIA Y CERTIFICACIÓN DE EQUIPO.....	143
4.8. PROPUESTA DE NORMALIZACIÓN PARA EL USO DE TRANSMISIONES BIDIRECCIONALES PARA MMDS.....	143
4.8.1. DEFINICIONES.....	144
4.8.1.1. SERVICIO MMDS.....	144
4.8.1.2. ASIGNACIÓN DE FRECUENCIAS.....	144
4.8.1.3. ESTACIONES REPETIDORAS DE SEÑAL.....	145
4.8.2. PROBLEMAS DE PROCEDIMIENTO DE PETICIÓN.....	145
4.8.2.1. REGISTRO INICIAL DE UNA SEMANA.....	145
4.8.2.2. REGISTRO DE ALMACENAMIENTO DESLIZANTE.....	145
4.8.2.3. PROCEDIMIENTOS DE PETICIÓN.....	145
4.8.2.4. CONMUTACIÓN ENTRE EL ESTADO DE PORTADORA COMÚN Y NO COMÚN.....	146
4.8.3. INTERFERENCIA.....	146
4.8.4. NORMAS TÉCNICAS.....	147
4.8.4.1. CANALIZACIÓN.....	147
4.8.4.2. MÉTODOS DE MODULACIÓN.....	147
4.8.4.3. MÁSCARA ESPECTRAL.....	147
4.8.4.4. TOLERANCIA DE FRECUENCIA Y CERTIFICACIÓN DE EQUIPO.....	147
4.8.4.5. PROTECCIÓN DE LAS EMISIONES DE RF.....	148
4.8.5. EL USO DE LOS CANALES DE 125 kHz ó "I".....	148

CAPÍTULO 5

DISEÑO DEL SISTEMA DE TELEVISIÓN INALÁMBRICA MMDS.

5.1. INTRODUCCIÓN.....	149
5.1.1. BENEFICIOS DE UNA RED INALÁMBRICA.....	149
5.1.2. VENTAJAS DE UNA RED INALÁMBRICA.....	149
5.1.3. APLICACIONES DE LAS REDES INALÁMBRICAS.....	150
5.2. CRITERIOS DE DISEÑO DE LA RED.....	150
5.2.1. DETERMINACIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS CLIENTE RED.....	151
5.2.2. PARÁMETROS DE COBERTURA EN LA IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA.....	151
5.3. ESTRUCTURA DEL SISTEMA MMDS Y ANÁLISIS DE LOS ENLACES DE MICROONDA.....	152
5.3.1. UBICACIÓN DE POSIBLES SITIOS.....	152
5.3.2. BANDAS DE FRECUENCIA UTILIZADAS.....	153
5.3.3. DISTRIBUCIÓN DE LA SEÑAL EN EL SISTEMA MMDS.....	153
5.3.4. ANÁLISIS DE PERFILES EN LOS ENLACES DE MICROONDA.....	154
5.3.5. ANÁLISIS DEL ENLACE.....	155
5.3.6. SELECCIÓN DEL EQUIPO.....	158
5.3.6.1. DIVERSIDAD DE FRECUENCIA.....	158
5.3.6.2. DIVERSIDAD DE ESPACIO.....	158
5.3.6.3. DIVERSIDAD DE POLARIZACIÓN.....	158
5.4. ARQUITECTURA CELULAR DEL SISTEMA MMDS.....	159
5.4.1. SOLUCIONES A LOS OBSTÁCULOS EN UN SISTEMA MMDS.....	160

5.4.2. DESBORDAMIENTO RF.....	161
5.4.3. BALANCE DEL SISTEMA Y SELECCIÓN DE ANTENAS Y TORRES.....	162
5.4.3.1. SELECCIÓN DE ANTENAS.....	163
5.4.3.2. SELECCIÓN DE TORRES.....	163
5.5. SELECCIÓN DEL EQUIPO MMDS.....	163
5.5.1. INVITACIÓN.....	164
5.5.2. MODELO DE CARTA DE PRESENTACIÓN Y COMPROMISO.....	164
5.5.3. MODELO DE LA PROPUESTA.....	164
5.5.4. INSTRUCCIONES AL OFERENTE.....	165
5.5.5. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS.....	165
5.5.6. PROYECTO DE CONTRATO.....	166
5.5.7. PRINCIPIOS Y CRITERIOS PARA LA CALIFICACIÓN DEL OFERENTE Y SELECCIÓN DE LA OFERTA.....	167
5.6. PLANIFICACIÓN Y DISEÑO DE APLICACIÓN PARA LA CIUDAD DE QUITO.....	168
5.6.1. ASIGNACIÓN DE CANALES.....	168
5.6.2. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LOS SITIOS.....	168
5.6.2.1. COBERTURA Y DISPONIBILIDAD DE CONDORRUMI.....	171
5.6.2.2. COBERTURA Y DISPONIBILIDAD DEL ATACAZO.....	171
5.6.2.3. COBERTURA Y DISPONIBILIDAD DE PUENGASÍ.....	171
5.6.2.4. COBERTURA Y DISPONIBILIDAD DE GUANGUILTAGUA.....	171
5.6.3. BALANCE DEL SISTEMA.....	171
5.6.4. CÁLCULOS RADIOELÉCTRICOS.....	172
5.6.5. SELECCIÓN DE ANTENAS Y TORRES.....	172
5.6.6. DISEÑO DEL ENLACE DE MICROONDA.....	173
5.6.6.1. ANÁLISIS DE PERFILES.....	173
5.6.6.2. CÁLCULOS DEL ENLACE.....	173
5.6.7. EQUIPO SELECCIONADO Y COSTOS DEL SISTEMA.....	173

CAPÍTULO 6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. CONCLUSIONES.....	178
6.2. RECOMENDACIONES.....	179

ANEXOS

ANEXO 1: CODIFICACIÓN Y DECODIFICACIÓN REED SOLOMON.....	A1.1
ANEXO 2: COMPRESIÓN DE VIDEO MPEG-2.....	A2.1
ANEXO 3: SISTEMA "A" MMDS.....	A3.1
ANEXO 4: SISTEMA "C" MMDS.....	A4.1
ANEXO 5: SISTEMA "D" MMDS.....	A5.1
ANEXO 6: CÁLCULOS DE ENLACE Y COBERTURA.....	A6.1
ANEXO 7: EQUIPO SELECCIONADO PARA EL DISEÑO.....	A7.1

GLOSARIO REFERENCIAS

ÍNDICE DE FIGURAS

INTRODUCCIÓN

Figura 1.1. Sistema básico de comunicación.....	iii
Figura 1.2. Espectro electromagnético.....	iv

CAPÍTULO 1

Figura 1.1. Tipos de redes de acceso.....	3
Figura 1.2. Estructura de red ADSL.....	5
Figura 1.3. Estructura de red FTTC.....	6
Figura 1.4. Estructura de red HFC.....	7
Figura 1.5. Sistema de distribución satelital.....	8
Figura 1.6. Red VSAT.....	9
Figura 1.7. Red de acceso MMDS.....	9
Figura 1.8. Espectro de frecuencias del sistema MMDS.....	13
Figura 1.9. Compresión MPEG-2.....	22

CAPÍTULO 2

Figura 2.1. Diagrama de bloques de los elementos en el transmisor y en el receptor de los sistemas MMDS que funcionan por debajo de 10 GHz.....	30
Figura 2.2. Configuración del sistema "C" MMDS.....	32
Figura 2.3. Configuración del equipo de transmisión MMDS.....	34
Figura 2.4. Receptor MMDS con modulación VSB (Codificación reticular).....	35
Figura 2.5. Forma de onda de tiempo de IF QAM.....	38
Figura 2.6. Gráfico del espectro IF QAM.....	38
Figura 2.7. Diagrama de constelación de la señal.....	39
Figura 2.8. Gráfico del ruido de fase del oscilador local.....	40
Figura 2.9. Diagrama de vector QAM del amplificador comprimido.....	41
Figura 2.10. Diagrama de bloques del sistema bajo prueba.....	43
Figura 2.11. Propagación de espacio libre para un sitio típico.....	45
Figura 2.12. Capacidad del canal normalizado vs. SNR.....	46
Figura 2.13. Tasa de bits errados vs. backoff del amplificador.....	46
Figura 2.14. BER vs. SNR con amplificador no lineal.....	47
Figura 2.15. Medición del efecto cliff.....	48
Figura 2.16. Espectro de la potencia de salida del HPA.....	49
Figura 2.17. Medición del espectro del transmisor.....	50
Figura 2.18. La forma de onda de tiempo del filtro combinado.....	51
Figura 2.19. Respuesta impulsiva con múltiple trayectoria.....	51
Figura 2.20. Curva del sistema, canal, y respuesta impulsiva del ecualizador.....	52
Figura 2.21. BER vs. SNR para un solo transmisor y un sistema en cascada.....	53
Figura 2.22. BER con FEC RS y Trellis.....	54
Figura 2.23. Sistema MMDS típico.....	55
Figura 2.24. Diagrama de bloques del transmisor MMDS.....	56
Figura 2.25. Diagrama de bloques del transmisor digital MMDS.....	57
Figura 2.26. Configuración del transmisor para un sistema MMDS digital.....	58
Figura 2.27. Configuración del receptor para un sistema MMDS digital.....	62
Figura 2.28. Diagrama de bloques Downconverter de Bajo Ruido (LNB).....	63
Figura 2.29. Diagrama de bloques del receptor digital MMDS.....	64

CAPÍTULO 3

Figura 3.1. Modelo de referencia OSI.....	73
Figura 3.2. Modelo de referencia TCP/IP.....	74
Figura 3.3. Cabecera IP (Protocolo de Internet).....	74
Figura 3.4. Cabecera TCP.....	76

Figura 3.5. Pseudocabecera incluida en la suma de comprobación de TCP.....	77
Figura 3.6. Cabecera UDP.	78
Figura 3.7. Componentes del modelo de administración SNMP.....	79
Figura 3.8. Geometría de la trayectoria de 40 km mostrando 60% de despeje de la primera zona de Fresnel.....	81
Figura 3.9. Relación Deseada a No deseada para torres de 150 m separadas 80 km.....	81
Figura 3.10. Alternancia de canales ITFS.....	84
Figura 3.11. Trama de tiempo TDD adaptiva.....	84
Figura 3.12. Plan de frecuencia de sistema sectorizado.....	87
Figura 3.13. Celdas con 6 y 12 sectores. Factor de reutilización de 2, 3 y 4.....	88
Figura 3.14. Sectores de celda con polarización cruzada.....	89
Figura 3.15. Ganancias en SIR por inclinación de las antenas.....	91
Figura 3.16. Cadena de celdas con $F_R=4$	91
Figura 3.17. Cobertura completa con 4 subbandas y $F_R=2$	92
Figura 3.18. Rotura del modelo de línea.....	93
Figura 3.19. Protocolo Izquierda-Derecha en la trama de tiempo downstream.....	93
Figura 3.20. Polaridad alternada en tiras. 12 sectores de celdas con $F_R=4$	94
Figura 3.21. Reutilización gradualmente creciente en tiras con polaridad alternada.....	95
Figura 3.22. Polaridad alternada en tiras. Celdas sectorizadas distintamente.....	95
Figura 3.23. BER para RS(80,64) x y RS(40,32) □ comparado con QPSK.....	106
Figura 3.24. Diagrama del sistema simplificado.....	111
Figura 3.25. Diagrama de bloques simplificado de un cable módem.....	112
Figura 3.26. Configuración de la transmisión MMDS: transmisor distante con el headend de Internet y el Punto de Presencia en el centro de la ciudad.....	113
Figura 3.27. Una forma para usar la banda ISM para retorno inalámbrico a 900 MHz/2.4 GHz.....	116
Figura 3.28. Retorno inalámbrico usando la señal QPSK de un Cable Módem.....	116
Figura 3.29. Diagrama de bloques de un transmisor MMDS/WCS típico.....	118
Figura 3.30. Enlace asimétrico para transmisión de video.....	119
Figura 3.31. Configuración del transmisor.....	120
Figura 3.32. Configuración del receptor.	120

CAPÍTULO 4

Figura 4.1. Diagrama de bloques del sistema de datos MMDS bidireccional.....	124
Figura 4.2. Arquitectura del sistema MMDS Hypercable.....	126
Figura 4.3. Arquitectura del sistema MMDS experimental de AT&T.....	128
Figura 4.4. Arquitectura del sistema de ADC.....	132
Figura 4.5. Diagrama de bloques del equipo de la estación base.....	133
Figura 4.6. Diagramas de los enlaces downstream y upstream.....	134

CAPÍTULO 5

Figura 5.1. Cobertura de una región montañosa (Quito).....	152
Figura 5.2. Cobertura de una región plana (Guayaquil).....	153
Figura 5.3. Opciones de corrección en el cálculo de la línea de vista.....	155
Figura 5.4. Balance de pérdidas.....	157
Figura 5.5. Diversidad de frecuencia.....	158
Figura 5.6. Diversidad de espacio.....	158
Figura 5.7. Arquitectura de un sistema distribuido.....	159
Figura 5.8. Problema de obstrucción y curvatura de la Tierra.....	160
Figura 5.9. Cuantificación de la sombra.....	160
Figura 5.10. Longitud de la sombra respecto a la distancia de la antena Tx.....	161
Figura 5.11. Cobertura celular de Quito.....	169
Figura 5.12. Arquitectura del sistema distribuido para la ciudad de Quito.....	170
Figura 5.13. Equipo del sistema MMDS para la ciudad de Quito.....	177

ÍNDICE DE TABLAS

INTRODUCCIÓN

Tabla I.1. Designación de frecuencias.....	iv
--	----

CAPÍTULO 1

Tabla 1.1. Banda de frecuencias de microonda.....	2
Tabla 1.2. Designaciones y usos de las bandas de frecuencia.....	12
Tabla 1.3. Rango de las bandas de frecuencia.....	13
Tabla 1.4. Eficiencia espectral y SNR para algunos métodos de modulación.....	19
Tabla 1.5. Opciones para el enlace entre el PoP y el transmisor.....	23

CAPÍTULO 2

Tabla 2.1. Características de los estándares de televisión analógica.....	25
Tabla 2.2. Requisitos de ancho de banda para video sin compresión.....	27
Tabla 2.3. Formato de paquete del flujo de transporte.....	28
Tabla 2.4. Comparación resumida de los sistemas MMDS.....	36

CAPÍTULO 3

Tabla 3.1. Porcentaje de disponibilidad para varias distancias y márgenes de desvanecimiento.....	82
Tabla 3.2. Requerimientos de SIR del módem.....	90
Tabla 3.3. Microreflexiones en una red de cable.....	99
Tabla 3.4. Microreflexiones en un sistemas MMDS.....	99
Tabla 3.5. Velocidades de símbolo en el upstream.....	105

CAPÍTULO 5

Tabla 5.1. Ubicación de los sitios de transmisión y repetición.....	170
Tabla 5.2. Ubicación del headend y del sitio de transmisión.....	173
Tabla 5.3. Selección de transmisores, repetidores y receptores MMDS.....	174
Tabla 5.4. Selección de antenas MMDS.....	174
Tabla 5.5. Selección de equipo para el enlace AML.....	175
Tabla 5.6. Equipo seleccionado.....	175
Tabla 5.7. Costos del equipo AML y MMDS.....	176
Tabla 5.8. Costos de líneas de transmisión y conectores.....	176

PRÓLOGO

La industria de las Telecomunicaciones ha sido una de las que mayor desarrollo ha tenido durante los últimos años; los avances obtenidos en este campo se deben a que los grandes Laboratorios, Universidades y Empresas del mundo han dedicado sus mejores esfuerzos para desarrollar básicamente tres áreas, que son: la integración de los servicios (voz, datos y video), la miniaturización de los sistemas y la implementación de la movilidad.

En el Ecuador no existe el apoyo económico ni la decisión política para emprender planes de investigación y desarrollo, es por esta razón que los profesionales se limitan a realizar estudios minuciosos de las nuevas tecnologías que llegan al país procedentes de países desarrollados y adaptarlas a nuestras necesidades.

Estas nuevas tecnologías son sometidas a tres instancias primarias:

1. Aspectos técnicos y de normalización.
2. Transferencia de tecnología y compatibilidad con las tendencias mundiales.
3. Aspectos económicos y de riesgo.

El objetivo de esta investigación es dar a los futuros ingenieros una visión de una nueva tecnología de transmisión de información como es MMDS (Multichannel Multipoint Distribution Systems) ó. Sistema de Distribución Multipunto Multicanal, así como de las múltiples aplicaciones que ofrece este sistema; basándonos en una aplicación específica como es la TV inalámbrica. Para esto se analizan las tres instancias primarias definidas anteriormente. Por tal razón el presente trabajo consta de seis capítulos:

- El primero trata sobre la tecnología del sistema MMDS.
- El segundo trata sobre las aplicaciones unidireccionales del sistema MMDS, cubriendo totalmente la principal aplicación que es la TV inalámbrica.
- El tercero trata sobre las aplicaciones bidireccionales del sistema MMDS, dando mayor enfoque a la entrega de Internet, datos y Video sobre Demanda.
- El cuarto trata sobre las principales plataformas implementadas, su situación en nuestro país, así como también unas propuestas de normalización del sistema unidireccional y bidireccional.
- El quinto tiene que ver con el diseño mismo de un sistema de TV inalámbrica, y una aplicación para la ciudad de Quito.
- El sexto contiene las conclusiones y recomendaciones que se han sacado de la presente investigación.

Para un enfoque minucioso de ciertos tópicos se ha incorporado los anexos en donde se podrá encontrar información más detallada sobre estos. Este trabajo cuenta también con un glosario de los más importantes términos y sus definiciones para entender el contenido de la Tesis.

Con este esquema se trata que el lector tenga idea de los siguientes aspectos:

1. Las características técnicas y los esfuerzos de normalización que se realizan con la tecnología MMDS.
2. Los parámetros y los criterios que se utilizan para el diseño de un sistema MMDS y específicamente para un sistema de servicio de radiodifusión de TV inalámbrica.
3. El análisis primario que debe llevarse a cabo para la implementación de este nuevo servicio.

Usted como lector de este trabajo podrá comprobar al final si los objetivos propuestos se han cumplido.

INTRODUCCIÓN

I.1. SISTEMAS DE COMUNICACIÓN

La constante necesidad que tenemos los seres humanos de comunicarnos ha llevado al desarrollo de los sistemas de comunicaciones, cuyo propósito es transmitir información desde un lugar de generación hasta un lugar de recepción. Esta información puede ser voz, datos o vídeo. Todos los sistemas de comunicaciones están formados de tres secciones: el transmisor, el medio de transmisión y el receptor. Véase la Figura I.1.

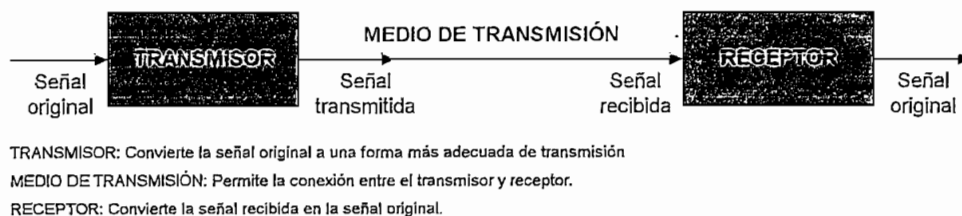


Figura I.1. Sistema básico de comunicación.

En lo que se refiere a los medios de transmisión, se han desarrollado tanto las tecnologías de transmisión alámbrica o transmisión guiada así como las tecnologías de transmisión inalámbrica o transmisión no guiada; cada una con sus propias características en términos de ancho de banda, retardo, costo, y facilidad de instalación y mantenimiento.

En esta tesis se desarrollará el estudio de una tecnología inalámbrica que está revolucionando las Telecomunicaciones en todo el mundo como es el Sistema de Distribución Multipunto Multicanal (MMDS).

I.2. ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO

Toda comunicación inalámbrica se basa en un principio: "Al conectar una antena de tamaño apropiado, a un circuito eléctrico, y por el movimiento de electrones en el medio se crean ondas electromagnéticas que se pueden propagar por el espacio libre a través de la antena. Estas ondas electromagnéticas se pueden difundir de forma eficiente y captarse por un receptor a una cierta distancia".

Las designaciones para los distintos rangos de frecuencia están dadas por la ITU-R, las cuales se utilizan a menudo durante el transcurso de este trabajo por lo que se muestran a continuación:

RANGO DE FRECUENCIA	DESIGNACIONES
30-300 Hz	ELF (Frecuencias extremadamente bajas)
0.3-3 kHz	BF (Frecuencia de la voz)
3-30 kHz	VLF (Frecuencias muy bajas)
30-300 KHz	LF (Frecuencias bajas)
0.3-3 MHz	MF (Frecuencias medias)
3-30 MHz	HF (Frecuencias altas)
30-300 MHz	VHF (frecuencias muy altas)
0.3-3 GHz	UHF (Frecuencias ultra altas)
3-30 GHz	SHF (Frecuencias super altas)
30-300 GHz	EHF (Frecuencias extremadamente altas)
0.3-3 THz	Luz infrarroja
3-30 THz	Luz infrarroja
30-300 THz	Luz infrarroja
0.3-3 PHz	Luz visible
3-30 PHz	Luz ultravioleta
30-300 PHz	Rayos X
0.3-3 Ehz	Rayos gamma
3-30 Ehz	Rayos cósmicos

Tabla I.1. Designación de frecuencias¹.

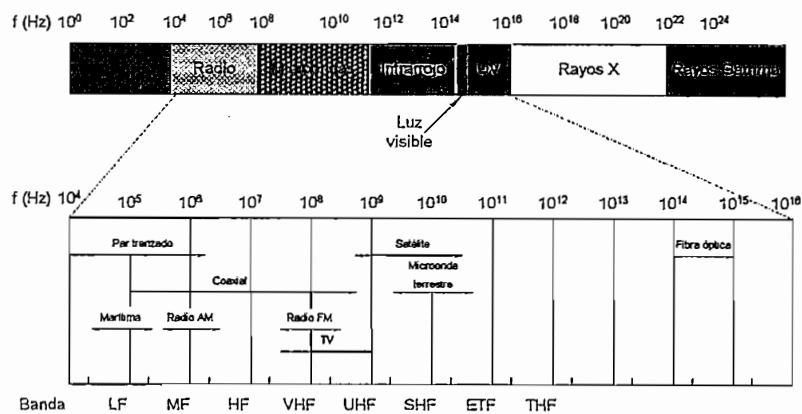


Figura I.2. Espectro electromagnético.

Por otro lado las frecuencias utilizadas en toda comunicación inalámbrica están dentro del espectro electromagnético que se muestra en la Figura I.2.² dentro del cual más adelante será ubicado el rango de frecuencias que utiliza el Sistema de Distribución Multipunto Multicanal, que es el motivo de estudio de esta tesis.

¹ Ref [51] Sistemas de Comunicaciones Electrónicas. Tomasi Wayne. México, 1996; pag 7

² Ref [51] Sistemas de Comunicaciones Electrónicas. Tomasi Wayne. México, 1996; pag 6.

CAPÍTULO 1

TECNOLOGÍA DEL SISTEMA DE
DISTRIBUCIÓN MULTIPUNTO
MULTICANAL (MMDS)

CAPÍTULO 1

TECNOLOGÍA DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN MULTIPUNTO MULTICANAL (MMDS)

1.1. SISTEMAS INALÁMBRICOS

Los sistemas inalámbricos son aquellos en los cuales la transmisión de información no utiliza ningún medio guiado, es decir, el aire es el medio de transmisión. La transmisión inalámbrica es una de las tecnologías que se ha desarrollado rápidamente en los últimos años, debido a la necesidad que tienen los usuarios de movilidad o donde es difícil extender un cable como en montañas, selvas, pantanos, etc.¹

Una dificultad para la transmisión inalámbrica fue la integración de servicios de voz, datos y video, lo que se ha superado con el desarrollo de técnicas de detección y corrección de errores, compresión y modulación de la información.

1.1.1. TRANSMISIÓN VÍA RADIO

Este tipo de transmisión se realiza en el espacio libre y se le conoce también como radiofrecuencia. Las ondas de radio son omnidireccionales² y fáciles de generar, además pueden viajar grandes distancias y penetrar edificios sin ningún problema.

Una característica importante de este tipo de ondas es la dependencia de la frecuencia. A bajas frecuencias, las ondas de radio cruzan bien los obstáculos pero su potencia se reduce drásticamente, pero a frecuencias altas las ondas de radio tienden a viajar en línea recta, a rebotar en los obstáculos y a ser absorbidas por la lluvia.

En las bandas de VLF, LF, MF las ondas se propagan siguiendo la superficie de la tierra (ground wave). Este tipo de transmisión no es adecuado para transmitir datos, debido a que el ancho de banda es pequeño y la velocidad de transmisión es baja (en el orden de unidades kbps).

En las bandas de HF y VHF las ondas se propagan por múltiples reflexiones entre la tierra y la ionósfera (sky wave). No es adecuado para transmitir datos, debido a que el ancho de banda es pequeño y la velocidad de transmisión es baja (en el orden de centenas kbps). En la parte

¹ Ref [47] Redes de Computadores. Andrew Tanenbaum. México, 1997: pag 94

² Ref [47] Redes de Computadores. Andrew Tanenbaum. México, 1997: pag 94

alta de VHF y baja de UHF las ondas tienden a ser direccionales en este caso es más difícil que este tipo de ondas atraviese obstáculos.

1.1.2. TRANSMISIÓN POR MICROONDAS

En este tipo de transmisión las ondas requieren línea de vista entre el transmisor y el receptor para su propagación. Se considera microonda desde la parte alta de UHF, SHF y la parte baja de EHF. La transmisión por microondas puede ser terrestre o satelital.

La microonda terrestre no atraviesa obstáculos, tiene desvanecimiento por múltiples trayectorias y una de las principales fuentes de pérdida es la absorción por lluvia y vapor de agua sobre los 10 GHz¹. Es utilizada en sistemas telefónicos de gran capacidad, telefonía celular, distribución de televisión, en transmisión de datos a cortas distancias, etc. Últimamente se están desarrollando nuevas tecnologías inalámbricas como el Sistema de Distribución Multipunto Multicanal (MMDS, Multipoint Multichannel Distribution System), que ocupa un rango de frecuencia en la banda de microonda y que será materia de la presente tesis.

La microonda satelital a más de las pérdidas que presenta la microonda terrestre, se ve afectada por el ruido atmosférico y cósmico. Aquí se utilizan las bandas C y Ku. Debido a las pérdidas ocasionadas por el vapor de agua en altas frecuencias se podría utilizar parte de la banda S. En la tabla 1.1.² se presentan las bandas de frecuencias de la microonda.

NOMBRE DE BANDA	ANCHO DE BANDA (GHz)
Banda L	0.39 a 1.55
Banda S	1.55 a 5.20
Banda C	3.70 a 6.20
Banda X	5.20 a 6.20
Banda K	10.9 a 36.0

Tabla 1.1. Banda de frecuencias de microonda.

1.1.2.1. TECNOLOGÍA CELULAR

La tecnología celular permite las comunicaciones bidireccionales desde y hacia un usuario móvil a través de la red pública y de su propio sistema de conmutación. Lo que implica la división de una zona geográfica en celdas (células)³, cada una de las cuales tiene asignado un grupo de frecuencias. Para conseguir mayor capacidad se utilizan celdas de menor tamaño y el

¹ Ref [47] Redes de Computadores. Tanenbaum Andrew. México. 1997: pag 99

² Ref [52] Sistemas de Comunicación Móvil por Satélite en banda L. Aguirre L, Henández M, Villalobos H. México. 1996: pag 23

³ Ref [51] Sistemas de Comunicaciones Electrónicas. Tomasi Wayne. México. 1996: pag 308

concepto de reutilización de frecuencias de transmisión en celdas cercanas pero no adyacentes.

Esta tecnología se utiliza en: telefonía celular, telefonía satelital, Servicios de Comunicaciones Personales (PCS) y en los sistemas MMDS; la diferencia entre ellos está dada por el tamaño de la celda lo que se ve reflejado en la potencia de transmisión. En telefonía satelital tanto la celda como el usuario tienen movilidad.

La telefonía celular utiliza la banda de 900 MHz. La telefonía satelital utiliza la banda L a 1.6 GHz en los enlaces ascendentes y descendentes, la comunicación entre satélites está en la banda Ka¹. El espectro para PCS es de 1.7 a 2.3 GHz². Mientras que los sistemas MMDS utilizan su propio espectro entre 2.5 a 2.7 GHz.

Combinando la telefonía celular y la tecnología de conmutación de paquetes se puede realizar comunicación de datos (CDPD, Cellular Digital Packet Data). La telefonía satelital a más de los servicios de voz puede proporcionar servicios de datos. En los sistemas MMDS se pueden integrar servicios de voz datos y video.

1.2. TECNOLOGÍAS PARA REDES DE ACCESO

Las redes de acceso requieren de: gran ancho de banda, transmisión full dúplex y un modelo que integre todos los servicios. Todos estos servicios deben ser proporcionados de una manera rentable para que sean atractivos al cliente. Se debe tomar en cuenta también los problemas legales que involucran el acceder a una red.

Existen muchas arquitecturas diferentes que ya se están instalado y nuevos esquemas que se construyen sobre estas arquitecturas de menor costo, que un esquema alámbrico. En la Figura 1.1. se pueden apreciar algunos tipos de redes de acceso.³

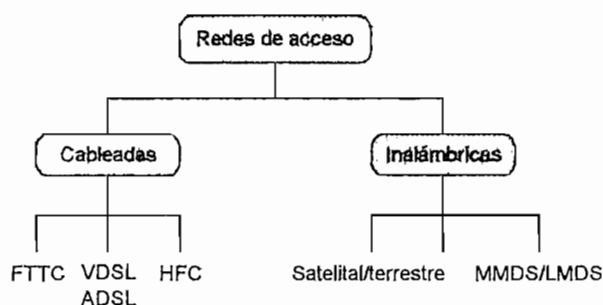


Figura 1.1. Tipos de redes de acceso.

¹ Ref [52] Sistemas de Comunicación Móvil por Satélite en banda L. Aguirre L, Henández M, Villalobos H. México, 1996: pag 23

² Ref [47] Redes de Computadores. Tanenbaum Andrew, México, 1997: pag 163

³ Ref [2] Access Networks. Ali Shahzad. Mayo 1998. <http://www.udel.edu/~sali/eleg666/hw2/html/node5.html>.

1. LÍNEA ASIMÉTRICA DIGITAL DE SUSCRIPTOR
(ADSL/VDSL, Asymmetrical/Very High Speed Digital Subscriber Line)
2. FIBRA HASTA LA ACERA (FTTC, Fiber to the Curb)
3. HÍBRIDA FIBRA /COAXIAL (HFC, Hybrid Fiber Coaxial)
4. DISTRIBUCIÓN SATELITAL Y TERRESTRE
5. SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN MULTICANAL MULTIPUNTO/LOCAL
(MMDS/LMDS, Multipoint/Local Multichannel Distribution System)

1.3. TECNOLOGÍAS QUE COMPITEN CON EL SISTEMA INALÁMBRICO

MMDS

Las comunicaciones inalámbricas pueden proporcionar ventajas significativas sobre otras tecnologías de comunicación que compiten por proveer alta velocidad, en información unidireccional y sobre todo bidireccional. Tradicionalmente compiten tecnologías tales como:

- 1.3.1. Tecnología de par trenzado
- 1.3.2. Tecnología de cable coaxial
- 1.3.3. Tecnología de fibra óptica
- 1.3.4. Tecnología híbrida
- 1.3.5. Tecnologías satelitales
- 1.3.6. Sistema de Distribución Multicanal Multipunto/Local (MMDS/LMDS)

Con cada una de las tecnologías, se deben considerar cuatro aspectos para determinar las ventajas competitivas, estos son¹:

- Costo: Equipo, implementación, mantenimiento, tarifas de usuarios
- Desempeño: cuantos bits por hertz, número de usuarios
- Fiabilidad: Tiempo de funcionamiento del sistema, redundancia
- Disponibilidad: ¿Está comercialmente listo?

1.3.1. TECNOLOGÍA DE PAR TRENZADO

Esta tecnología ha permitido que las Compañías de Telecomunicaciones nos entreguen servicios de alta velocidad, tales como líneas T1, ISDN (Integrated Service Digital Network) y xDSL (Digital Subscriber Loop) completos o fraccionados.

La tecnología xDSL se ha ido desarrollando paulatinamente es así que tenemos el ADSL (Asynchronous DSL) o ADSL-1, que ofrece un enlace a 1.534 Mbps al usuario y un canal de

retorno de 16 kbps, permitiendo un canal con gran ancho de banda para enviar películas codificadas con MPEG-1 y un ancho de banda suficiente para pedirías. Últimamente se ha desarrollado HDSL (High Speed DSL) o ADSL-2 y VDSL (Very High Speed DSL) o ADSL-3, este último puede llevar MPEG-2 (en 2 km). La estructura de red ADSL se puede visualizar en la Figura 1.2.

Hay diferencias fundamentales entre T1, ISDN y tecnologías xDSL como: la velocidad de datos, el equipo extremo a extremo, y el costo. Sin embargo, todas se consideran redes de alta velocidad que pueden soportar servicios de voz, datos y video.

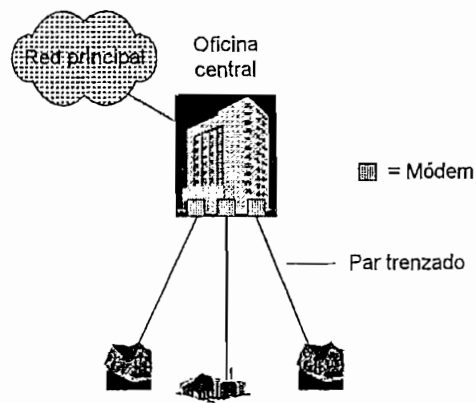


Figura 1.2. Estructura de red ADSL.

La tecnología de par trenzado soporta redes punto a punto, las cuales tienen sus propias limitaciones. Por ejemplo en ISDN se puede tener alta velocidad de datos (128 kbps), sin embargo, esto requiere un segundo par trenzado y en muchos casos la disponibilidad va a depender de la localización geográfica. La misma situación tienen las tecnologías xDSL donde se puede conseguir alta velocidad de datos en rango de 10 Mbps², pero el factor preponderante en esta tecnología es la distancia.

1.3.2. TECNOLOGÍA DE CABLE COAXIAL

Esta tecnología tiene un considerable ancho de banda. Las Compañías de TV cable han utilizado esta tecnología por muchos años para transmitir televisión, pero en los últimos años tratan de entregar acceso a Internet de alta velocidad, mejorando sus sistemas con capacidad

¹ Ref [3] Advances in Two-Way Data Transmission Using MMDS Spectrum. Peragine T. Ryan D. 1998
http://www.spke.com/html/body_an_alternative_technology.html.

² Ref [6] Asymmetrical/very High Speed Digital Subscriber Line (ADSL/VDSL). Ali Shahzad. Mayo 1998
<http://www.udel.edu/~sali/eleg666/hw2/html/node7.html>.

bidireccional. Estimaciones actuales indican que solamente el 10% de los sistemas de TV por cable en los Estados Unidos pueden manejar comunicaciones bidireccionales¹.

El ancho de banda en el camino de retorno es limitado sólo a 37 MHz y puesto en la parte más baja del espectro de frecuencia de 5 a 42 MHz. Este espectro ha demostrado ser particularmente vulnerable al ingreso de ruido, especialmente debajo de los 20 MHz.

1.3.3 TECNOLOGÍA DE FIBRA ÓPTICA

Esta tecnología tiene la capacidad de mover grandes cantidades de datos sobre largas distancias a altas velocidades. Ejemplos de la arquitectura de fibra óptica son SONET ring de 622 Mbps y Token ring a 100 Mbps; las cuales típicamente son referidas como tecnologías estándares del backbone (Trayectoria principal de una red) que están desplegadas sobre todo el mundo. Las desventajas de las tecnologías de fibra son: el costo para desplegar, el tiempo que toma en instalar y el derecho de acceso de vía para instalar la fibra. De acuerdo al sitio hasta donde las compañías proveedoras extiendan la fibra se pueden tener varias tecnologías como: FTTC (Fiber To The Curb), FTTH (Fiber To The Home), FTTB (Fiber To The Build), FTTN (Fiber To The Neighborhood) etc. De las cuales la más utilizada es FTTC.

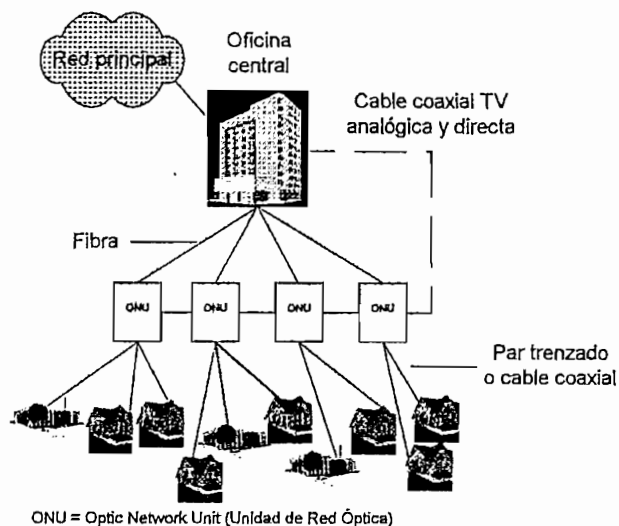


Figura 1.3. Estructura de red FTTC.

En la tecnología FTTC la compañía telefónica tiende la fibra óptica de la oficina terminal a cada barrio residencial, terminando en una unidad de red óptica (ONU), a la que llegan todos los lazos locales. Debido a que estos lazos locales son cortos (100m) puede funcionar con un T1 y

¹ Ref [3] Advances in Two-Way Data Transmission Using MMDS Spectrum. Peragine T. Ryan D. 1998. http://www.spke.com/html/body_an_alternative_technology.html.

T2 permitiendo películas de MPEG-1 y MPEG-2 respectivamente. La Figura 1.3. muestra la estructura de una red FTTC¹.

Si se quiere tener mayores velocidades se debe reemplazar los pares trenzados o cables coaxiales por fibra óptica lo cual nos lleva a FTTH, que resulta demasiado caro, pero permite llevar mayor información en las portadoras OC1, OC3 (Optic Carrier), incluso mayores si se requiere².

1.3.4. TECNOLOGÍA HÍBRIDA (HFC)

La tecnología híbrida o HFC (Híbrido Fiber/Coax) es preferida por los operadores de TV por cable, los cuales están sustituyendo los cables de 300 y 400 MHz por coaxiales de 750 MHz elevando la capacidad de 50 y 75 canales a 125 canales de 6 MHz cada uno. Los 50 canales adicionales se modulan con técnicas avanzadas (256 QAM). Obteniéndose un ancho de banda de 40 Mbps por canal y un total de 2 Gbps. Utilizando la estructura existente de TV cable es decir un cable de múltiples derivaciones se puede asignar a cada usuario un canal de hasta 4 Mbps, permitiendo enviar programas de MPEG-1, MPEG-2, datos, telefonía analógica y digital, etc. En la Figura 1.4. se muestra la estructura de una red HFC³.

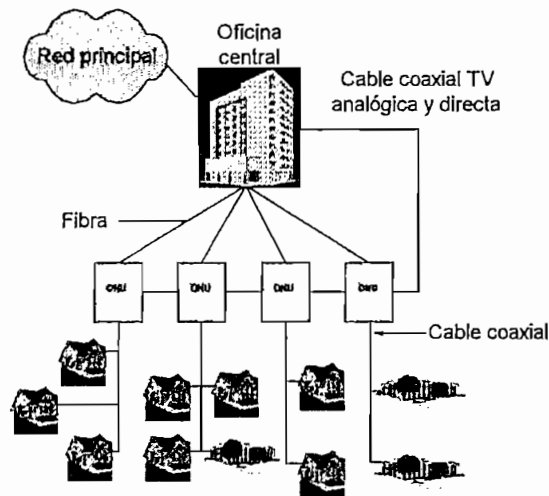


Figura 1.4. Estructura de red HFC.

Además de las tecnologías de cable se tienen las tecnologías inalámbricas, las mismas que ofrecen ventajas significativas en costo de infraestructura y facilidad de instalación cuando se comparan con tecnologías de líneas alámbricas. Entre las tecnologías inalámbricas más importantes están las siguientes: Satelital (VSAT), MMDS y LMDS.

¹ Ref [23] Fiber to the Curb (FTTC). Ali Shahzad, Mayo 1998. <http://www.udel.edu/~sali/eleg666/hw2/html/node6.html>.

² Ref [47] Redes de Computadores, Andrew Tanenbaum, México, 1997: pag 752.

³ Ref [32] Hybrid Fiber Coax (HFC). Ali Shahzad, Mayo 1998. <http://www.udel.edu/~sali/eleg666/hw2/html/node8.html>.

1.3.5. TECNOLOGÍA SATELITAL

Debido a los avances tecnológicos en los últimos años los satélites pueden transmitir servicios integrados como: voz, datos y video digital. Los canales satelitales operan en las bandas C y Ku y un canal típico puede llevar de 5 a 8 canales de video comprimidos.

El tráfico upstream (haz de subida o flujo de información desde el suscriptor hacia el proveedor) no es provisto por el sistema de distribución satelital, debido a la complejidad de los equipos del usuario. Este tráfico puede ser provisto por redes POTS (Plain Old Telephone Service) e ISDN como se ve en la Figura 1.5.¹ Aunque estos sistemas ofrezcan una gran cantidad de canales de televisión, la tecnología tendrá dificultad en proveer televisión local.

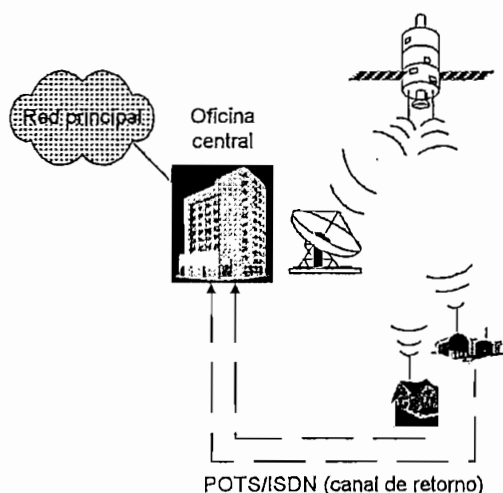


Figura 1.5. Sistema de distribución satelital.

Las redes VSAT (Very Small Aperture Terminals) suministran servicios de telecomunicaciones vía satélite a través de terminales pequeños que suelen ser ubicados en los predios de los clientes. Este tipo de tecnología se ha ido desarrollando en el campo de las Telecomunicaciones gracias a los adelantos de la tecnología digital, potencia disponible más elevada en los satélites y a la utilización de banda Ku².

Las VSAT son estaciones terrenas pequeñas las cuales se fabricaron durante los años 70, y que hoy en día proporcionan comunicaciones confiables de voz, datos y video. Las antenas que utilizan son de 1 m de diámetro y 1 vatio de potencia³. El enlace ascendente es aproximadamente de 19.2 kbps y el descendente de 512 kbps. La ventaja de este sistema es su alta confiabilidad y gran cobertura mundial, pero su costo de implementación es elevado y el

¹ Ref [50] Satellite and terrestrial Distribution, Ali Shahzad, Mayo 1998, <http://www.udel.edu/~sali/eleg666/hw2/html/node9.html>.

² Ref [24] Folleto de Comunicaciones Satelitales, Egas Carlos, Quito, 1996; pag 14.

³ Ref [24] Folleto de Comunicaciones Satelitales, Egas Carlos, Quito, 1996; pag 15

tiempo de retardo de la señal es alto (250 a 300 ms aproximadamente). En la Figura 1.6. se muestra este tipo de tecnología.

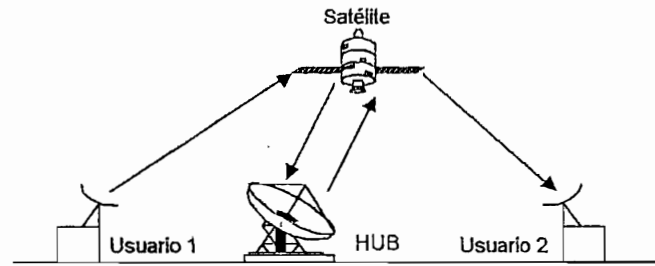


Figura 1.6. Red VSAT.

1.3.6. SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN MULTICANAL MULTIPUNTO/LOCAL (MMDS/LMDS)

Las frecuencias que utiliza el sistema MMDS son bastante robustas contra la lluvia y otros problemas ambientales. Además, hay componentes de RF de bajo costo disponibles, operando a estas frecuencias, en consecuencia esto hace posible desarrollar equipos de costo competitivo.

Cuando se combinan servicios de televisión central y de video, con servicios de datos de alta velocidad pueden traer nuevas y excelentes oportunidades de negocio a la industria de los sistemas MMDS. Como se muestra en la Figura 1.7.¹ MMDS se basa en un rango de difusión en la dirección del downstream (haz de bajada o flujo de información desde el proveedor hacia el suscriptor).

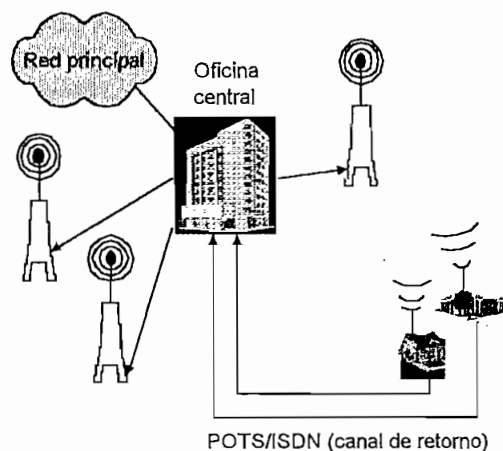


Figura 1.7. Red de acceso MMDS.

¹ Ref [40] Multipoint/Local Multichannel Distribution System. Ali Shahzad. Mayo 1998.
<http://www.udel.edu/~sali/eleg666/hw2/html/node5.html>.

Normalmente la banda de frecuencia está alrededor de 2.5 GHz y puede llevar de 100 a 200 canales de video digital comprimido utilizando esquemas de modulación digital (QAM). La antena transmisora cubre una región geográfica de clientes los cuales tienen que estar en la línea de vista del transmisor para que la señal de microonda pueda ser recibida. El canal de retorno upstream utiliza la red POTS/ISDN.

Un sistema similar se llama LMDS, que es una variación ligera de MMDS y que cubre una área mucho más pequeña, la diferencia principal es que en el LMDS, el canal ascendente también puede llevarse a través del enlace de microonda y no requiere de los canales de POTS/ISDN¹. Cabe notar que en los últimos años se está experimentando con el sistema MMDS bidireccional, inalámbrico en ambos sentidos. La banda de frecuencia utilizada por LMDS es 10 GHz. La banda de frecuencia baja se utiliza para el canal ascendente utilizando QPSK y la banda de frecuencia más alta se utiliza para la señal downstream utilizando QPSK o QAM.

1.4. SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN MULTIPUNTO MULTICANAL (MMDS)

El sistema MMDS se ha desarrollado para el servicio de distribución de múltiples puntos de varios canales, es una tecnología probada para la transmisión de TV por más de 30 años. Inicialmente el espectro del sistema MMDS consistió de 33 canales de TV analógica con un ancho de banda de 6 MHz. Posteriormente por la evolución de la tecnología digital se pudo obtener 99 canales digitales enviados a 10 Mbps cada uno, con un total de 1 Gbps de capacidad de un solo transmisor. Esta capacidad se puede aumentar reutilizando las mismas frecuencias en diversas localizaciones o áreas, lo cual nos permite un servicio confiable y de alta velocidad. En la actualidad se está desarrollando el sistema MMDS bidireccional para servicios integrados: voz, datos y video.

1.4.1. ¿QUÉ ES EL SISTEMA MMDS?

El MMDS o Sistema de Distribución Multipunto Multicanal, es un sistema por el cual desde un punto se distribuye múltiples señales a directamente varios usuarios. Este sistema es también llamado el cable sin hilos, ya que al igual que la televisión por cable puede distribuir varias señales hacia sus abonados.

1.4.2. ORIGEN Y CRECIMIENTO DEL SISTEMA MMDS

El sistema MMDS, apareció por primera vez en los años sesenta, cuando tal rango de espectro fue dedicado a ITFS (Instruccional Television Fixed Service) para la distribución de programación educativa y para establecimientos educativos. Se utilizó en los campus

¹ Ref [40] Multipoint/Local Multichannel Distribution System. Ali Shahzad, Mayo 1998.
<http://www.udel.edu/~saij/eleg666/hw2/html/node5.html>.

universitarios para proporcionar materiales de lectura suplementarios durante el día, y entretenimiento en la noche. También se utilizó para difundir programación educativa a las escuelas locales y para las organizaciones religiosas.

La Comisión Federal de Comunicaciones (FCC, Federal Communications Commission) entonces comprendió el potencial comercial de tales sistemas y asignó varios canales de 6 MHz para la radiodifusión de la televisión. Este servicio se denominó Sistema de Distribución Metropolitano (MDS, Metropolitan Distribution System) y enseguida generó mucha popularidad. Pero posteriormente el sistema empezó a perder mercado debido al creciente desarrollo de las compañías de televisión por cable y al número limitado de canales que proporcionaba a los suscriptores.

Sin embargo, a mediados de 1980 esta tecnología recobró la atención de los operadores de servicio de video en todo el mundo. Desarrollándose los sistemas MMDS en varios países como: Irlanda, Australia, Canadá, Francia, Hong Kong, Jordania, África del Sur, Escandinavia, como también en algunas partes de Europa Oriental y América Latina¹.

La revitalización del sistema MMDS o cable inalámbrico, puede atribuirse a dos razones principales: su disponibilidad y accesibilidad. El cable inalámbrico puede estar disponible en las áreas de población esparcida y en áreas donde es demasiado caro construir una estación de cable tradicional. El bajo costo de implementar una estación de cable inalámbrico trae un ahorro sustancial al proveedor de servicio y a los suscriptores.

1.4.3. ESPECTRO DE FRECUENCIA DEL SISTEMA MMDS

Los sistemas MMDS están caracterizadas por el número limitado de canales disponibles en las bandas bajas de RF. Solo 200 MHz de espectro están asignados para el uso del sistema MMDS, entre 2.5 GHz a 2.7 GHz. Esto reduce el número de canales en un simple sistema MMDS. Para las señales de TV con 6 MHz de ancho de banda, se puede tener 33 canales en el espectro².

Se ha propuesto asignar una nueva banda de frecuencia dedicada a los sistemas MMDS digitales, pero esto no es práctico debido a la presión de los proveedores de servicio de video alternativos en las frecuencias más bajas de microonda. Por otro lado se requieren potencias de transmisión y ganancia más altas de las antenas, lo cual implicará costos más altos del sistema. Las bandas de frecuencia superiores no son escogidas para el sistema MMDS debido a que las pérdidas por espacio libre son mayores.

¹ Ref [61] Wireless Cable TV and Pacific Telesis' Digital Video Project; Chow F. Ho P. Metz H. Diciembre 1996. <http://www.alder.eecs.berkeley.edu/~fchow/ee228.html>.

² Ref [61] Wireless Cable TV and Pacific Telesis' Digital Video Project; Chow F. Ho P. Metz H. Diciembre 1996. <http://www.alder.eecs.berkeley.edu/~fchow/ee228.html>.

El rango del transmisor, el tipo de antena receptora y la cobertura están determinados por el espectro. Por otra parte los transmisores de televisión analógicos MMDS, ITFS y MDS fueron los primeros utilizados para el acceso de Internet. Debido a la subcanalización de las bandas para la televisión, se podía obtener uno, dos, o tres subcanales digitales de 2 MHz unidos, con los ajustes a los diplexers y filtros del transmisor analógico¹. Los transmisores digitales han sido recientemente disponibles por varios fabricantes. La Tabla 1.2. indica las designaciones y usos de las bandas de frecuencias, mientras que la Tabla 1.3. muestra los rangos de frecuencia de las bandas de frecuencias.

NOMBRE	NOMBRE COMPLETO Y USO BÁSICO
MMDS	Sistema de Distribución Multipunto Multicanal; la mayoría de estos transmisores de TV son analógicos y requieren la actualización a digital a menos que se utilice una subbanda de canalización.
MDS	Sistema de Distribución Metropolitano; TV analógica o no se utiliza.
WCS	Servicios de Comunicaciones Inalámbricos; nuevo.
ITFS	Servicio Fijo de Televisión Educacional; el servicio educativo incluye el acceso de Internet.
LMDS	Sistema de Distribución Multipunto Local; nuevo.
ISM	Educacional Científico y Médico; las bandas sin licencias utilizaron para LANs y para el camino de retorno para módems de sistemas bidireccionales.

Tabla 1.2. Designaciones y usos de las bandas de frecuencia².

NOMBRE	FRECUENCIA	DESCRIPCIÓN
MMDS	2500-2686 MHz	31 canales de televisión de 6 MHz cada uno (transmisores) incluyendo ITFS; algunos operadores tienen sólo cuatro canales; distancia a 56 km, requiere de línea de vista y es afectado por las múltiples trayectorias.
MDS1	2150-2156 MHz	Un solo canal de 6 MHz; ver MMDS.
MDS2	2156-2162 MHz	Un solo canal de 6 MHz; ver MMDS.
MDS2A	2156-2160 MHz	MDS2 truncado en un lado a 4 MHz.
WCS	2305-2320 MHz	Bloques de 5 o 10 MHz; nuevo en mayo de 1997.
WCS	2345-2360 MHz	Bloques de 5 o 10 MHz; nuevo en mayo de 1997.
ITFS	2500-2690 MHz	Canales compartidos de 6 MHz con MMDS.
LPTV	54-72 MHz 78-88 MHz 174-216 MHz 470-806 MHz	Difusión de baja potencia; canales de 6 MHz licencias experimentales. La baja potencia puede ser de 50 kW de potencia eficaz radiada (esto incluye la ganancia de la antena). El funcionamiento con línea de vista es aconsejable.

¹ Ref [25] Frequency Bands and Limitations, Wireless Broadband Modems Tutorial, Hybrid, Octubre 1999, http://www.webproforum.com/wire_broad/topic04.html.

² Ref [25] Frequency Bands and Limitations, Wireless Broadband Modems Tutorial, Hybrid, Octubre 1999, http://www.webproforum.com/wire_broad/topic04.html.

NOMBRE	FRECUENCIA	DESCRIPCIÓN
LMDS	27500-28350 MHz 31000-31300 MHz	Alcance pequeño, 5 km, canales de 20 MHz, propagación que es afectada por la lluvia.
ISM	902-928 MHz 2400-2483.5 MHz	Alcance pequeño de 0.8 km de espectro extendido omnidireccional. Alcance pequeño, similar a 900 MHz, pero puede también diseñarse más allá de 24 km punto a punto como el camino de retorno para un sistema de cable módem.

Tabla 1.3. Rango de las bandas de frecuencia¹.

El espectro radioeléctrico disponible para los sistemas MMDS incluye lo siguiente²:

- 2 canales MDS de 2150-2162 MHz designados MDS-1 y MDS-2
- 16 canales ITFS grupos del A al D, de 2500-2596 MHz. 8 canales MMDS grupos E y F de 2596-2644 MHz
- 4 canales ITFS grupo G entrelazados con 3 canales MMDS grupo H: 1/2/3 de 2644-2686 MHz

En la Figura 1.8. se puede ver la distribución del espectro de frecuencias para el sistema MMDS³.

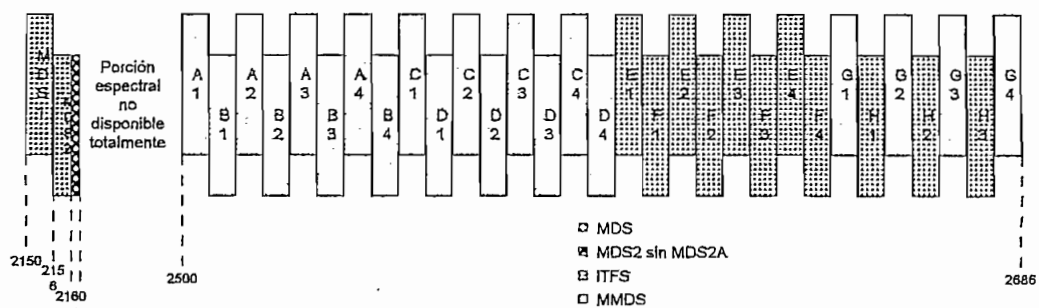


Figura 1.8. Espectro de frecuencias del sistema MMDS.

1.4.4. GENERALIDADES DEL SISTEMA MMDS

Por tratarse de una transmisión por microondas, se requiere de línea de vista, por lo tanto no debe existir obstáculos entre la antena emisora y receptora. Para tener la máxima eficiencia de transmisión, el equipo transmisor debe instalarse en el punto de terreno lo más alto posible. Esta señal viaja como si fuera un haz luminoso entre la antena emisora y receptora, la cual

¹ Ref [25] Frequency Bands and Limitations. Wireless Broadband Modems Tutorial. Hybrid. Octubre 1999. http://www.webproforum.com/wire_broad/topic04.html.

² Ref [38] MMDS/WCS Transmitter Systems for Internet Access. Wireless Broadband Modems Tutorial. Hybrid. Octubre 1999. http://www.webproforum.com/wire_broad/topic10.html.

³ Ref [26] Frequency Reuse and Capacity in Two-way MMDS. Roman Vincentio. <http://www.adc.com/Corp/BWG/MSD/2waymmds.html>.

puede ser absorbida o atenuada si en su trayectoria encuentra cualquier obstáculo. Por lo cual es muy importante que su trayectoria esté despejada entre los dos puntos.

1.4.4.1. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL SISTEMA MMDS

El sistema MMDS presenta algunas ventajas y desventajas, entre las principales tenemos las siguientes:

a. VENTAJAS

- Una de las grandes ventajas del sistema de transmisión con respecto al cable tendido, es que podemos instalar rápidamente en cualquier punto de una ciudad, sin levantar calles ni aceras.
- La calidad de imagen en el sistema MMDS es más confiable, por tratarse de microondas. En cambio en el cable es más difícil tener una imagen de alta calidad en un tendido de varios kilómetros. De la misma manera en el sistema de UHF es difícil tener una imagen de alta calidad debido a la saturación de las frecuencias (frecuencias muy pegadas), ya que se utiliza en todas las comunicaciones.
- El sistema MMDS ofrece la posibilidad de contar con una serie de canales con programación proporcionada por satélites, estaciones terrenas, programación local y programación propia del proveedor, todos con una imagen de calidad excelente.
- Estos sistemas están consiguiendo una eficiencia técnica y económica muy superior a la del cable. Ofrece a los abonados una oferta similar a la del cable pero con un precio mucho menor.
- Pese a ser un sistema de transmisión aún nuevo, los sistemas MMDS se están desarrollando en muchos países de manera significativa y sobre todo de manera rápida. Especialmente ofreciendo nuevos servicios como Internet y telefonía.

b. DESVENTAJAS

- Una de las desventajas de instalar el sistema MMDS es el requerimiento de línea de vista, lo que limita el número de abonados, especialmente en terrenos montañosos o ciudades con grandes edificios.
- El limitado espectro de frecuencias asignado para el sistema MMDS reduce el número de canales disponibles para la transmisión.
- Como existe utilización del espectro electromagnético en estos sistemas, no se estimula la presencia de un mayor número de competidores en una misma área, por pequeña que ella sea, debido a los problemas de interferencia que se podrían producir.

1.4.5. VISIÓN GENERAL DE LA TECNOLOGÍA

En los Estados Unidos un total de 33 canales analógicos (cada uno de 6 MHz) estaban disponibles para el uso del sistema MMDS, asignados por el FCC; de los cuales 20 canales estaban reservados para la programación educativa o religiosa. El número de canales era un factor limitante del número de programas que un operador podía proporcionar, este problema ha sido superado con el desarrollo de la compresión de video y de las tecnologías digitales. Con esto se pretendía obtener más de 150 canales digitales en el espectro asignado. Además, la transmisión digital puede entregar voz e imagen con alta definición y puede tener un rango más grande de cobertura. También requiere más baja Relación Portadora a Ruido (CNR, Carrier to Noise Ratio), lo que implica una potencia más baja de operación¹.

En un sistema MMDS típico, la programación codificada (scrambled) del satélite es recibida en una estación central en donde es: decodificada (descrambled), digitalizada, comprimida, modulada, multiplexada, y convertida ascendentemente (a frecuencias altas), para ser alimentado a los transmisores especiales. La alta frecuencia (SHF) de los transmisores, distribuyen la programación a toda el área de cobertura². Las señales se reciben por antenas instaladas en las casas de los usuarios y llevadas a través de un cable coaxial a los aparatos de televisión.

Una característica que limita el sistema inalámbrico es que el transmisor debe tener línea de vista, ya que las ondas electromagnéticas deben viajar en línea recta para que la señal (SHF) no se atenúe o se pierda, asegurándose de esta manera una recepción clara. Por otro lado, las transmisiones en este rango de frecuencias están sujetas a interferencias por: edificios, árboles, colinas y otros rasgos topográficos. Por lo cual se debe tener en cuenta dónde se deben construir las estaciones del transmisor. Una solución sería una cresta montañosa, con un ángulo alto de elevación y pocos obstáculos que bloqueen la señal, en cambio en las regiones en donde la recepción de la señal es baja, se puede colocar un repetidor para recibir la señal MMDS y retransmitir en otras direcciones y a otras áreas.

Se deben considerar otros factores como: la necesidad de una modulación eficaz y esquemas de multiplexación para el máximo aprovechamiento del ancho de banda y una tasa de errores tolerable. La instalación del sistema debe tomar en cuenta la cobertura, la potencia del transmisor y seguridad en la encriptación, para evitar el acceso ilegal a los canales.

En las antenas y downconverters (convertidores descendentes de frecuencias altas a bajas) de los usuarios, se necesita recuperar la señal y bajar a las frecuencias de VHF (50-100 MHz).

¹ Ref [61] Wireless Cable TV and Pacific Telesis' Digital Video Project; Chow F. Ho P. Metz H. Diciembre 1996, <http://www.alder.eecs.berkeley.edu/~fchow/ee228.html>.

² Ref [61] Wireless Cable TV and Pacific Telesis' Digital Video Project; Chow F. Ho P. Metz H. Diciembre 1996, <http://www.alder.eecs.berkeley.edu/~fchow/ee228.html>.

Estos a veces son combinados con los decodificadores (descrambler) como un solo dispositivo. Uno de los desafíos es minimizar el costo de estos dispositivos para que el sistema MMDS pueda competir con otros sistemas como la Difusión Directa por Satélite (DBS) que requiere una inversión inicial más grande de los usuarios¹.

Por otra parte en los últimos años están apareciendo nuevas aplicaciones tanto para servicios interactivos como para Internet de alta velocidad, para lo cual se ha reservado una parte del ancho de banda para las señales de retorno. En este caso los dispositivos en ambos extremos son los responsables de la transmisión y recepción de las señales simultáneamente, volviéndose más complicado los problemas de eficiencia e interferencia.

1.5. TÉCNICAS UTILIZADAS EN EL SISTEMA MMDS

En esta sección se describen las técnicas más comunes tanto de modulación, detección y corrección de errores, y compresión de video para la transmisión de los diferentes servicios de voz, datos y video que el sistema puede ofrecer.

1.5.1. TÉCNICAS DE MODULACIÓN UTILIZADAS

La modulación digital es el método más común de transmitir información, ya que es mucho más fiable y más eficiente espectralmente que su predecesora, la modulación analógica. Se tiene muchos métodos de modulación para la transmisión digital; siendo diferentes en términos de eficiencia espectral, robustez y complejidad.

La eficiencia espectral es usualmente expresada en bits por hertz. La robustez se refiere a la cantidad de interferencia externa (Ruido Blanco Gaussiano Aditivo, ráfagas de ruido transitorio, interferencia del canal adyacente, tonos en el canal, etc.) que el sistema puede tolerar en la banda, mientras la transmisión de datos sea fiable sobre el canal. La interferencia es normalmente medida respecto a la potencia de la señal deseada y se expresa como una Relación Señal a Ruido (SNR, Signal to Noise Ratio) o Relación Señal a Interferencia (SIR, Signal to Interference Ratio).

En algunos métodos de comunicación la portadora de la señal tiene mayor potencia que la señal de información; en este caso se tiene la Relación Portadora a Ruido (CNR) y la Relación Portadora a Interferencia (CIR, Carrier to Interference Ratio). La potencia de la señal es la suma de la potencia de la portadora (si está presente) y la potencia de la información siendo parte de la señal. El tiempo utilizado para transmitir sobre un canal se define como período de símbolo, Cada método de modulación utiliza un ancho de banda que es proporcional a la

¹ Ref [61] Wireless Cable TV and Pacific Telesis' Digital Video Project; Chow F. Ho P. Metz H. Diciembre 1996. <http://www.alder.eecs.berkeley.edu/~fchow/ee228.html>.

velocidad de símbolo. A veces el ancho de banda se define como el límite de banda que contiene el 95% de la potencia total de la portadora de información. La velocidad de símbolo, la velocidad de transmisión y la eficiencia espectral están dadas por las siguientes ecuaciones:

$$V_{\text{sim}} = \frac{1}{T_s} = 2 \cdot AB \quad (1.1)$$

$$V_{\text{tx}} = 2 \cdot AB \cdot \log_2 M \quad (1.2)$$

$$d = \frac{n \cdot V_{\text{sim}}}{AB} = \frac{V_{\text{tx}}}{AB} \quad (1.3)$$

$$M = 2^n \quad (1.4)$$

$$T_s = nT_b \quad (1.5)$$

Donde:

V_{sim}	= Velocidad de símbolo en baudios
V_{tx}	= Velocidad de transmisión o información en bps
d	= Eficiencia espectral en bps/Hz
AB	= Ancho de banda de la señal en Hz
M	= Número de niveles
n	= Número de bits por símbolo
T_s	= Período de símbolo en segundos
T_b	= Período de bit en segundos

Las técnicas de modulación típicas utilizadas para transmisión de: video, voz y datos digitales en un sistema MMDS son:

1.5.1.1. Modulación por Cambio de Fase M-aria (M-ary PSK)

1.5.1.2. Modulación de Amplitud en Cuadratura (QAM)

1.5.1.3. Modulación en Banda Lateral Vestigial (VSB)

1.5.1.4. Espectro Disperso (Spread Spectrum)

1.5.1.1. MODULACIÓN POR CAMBIO DE FASE M-aria (M-ary PSK)

En la modulación por cambio de fase M-aria (M-ary Phase Shift Keying, M-ary PSK) se puede tener mejor eficiencia del ancho de banda a expensas de un mejor SNR requerido. Se pueden

enviar n bits de información por símbolo utilizando un conjunto de M fases separadas por K radianes. K es definido por la relación:

$$K = \frac{2\pi}{M} \text{ (Radianes)} \quad (1.6)$$

La modulación BPSK (Binary Phase Shift Keying) cambia entre dos fases de una portadora separadas π radianes para llevar información. El ancho de banda con modulación MPSK está dado por la ecuación.

$$AB_{\text{MPSK}} = \frac{2 \cdot AB}{\log_2 M} \quad (1.7)$$

$$AB_{\text{BPSK}} = V_{\text{sim}} = \frac{1}{T} \quad (1.8)$$

Donde:

AB_{BPSK} = Ancho de banda con BPSK en Hz

T = Período de símbolo en segundos

AB_{MPSK} = Ancho de banda con MPSK en Hz

AB = Ancho de banda de la señal en banda base en Hz

En el caso particular de BPSK se puede enviar solamente un bit por símbolo y el ancho de banda es fijado por la velocidad de símbolo.

1.5.1.2. MODULACIÓN DE AMPLITUD EN CUADRATURA (QAM)

La modulación de amplitud en cuadratura (QAM, Quadrature Amplitude Modulation) utiliza una combinación de modulación de amplitud y fase. En QPSK o 4 QAM, se puede describir como dos canales independientes BPSK transmitidos en la misma banda en cuadratura el uno respecto al otro. Respecto a la portadora un canal está en fase (I) y el otro estará en cuadratura (Q) a él. Obviamente debido a que dos señales BPSK ocupan el mismo ancho de banda, la eficiencia espectral será el doble sin cambiar el SNR requerido. Se puede tener un nivel más alto de modulación (x QAM) aumentando el número de estados, de esta manera aumenta el número de bits llevados por símbolo, además aumenta la eficiencia espectral sin cambios en el ancho de banda pero incrementa el SNR requerido. Adelantos recientes en tecnologías FPGA (Field Programmable Gate Array) y AVLSI (Analog Very Large Scale Integration), han permitido un gran incremento en la potencia y velocidad de DSPs (Digital Signal Processing), permitiendo que 4 QAM suba a 256 QAM. Los niveles de QAM dependen solamente de la relación SNR disponible en el canal. El ancho de banda de la modulación QAM está dado por:

$$AB_{MQAM} = \frac{2 \cdot AB}{\log_2 M} \quad (1.9)$$

Donde:

AB_{MQAM} = Ancho de banda con QAM en Hz

AB = Ancho de banda de la señal en banda base en Hz

M = Número de niveles

Las señales QAM son filtradas por un filtro coseno alzado de Nyquist, para limitar el ancho de banda y reducir la interferencia intersímbolo (ISI, InterSymbol Interference). Un filtro digital FIR (Finite Impulse Response) puede dar factores de roll-off tan bajos que están en el orden 1/5, un factor del roll-off típico es 18%¹. El ancho de banda total utilizando un filtro coseno alzado es:

$$AB_{\alpha} = V_{sim}(1 + \alpha) = AB(1 + \alpha) \quad (1.10)$$

Donde:

α = Factor de roll-off

AB = Ancho de banda de la señal en Hz

AB_{α} = Ancho de banda con factor de roll-off en Hz

En la Tabla 1.4. se muestra una comparación de la eficiencia espectral y SNR para algunos métodos de modulación.

Tipo de Modulación	Máximo # de Bits por Hertz. Límite teórico	Límite real con $\alpha = 0,2$	Velocidad de datos en un ancho de banda de 6 MHz (Mbps)	SNR requerido aproximado para una tasa de símbolos errados de 10^{-6} sin corrección de errores
BPSK	1	0.833	5	.11
QPSK (4 QAM)	2	1.667	10	14
16 QAM	4	3.333	20	21
64 QAM	6	5.000	30	27
256 QAM	8	6.667	40	33

Tabla 1.4. Eficiencia espectral y SNR para algunos métodos de modulación².

¹ Ref [3] Advances in Two-Way Data Transmission Using MMDS Spectrum. Peragine T. Ryan D. 1998. http://www.spke.com/html/body_an_alternative_technology.html.

² Ref [3] Advances in Two-Way Data Transmission Using MMDS Spectrum. Peragine T. Ryan D. 1998. http://www.spke.com/html/body_an_alternative_technology.html.

1.5.1.3. MODULACIÓN EN BANDA LATERAL VESTIGIAL (VSB)

La modulación en Banda Lateral Vestigial (VSB, Vestigial SideBand) es una modulación digital en donde la información digital es transmitida exclusivamente en varios niveles de amplitud de la portadora, se diferencia de QAM porque en esta modulación se excluye la fase. El término vestigial se debe a que una vez realizada la modulación en amplitud se filtra la señal de manera que queden una banda lateral superior y un "vestigio" de la banda lateral inferior.

Existen algunos tipos de modulación VSB, los cuales se denotan como n VSB, donde n es un entero que indica el número de estados por Hz. Con este tipo de modulación el orden más utilizado en los sistemas MMDS es 16 VSB y 8 VSB.

1.5.1.4. ESPECTRO DISPERSO (SPREAD SPECTRUM)

Las técnicas Spread Spectrum (Espectro disperso o codificación pseudoaleatoria) son otros medios por los cuales se puede reforzar la capacidad. Estas técnicas no son muy eficientes espectralmente por consiguiente tienen más bajas velocidades de información de datos que la velocidad de información real que determina el ancho de banda total del canal. Donde pueden ganar alguna eficiencia es en la capacidad de los códigos ortogonales a ser transmitidos en el mismo canal sobre una base casi sin interferencia. También tienen la capacidad para mantener velocidades de transmisión de datos fiables en canales con SNR pobre. La ganancia del procesamiento que resulta de la correlación del código de chip conocido puede sacar la señal con el mínimo ruido. Esta ventaja del SNR viene a costo del hardware del DSP y exceso en el ancho de banda del canal.

1.5.2. TÉCNICAS DE CORRECCIÓN DE ERRORES

Los requerimientos del sistema determinan qué método es mejor para un sistema en particular, se puede utilizar ARQ (Automatic Retransmission reQuest), FEC (Forward Error Correction) o una combinación de ambos. Las técnicas FEC frecuentemente se utilizan para transmisiones sencillas a múltiples receptores, cuando los reconocimientos no son esenciales. Las técnicas ARQ pueden ser: Para y Espera, Continua y Selectiva.

Las técnicas de Corrección de Errores Directa (FEC), es la única técnica que detecta y corrige los errores de transmisión del lado del receptor sin pedir retransmisión¹. Todos los códigos FEC, requieren de la adición de bits a los datos, alargando el mensaje transmitido. El propósito de los códigos FEC es reducir o eliminar el tiempo empleado en las retransmisiones. Sin embargo, la suma de los bits (FEC) a cada mensaje aumenta el tiempo de transmisión.

¹ Ref [51] Sistemas de Comunicaciones Electrónicas, Tomasi Wayne, México, 1996: pag 526

El estándar de Transmisión Digital de Video (DVB) para la televisión por cable especifica: dispersión de energía, codificación Reed Solomon y entrelazado para técnicas de corrección de errores (FEC). Eventualmente a más de la codificación Reed Solomon se utiliza también la codificación de Trellis o una combinación de las dos. La codificación Reed Solomon agrega 16 bytes de paridad adicionales a cada segmento de 188 bytes, lo que se denota como RS (204,188). Se puede corregir más de 8 errores dentro de cada segmento de 188 bytes. La codificación RS baja la velocidad de información a 188/204. Por estar entrelazados los datos en el tiempo, el sistema es más inmune a las típicas ráfagas de errores en la transmisión aérea¹. Con técnicas FEC, la tasa de bits errados (BER) de 10^{-4} se reduce a 10^{-11} . Más información sobre el funcionamiento de la codificación Reed Solomon se tiene en el Anexo 1.

1.5.3 TÉCNICAS DE COMPRESIÓN DE DATOS

Los estándares MPEG (Motion Picture Experts Group) son algoritmos utilizados para comprimir video y audio, estandarizados desde 1993. El primer estándar fue MPEG-1, para producir salida con calidad de video grabadora (352x240 para NTSC), con una velocidad de transmisión de 1.2 Mbps. Se puede utilizar en líneas de transmisión de par trenzado a distancias cortas, para almacenar películas en CD-ROM².

MPEG-2 es el estándar utilizado en los sistemas MMDS. MPEG-2 es un estándar de compresión de video desarrollado a mediados de los años noventa para la televisión digital. MPEG-2 está basado en la transformada discreta coseno y es una extensión desarrollada de las normas de compresión de video más recientes: JPEG y MPEG-1³.

El estándar MPEG-2 se diseñó originalmente para comprimir video con calidad de difusión de 4 a 6 Mbps, de manera que pueda caber en un canal de difusión NTSC o PAL. Tiene una manera más general de multiplexar audio y video ya que a más de estos tiene que sincronizar datos por ejemplo: títulos y subtítulos en varios idiomas. Tanto el video y audio se empaquetan con marcas de tiempo (sincronizados por el reloj). La salida de cada empaquetador constituye un PES (Packetized Elementary Stream). Cada PES tiene unos 30 campos de cabecera e indicadores, incluidas longitudes, indicadores de secuencia, control de cifrado, estado de derechos de autor, marcas de tiempo y CRC (Cyclic Redundancy Check). Las secuencias PES de audio, video y datos se multiplexan juntas en un solo flujo de transporte MPEG-2 de salida para su transmisión. La Figura 1.9. muestra un ejemplo sencillo de dos secuencias que se multiplexan con MPEG-2⁴.

¹ Ref [37] MMDS Transmitter for High Data Rate Digital Video Delivery. Urban David. <http://www.adc.com/Corp/BWG/MSD/mmdsxmtr.html>.

² Ref [56] Technical Foundations of Residential Broadband, Cisco Systems Inc. 1998. <http://www.cisco.com/cpress/cc/td/cpress/design/rbb/ch02.htm>.

³ Ref [37] MMDS Transmitter for High Data Rate Digital Video Delivery. Urban David. <http://www.adc.com/Corp/BWG/MSD/mmdsxmtr.html>.

⁴ Ref [47] Redes de Computadores. Andrew Tanenbaum. México. 1997: pag 743

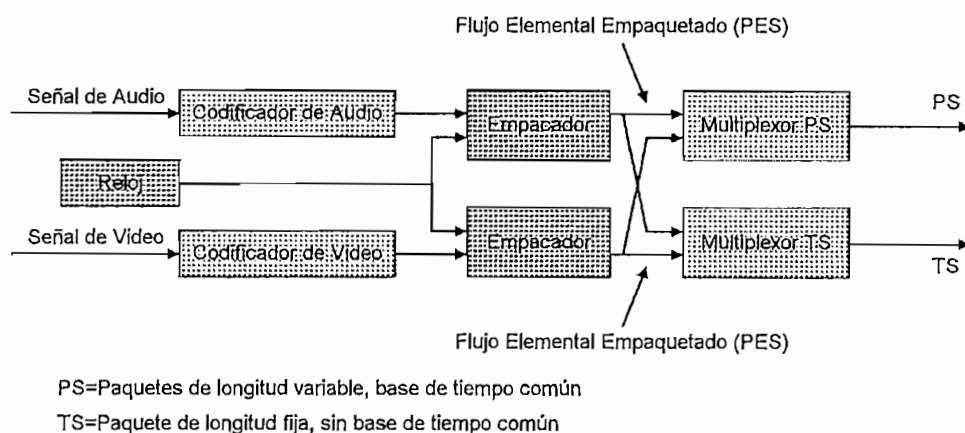


Figura 1.9. Compresión MPEG-2.

La velocidad de transmisión está determinada por: el ancho de banda del canal, técnica de corrección de errores (FEC) y tipo de modulación. Más programas pueden caber en un solo canal disminuyendo la tasa de bit. La calidad de imagen puede deteriorarse con tasas de bits bajas. La televisión (imágenes en vivo) tiende a requerir más altas velocidades de transmisión que las películas pregrabadas. La velocidad de transmisión requerida para cada programa está dentro de 2 a 8 Mbps. Más información acerca del funcionamiento de MPEG-2 se tiene en el Anexo 2.

El MPEG-3 existió originalmente para HDTV (High Definition Television), pero posteriormente desapareció agregando MPEG-2 para HDTV. El MPEG-4 es para video conferencias de mediana difusión con tasas de cuadro bajas (10 cuadros/s) y una baja velocidad de transmisión (64 kbps). Lo cual permitió mantener video conferencias para un solo canal N-ISDN.

1.5.4. OBTENCIÓN DE LA SEÑAL EN EL TRANSMISOR INALÁMBRICO PARA LA DIFUSIÓN

La mayoría de transmisores inalámbricos exigen torres altas para conseguir el área de cobertura. Estos están a menudo fuera de la ciudad entonces el problema es conseguir la señal downstream desde el punto de presencia (PoP) al transmisor. Este camino es tan importante como el resto del sistema y debe diseñarse apropiadamente. Hay dos medios de transmisión básicos, inalámbrico y fibra óptica, y dos tecnologías de transmisión, modulación de amplitud y modulación de frecuencia.

La modulación de amplitud ofrece más canales. La opción depende, sin embargo, si hay enlaces existentes para señales de televisión y qué tan lejos esto es posible diseñar a futuro con el crecimiento de negocios. En la Tabla 1.5. se muestran opciones para el enlace entre el PoP y el transmisor.

Opción	Modulación de Amplitud	Modulación de Frecuencia
Inalámbrico.	AML (Amplitude Modulated Link) para 31 canales. Precaución: puede necesitarse filtros de ruido.	STL (Studio Transmitter Link) 1 canal de datos. Precaución: downconverter desde 44 MHz a banda base, se utilizan filtros de ruido.
Fibras ópticas.	Enlaces de fibra óptica para CATV 36 a 69 canales. Precaución: estándar.	Enlaces de fibra en FM de 1 a 16 canales, estándar obsoleto. Precaución: downconverter desde 44 MHz a banda base, se utilizan filtros de ruido

Tabla 1.5. Opciones para el enlace entre el PoP y el transmisor.¹

Es importante notar que en un ambiente inalámbrico, la fluctuación de frecuencia en el enlace entre el PoP y el transmisor degrada la estabilidad de la señal downstream transmitida. En el caso de STL, los downconverters y upconverters convierten la señal IF (Intermediate Frequency) de 44 MHz para acercarse a la banda base estable. En el caso de enlaces de amplitud modulada, la conversión a las bandas de CATV (Community Antenna Television) y regreso a IF degrada la estabilidad a menos que los dispositivos puedan asegurarse a una referencia estable.

¹ Ref [30] Getting the Signal to the Broadcast Wireless Transmitter, Wireless Broadband Modems Tutorial, Hybrid, Octubre 1999, http://www.webproforum.com/wire_broad/topic06.html.

CAPÍTULO 2

EL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN
MULTIPUNTO MULTICANAL
(MMDS) UNIDIRECCIONAL Y
SUS APLICACIONES

CAPÍTULO 2

EL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN MULTIPUNTO MULTICANAL (MMDS) UNIDIRECCIONAL Y SUS APLICACIONES

2.1. INTRODUCCIÓN

En este capítulo se lleva a cabo el análisis de la TV inalámbrica como una aplicación del Sistema de Distribución Multipunto Multicanal (MMDS, Multipoint Multichannel Distribution System) unidireccional, la cual ha estado en el mercado en el ámbito mundial por algunos años y seguirá ganando mercado debido a las múltiples ventajas que el sistema ofrece.

La Comisión Federal de Comunicaciones (FCC, Federal Communications Commission), en los Estados Unidos autorizó 33 canales cada uno con un ancho de banda de 6 MHz en el rango de frecuencia de 2150-2162 MHz y 2500-2689.875 MHz para el sistema MMDS¹. Los sistemas inalámbricos: MMDS, ITFS, y MDS (Metropolitan Distribution System), forman parte de los servicios de transmisión de televisión terrestre en 2.1 y 2.5 a 2.7 GHz.

El sistema MMDS es un servicio para televisión de cable inalámbrico que compite en muchos mercados a lo largo de los Estados Unidos y en muchos otros países alrededor del mundo. Utilizando los dos canales MDS a 2.1 GHz y arrendando la capacidad de los poseedores de las licencias de los servicios de TV educativa (ITFS, Instruccional Television Fixed Service), se pueden proporcionar 33 canales de 6 MHz de ancho de banda.

En general, este sistema tiene una buena eficacia espectral. Recientes adelantos en la compresión de video, técnicas de corrección de errores, y la modulación digital han abierto más el espectro para la transmisión eficaz de video, permitiendo multiplexar varios programas de televisión en un solo canal de 6 MHz. Lo cual es beneficioso tanto para: DBS (Direct Broadcasting by Satellite), TV cable, HDTV (High Definition Television) y MMDS.

2.2. SISTEMAS GENERALES DE TELEVISIÓN

En actualidad existen diferentes estándares tanto para televisión analógica como para televisión digital, los cuales se describen a continuación.

¹ Ref. [37] MMDS Transmitter for High Data Rate Digital Video Delivery. Urban David. <http://www.adc.com/Corp/BWVG/MSD/mmdsxmtr.html>.

2.2.1. ESTÁNDARES PARA TELEVISIÓN ANALÓGICA

En la actualidad se tienen tres estándares de televisión analógica a color en el mundo: el NTSC (National Television Standards Committee), que funciona en: USA, Canadá, Japón, México y algunos países de Sudamérica. El estándar PAL (Phase Alternation by Line) está vigente en: Alemania, Italia, España, Inglaterra, entre otros. El estándar SECAM (Sequene Couleur a Memoire¹) que funciona en: Francia, Rusia y los países de Europa Oriental. NTSC es el estándar que está vigente en nuestro país.

Muchos de los circuitos utilizados en los terminales de transmisión y recepción son idénticos en los tres estándares. Las técnicas y métodos utilizados para convertir imágenes luminosas en señales eléctricas y los circuitos de salida en la transmisión son los mismos en los tres estándares. La diferencia básicamente está en los métodos de procesar la señal proveniente de la cámara de color, para ser transmitida y en el acondicionamiento de los equipos del receptor para recibir la señal. En la tabla 2.1. se pueden visualizar las principales características de los tres estándares.

	NTSC	SECAM	PAL
Líneas totales/pantalla	525	625	625
Líneas activas/pantalla	480	575	575
Píxeles/línea	640	580	580
Ancho de banda/canal	6 MHz	8 MHz	8 MHz
Mbps (no comprimido)	221.2	400.2	400.2
Países	USA Japón Canadá	Francia Colonias Francesas Rusia	Alemania UK Resto de Europa

Tabla 2.1. Características de los estándares de televisión analógica².

2.2.2. ESTÁNDARES PARA TELEVISIÓN DIGITAL.

En la actualidad existen dos estándares para televisión digital: los estándares ATSC (Advanced Television Systems Committee) y DVB (Digital Video Broadcasting).

El estándar ATSC está vigente en USA, Canadá, Argentina, Corea del Sur, Taiwán. Este estándar tiene las siguientes características³:

¹ Siglas en francés

² Ref. [35] Market drivers. Cisco Systems Inc. 1998. <http://www.cisco.com/cpress/cc/td/cpress/design/rbb/ch01.htm>.

³ Ref. [35] Market drivers. Cisco Systems Inc. 1998. <http://www.cisco.com/cpress/cc/td/cpress/design/rbb/ch01.htm>.

- Permite varias resoluciones entre SDTV (Standard Definition Television) y HDTV (High Definition Television) con relaciones de aspecto 16:9 y 4:3
- Velocidad de transmisión de 19.3 Mbps
- Admite varios canales digitales, permitiendo a su vez servicios complementarios
- Se puede utilizar para transmisión terrestre y por cable
- Se basa en las técnicas de compresión dadas por MPEG-2 y Dolby Digital AC/3 (Audio Compression)

El estándar DVB está vigente en: Alemania, Italia, España, Suecia, Francia, Grecia, entre otros. Este estándar presenta las siguientes características¹:

- Admite hasta cuatro canales SDTV en 7 MHz
- Comparte el espectro con sistemas analógicos
- Permite armar redes de frecuencia única
- Utiliza esquemas de modulación multiportadora OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing)
- Permite recepción de señales digitales en receptores portátiles y móviles
- Permite interfaces con redes ATM (Asynchronous Transfer Mode)
- Diseñado para trabajar en frecuencias de 7 - 8 MHz adaptables a 6 MHz
- Se basa en la compresión de video MPEG-2

El estándar DVB tiene las siguientes alternativas de transmisión:

DVB-S (DVB-Satellite): utiliza modulación QPSK

DVB-C (DVB-Cable): utiliza modulación QAM

DVB-T (DVB-Terrestrial): utiliza modulación COFDM (Coded OFDM)

DVB-SI (DVB-Service Information)

DVB-D (DVB-Data)

DVB-I (DVB-Interactive)

Además para la transmisión de señales DVB en sistemas terrestres de microondas, se han elegido dos especificaciones dependiendo del rango de frecuencias utilizado²:

- DVB-MS (DVB-Microwave Satellite): describe la codificación de canal y modulación para sistemas MVDS (Multipoint Video Distribution System) en frecuencias superiores a 10 GHz. Este sistema de transmisión se basa en la tecnología adoptada para el satélite DVB-S.

¹ Ref. [35] Market drivers, Cisco Systems Inc. 1998. <http://www.cisco.com/cpress/cc/td/cpress/design/rbb/ch01.htm>.

² Ref. [45] Prontuario de las especificaciones y normas del DVB, Sesaña Navarro Julián. <http://www.iies.es/teleco/bit/bit101/jsesena.html>.

- DVB-MC (DVB-Microwave Cable): se aplica a los sistemas MMDS en frecuencias por debajo de 10 GHz. Esta especificación se basa en la tecnología adoptada para el cable DVB-C.

2.2.2.1. ESTÁNDAR DE COMPRESIÓN PARA VIDEO DIGITAL

El estándar para video digital es MPEG-2 (Motion Picture Experts Group), el cual se refiere a una familia de estándares para codificar, comprimir, guardar, y transmitir audio y video en forma digital. Soporta imágenes progresivas y entrelazadas.

El estándar MPEG-2 es capaz de manejar televisión digital y películas de imágenes en movimiento. Soporta transmisión de datos, la cual se utiliza para enviar información de control a las cajas set-top digitales, se utiliza también en Video sobre Demanda (VoD). Los chips para MPEG-2 están en el mercado para la codificación en tiempo real, y existe una especificación para la adaptación MPEG-2 sobre ATM AAL5 (Asynchronous Transfer Mode ATM Adaptation Layer 5).

El sistema MMDS utiliza MPEG-2 debido a la gran información que se puede llevar, ya que sin compresión, la señal utilizaría grandes anchos de banda lo cual sería imposible, llevar en una red inalámbrica. En la Tabla 2.2. se puede visualizar los requerimientos para desplegar una señal en cualquiera de los estándares de televisión sin compresión de información.

Formato	Pixeles por línea	Líneas por cuadro	Pixeles por cuadro	Cuadros por segundo	Millones de Pixeles por segundo	Bits por pixel	Mbps
NTSC	640	480	307200	30	9.2	24	221.2
PAL	580	575	333500	50	16.7	24	400.2
SECAM	580	575	333500	50	16.7	24	400.2
HDTV	1920	1080	2073600	30	62.2	24	1492.8
Film	2000	1700	3400000	24	81.6	32	2611.2

Tabla 2.2. Requisitos de ancho de banda para video sin compresión¹.

La adaptación de IP (Internet Protocol) dentro de MPEG-2 es un trabajo en progreso y no ha sido dirigido totalmente por el IETF (Internet Engineering Task Force) que es el regulador de perfeccionamiento de IP. Por otra parte este estándar se está utilizando en el sistema MMDS bidireccional, para servicios que corren sobre el protocolo IP tales como: acceso a Internet, telefonía IP, video sobre demanda, entre otros.

¹ Ref. [56] Technical Foundations of Residential Broadband. Cisco Systems Inc. 1998.
<http://www.cisco.com/cpress/cc/td/cpress/design/rbb/ch02.htm>.

2.2.2.2. FORMATO DE PAQUETE DEL FLUJO DE TRANSPORTE MPEG-2

El estándar MPEG-2 definió dos formatos para flujo de datos, para realizar sistemas que procesan con software:

- **Flujo de Transporte (TS, Transport Stream).** Puede multiplexar varios programas y es optimizado para el uso en redes donde la pérdida de los datos es probable.
- **Flujo de Programa (PS, Program Stream).** Es utilizado en aplicaciones multimedia, como almacenamiento en CD-ROMs o comunicaciones entre sistemas de edición de vídeo.

El TS es utilizado para video en: fibra, satélite, cable, ISDN (Integrated Service Digital Network), ATM, y otros sistemas como en nuestro caso el sistema MMDS. La diferencia básica entre el flujo de transporte y el flujo del programa es que el TS utiliza paquetes de longitud fija de 188 bits, y el PS utiliza paquetes de longitud variable con un mínimo de 32 bits. La Tabla 2.3. despliega los identificadores del campo, la longitud del campo, y la función del paquete de TS.

CAMPO	LONGITUD EN BITS	FUNCIÓN
Sincronización.	8	0x47; byte de sincronismo del paquete MPEG
Indicador de error de transporte.	1	Determina que existe un error de bit irrecuperable
Indicador de inicio de unidad de carga útil.	1	Identifica la información de control
Prioridad de transporte.	1	Da prioridad a este paquete sobre otros paquetes con el mismo PID.
Identificador de programa (PID).	13	Identifica los flujos elementales de un programa en un flujo MPEG-2.
Control de aleatorización de transporte (scrambling).	2	00 significa no aleatorio; los otros tres valores son utilizados y definidos.
Control de campo adaptación.	2	00 Reservado. 01 No existe campo de adaptación. 10 Existe campo de adaptación, sin carga útil. 11 Existe adaptación y carga útil.
Campo de adaptación.	256	Ver campos siguientes. /
• Longitud.	8	Determina la longitud del campo de adaptación. Proporciona información de sincronización.
• Program Clock Reference (PCR).	42	
• Porciones de otras banderas.	Variable	

Tabla 2.3. Formato de paquete del flujo de transporte¹.

¹ Ref. [56] Technical Foundations of Residential Broadband, Cisco Systems Inc. 1998.
<http://www.cisco.com/cpress/cc/td/cpress/design/rbb/ch02.htm>.

Se debe dar preferencia a los PIDs y paquetes con alta prioridad de transporte ya que estos tiene implicaciones en la red. Todos los otros campos se utilizan principalmente para descifrar.

2.3. ESTÁNDARES DEL SISTEMA MMDS PARA LA ENTREGA DE TELEVISIÓN DIGITAL

En esta sección se amplía los principios de la arquitectura de las redes de televisión por cable a los sistemas MMDS que utilizan ondas radioeléctricas con frecuencias de microondas, del orden de varios GHz¹. La Recomendación J.83 está incorporada como referencia directa se la puede visualizar en los Anexos 3, 4 y 5.

Se debe señalar que en la presente sección se trata solo de la entrega de señales en sentido descendente, y que las necesidades de los servicios interactivos que requieren canales de sentido descendente y ascendente (de retorno) están fuera del ámbito de la presente sección. Además se tratará las funcionalidades operacionales para señales digitales multiprograma distribuidas por sistemas MMDS, utilizados como ampliaciones o alternativas a redes de televisión por cable, posiblemente en múltiplex por división de frecuencia o con señales analógicas existentes. Existen cuatro tipos de sistemas MMDS que son:

- 2.3.1. El sistema MMDS "A" de distribución de Televisión Digital
- 2.3.2. El sistema MMDS "B" de distribución de Televisión Digital
- 2.3.3. El sistema MMDS "C" de distribución de Televisión Digital
- 2.3.4. El sistema MMDS "D" de distribución de Televisión Digital

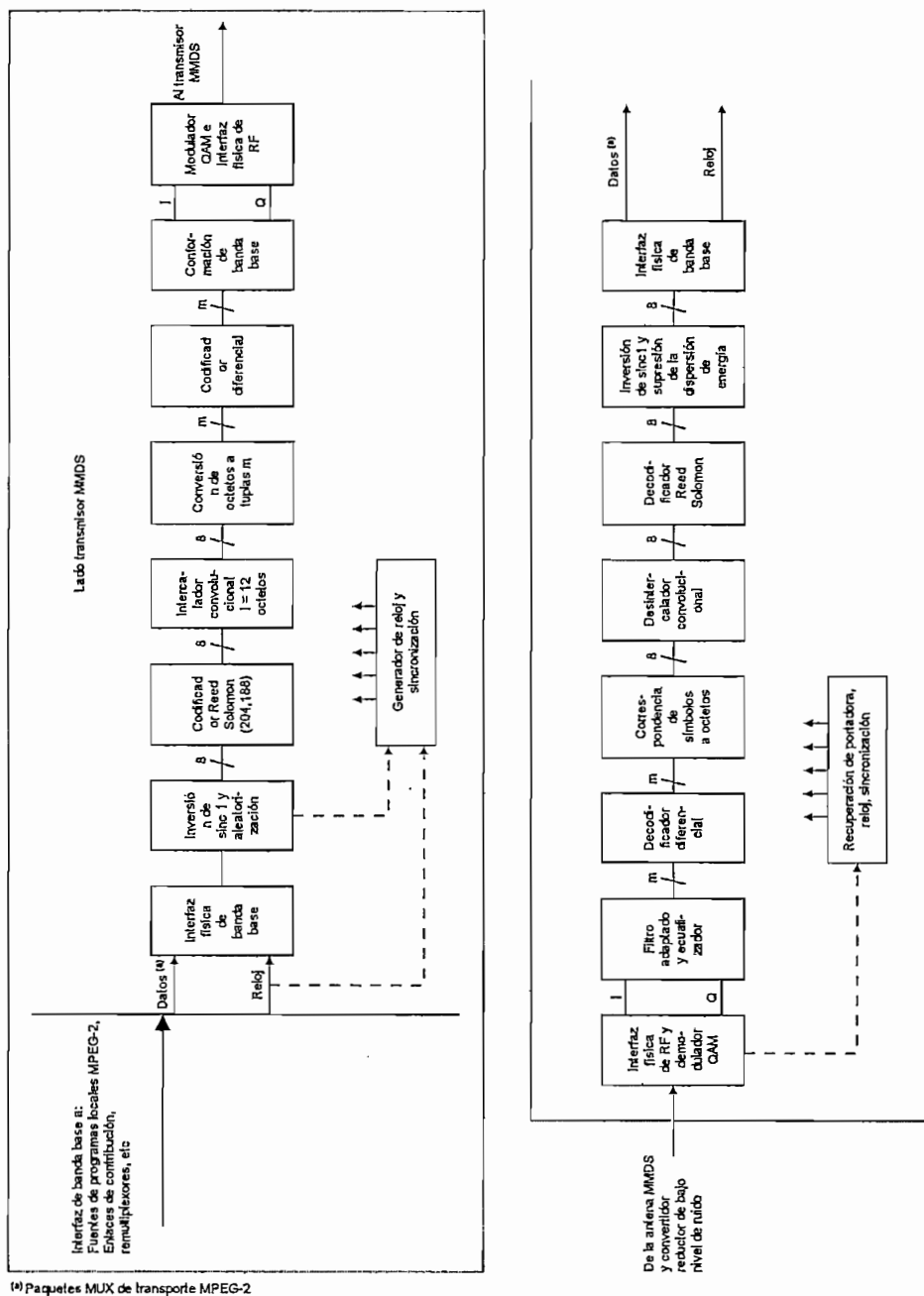
2.3.1. SISTEMA MMDS "A" DE DISTRIBUCIÓN DE TELEVISIÓN DIGITAL

El sistema MMDS "A" se basa en trabajos efectuados en Europa. Se basa en el sistema "A" de la Recomendación J.83. Se describe un sistema de transmisión para distribución de televisión digital multiprograma conocido como sistema MMDS que funcionan a frecuencias inferiores a 10 GHz. Emplea la modulación QAM y permite constelaciones de 16, 32 y 64 puntos.

2.3.1.1. CONCEPTO DE SISTEMA MMDS "A".

El sistema MMDS "A" se definirá como el bloque funcional de equipo que realiza la adaptación de las señales de televisión de la banda de base a las características del canal MMDS. La Figura 2.1. muestra el sistema MMDS "A".

¹ Ref. [28] Funcionalidades Operacionales para la entrega de servicios digitales multiprograma de televisión, sonido y datos a través de Sistemas de Distribución Múltipunto Multicanal. Recomendación UIT-T J.150, Marzo 1998: pag 7.



(*) Paquetes MUX de transporte MPEG-2

Figura 2.1. Diagrama de bloques de los elementos en el transmisor y en el receptor de los sistemas MMDS que funcionan por debajo de 10 GHz.

En el transmisor pueden considerarse las siguientes fuentes de señales de televisión en banda base¹:

1. Señales de satélite
2. Señales de cable
3. Enlaces de contribución
4. Fuentes de programa locales

Los procesos que siguen se aplicarán como se muestra en la Figura 2.1.² y se explican en el Anexo 3:

1. Interfaz de banda base y sincronismo
2. Inversión de sincronismo 1 y aleatorización
3. Codificador Reed Solomon (RS)
4. Intercalador convolucional
5. Conversión de bytes a m-tuplas
6. Codificación diferencial
7. Conformación de la banda de base
8. Modulación QAM e interfaz física

2.3.2. SISTEMA MMDS "B" DE DISTRIBUCIÓN DE TELEVISIÓN DIGITAL

El sistema "B" de la Recomendación J.83 actualmente no tiene un sistema MMDS homólogo, pero se halla en estudio.

2.3.3. SISTEMA MMDS "C" DE DISTRIBUCIÓN DE TELEVISIÓN DIGITAL

El sistema MMDS "C" se basa en trabajos efectuados en Japón. Se describe un sistema de transmisión para distribución de televisión digital multiprograma conocido como sistema MMDS. El sistema MMDS "C" utiliza una banda de frecuencias de hasta varios GHz. El sistema se basa en el anexo C/J.83, y describe la codificación y la modulación digitales antes del transmisor MMDS y la demodulación y decodificación digitales después del receptor MMDS que contiene un downconverter. Estos procesos se detallan en el Anexo 4.

2.3.3.1. CONCEPTO DE SISTEMA MMDS "C"

En la Figura 2.2.³ se muestra una configuración del sistema MMDS "C". Considerando la calidad de datos de servicio y la gama de servicios, se introducen corrección de errores en recepción (FEC, Forward Error Correction) y modulación de amplitud en cuadratura (64 QAM). En una utilización a frecuencias superiores, deben aplicarse otros métodos de modulación si el sistema no pudiera cumplir el requisito del sistema MMDS.

¹ Ref. [28] Funcionalidades Operacionales para la entrega de servicios digitales multiprograma de televisión, sonido y datos a través de Sistemas de Distribución Multipunto Multicanal. Recomendación UIT-T J.150, Marzo 1998; pag 8.

² Ref. [28] Funcionalidades Operacionales para la entrega de servicios digitales multiprograma de televisión, sonido y datos a través de Sistemas de Distribución Multipunto Multicanal. Recomendación UIT-T J.150, Marzo 1998; pag 9.

³ Ref. [28] Funcionalidades Operacionales para la entrega de servicios digitales multiprograma de televisión, sonido y datos a través de Sistemas de Distribución Multipunto Multicanal. Recomendación UIT-T J.150, Marzo 1998; pag 11.

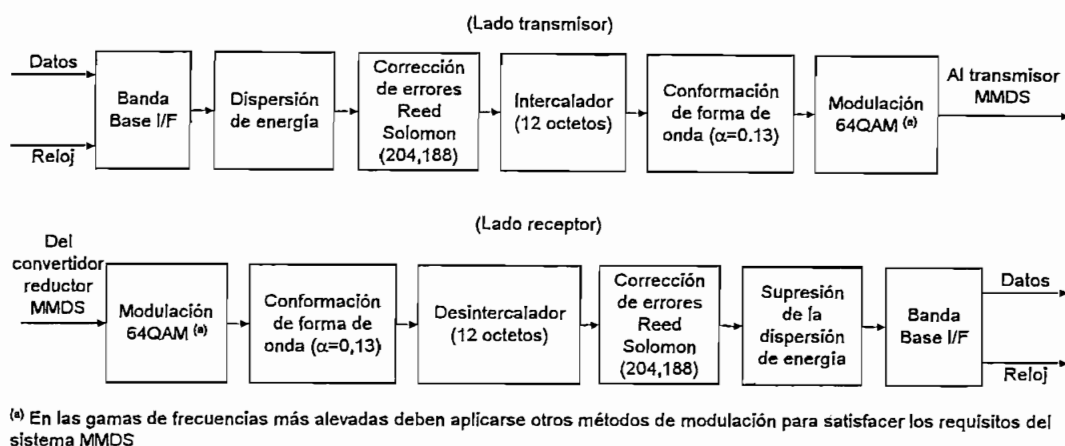


Figura 2.2. Configuración del sistema "C" MMDS.

a. TRANSMISOR

La señal de banda base para la transmisión MMDS es una fuente de paquetes de 188 octetos MPEG-2. Los paquetes MPEG-2 se procesan mediante los siguientes equipos y operaciones¹:

1. Aleatorizador de datos
2. Codificador Reed Solomon
3. Intercalador de datos
4. Codificador diferencial
5. Modulador 64 QAM

b. RECEPTOR

Después del amplificador de bajo ruido y del convertidor reductor, el lado recepción del sistema MMDS "C" se configura como la función inversa del lado transmisor: demodulador QAM, decodificador diferencial, establecimiento de correspondencia de símbolos a octetos, desintercalador, decodificador Reed Solomon y desaleatorizador de datos.

2.3.4. SISTEMA MMDS "D" DE DISTRIBUCIÓN DE TELEVISIÓN DIGITAL

El sistema MMDS "D" se basa en el esquema de modulación de Banda Lateral Vestigial (VSB, Vestigial SideBand) y en trabajos efectuados en América del Norte. Se describe el procesamiento en la cabecera o equipo de transmisión, y la configuración de equipo adecuada, para el sistema MMDS digital basado en el transporte multiplexado de paquetes MPEG-2

¹ Ref. [28] Funcionalidades Operacionales para la entrega de servicios digitales multiprograma de televisión, sonido y datos a través de Sistemas de Distribución Multipunto Multicanal. Recomendación UIT-T J.150. Marzo 1998; pag 12.

mediante el empleo de un modo seleccionado del sistema de transmisión digital con modulación VSB, definido en el anexo D/J.83¹. Más información se encuentra en el Anexo 5.

2.3.4.1. CONCEPTO DEL SISTEMA MMDS "D" VSB

El sistema MMDS "D" VSB está formado por el equipo de transmisión y el equipo de recepción, los cuales se detallan a continuación.

a. TRANSMISOR

La Figura 2.3. muestra una configuración del equipo de transmisión adecuada para sistemas multiprograma digitales². Como se indica, la programación de televisión se suministra por señales de satélite, señales de radiodifusión terrenal (locales y distantes); todas estas señales pueden ser analógicas o digitales. La señal de satélite, cuando es digital, después de pasar por circuitos apropiados de demodulación e interfaz, es una fuente de paquetes MPEG-2 de 188 octetos.

La fuente o fuentes de paquetes MPEG-2 de 188 octetos se procesan mediante los siguientes equipos y operaciones³:

1. Aleatorizador de datos
2. Codificador Reed Solomon
3. Intercalador de datos
4. Establecimiento de correspondencia
5. Multiplexor, inserción de la sincronización
6. Inserción de señal piloto
7. Modulador VSB
8. Upconverter (convertidor ascendente de radio frecuencia)

La función de establecimiento de correspondencia antes mencionada corresponde al modo VSB elegido. Por ejemplo, si se elige 8 VSB (no reticular, procedimiento de modulación utilizado en pruebas en condiciones de explotación). La velocidad de datos de transporte correspondiente es 29.09 Mbps en un canal con una ancho de banda de 6 MHz, y el umbral de la Relación Portadora a Ruido (CNR, Carrier to Noise Ratio) en el receptor es 22 dB.

¹ Ref. [28] Funcionalidades Operacionales para la entrega de servicios digitales multiprograma de televisión, sonido y datos a través de Sistemas de Distribución Multipunto Multicanal. Recomendación UIT-T J.150. Marzo 1998; pag 13.

² Ref. [28] Funcionalidades Operacionales para la entrega de servicios digitales multiprograma de televisión, sonido y datos a través de Sistemas de Distribución Multipunto Multicanal. Recomendación UIT-T J.150. Marzo 1998; pag 14.

³ Ref. [28] Funcionalidades Operacionales para la entrega de servicios digitales multiprograma de televisión, sonido y datos a través de Sistemas de Distribución Multipunto Multicanal. Recomendación UIT-T J.150. Marzo 1998; pag 13.

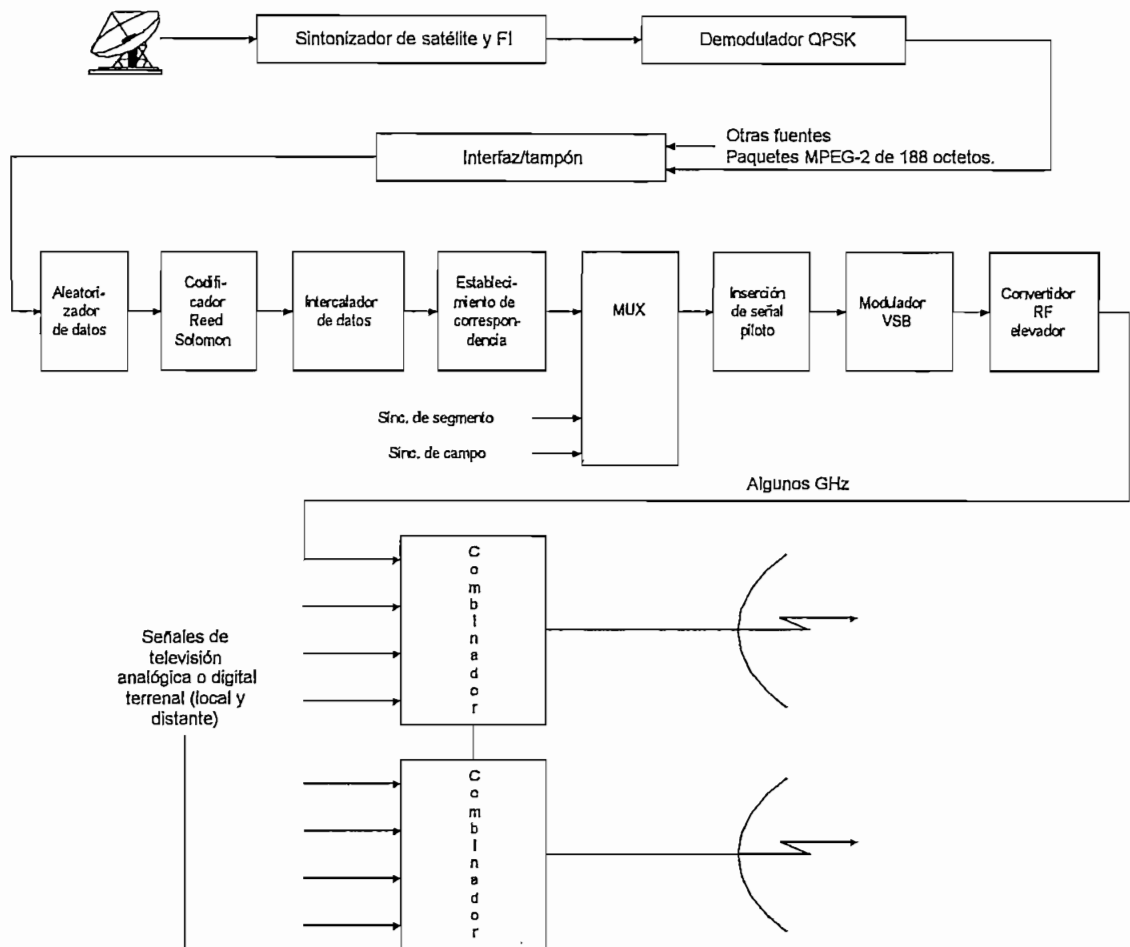


Figura 2.3. Configuración del equipo de transmisión MMDS.

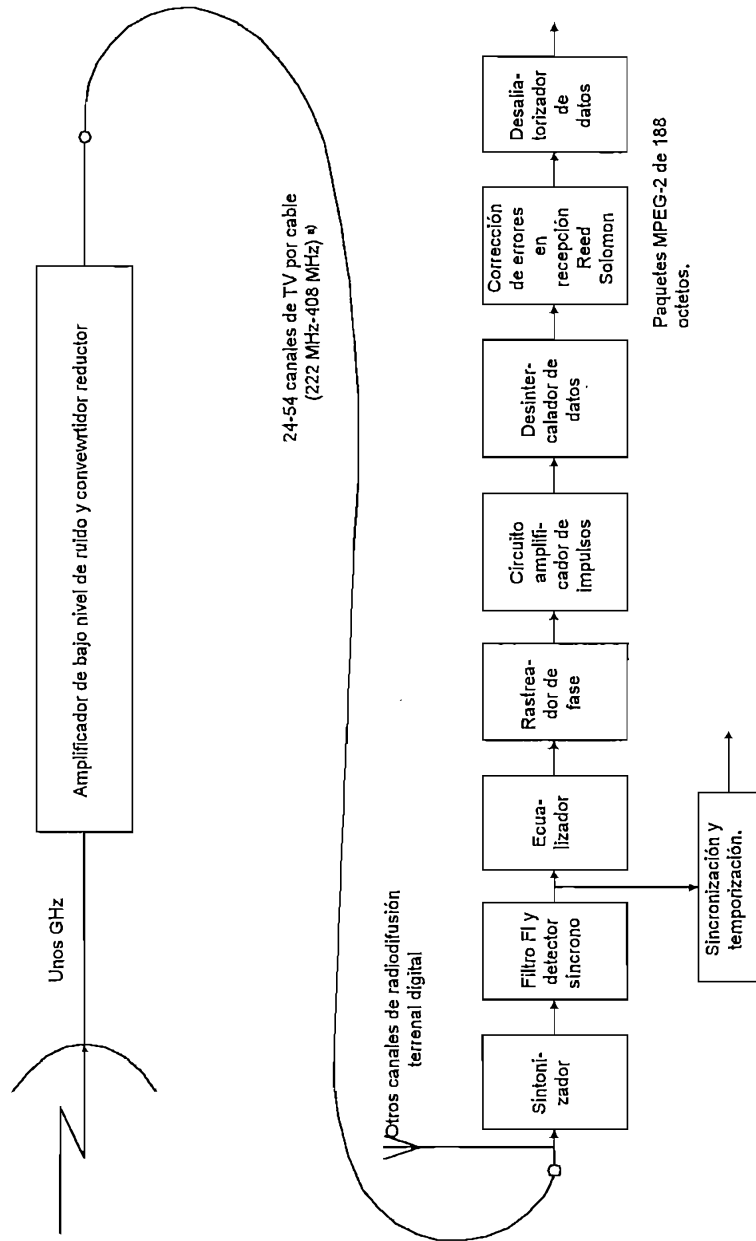
b. RECEPTOR MMDS

El receptor VSB se muestra en la Figura 2.4. En el receptor se realizan las operaciones inversas a las del transmisor: conversión descendente en bloque de bajo nivel de ruido, conversión descendente (sintonizador de canal), detección de portadora, recuperación de sincronización y temporización, desintercalación, corrección de errores en recepción Reed Solomon, y desaleatorización de datos¹.

Además, un ecualizador insertado después de la detección, suprime la interferencia entre símbolos, para lo cual utiliza la señal de sincronización de campo como señal de referencia de acondicionamiento, y un rastreador de fase reduce el efecto del ruido de fase del oscilador local (LO, Local Oscillator) del sintonizador y del convertidor reductor de microondas. El rastreador de fase va seguido del circuito amplificador de impulsos que recupera los datos de los símbolos

¹ Ref. [28] Funcionalidades Operacionales para la entrega de servicios digitales multiprograma de televisión, sonido y datos a través de Sistemas de Distribución Multipunto Multicanal. Recomendación UIT-T J.150, Marzo 1998: pag 15.

multinivel y los prepara para los procesos adicionales de desintercalación, corrección de errores Reed Solomon en recepción y desaleatorización.



^{a)} Ejemplo para un ancho de banda del canal de 6 MHz.

Figura 2.4. Receptor MMDS con modulación VSB (Codificación reticular).

La portadora utilizada para la demodulación se recupera de la señal piloto, y las señales de sincronización y reloj se recuperan de la sincronización de segmento. El sintonizador de canales del receptor puede también ser alimentado con señales de radiodifusión terrenal codificadas con codificación reticular VSB de 8 posiciones. En este caso, la función del circuito amplificador de impulsos incluye un decodificador reticular.

2.3.5. COMPARACIÓN DE LOS SISTEMAS MMDS

Las especificaciones y características comunes de cada uno de los diferentes sistemas se puede visualizar en la Tabla 2.4.¹

ÍTEM		SISTEMA MMDS "B"	SISTEMA MMDS "A"	SISTEMA MMDS "C"	SISTEMA MMDS "D"	
Señales de entrada		En estudio	Tren de transporte MPEG-2 (Ver A3.2., A4.2. y A5.2.)			
Estructura de trama		En estudio	La organización de trama se basa en la estructura de paquetes de transporte MPEG-2 (Ver A3.3., A4.3. y A5.3.)			
Codificación de canal	Aleatorización	En estudio	El polinomio de 15 bits para PRBS: $1 + x^{14} + x^{15}$ (Ver A3.4.1., A4.4.1.)	El polinomio de 16 bits para PRBS: $1 + x + x^3 + x^6 + x^7 + x^{11} + x^{12} + x^{13} + x^{16}$ (Ver A5.4.1.)		
	FEC	En estudio	RS (204, 188) GF 256 (Ver A3.4.2., A4.4.2.)	RS (207, 187) GF 256 (Ver A5.4.2.)		
	Intercalación	En estudio	Profundidad de intercalación convolucional: $l = 12$. (Ver A3.4.3., A4.4.3.)	Profundidad de intercalación convolucional: $l = 52$. (Ver A5.4.3.)		
Modulación	Correspondencia de byte a símbolo	En estudio	Ver A3.5., A4.5.1.		Ver A5.5.1.	
	Codificación diferencial	En estudio	Ver A3.5., A4.5.2.		Ninguna	
	Codificación reticular	En estudio	Ninguna			
	Ancho de banda	En estudio	8 MHz	6 MHz		
	Constelación	En estudio	16, 32, 64 QAM Figura A3.6.	64 QAM Figura A4.6.	2, 4, 8, 16 VSB	
	Factor de Roll-off	En estudio	15% Ver A3.6	13% Ver A4.5.4.	11,5% Ver A4.5.3	
	Características del filtro de banda base	En estudio	Figura A3.7.	Figura A4.7.	Figura A5.22.	

Tabla 2.4. Comparación resumida de los sistemas MMDS².

2.4. TECNOLOGÍA INVOLUCRADA EN LA TRANSMISIÓN DIGITAL DE VIDEO A ALTAS VELOCIDADES

La aplicación de la compresión de video MPEG-2, codificación Reed Solomon y modulación QAM hacen posible la transmisión de MMDS digital. La modulación QAM pone especificaciones muy severas en los transmisores MMDS para el ruido de fase del LO, y la linealidad del amplificador³.

2.4.1. TRATAMIENTO DE LA SEÑAL CON MODULACIÓN QAM

La técnica de modulación utilizada en las señales de video es QAM. Para la modulación QAM se toman k bits del flujo de datos (incluyendo los bits FEC) dentro del símbolo. Cada símbolo se representa por las coordenadas (I, Q), las cuales toman valores discretos; los bits son asignados a cada símbolo de acuerdo a las reglas del código de Gray. Las señales I y Q son filtradas por un filtro de raíz cuadrada de coseno alzado de Nyquist, para limitar el ancho de banda y reducir la Interferencia Intersímbolo (ISI, InterSymbol Interference). Este filtro digital FIR (Finite Impulse Response) da factores de roll-off bajos, en el orden 1/5; siendo utilizados típicamente los de factor del roll-off de 18%⁴.

La codificación RS baja la velocidad de información. Para 64 QAM la velocidad de información es 27.6 Mbps mientras que para 256 QAM es 36.9 Mbps. La velocidad de 9.3 Mbps adicional es una ventaja para la utilización de 256 QAM. Ya que la velocidad del bit depende del ancho de banda, la figura de mérito para la eficiencia espectral se normaliza a 1 Hz de ancho de banda, por lo tanto 64 QAM tiene una eficiencia espectral de 5 bits por Hz. Mientras 256 QAM tiene 6.7 bits por Hz⁵.

Los adelantos en circuitos digitales de alta velocidad han hecho que sea práctica la modulación digital QAM. Después de filtrar las señales digitales I y Q son moduladas en cuadratura sobre una portadora de frecuencia intermedia (IF, Intermediate Frequency) de 44 MHz. Muchos chips ASICs (Application Specific Integrated Circuits) han sido desarrollados para que realicen modulación y demodulación QAM. La forma de onda en el tiempo de la señal IF QAM se muestra en la Figura 2.5. y el espectro se muestra en la Figura 2.6.⁶

¹ Ref. [54] Sistemas digitales multiprogramas para servicios de televisión, sonido y datos de distribución por cable. Recomendación UIT-T J.83. Abril 1997: pag 9.

² Ref. [54] Sistemas digitales multiprogramas para servicios de televisión, sonido y datos de distribución por cable. Recomendación UIT-T J.83. Abril 1997: pag 10.

³ Ref. [37] MMDS Transmitter for High Data Rate Digital Video Delivery. Urban David. <http://www.adc.com/Corp/BWG/MSD/mmdsxmtr.html>.

⁴ Ref. [37] MMDS Transmitter for High Data Rate Digital Video Delivery. Urban David. <http://www.adc.com/Corp/BWG/MSD/mmdsxmtr.html>.

⁵ Ref. [37] MMDS Transmitter for High Data Rate Digital Video Delivery. Urban David. <http://www.adc.com/Corp/BWG/MSD/mmdsxmtr.html>.

⁶ Ref. [37] MMDS Transmitter for High Data Rate Digital Video Delivery. Urban David. <http://www.adc.com/Corp/BWG/MSD/mmdsxmtr.html>.

La circuitería que procesa la señal IF es una parte crítica que debe realizar el transmisor. Por otra parte, mucha de la circuitería utilizada en los transmisores analógicos llevan también los transmisores digitales. El ancho de banda más amplio y las características técnicas más firmes son las diferencias primarias. La circuitería de IF realiza el Control Automático de Nivel (ALC, Automatic Level Control), corrección de la respuesta de frecuencia y de retardo, y corrección de la linealidad. La señal de RF es muestreada, detectada su cresta, y alimentada a un amplificador de control regulado por un diodo atenuador PIN (substrato P + substrato Intrínseco + substrato N) de IF.

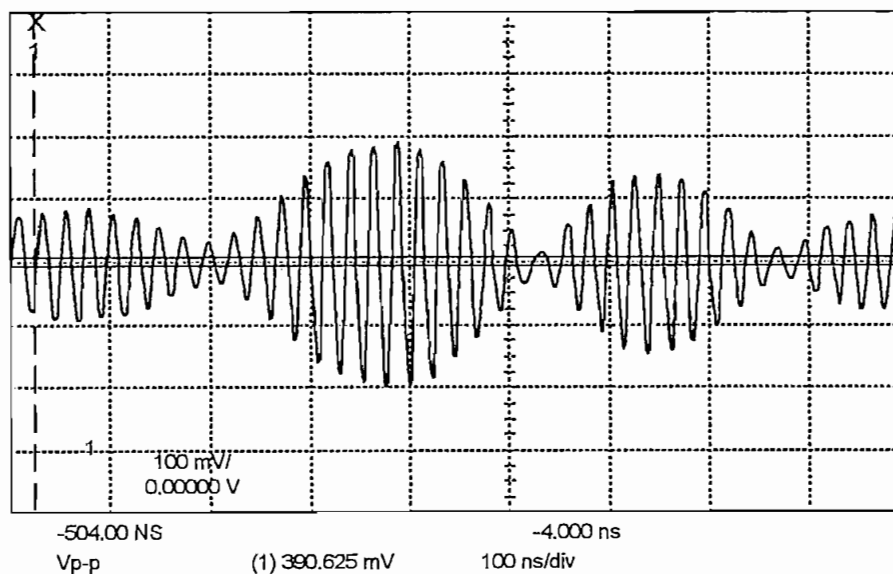


Figura 2.5. Forma de onda de tiempo de IF QAM.

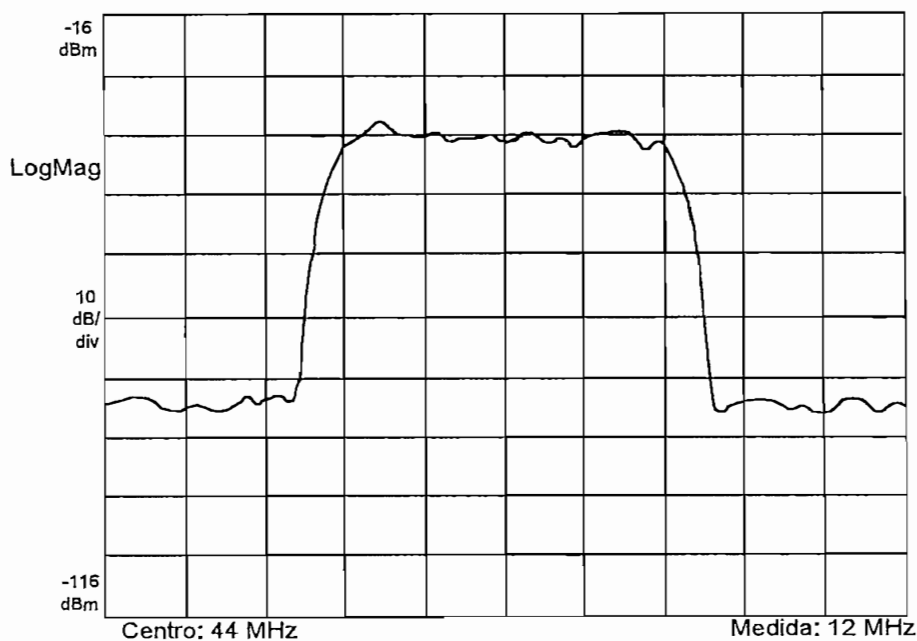


Figura 2.6. Gráfico del espectro IF QAM.

2.4.2. MEZCLADORES Y AMPLIFICADORES GaAs MMIC

Los dispositivos de silicio tienen influencia en las ganancias debido al factor de roll-off sobre las frecuencias de 1 GHz. Los dispositivos de GaAs pueden tener respuesta de ganancia muy buena y plana sobre los 3 GHz debido a la más alta movilidad de los electrones en el GaAs. Los recientes desarrollos en mezcladores y amplificadores GaAs MMIC (Monolithic Microwave Integrated Circuit) han hecho muy rentables los dispositivos disponibles a los diseñadores.

La señal IF debe ser convertida a frecuencias más altas, es decir, a la banda de 2.5 a 2.7 GHz o 2.1 GHz para mezclar la señal con un oscilador local a 44 MHz sobre el centro del canal deseado. La salida del mezclador está en un nivel bajo, típicamente -25 dBm^1 . Esta señal debe antes amplificarse a un nivel más alto, siendo ingresada a un Amplificador de Alta Potencia (HPA, High Power Amplifier).

2.4.3. RUIDO DE FASE DEL OSCILADOR LOCAL

El ruido de fase del oscilador local que convierte ascendientemente la señal IF a RF es muy crítico para el desempeño del sistema, lo cual es verdad especialmente para la operación 256 QAM. La geometría del diagrama de constelación de la señal, indica que para 64 QAM un cambio de fase de 7.7 grados moverá un símbolo a un límite de decisión, de esta manera se produce un error de símbolo, como se muestra en la Figura 2.7. En el caso de 256 QAM el cambio de fase es más firme, 3.7 grados.

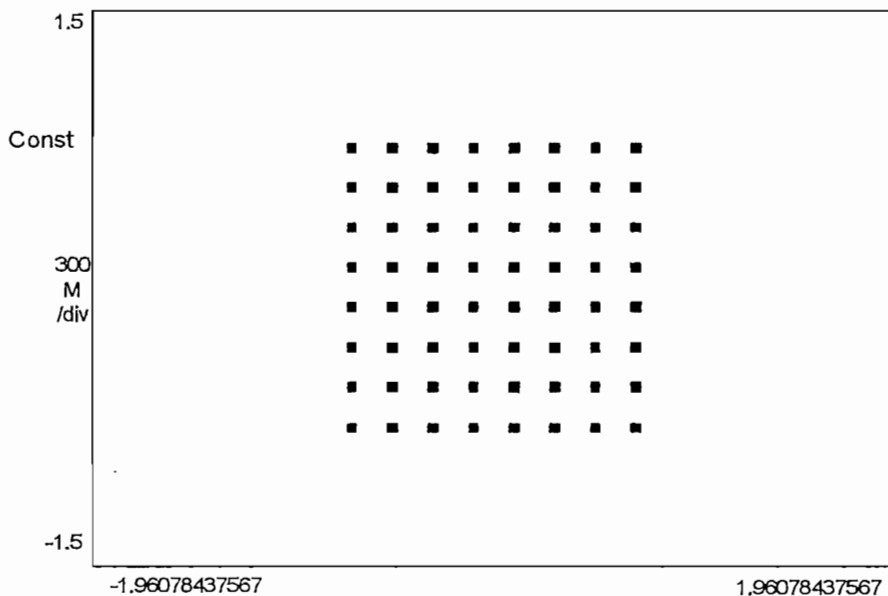


Figura 2.7. Diagrama de constelación de la señal.

¹ Ref. [37] MMDS Transmitter for High Data Rate Digital Video Delivery. Urban David. <http://www.adc.com/Corp/BWG/MSD/mmdsxmtr.html>.

Los requerimientos de ruido de fase para 256 QAM son más firmes que para 64 QAM. La mejor forma para lograr un buen desempeño de ruido de fase es multiplicar a un Oscilador de Cristal Controlado por Voltaje (VCXO, Voltage Controlled Crystal Oscillator) de fase cerrada a una referencia GPS (Global Positioning System). Una gráfica de ruido de fase de un oscilador de cristal de VHF de fase cerrada para una referencia de 10 MHz y multiplicada por 24 se muestra en la Figura 2.8.¹

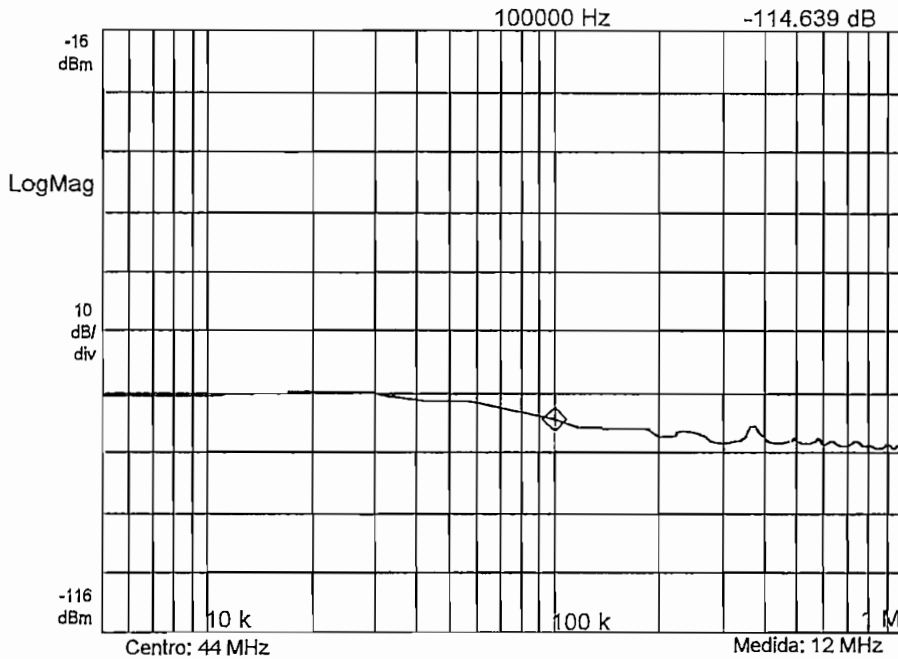


Figura 2.8. Gráfico del ruido de fase del oscilador local.

Las mediciones de la Tasa de Bits Errados (BER, Bit Error Rate) utilizando un oscilador semejante tanto para la conversión ascendente y descendente, han demostrado la no degradación del BER debido al ruido de fase del LO.

2.4.4. AMPLIFICADORES DE POTENCIA GaAs FET

La Relación Señal a Ruido (SNR, Signal to Noise Ratio) requerida para un BER se incrementa con los bits por símbolo. Para un BER de 10^{-6} , 64 QAM requiere un SNR de 27 dB, mientras que para 256 QAM requiere 33 dB; es decir un incremento de 6 dB en SNR². Este es otro costo de la velocidad de información más alta. Los requerimientos de SNR más altos pueden satisfacerse con más altas potencias de transmisión.

¹ Ref. [37] MMDS Transmitter for High Data Rate Digital Video Delivery. Urban David. <http://www.adc.com/Corp/BWG/MSD/mmdsxmtr.html>.

² Ref. [37] MMDS Transmitter for High Data Rate Digital Video Delivery. Urban David. <http://www.adc.com/Corp/BWG/MSD/mmdsxmtr.html>.

La señal NTSC requiere amplificadores muy lineales. Las potencias de salida de los transmisores MMDS normales van de 10 a 100 vatios al máximo de sincronización. Se utilizan FETs de GaAs Clase A. Recientemente potencias de salida más altas en un solo dispositivo están disponibles, en algunos casos tan altas como 20 vatios.

Los requerimientos de potencia de salida del transmisor para el nuevo sistema MMDS digital son de 10 a 100 vatios de potencia promedio. La Figura 2.6. muestra la Potencia Pico Máxima (PEP, Peak Envelope Power) de las variaciones de la forma de onda en el tiempo. El análisis matemático ha revelado que la probabilidad de PEP es 99.9% siendo menor que 6 dB sobre la potencia promedio. Así, una potencia promedio de transmisión de 100 vatio se sujetará a una potencia máxima de 400 vatios¹.

Las mediciones de BER de un transmisor MMDS 256 QAM han demostrado que un amplificador de potencia GaAs FET clase A sin corrección no tiene la suficiente linealidad para este servicio. La potencia pico máximo de la señal QAM, manejará el amplificador dentro de la compresión de ganancia y distorsión de fase causando error de símbolo. La Figura 2.9.² muestra la trayectoria de la señal durante los cambios de un símbolo a otro.

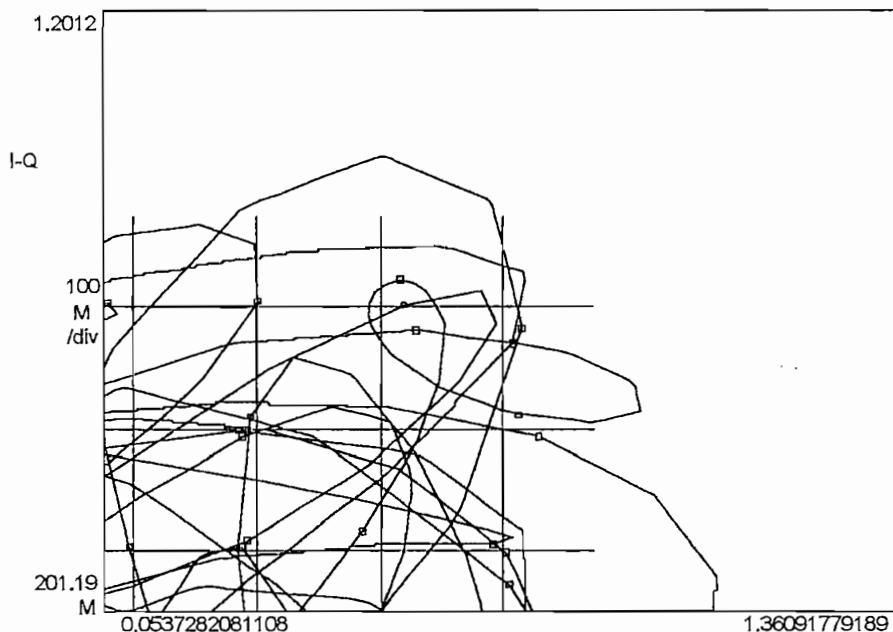


Figura 2.9. Diagrama de vector QAM del amplificador comprimido.

El amplificador está exhibiendo distorsión AM a AM y AM a PM. Durante la amplitud más alta alcanza el máximo, el cual causa el vector al desviarse de su situación deseada en un período de símbolo.

¹ Ref. [37] MMDS Transmitter for High Data Rate Digital Video Delivery. Urban David. <http://www.adc.com/Corp/BWG/MSD/mmdsxmtr.html>.

² Ref. [37] MMDS Transmitter for High Data Rate Digital Video Delivery. Urban David. <http://www.adc.com/Corp/BWG/MSD/mmdsxmtr.html>.

2.4.5. LINEALIZACIÓN FEEDFORWARD

La Linealización Feedforward (Linealización de Alimentación Directa) es una técnica desarrollada en los Laboratorios Bell en los años sesenta. Feedforward normalmente se utiliza en los amplificadores multicanal de teléfonos celulares, en amplificadores de banda ancha de UHF para televisión por cable, en transmisores de difusión de televisión, y en enlaces punto a punto de microonda¹.

Su principio es muestrear la entrada y la salida del amplificador de alta potencia y sustraer las dos señales. El resultado es una muestra de la distorsión que se amplifica e inyecta, fuera de fase con la salida final de alta potencia. De esta manera, se cancela la distorsión del amplificador de alta potencia.

La linealización Feedforward ha demostrado ser muy útil logrando bajo BER a una salida de potencia alta. La distorsión de intermodulación en el amplificador también produce desbordamiento espectral que puede distorsionar los canales adyacentes. Feedforward también es altamente efectivo reduciendo el desbordamiento espectral.

2.5. TRANSMISIÓN DIGITAL DE VIDEO

Una de las aplicaciones básicas para el sistema MMDS unidireccional es la difusión de video digital, como se mencionó en el capítulo anterior es una de las aplicaciones que se extendió rápidamente en estos últimos años en todo el mundo.

2.5.1. DESEMPEÑO DE UN SISTEMA DE TRANSMISIÓN MMDS

En esta sección se presenta el análisis y los resultados de pruebas del laboratorio que se realizaron en enlaces de transmisión MMDS en presencia de distorsiones lineal y no lineal en cascada, AWGN (Additive White Gaussian Noise), y múltiple trayectoria.

2.5.1.1. EL SISTEMA DE TRANSMISIÓN MMDS

El sistema de transmisión MMDS se muestra en la Figura 2.10. El enlace empieza con las fuentes de video en un codificador y multiplexor MPEG-2. La secuencia de datos de salida es modulada sobre una portadora de IF de 44 MHz por un modulador 64/256 QAM. La señal IF es a menudo transportada desde el headend (Centro de distribución) de video hasta el sitio de transmisión mediante un enlace de fibra óptica.

¹ Ref. [37] MMDS Transmitter for High Data Rate Digital Video Delivery. Urban David.
<http://www.adc.com/Corp/BWG/MSD/mmdsxmtr.html>.

El enlace de fibra óptica alimenta el transmisor principal MMDS. El transmisor convierte una señal de 44 MHz con un ancho de banda de 6 MHz a un canal MMDS y amplifica la señal a niveles de potencia que van desde 15 a 100 vatios de potencia promedio. Los amplificadores están especificados para una operación lineal a 6 dB sobre la potencia promedio, para justificar la relación potencia máxima/potencia promedio de la señal QAM¹.

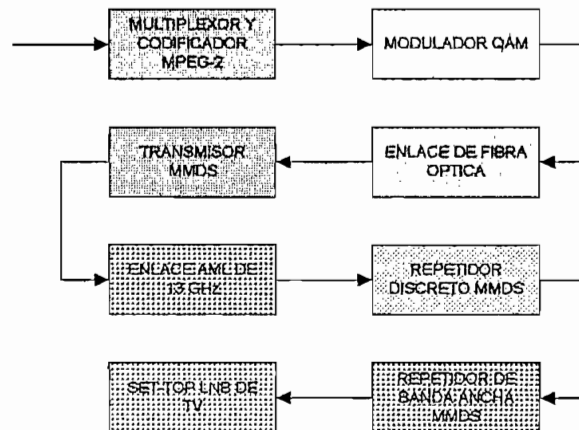


Figura 2.10. Diagrama de bloques del sistema bajo prueba.

Se requiere un transmisor para cada canal. Un multiplexor de guía de onda con filtro direccional se utiliza para combinar todos los canales sobre una guía de onda elíptica para transportar a la antena. La antena, típicamente, tiene un modelo omnidireccional con una ganancia de 14 dBi.

El EIRP (Equivalent Isotropically Radiated Power) autorizado están entre 48 a 63 dBm. La propagación es por línea de vista; debido a las obstrucciones (árboles, colinas y edificios) en la recepción causan atenuaciones que están entre 6 a 22 dB². Los repetidores de alta potencia discretos proporcionan un EIRP de 48 dBm. El receptor del repetidor sintonizará un canal y se obtendrá a la salida una señal de IF la cual alimenta al transmisor. Obtener aislamiento entre la antena transmisora y el receptor es difícil. Una solución es utilizar un enlace punto a punto de 13 GHz llamado enlace AML³ (Amplitude Modulated Link) que alimenta al repetidor de alta potencia discreto. La señal MMDS puede ser transmitida al sitio del repetidor a 13 GHz y recibida en una localidad aislada desde el repetidor.

Las áreas todavía obstruidas después del despliegue del repetidor discreto pueden ser servidas con un repetidor de banda ancha de baja potencia. El repetidor de banda ancha recibe todos los canales MMDS y los reamplifica.

¹ Ref. [43] Performance of a QAM MMDS Transmission System in the Presence of Linear and Nonlinear Cascaded Distortions, AWGN, and Multipath, Urban David, Junio 1997. <http://www.adc.com/Corp/BWG/MSD/qammmds.html>.

² Ref. [4] Applications Broadband MMDS Systems, Diaz M.V, Rabina J.M. 1999. <http://www.cableaml.com/BBMMDS.html>.

³ Ref. [4] Applications Broadband MMDS Systems, Diaz M.V, Rabina J.M. 1999. <http://www.cableaml.com/BBMMDS.html>.

En el sitio del cliente, la señal es típicamente recibida por una antena parabólica de malla de alambre de 18 dBi con su alimentador incorporado, LNA (Low Noise Amplifier) y el downconverter. El downconverter utiliza un LO de 2278 MHz para convertir 2500-2686 MHz a 222-408 MHz y 2150-2162 MHz a 116-128 MHz. Note que una señal de 1900 MHz se mezclará en la banda de 222-408 MHz. De esta manera se requiere un buen filtro de rechazo de imagen antes del mezclador.

Una caja set-top seleccionará un canal de VHF o UHF con un sintonizador estándar de TV. La señal IF de 44 MHz será demodulada por un chip demodulador QAM, el cual debería adquirir una portadora segura y sincronización de fase con un circuito PLL (Phase Locked Loop). El set-top sacará una señal analógica de video y audio para un set de TV NTSC estándar.

Por consiguiente se ha demostrado que la señal ha pasado por un proceso detallado real antes de ser entregada al set de televisión. La señal ha sido codificada y multiplexada con MPEG-2, modulada con QAM, entregada por fibra óptica al transmisor principal, enviada con AML a 13 GHz al repetidor de alta potencia discreto, reamplificada por un repetidor de banda ancha, recibida y convertida descendientemente, demodulada y entregada al set de televisión. Adicionalmente, la señal bien pudo haber sido entregada al headend por un enlace satelital. Cada enlace agregará distorsión y estas distorsiones en cascada a través del sistema, producen una degradación de la señal.

2.5.1.2. FÓRMULA DE TRANSMISIÓN DE FRIIS

La potencia de la señal radiada está fundamentalmente limitada por la ley cuadrática inversa de la atenuación de la propagación de espacio libre descrita por la fórmula de Friis¹.

$$P_T = P_R \cdot G_T \cdot G_R \left(\frac{\lambda}{4 \cdot \pi \cdot d} \right)^2 \quad (2.1)$$

El mínimo ruido se establece por la agitación térmica de los electrones en cualquier material, descrito primero por Johnson².

$$N = K \cdot T \cdot B \quad (2.2)$$

La relación SNR, es la relación de estas dos ecuaciones. La relación SNR como una función de la distancia de la trayectoria en km para un transmisor típico se muestra en la Figura 2.11.

¹ Ref. [16] Digital Communications, Proakis J. McGraw Hill, New York, 1989; pag 279.

² Ref. [51] Sistemas de Comunicaciones Electrónicas, Tomás Wayne, México, 1996; pag 712

El SNR es 42 dB en un radio de 35 km, típicamente en las afueras del área de servicio. La curva es calculada con las siguientes consideraciones: para una potencia de transmisión de 42 dBm, pérdidas en la antena de 4 dB, ganancia de la antena de transmisión de 14 dBi, ganancia de la antena de recepción de 18 dBi, figura de ruido del receptor de 3 dB para un ancho de banda de 5 MHz, frecuencia de 2.7 GHz.

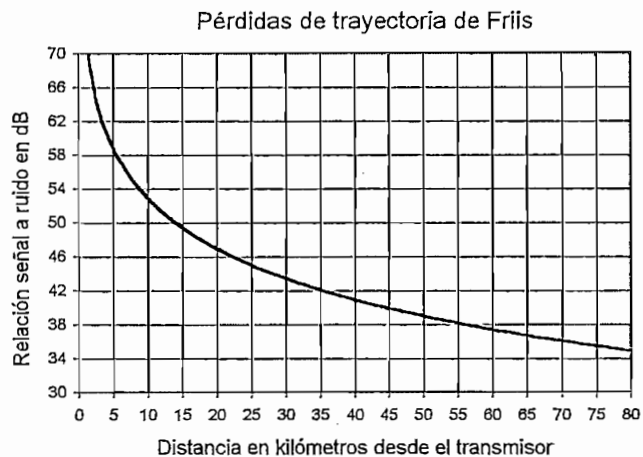


Figura 2.11. Propagación de espacio libre para un sitio típico.

2.5.1.3. LÍMITE DE SHANNON EN LA CAPACIDAD DEL CANAL

Con un SNR limitado a 38 dB, la famosa fórmula de Shannon determina la limitación de la velocidad de información¹.

$$C = AB \cdot \log_2 \left(1 + \frac{S}{N} \right) \quad (2.3)$$

La Figura 2.12. muestra el gráfico del límite de bits por segundo por hertz a través del canal como una función del SNR. En el futuro 10 bits por segundo por hertz serán realizados, posiblemente con multiplexación por división de frecuencia ortogonal, 1024 QAM a 50 Mbps. Actualmente, 6 bits por segundo por hertz es una opción ambiciosa, lo cual nos proporciona, 64 QAM.

La codificación Reed Solomon RS (204,188) y la codificación Trellis a una tasa de 5/6 pueden proporcionar una velocidad de transmisión de 23 Mbps con una velocidad de símbolo de 5.06383 baudios a un SNR umbral de 19 dB. Esto es solo 5 dB desde el límite de Shannon y

¹ Ref. [51] Sistemas de Comunicaciones Electrónicas. Tomasi Wayne. México. 1996: pag 455.

proporciona un margen de desvanecimiento de 19 dB desde el SNR de 38 dB predeterminado. Se debe tener presente que un solo árbol de pino puede atenuar la señal por más de 20 dB¹.

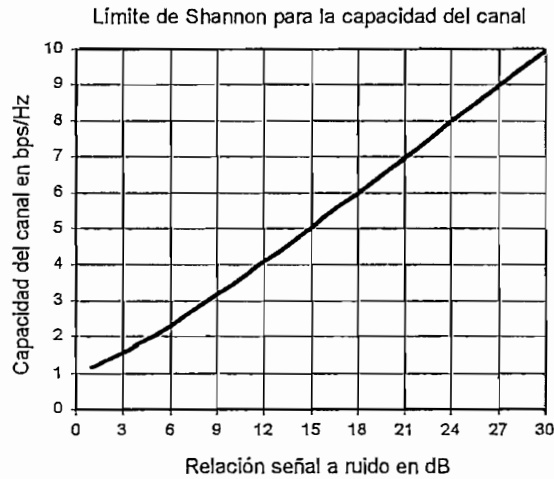


Figura 2.12. Capacidad del canal normalizado vs. SNR.

2.5.1.4. AMPLIFICADOR DE POTENCIA Y EFECTO CLIFF

La función de transferencia no lineal de los FETs de alta potencia produce bits errados. La Figura 2.13. muestra un gráfico del BER vs. el backoff del amplificador para un GaAs FET clase A de 44 dBm de cuatro fabricantes diferentes.

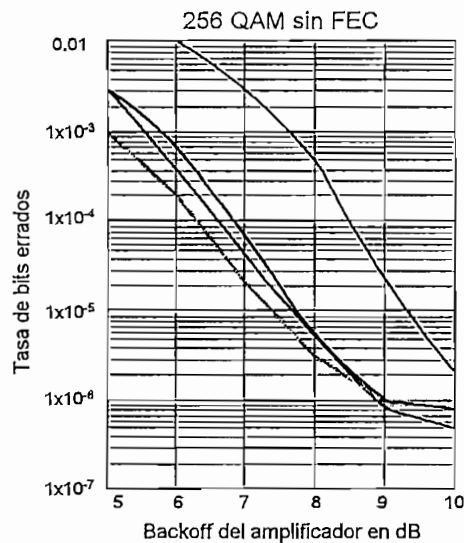


Figura 2.13. Tasa de bits errados vs. backoff del amplificador.

¹ Ref. [43] Performance of a QAM MMDS Transmission System in the Presence of Linear and Nonlinear Cascaded Distortions, AWGN, and Multipath. Urban David. Junio 1997. <http://www.adc.com/Corp/BWG/MSD/qammmms.html>.

Se requiere un backoff de 9 dB para un BER de 10^{-6} a 256 QAM. Sin embargo, puede moderarse grandemente la no linealidad en el amplificador de alta potencia con la linealización Feedforward¹.

En la Figura 2.14. se muestra las curvas medidas del BER como una función de SNR. La curva sólida es la relación teórica, las otras dos curvas representan las medidas hechas utilizando el mismo amplificador con linealización Feedforward pero a dos niveles de potencia de salida diferentes.

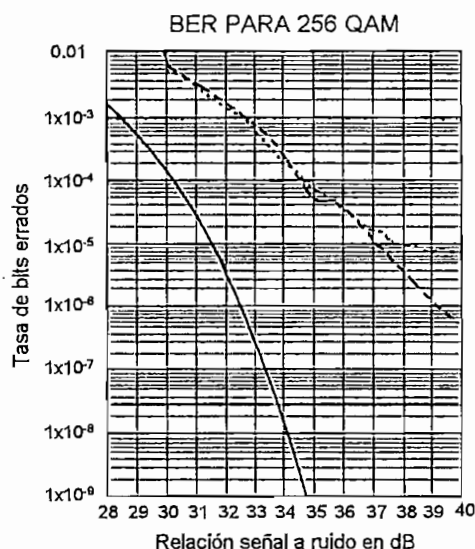


Figura 2.14. BER vs. SNR con amplificador no lineal.

La curva punteada se linealiza alrededor de un BER de 10^{-5} , tiene una potencia de salida retirada 5 dB desde la operación lineal (menor a 0.2 dB de disminución de ganancia). La siguiente curva va disminuyendo por debajo de 10^{-6} , tiene una potencia de salida que es 6 dB retirada de la operación lineal. La linealización Feedforward ha reducido el backoff necesario para encontrar el BER deseado.

Debido a las técnicas FEC, se tiene una curva pronunciada, lo cual se conoce como el efecto precipicio (cliff), esto se muestra en la Figura 2.15. El tipo de modulación utilizado es 64 QAM para que el SNR a un BER dado sea teóricamente 6 dB más abajo, que en 256 QAM. En la práctica la construcción del módem 256 QAM es más compleja que para 64 QAM.

En la Figura 2.15. se puede ver que la curva sólida es la teórica sin FEC. Las otras dos curvas son valores medidos utilizando Reed Solomon RS (204,188)². Por otro lado, para un SNR

¹ Ref. [43] Performance of a QAM MMDS Transmission System in the Presence of Linear and Nonlinear Cascaded Distortions, AWGN, and Multipath. Urban David. Junio 1997. <http://www.adc.com/Corp/BWG/MSD/qammmds.html>.

² Ref. [43] Performance of a QAM MMDS Transmission System in the Presence of Linear and Nonlinear Cascaded Distortions, AWGN, and Multipath. Urban David. Junio 1997. <http://www.adc.com/Corp/BWG/MSD/qammmds.html>.

mayor que 23 dB, el BER está sobre 10^{-9} y para un SNR menor que 22 dB, el BER está bajo 10^{-5} .

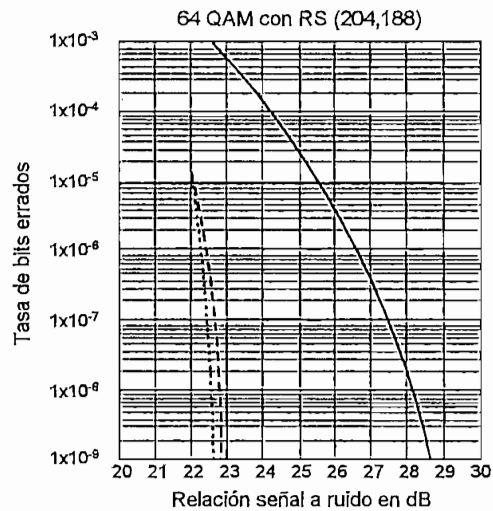


Figura 2.15. Medición del efecto cliff.

La curva punteada tiene un SNR umbral de 22.6 dB mientras la curva de guiones tiene un SNR umbral de 22.8 dB. Los 22.6 dB del SNR umbral son medidos con un amplificador Feedforward con un backoff de 6.5 dB desde el funcionamiento lineal y 7.5 dB desde la potencia de salida saturada. El SNR umbral de 22.8 dB es medido utilizando el mismo amplificador Feedforward a una potencia de salida 2 dB más arriba. Sin FEC la diferencia en BER a estos dos niveles de potencia podría estar en un cierto orden de magnitud. Sin embargo, con FEC la degradación neta en el SNR umbral es solamente 0.2 dB y por consiguiente esto se logra con 2 dB más de potencia en el transmisor.

Si se maneja el amplificador con un backoff de solo 4 dB causará un número de bits errados en exceso, los cuales pueden ser corregidos con codificación RS. De esta manera, la señal se distorsionará inútilmente sin tener en cuenta el nivel recibido. Un backoff admisible mínimo es 1 dB, en el punto crítico donde FEC ya no corrige errores; para 256 QAM requiere por lo menos adicionalmente 1 dB de backoff. En general para una operación segura de 64 y 256 QAM, desde el punto crítico de falla se requiere un backoff de 3 dB.

2.5.1.5. DESBORDAMIENTO ESPECTRAL Y CIR

En la función de transferencia del amplificador, los términos de expansión polinomial de orden impar generarán intermodulación que afectará al canal adyacente. La Figura 2.16. muestra el

espectro medido a la salida de 4 FETs a una potencia de 7 dB bajo el punto de referencia de 1 dB¹.

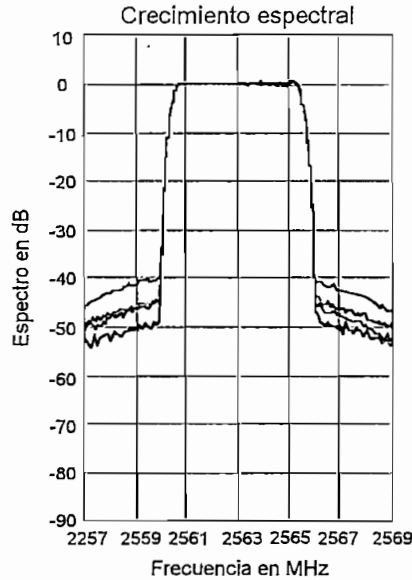


Figura 2.16. Espectro de la potencia de salida del HPA.

La potencia de salida del canal causará interferencia a canales adyacentes. La relación de la potencia del canal deseado a la interferencia debido al desbordamiento espectral desde los canales adyacentes se denota CIR (Carrier to Interference Ratio).

La FCC permite que las señales digitales sean difundidas con una potencia máxima que es 6 dB más alta que la potencia máxima de sincronización de las señales NTSC, de esta manera los canales adyacentes NTSC pueden coexistir con los canales QAM. La FCC ha adoptado un tipo de equipo de transmisión, demostrando que la potencia promedio de salida de la banda espectral en un ancho de banda de 100 kHz de resolución es 38 dB hacia abajo del borde del canal y linealmente declina a 60 dB en la mitad de un canal adyacente relativo a la señal de potencia en un ancho de banda de 100 kHz².

El gráfico del espectro de un transmisor de 50 vatios con linealización Feedforward y una combinación de canales filtrados se muestra en la Figura 2.17³. El contorno punteado es la máscara espectral requerida. La potencia promedio total de la señal digital es 17 dB más alta que la potencia dentro de un ancho de banda de 100 kHz. Adicionalmente, las potencias máximas exceden el promedio por más de 6 dB. Así el rango dinámico del analizador de

¹ Ref. [43] Performance of a QAM MMDS Transmission System in the Presence of Linear and Nonlinear Cascaded Distortions, AWGN, and Multipath. Urban David. Junio 1997. <http://www.adc.com/Corp/BWG/MSD/qammmds.html>.

² Ref. [43] Performance of a QAM MMDS Transmission System in the Presence of Linear and Nonlinear Cascaded Distortions, AWGN, and Multipath. Urban David. Junio 1997. <http://www.adc.com/Corp/BWG/MSD/qammmds.html>.

³ Ref. [43] Performance of a QAM MMDS Transmission System in the Presence of Linear and Nonlinear Cascaded Distortions, AWGN, and Multipath. Urban David. Junio 1997. <http://www.adc.com/Corp/BWG/MSD/qammmds.html>.

espectros puede exceder 93 dB para que el mínimo ruido del analizador contribuya menos de 0.5 dB a la medida.¹

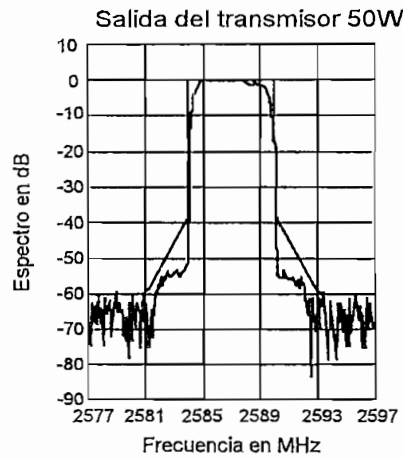


Figura 2.17. Medición del espectro del transmisor.

2.5.1.6. MÚLTIPLES TRAYECTORIAS, ECUALIZACIÓN, Y RESPUESTA IMPULSIVA DEL SISTEMA

La forma de onda que representa uno de los 64 posibles símbolos se transmite cada 250 ns. Los símbolos, $In + jQn$ con In y Qn tomando cualquiera de los ocho valores discretos: -7, -5, -3, -1, 1, 3, 5, 7 siendo n el índice de tiempo, son convolucionados con la respuesta impulsiva de coseno alzado de la combinación de filtros en el modulador y demodulador. La forma de los pulsos de los filtros de Nyquist limitarán la respuesta de frecuencia a 6 MHz y los cruces por cero en el eje de tiempo para cada tiempo de símbolo diferente de n , mientras no interfiera con la recepción de otros pulsos. La forma de onda en tiempo de la respuesta del filtro coseno alzado se muestra en la Figura 2.18.

Una respuesta de frecuencia del canal distinta de la ideal romperá este equilibrio creando interferencia intersímbolo. La respuesta impulsiva de un canal que tiene una sola de las múltiples trayectorias, teniendo un retardo de 1 μ s y una atenuación de 6 dB, se muestra en la Figura 2.19. La forma de onda ya no cruza por cero a cada período de símbolo distinto de cero².

Para eliminar la interferencia intersímbolo se requiere de un ecualizador adaptivo, debido a la propagación de múltiples trayectorias en el canal de transmisión. Es importante que los coeficientes del filtro digital FIR sean ajustados para minimizar el error cuadrático medio

¹ Ref. [43] Performance of a QAM MMDS Transmission System in the Presence of Linear and Nonlinear Cascaded Distortions, AWGN, and Multipath. Urban David, Junio 1997. <http://www.adc.com/Corp/BWG/MSD/qammmms.html>.

² Ref. [43] Performance of a QAM MMDS Transmission System in the Presence of Linear and Nonlinear Cascaded Distortions, AWGN, and Multipath. Urban David, Junio 1997. <http://www.adc.com/Corp/BWG/MSD/qammmms.html>.

mientras el ecualizador proporciona la respuesta de frecuencia inversa del canal, eliminando el ISI.

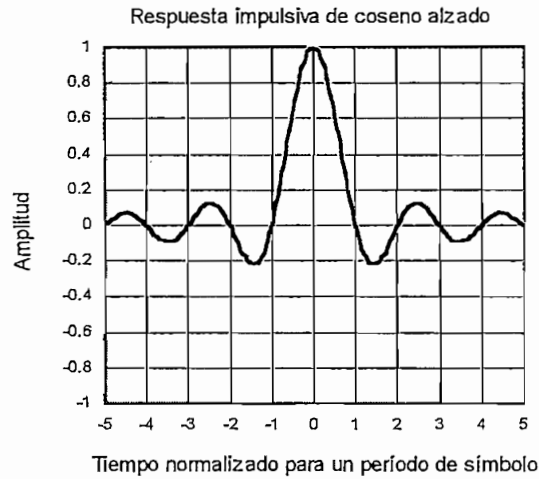


Figura 2.18. La forma de onda de tiempo del filtro combinado.

Se realizaron experimentos utilizando un Ecualizador Feedforward (FFE, FeedForward Equalizer) de 8 derivaciones y un Ecualizador de Realimentación de Decisión (DFE, Decision Feedback Equalizer) de 12 derivaciones. La separación de la derivación está alrededor de 200 ns. La ventana del ecualizador está 1.6 μ s adelantado y 2.4 μ s retardado. Un simulador de canal RF fue utilizado para crear distorsión de múltiple trayectoria con retardo y atenuación específicos. El retardo fue fijo y la atenuación ajustada mientras el umbral de BER de 10^{-9} era determinado¹.

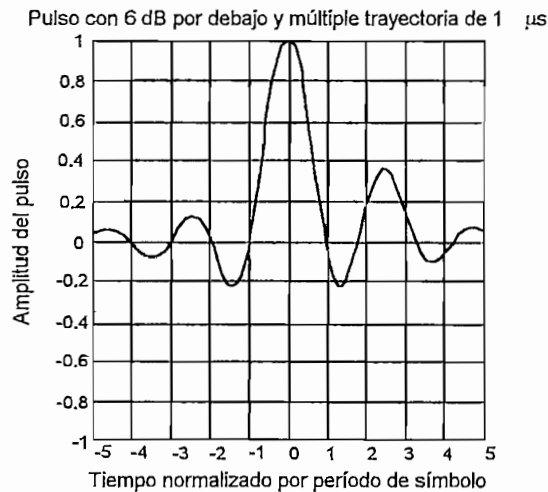


Figura 2.19. Respuesta impulsiva con múltiple trayectoria.

¹ Ref. [43] Performance of a QAM MMDS Transmission System in the Presence of Linear and Nonlinear Cascaded Distortions, AWGN, and Multipath. Urban David. Junio 1997. <http://www.adc.com/Corp/BWG/MSD/qammmms.html>.

La corrección de errores directa utilizada fue RS (204,188). Los resultados de la prueba se resumen en la Figura 2.20. en esta figura se muestran tres curvas, la curva roja de encima es la atenuación medida con un BER de 10^{-9} , la segunda curva azul de abajo es el promedio esperado de las múltiples trayectorias del canal MMDS, y la curva negra del fondo es la respuesta impulsiva del sistema de transmisión MMDS completo que excluye el enlace aéreo.

La curva roja representa la capacidad del ecualizador de corregir en múltiples trayectorias. Fuera de la ventana del ecualizador el retardo de la señal aparece como ruido y puede estar cercano al umbral de AWGN, alrededor de 24 dB. Una múltiple trayectoria debajo de los 10 dB con un adelanto menor que $0.5 \mu\text{s}$ y un retardo menor que 1 ms serán ecualizados y el BER será mayor que 10^{-9} . El nivel que el ecualizador puede corregir por disminución de los retardos está determinado por la ventana del ecualizador¹.

Debido a la pérdida de trayectoria, el canal MMDS despliega múltiples trayectorias con niveles de amplitud que disminuyen con el retardo. La curva azul muestra los niveles de múltiple trayectoria esperados de un canal MMDS para varios retardos. La Figura 2.20.² ilustra que el ecualizador es capaz de corregir la distorsión de múltiples trayectorias esperadas.

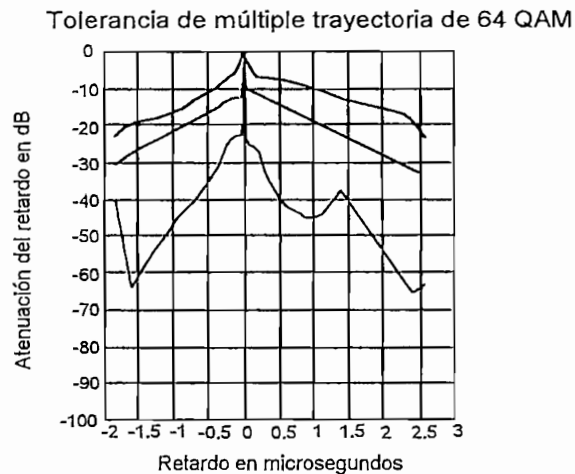


Figura 2.20. Curva del sistema, canal, y respuesta impulsiva del ecualizador.

La curva negra indica la respuesta impulsiva medida del sistema de transmisión MMDS completo mostrado en el diagrama de bloques de la Figura 2.10. La respuesta impulsiva se desvía de la ideal debido a la respuesta de frecuencia de muchos filtros conectados en cascada y componentes a lo largo del sistema. La respuesta de frecuencia del canal creará interferencia intersímbolo si no se corrige en el ecualizador adaptivo del receptor. El ecualizador adaptivo puede corregir las variaciones de respuesta de frecuencia menores que del sistema en cascada sin degradar significativamente la capacidad de corrección del

¹ Ref. [43] Performance of a QAM MMDS Transmission System in the Presence of Linear and Nonlinear Cascaded Distortions, AWGN, and Multipath. Urban David, Junio 1997. <http://www.adc.com/Corp/BWG/MSD/qammmds.html>.

² Ref. [36] MMDS Tests of Digital Transmission in 64 QAM Format; Waltrich J.B., Wireless Cable Technical Symposium, Febrero 1996.

ecualizador para proveer canales de múltiple trayectoria en los que la respuesta impulsiva del sistema está significativamente por debajo de las otras dos curvas.

2.5.1.7. BER DEL SISTEMA EN PRESENCIA DE RUIDO

La curva BER vs. SNR del sistema completo se muestra en la Figura 2.21.¹ respecto a la curva teórica y a la curva del modulador y demodulador espalda con espalda (back to back). La curva sólida es la teórica, con un SNR de 22.8 dB para un BER de 8×10^{-4} ; con la codificación Reed Solomon puede corregirse un BER de 8×10^{-4} a 10^{-9} . La curva punteada despliega el desempeño medido de un sistema MMDS: un modulador, transmisor, combinador de canales, downconverter, demodulador. El cual requiere un SNR de 23.8 dB para un BER de 8×10^{-4} . La pérdida de implementación comparada al umbral teórico es 1 dB².

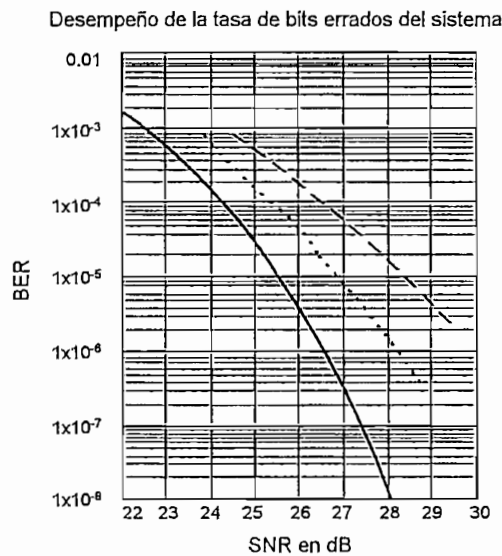


Figura 2.21. BER vs. SNR para un solo transmisor y un sistema en cascada.

La curva de guiones en la Figura 2.21.³ es el BER vs SNR del sistema en cascada mostrado en la Figura 2.10. El sistema requiere un SNR de 24.5 dB para un BER de 8×10^{-4} ; de esta manera el sistema en cascada ha degradado el SNR umbral de 1.8 dB por encima del teórico y 0.8 dB por encima del sistema que no está en cascada. El sistema en cascada consiste de cinco enlaces, transporte por fibra óptica, transmisor principal, transporte de microonda a 13 GHz, repetidor MMDS discreto, y repetidor MMDS de banda ancha. La degradación en el SNR umbral de cada enlace se midió para 0.16 dB llegando a 0.8 dB en cascada.

¹ Ref. [43] Performance of a QAM MMDS Transmission System in the Presence of Linear and Nonlinear Cascaded Distortions, AWGN, and Multipath. Urban David, Junio 1997. <http://www.adc.com/Corp/BWG/MSD/qammmds.html>.

² Ref. [43] Performance of a QAM MMDS Transmission System in the Presence of Linear and Nonlinear Cascaded Distortions, AWGN, and Multipath. Urban David, Junio 1997. <http://www.adc.com/Corp/BWG/MSD/qammmds.html>.

³ Ref. [43] Performance of a QAM MMDS Transmission System in the Presence of Linear and Nonlinear Cascaded Distortions, AWGN, and Multipath. Urban David, Junio 1997. <http://www.adc.com/Corp/BWG/MSD/qammmds.html>.

En la Figura 2.22. se ilustra el efecto precipicio del SNR umbral, la medida del SNR vs BER sin FEC, con codificación Reed Solomon y tanto con codificación Reed Solomon y codificación Trellis de proporción 5/6¹.

La curva amarilla es el desempeño medido con codificación Trellis de proporción 5/6 sumada a la codificación RS (204,188), el umbral es 19.2 dB. La curva roja es la teórica sin FEC, la curva azul es el desempeño medido sin FEC. La curva negra es el desempeño medido con RS (204,188), el umbral medido es 23.8 dB. La ganancia de codificación de Reed Solomon es aproximadamente 6 dB y la ganancia de codificación de Trellis es casi 5 dB².

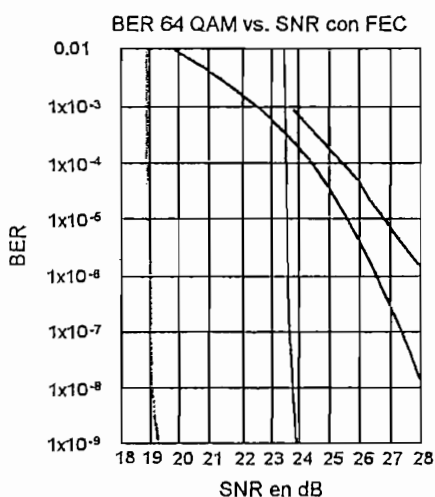


Figura 2.22. BER con FEC RS y Trellis.

2.5.2. SISTEMA MMDS TÍPICO PARA LA TRANSMISIÓN DE VIDEO

Un sistema MMDS típico se muestra en la Figura 2.23. El sistema inalámbrico consiste de equipo terminal (satélite, equipo de recepción de señal, transmisor de radio, y antena de transmisión) y un equipo de recepción para cada usuario (antena, dispositivo de conversión de frecuencia y dispositivo convertidor/decodificador)³. Las señales para la difusión del sistema MMDS provienen de varias fuentes como: El satélite, la microonda terrestre y el cable. Además de los servicios de banda base locales, incluye el material a ser entregado por el sistema MMDS.

Todos los formatos en banda base entregados por el satélite son decodificados, modulados y posteriormente convertidos a frecuencias de microonda más altas. Las señales ofrecidas por la

¹ Ref. [43] Performance of a QAM MMDS Transmission System in the Presence of Linear and Nonlinear Cascaded Distortions, AWGN, and Multipath. Urban David, Junio 1997. <http://www.adc.com/Corp/BWG/MSD/qammmds.html>.

² Ref. [43] Performance of a QAM MMDS Transmission System in the Presence of Linear and Nonlinear Cascaded Distortions, AWGN, and Multipath. Urban David, Junio 1997. <http://www.adc.com/Corp/BWG/MSD/qammmds.html>.

³ Ref. [61] Wireless Cable TV and Pacific Telesis' Digital Video Project. Chow Francis, Ho Philip and Metz Hayden. Diciembre 1996 <http://www.alder.eecs.berkeley.edu/~fchow/ee228.html>.

microonda terrestre pasan normalmente a través de un procesador heterodino previamente convertidas a las frecuencias deseadas del sistema MMDS.

Los canales MMDS se transmiten desde una antena omnidireccional o direccional que tiene línea de vista en todas las direcciones. Se pueden utilizar estaciones repetidoras para retransmitir las señales MMDS a las áreas sin cobertura. El alcance de una antena transmisora puede ser de hasta 56 km dependiendo de la potencia de transmisión. La potencia de transmisión utilizada normalmente está en el rango de 1 a 100 vatios, que está por debajo de la potencia de transmisión de VHF y UHF.

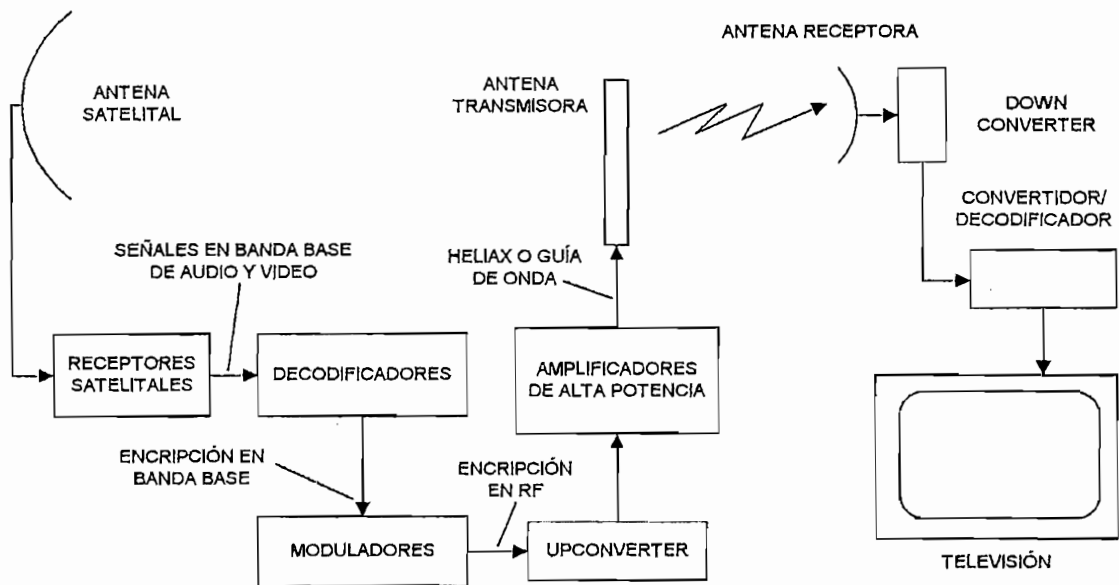


Figura 2.23. Sistema MMDS típico.

En la recepción se tiene una antena parabólica la cual se acondiciona para recibir señales polarizadas verticalmente u horizontalmente o las dos conjuntamente. Las señales de microonda son entonces pasadas a través de un downconverter, el cual convierte las frecuencias de la señal a las frecuencias estándar de VHF o UHF. Las señales pueden ser alimentadas directamente a un set de TV o a una caja decodificadora set-top.

2.5.3. AVANCES EN LA TECNOLOGÍA DEL SISTEMA MMDS

Debido al espectro limitado, la transmisión analógica puede proporcionar solo un número pequeño de canales ya que los formatos analógicos no permiten compresión y no es posible incrementar la eficiencia espectral. Para satisfacer la necesidad básica de los usuarios (es decir, más capacidad de programas), es necesario introducir compresión y tecnología de transmisión digital.

El diagrama en bloques del transmisor MMDS analógico se muestra en la Figura 2.24.¹ donde el modulador de TV utilizado en el transmisor es igual que el modulador utilizado en el sistema de TV cable (CATV). El upconverter convierte la frecuencia del canal de salida a la frecuencia del canal MMDS deseada. El oscilador local del upconverter es una fuente de frecuencia de microonda muy estable, la frecuencia del LO es 2.332 MHz, con buena estabilidad y un nivel de salida de +20 dBm cuando alimenta en el mezclador del upconverter. El mezclador del upconverter mantiene más de 60 dB libre de espurios en un rango dinámico, con menos de 1 dB de rizado en la señal pasabanda. En la salida del amplificador de potencia, los productos de intermodulación de tercer orden deben ser menores de 60 dB debajo de la salida de la portadora, y todos los armónicos espurios también son menores de 60 dB. Las reglas de la FCC, especifican que la relación deseado a no deseado (D/U), portadora a interferencia debe estar en una separación de 45 dB. Para reducir la interferencia cocanal se deben tener diferentes soluciones en el diseño tales como:

- La frecuencia de offset ajusta las dos frecuencias del transmisor de operación, compensando una frecuencia por 10.010 Hz, la cual es la portadora visual máxima de offset bajo la regla y regulación de la FCC.
- La polarización ortogonal entre los sitios es una relación de discriminación de polarización de 20 dB que se logra cambiando la polarización de la antena entre dos transmisores.
- La operación de portadora síncrona es donde dos o más transmisores incorporan un lazo de fase asegurado (PLL) que asegura a una sola señal portadora de referencia utilizando la subportadora de color o las señales del sistema de posicionamiento global (GPS).

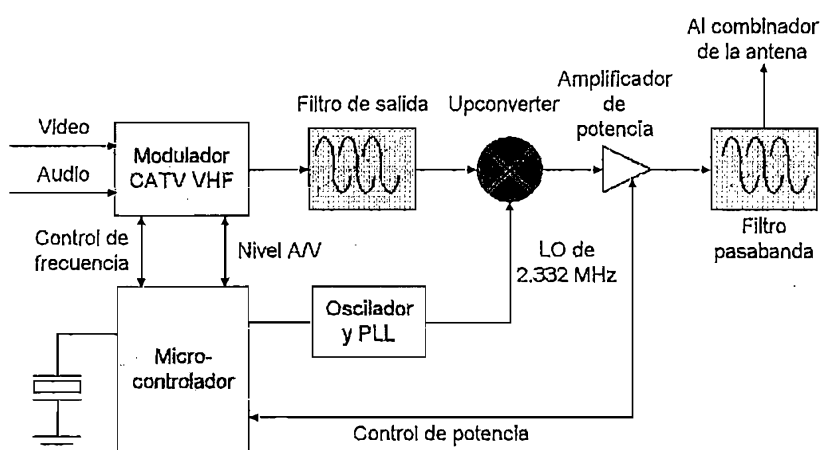


Figura 2.24. Diagrama de bloques del transmisor MMDS.

La digitalización tiene algunas ventajas importantes, tales como: la compresión de la señal que permite múltiples programas de televisión digital utilizando el mismo espectro que podría utilizar un solo programa analógico. Los rangos de ganancia múltiple van típicamente de 4:1 a 10:1, o

¹ Ref. [1] A Primer on MMDS Technology, Fung Paul J, Abril 1998, <http://www.csdmag.com/main/9804fe4.htm>.

incluso 16:1¹, dependiendo de los requerimientos de calidad. Además, los requerimientos de potencia para los servicios digitales sobre una área de cobertura predeterminada son substancialmente bajos comparados con los servicios analógicos.

Por otra parte el formato MPEG-2 ha sido adoptado como una norma para la transmisión digital. Las tecnologías de codificación permiten la realización de servicios avanzados en sistemas MMDS, y los estándares y frecuencias utilizadas queda a criterio de los fabricantes, para tener una minimización de costos del receptor. El despliegue de la tecnología MPEG-2 para comprimir y multiplexar componentes de programas y programas enteros de televisión, en un flujo de transporte para la transmisión se está utilizando actualmente en el ámbito mundial.

Un diagrama de bloques del transmisor digital se muestra en la Figura 2.25.² El sistema de transmisión digital, utiliza un modulador QAM multinivel en cada canal de 6 MHz, y puede entregar de cuatro a seis señales MPEG-2 de video digital y audio multiplexadas en un solo flujo de datos. El ancho de banda del sistema y el compartimento de amplitud y fase entre el modulador I y Q es una especificación importante. La señal digital es más sensible a la múltiple trayectoria y ruido que las señales analógicas. La imagen digital se deteriora una vez que alcanza el nivel de umbral de ruido, mientras la imagen analógica todavía es visible.

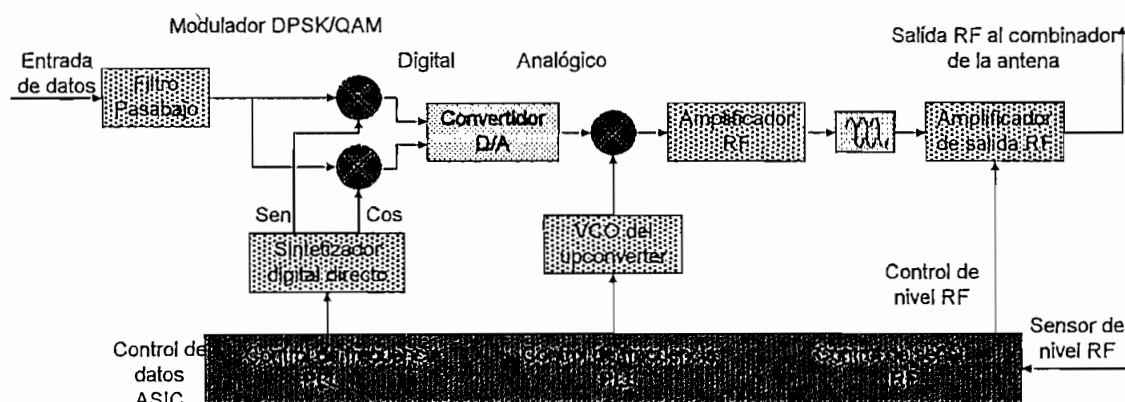


Figura 2.25. Diagrama de bloques del transmisor digital MMDS.

2.5.4. ARQUITECTURA PARA LA TRANSMISIÓN DE VIDEO

La Figura 2.26. ilustra una posible configuración de un headend del sistema MMDS, para la transmisión de programas de televisión digital. Las fuentes de los programas podrían ser: satélites, redes terrestres y fuentes locales y se podría incluir la televisión analógica existente.

¹ Ref. [61] Wireless Cable TV and Pacific Telesis' Digital Video Project. Chow Francis, Ho Philip and Metz Hayden. Diciembre 1996 <http://www.alder.eecs.berkeley.edu/~fchow/ee228.html>.

² Ref. [1] A Primer on MMDS Technology. Fung Paul J. Abril 1998. <http://www.csdmag.com/main/9804fe4.htm>.

La forma de las señales de entrada al codificador compatible MPEG-2 puede ser video analógico en banda base y componentes de audio. Si se asume que el codificador compatible MPEG-2 puede alojar cuatro grupos de programas en paralelo a la entrada (es decir cuatro grupos de una señal de video analógico y un par de canales de audio estereofónicos), entonces se podría realizar la conversión A/D (analógica/digital), codificación de la fuente de información y multiplexación del nivel de los programas. Finalmente la capa múltiple de transporte del codificador MPEG-2 multiplexará los cuatro programas en un solo flujo de bits en serie¹.

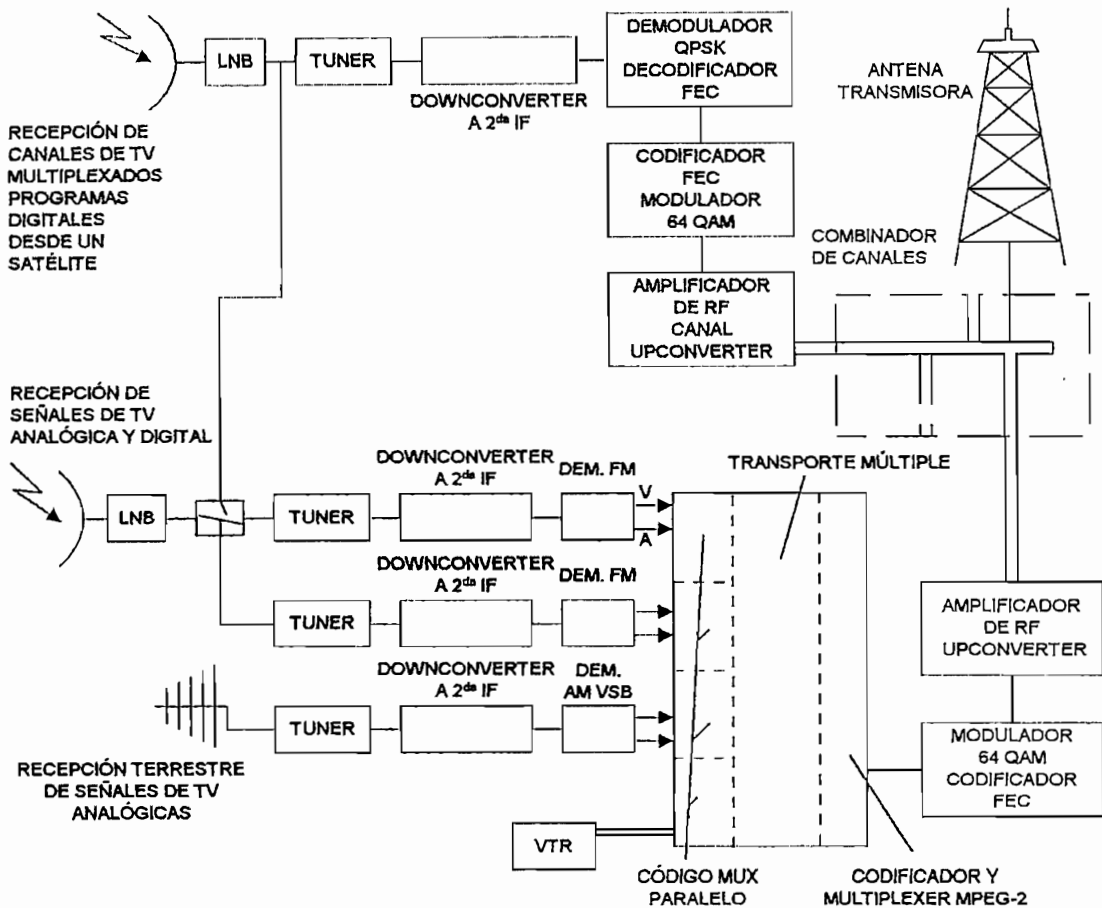


Figura 2.26. Configuración del transmisor para un sistema MMDS digital.

Si las diversas fuentes de programas digitales incluyen programas de fuentes de televisión multiplexadas que son codificadas y multiplexadas de acuerdo con los principios de MPEG-2, entonces después de la sintonización del canal y la conversión de la segunda señal de frecuencia intermedia del satélite, solamente la demodulación QPSK y la decodificación FEC son necesarias para ser empleadas antes de la codificación FEC y la modulación QAM para el sistema MMDS.

¹ Ref. [61] Wireless Cable TV and Pacific Telesis' Digital Video Project. Chow Francis, Ho Philip and Metz Hayden. Diciembre 1996 <http://www.alder.eecs.berkeley.edu/~fchow/ee228.html>.

Sin embargo, se debe tomar en cuenta que esta técnica es dependiente por el hecho de transportar flujo de bits multiplexados fuera del demodulador QPSK del satélite y es compatible con los requerimientos de la entrada del modulador QAM para el sistema MMDS. Semejante a la transmodulación elimina la necesidad de codificadores y decodificadores compatibles MPEG-2, y disminuye los requerimientos en el equipo del operador¹.

El flujo de bits en serie es alimentado a un modulador 64 QAM que incorpora en los canales codificación FEC. Para corregir una ráfaga de errores en el receptor, será necesario implementar dos técnicas de corrección de errores FEC: código exterior Reed Solomon (204:188) y un código FEC interno convolucional. Esto permitirá la realización de un decodificador de Viterbi para una decodificación FEC interna en el receptor.

La señal modulada 64 QAM es alimentada a un transmisor MMDS que incorpora un upconverter y un amplificador de RF. El amplificador puede ser implementado utilizando tecnología GaAs FET. Este tipo de dispositivo (GaAs FET) es utilizado debido a que es casi lineal para potencias de salida de 100 vatios, además su disponibilidad es sumamente alta.

La señal de RF se pasa entonces por un combinador de guía de onda que filtra y combina las señales RF en el canal pasabanda de 6 MHz hacia la guía de onda de banda ancha. La multiplexación multicanal de las señales analógicas y digitales se pasa entonces a través de un cable de bajas pérdidas (heliac) a la antena transmisora.

2.5.4.1. PROBLEMAS Y SOLUCIONES EN LA TRANSMISIÓN

Puesto que el sistema MMDS utiliza una tecnología de transmisión de microonda basada en línea de vista, sin obstrucciones de terreno (montañas, árboles, follaje, edificios, etc.) tiene coberturas significativas². Esto implica calidad en las señales para la designación y despliegue del sistema. En el diseño se deben tomar en cuenta los efectos de ruido de fase, sistemas de radar de aviación, antenas de estaciones de televisión de alta potencia, la interferencia de sistemas adyacentes y factores de tiempo relacionados como variaciones de temperatura y presión.

Los transmisores de alta potencia de radares de aeropuertos a 2.7 GHz pueden sobrecargar al receptor, y las bandas de PCS (Personal Communication Service) recientemente desplegadas a 1.9 GHz están a una frecuencia imagen (frecuencia a ser mezclada en el LO) en el downconverter del receptor.

¹ Ref. [61] Wireless Cable TV and Pacific Telesis' Digital Video Project. Chow Francis, Ho Phillip and Metz Hayden. Diciembre 1996 <http://www.alder.eecs.berkeley.edu/~fchow/ee228.html>.

² Ref. [61] Wireless Cable TV and Pacific Telesis' Digital Video Project. Chow Francis, Ho Phillip and Metz Hayden. Diciembre 1996 <http://www.alder.eecs.berkeley.edu/~fchow/ee228.html>.

Las áreas obstruidas y áreas demasiado alejadas del transmisor principal pueden ser servidas por repetidores. La atenuación debido a los árboles afecta significativamente al espectro de frecuencia del sistema MMDS. La cantidad de atenuación depende del tipo de árbol (densidad del follaje) y la colocación de la antena receptora con respecto al árbol interferente. Otro efecto podría ser también debido a la frecuencia selectiva dentro del espectro del sistema MMDS.

Para superar la atenuación de la señal debido a los árboles, se necesitan márgenes de niveles de señal en el rango de 19 dB a 22 dB. Puesto que la potencia radiada por el transmisor es designada por la FCC, la solución es más compleja que incrementar potencia al transmisor. Por lo tanto, la colocación de la antena transmisora a una altura sobre el terreno es crucial.

Las reflexiones crean distorsiones de múltiple trayectoria (atenuación y retraso de la señal). Debido a que las reflexiones en las colinas se atenúan severamente, hay una ausencia de desdoblamiento de imagen (para las señales analógicas) o interferencia intersímbolo (para las señales digitales) de las señales recibidas. Lo cual es una ventaja del sistema MMDS sobre la difusión de VHF y UHF, donde el desdoblamiento de imagen frecuentemente puede dañar las señales recibidas adecuadamente.

Se debe tomar en cuenta varios factores adicionales para la selección de una área. Está determinada por la colocación de la torre de transmisión, junto con la colocación meticulosa del sitio del repetidor y del reflector. Sin embargo, pueden ocurrir múltiples trayectorias en un sistema MMDS en donde hay solapamiento en la cobertura del transmisor principal y del reflector (repetidor de baja potencia). Aunque el resultado del desdoblamiento de imagen no puede ser inaceptable en un cuadro analógico, este puede producir suficiente interferencia intersímbolo y causar errores en una señal digital. Una solución simple es obligar a que la antena receptora en la casa del cliente tenga directamente línea de vista.

La interferencia de radares a las frecuencias cercanas a los canales MMDS tiene un impacto en este servicio. El nivel de impacto depende de la fuerza y ancho del pulso de la señal del radar, de la proporción de rotación de la antena del radar, la frecuencia de operación del sistema de radar, y la proximidad del sitio del receptor al sistema de radar.

A más de la interferencia del radar existen otras señales que interfieren y afectan las frecuencias dentro de la banda del sistema MMDS. Sin embargo, el efecto más significativo se da a la frecuencia de 2686 MHz, que es la frecuencia del sistema MMDS más cercana al espectro de frecuencia del radar. Esto se podría solucionar mediante filtros.

En varias ocasiones el downconverter entra en una situación de sobrecarga haciendo el área inservible. Por lo tanto, el tiempo de recuperación desde la condición de sobrecarga es de extrema importancia para el proveedor del servicio. Debido al nivel reducido del pulso de la

señal del radar en el primer amplificador de fase en el downconverter, la condición de sobrecarga puede reducirse grandemente. Por consiguiente incluso en casos donde ocurre una sobrecarga, el tiempo de recuperación puede ser muy rápido¹.

Por otro lado no se tiene problemas de desvanecimiento en la recepción debido a la lluvia, hielo, nieve, o la interferencia artificial en rango de 2.5 GHz. El desvanecimiento no es considerado un problema incluso sobre trayectorias extensas (por encima de los 80 km). Se ha experimentado un desvanecimiento severo en las trayectorias por encima del mar con aguas poco profundas, pero esta situación es rara.

2.5.5. ARQUITECTURA PARA LA RECEPCIÓN DE VIDEO

Para tener una señal libre de ruido e interferencias se debe tener un SNR de 44 dB. Este SNR mínimo, combinado con la sensibilidad del downconverter y la potencia obligada del transmisor, nos da el radio del área de cobertura del transmisor de televisión.

Una ventaja del sistema MMDS es su capacidad de emplear ganancias muy altas en el sistema del suscriptor. La típica ganancia de la antena de 18 a 24 dBi, y la ganancia del downconverter de 20 a 30 dB, están entre las técnicas de ingeniería significativas empleadas para proporcionar un servicio satisfactorio.

La recepción para servicios del sistema MMDS digital en el lado del suscriptor se muestra en la Figura 2.27. Este aprovecha la habilidad de recepción de servicios del sistema MMDS digital y analógico aún cuando aumente la complejidad y funcionalidad en las cajas decodificadoras. La antena receptora es de peso ligero, simple, de bajo costo y no requiere gran exactitud en su direccionamiento (apuntando hacia la antena del proveedor) o una estructura rígida.

Para reforzar la diversidad de servicios y la capacidad de recepción, los usuarios necesitan realmente reemplazar la caja decodificadora set-top existente que solo consiste en un receptor y control de acceso, con la caja decodificadora descrita en la Figura 2.27. Además de las circuiterías de recepción y acceso condicional (CA, Conditional Access), contiene un demodulador QAM y un decodificador compatible MPEG-2.

Las señales MMDS de RF son pasadas a un bloque downconverter de baja figura de ruido, que convierte todas las señales de RF de la banda de frecuencia del sistema MMDS a VHF/UHF. El bloque downconverter debe tener un oscilador local muy estable en la circuitería del mezclador.

¹ Ref. [61] Wireless Cable TV and Pacific Telesis' Digital Video Project. Chow Francis, Ho Philip and Metz Hayden. Diciembre 1996
<http://www.alder.eecs.berkeley.edu/~fchow/ee228.html>.

Las señales de RF se pasan entonces al front-end (extremo frontal) de la caja del decodificador set-top. La selección del canal se lo hace en el sintonizador (tuner) y el canal recibido se convierte descendientemente a IF. La salida de IF, depende si es un servicio analógico o digital, esta señal ingresa a un demodulador AM VSB (Amplitude Modulation, Vestige SideBand) o a un demodulador QAM respectivamente.

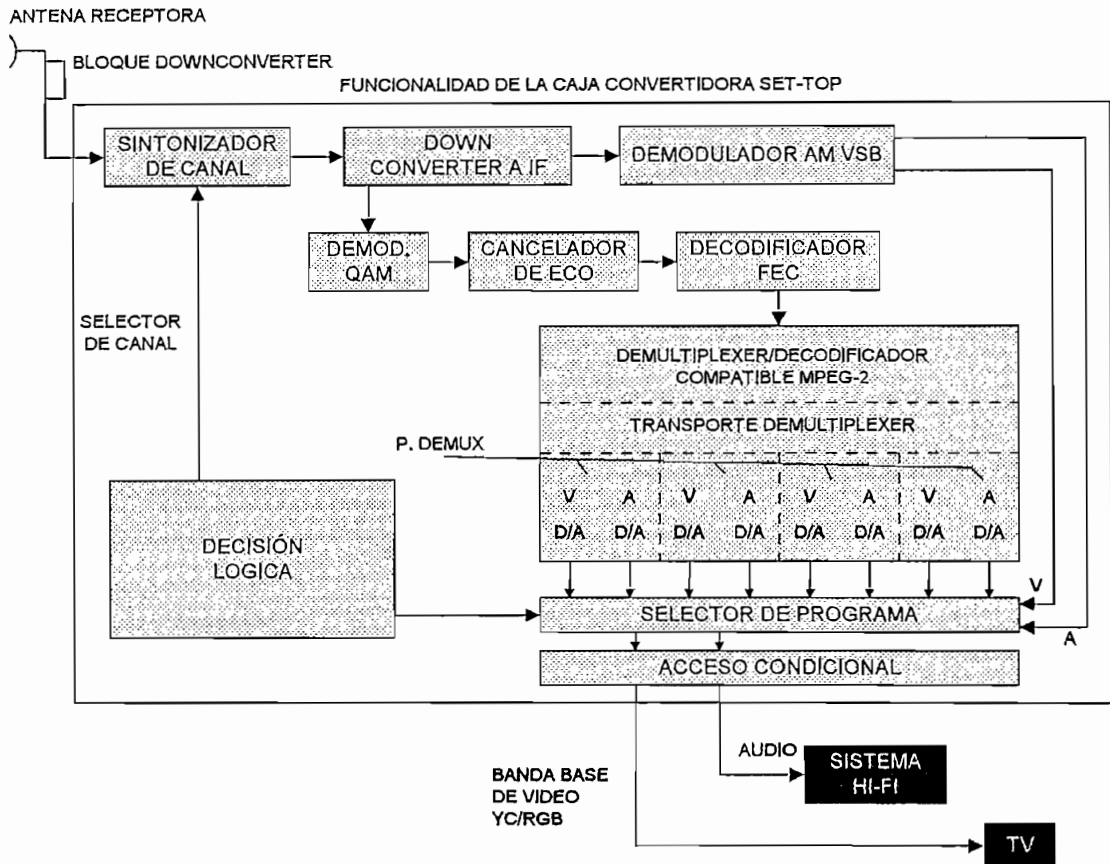


Figura 2.27. Configuración del receptor para un sistema MMDS digital.

La señal digital es demodulada a 64 QAM, pasando a través de un ecualizador adaptivo conocido como un cancelador de eco y finalmente por un decodificador FEC. La decodificación interna para corregir ráfagas de errores es implementada con un decodificador Viterbi, mientras que para la decodificación externa se utiliza la decodificación Reed Solomon, para completar la fase de decodificación del canal.

El resultado de flujo de bits conocido como transporte múltiple MPEG-2, se pasa a un circuito demultiplexor/decodificador compatibles MPEG-2. Después de que las cuatro fuentes del programa se recuperan, el usuario selecciona la fuente preferida. El programa seleccionado es demultiplexado en sus componentes de video y audio y finalmente sufren la conversión D/A (Digital/Analógico). La salida de video en formatos Y/C (Luminancia/Crominancia) ó RGB (Red

Green Blue) se conectan directamente a la televisión mediante entradas audiovisuales, y la salida de los canales de audio se pasan a un sistema doméstico de alta fidelidad¹.

En la Figura 2.28.² se detallará en un esquema en bloques del downconverter de bajo ruido (LNB). Los parámetros importantes son: la impedancia compartida de la antena, figura de ruido, ganancia de conversión, linealidad global, y estabilidad del LO. El LO del downconverter es un oscilador controlado por voltaje y está la fase cerrada a una frecuencia de referencia por un oscilador de cristal fijo. El valor de frecuencia del LO está fijo en 2.278 MHz, puesto que las frecuencias de entrada de los canales MMDS son 2.500 MHz a 2.686 MHz.

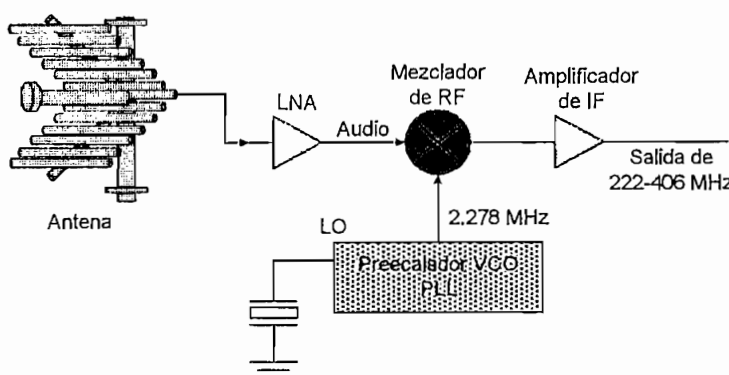


Figura 2.28. Diagrama de bloques del Downconverter de Bajo Ruido (LNB).

Las frecuencias de la señal de salida del downconverter son 222 MHz a 406 MHz en el set TV o en la entrada de la caja set-top. Las especificaciones del LNB deben consistir en lo siguiente: una ganancia RF mínima de 26 dB, una Relación de Onda Estacionaria de Voltaje (VSWR, Voltage Standing Wave Ratio) de 1.5:1 a 50 W con una figura de ruido máxima de 3 dB, una frecuencia intermedia y rechazo de imagen mínima de 50 dB, la distorsión de intermodulación de -55 dB, y un nivel de salida de +10 dBmV a 75 W.

La integración del downconverter y la señal de TV recibida se determinará por la potencia del transmisor, altura de la antena, ganancia, polarización cruzada, y figura de ruido. Para una señal de video NTSC, una relación SNR de 47 dB producirá una recepción de TV excelente. Un valor menor que 35 dB produce una calidad de imagen pobre.

La señal del downconverter LNB para la conexión a la caja decodificadora set-top digital es demodulada en video y datos. En la Figura 2.29.³ se muestra el diagrama de bloques de la caja set-top digital y los niveles de SNR requeridos para los diferentes tipos de modulación.

¹ Ref. [61] Wireless Cable TV and Pacific Telesis' Digital Video Project. Chow Francis, Ho Philip and Metz Hayden. Diciembre 1996 <http://www.alder.eecs.berkeley.edu/~fchow/ee228.html>.

² Ref. [1] A Primer on MMDS Technology. Fung Paul J. Abril 1998. <http://www.csdmag.com/main/9804fe4.htm>.

³ Ref. [1] A Primer on MMDS Technology. Fung Paul J. Abril 1998. <http://www.csdmag.com/main/9804fe4.htm>.

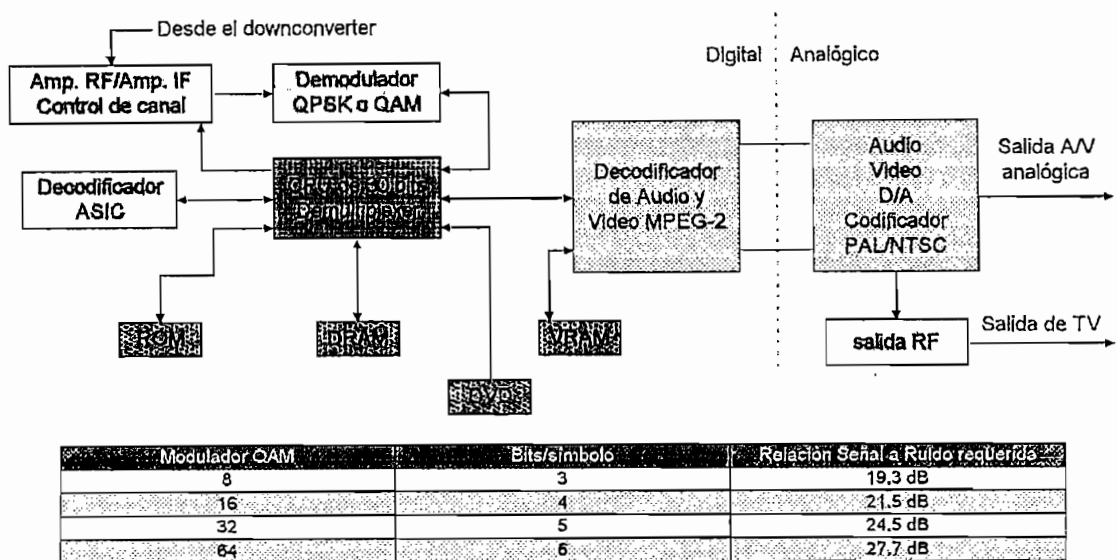


Figura 2.29. Diagrama de bloques del receptor digital MMDS.

2.5.6. SEGURIDAD Y CONTROL EN EL SISTEMA

Por razones comerciales, un sistema de acceso condicional (CA) podría ser utilizado para controlar el acceso al servicio de difusión, por esta razón se debe especificar un algoritmo común que genere secuencias pseudo aleatorias. Esto permitirá que los paquetes de las secuencias pseudo aleatorias sean de longitud variable, en el nivel TS o en el PES (Packetized Elementary Stream).

Se han hecho modificaciones en el estándar MPEG-2 para indicar, en la cabecera de los paquetes TS o PES, la secuencia pseudo aleatoria del paquete, y la paridad de las palabras de control las cuales codifican el paquete. Se ha especificado una estructura común para transmitir los datos de CA, en la cual se llevan los mensajes de CA en secciones privadas MPEG-2. Su contenido es específico para cada proveedor de sistemas CA, pero la estructura común permite a los fabricantes de decodificadores definir una plataforma de hardware independiente del sistema CA.

El CA ha sido diseñado para minimizar la probabilidad de ataques de piratería reducir la cantidad de memoria en el descrambler (decodificador pseudo aleatorio) a expensas de la memoria en el scrambler (codificador pseudo aleatorio)¹. Al extremo del receptor, el módulo de CA proporciona el acceso condicional y las funciones de decodificación pseudo aleatoria y retornos de flujo al host con servicios seleccionados desde el multiplexor en forma decodificada.

¹ Ref. [61] Wireless Cable TV and Pacific Telesis' Digital Video Project. Chow Francis, Ho Philip and Metz Hayden, Diciembre 1996 <http://www.alder.eecs.berkeley.edu/~fchow/ee228.html>.

2.5.7. LA TV INALÁMBRICA FRENTE A OTROS SISTEMAS EXISTENTES

Para que la TV inalámbrica establezca una posición en el mercado de TV, debe ofrecer alguna ventaja que los métodos corrientes de distribución de TV no proporcionan. Tal ventaja podría ser mejor calidad de servicio; transmisión más fiable; más bajo costo al usuario final, al proveedor de servicio, o a ambos; o mayor accesibilidad que la programación por cable en áreas donde el cable no estaba anteriormente disponible¹. El cable inalámbrico puede compararse con cada uno de los sistemas de distribución corrientes como: difusión de TV, TV por cable, y difusión satelital directa para determinar donde están las ventajas y desventajas potenciales del sistema MMDS.

2.5.7.1. DIFUSIÓN DE TV

La difusión de TV (TV abierta) utiliza el tradicional método de transmisión UHF/VHF. Todos los sets de TV estándares pueden recibir canales de difusión, aunque el número de señales disponibles varía mucho dependiendo de donde está ubicado el cliente. Esto es porque el número de estaciones de TV es aproximadamente proporcional al tamaño de la población en el área.

a. CALIDAD DE SERVICIO

La calidad de servicio, es decir la calidad de imagen/señal recibida, con el sistema MMDS es significativamente mejor que con la difusión de TV. En varios estudios hechos en los sistemas MMDS en Europa y Asia se ha mostrado que el tiempo adverso y otras interferencias afectan la recepción de la señal de difusión de TV más que al cable inalámbrico². Adicionalmente, al transmitir las señales digitales (las cuales son mucho más prácticas hacer con el sistema MMDS que con difusión de TV ya que solo requiere un simple hardware de conversión para recibir la señal) pueden emplearse esquemas de corrección de errores para mejorar la recepción drásticamente.

b. ACCESIBILIDAD

La difusión de TV tiene una ventaja clara sobre cualquier otro medio de transmisión cuando se refiere a la accesibilidad del usuario. Cualquier TV podrá recibir los canales de difusión con una antena simple. El sistema MMDS le exige al suscriptor que tenga una antena direccional y una caja convertidora set-top para recibir la señal y convertirla a un formato entendido por una TV.

¹ Ref. [61] Wireless Cable TV and Pacific Telesis' Digital Video Project. Chow Francis, Ho Philip and Metz Hayden. Diciembre 1996 <http://www.alder.eecs.berkeley.edu/~fchow/ee228.html>.

² Ref. [61] Wireless Cable TV and Pacific Telesis' Digital Video Project. Chow Francis, Ho Philip and Metz Hayden. Diciembre 1996 <http://www.alder.eecs.berkeley.edu/~fchow/ee228.html>.

c. COSTO

La difusión de TV es mucho más barata para el consumidor por la misma razón es más accesible, solo se requiere una TV para utilizar el medio de difusión. La señal se transmite para que cualquiera pueda recibirla. Debido a esto, no hay ninguna retribución de uso o cargos de servicio en la difusión de TV, el costo de operación de una estación de TV se paga con mensualidades de anuncios, y en algunos casos con donaciones, pero no directamente por el consumidor. En cambio los usuarios del sistema MMDS o pueden comprar el equipo necesario o pueden alquilarlo a su proveedor de servicios, además de pagar una mensualidad de servicio regular. El costo al consumidor es evidentemente más para el cable inalámbrico que para la difusión de TV regular.

La naturaleza de la relación entre el volumen de programación y el proveedor de servicios es diferente para la difusión de TV que para muchos otros medios de transmisión. Una estación de TV proporciona un volumen de programación, pero normalmente también transmite su propia señal. Además una estación de TV a más de establecer los medios para la difusión de la señal, también debe mantener la programación de ese canal. El cable inalámbrico (cable y DBS), sin embargo, no genera programación. Solo distribuye programas que las estaciones de TV están produciendo. Debido a esto, es difícil comparar el costo del proveedor directamente para la difusión y la TV inalámbrica. La mejor manera de comparar los dos es discutir el costo para poner en marcha una nueva instalación, programación y entrega de servicios en el caso de difusión de TV, y solo la entrega de servicios en el caso de TV inalámbrica.

La difusión de TV es más cara que en el sistema MMDS para el proveedor de servicio porque requiere una gran cantidad de potencia para transmitir las señales de difusión que para transmitir las señales MMDS de microonda. Hay un costo muy grande asociado con el volumen de programación en desarrollo que es único para difusión de TV. El costo del proveedor es así mucho más bajo para el sistema MMDS que para difusión de TV.

d. PROGRAMACIÓN

Considerando que la accesibilidad es una gran ventaja que tiene la difusión de TV sobre cualquier otro medio de transmisión, mientras el volumen de programación es su inconveniente más grande. En cualquier mercado de TV el número de canales de difusión disponible cae comparado con el número de canales ofrecido por el cable inalámbrico, sobre todo cuando se utiliza transmisión digital. 15 canales diferentes estarán disponibles, y es probable que algunos de estos canales puedan ser afiliados a la misma red, lo que significa que mucha de su programación será la misma.

Por otro lado, el cable inalámbrico puede transmitir sobre los 33 canales utilizando transmisión analógica, y sobre los 100 canales utilizando transmisión y compresión digital, un número que podría aumentar con el mejoramiento de las técnicas de compresión en el futuro. El cable inalámbrico llevará así la totalidad de canales de difusión en un mercado, así como canales que solo están disponibles en el cable y canales especiales (premium). La diversidad de programas es algo que los consumidores valoran muy favorablemente. La programación que puede proporcionarse es así una ventaja grande que el cable inalámbrico tiene sobre la difusión de TV.

2.5.7.2. TV POR CABLE

La TV por cable es el servicio de cable alámbrico proporcionado por compañías tales como TV Cable en nuestro país. Las señales son distribuidas de una localidad central a los usuarios finales por medio de un backbone de cables coaxiales y fibra óptica, pero el último enlace real al cliente siempre es el cable coaxial. Muchos modelos modernos de televisores y VCRs (Video Cassete Recorder) son capaces de decodificar las transmisiones de cable, así una caja convertidora no es necesaria en todas las localidades, aunque esto varía dependiendo del proveedor de servicio particular¹.

a. CALIDAD DE SERVICIO

La atenuación de la señal es menor en la transmisión alámbrica que en la transmisión inalámbrica, así la calidad de recepción de la señal es por lo menos tan buena para el cable alámbrico como es para el cable inalámbrico, si no es mejor. Bajo condiciones normales cualquier diferencia sería imperceptible, sin embargo, estas diferencias en la calidad de servicio entre el cable inalámbrico y el alámbrico solo serían notables en las condiciones de tiempo adversas, cuando la recepción de señales inalámbricas pudieran dañarse. No obstante, en tales condiciones también es posible que las líneas de transmisión de cable alámbrico se separen, cortando el servicio completamente en lugar de solo degradarlo. La calidad de servicio es así relativamente comparable entre el cable inalámbrico y el alámbrico.

Una ventaja probable que el cable inalámbrico tiene sobre el cable alámbrico es el uso de transmisión digital. La transmisión digital mejoraría la calidad de servicio de ambos tipos de transmisión, pero la mejora sería ligeramente favorable para la TV inalámbrica. Debido a que la tecnología digital no es utilizada comúnmente ya que el equipo existente y la infraestructura se diseñan en base a la transmisión analógica, y sería sumamente caro actualizar el sistema entero. La tecnología digital puede ser beneficiosa para ambos medios de transmisión, pero es actualmente mucho más práctica para la transmisión inalámbrica.

¹ Ref. [61] Wireless Cable TV and Pacific Telesis' Digital Video Project. Chow Francis, Ho Phillip and Metz Hayden. Diciembre 1996
<http://www.alder.eecs.berkeley.edu/~fchow/ee228.html>.

b. ACCESIBILIDAD

La accesibilidad de servicios de cable varía bastante dependiendo del mercado. Para el cable alámbrico, la existencia de infraestructura de distribución determina si el servicio de cable está disponible. En áreas densamente pobladas donde existe una infraestructura de cable, el cable es casi accesible a cualquiera que desea pagar por él. En áreas rurales donde nadie ha puesto el alambre para llegar a las casas de clientes y oficinas, el cable alámbrico no está disponible.

Como previamente se mencionó, la geografía y la interferencia topográfica son los factores más importantes en la determinación de quién podría tener acceso al servicio del sistema MMDS ya que el consumidor debe tener línea de vista con el transmisor. Debido a este hecho el cable inalámbrico no es accesible en algunas ciudades donde los edificios intermedios pueden bloquear las señales. El cable inalámbrico se utiliza en áreas rurales, en donde se exige un solo transmisor y una antena en cada casa para distribuir la programación. Esto elimina la necesidad de conectar a los consumidores directamente al transmisor por alambres que pueden ser muy caros.

c. COSTO

El cable alámbrico y el inalámbrico involucran un costo inicial al consumidor y una mensualidad de servicio regular. El costo inicial (instalación) del cable alámbrico es menor que para el cable inalámbrico. En la instalación de cable alámbrico se coloca cable coaxial a la casa del consumidor (asumiendo que la casa no ha sido alambrada previamente), conectando el alambre a la TV (que puede requerir una caja convertidora). El costo de instalación del cable inalámbrico es típicamente 2 a 3 veces mayor porque el equipo es más caro¹. Hay también una mensualidad de servicio para el cable alámbrico y cable inalámbrico que puede variar, dependiendo del mercado y de los canales a ser proporcionados. Estas mensualidades para cada servicio son relativamente iguales, existiendo mensualidades para los servicios básicos, servicios extendidos y canales especiales (premium).

El costo al proveedor de servicio es mucho mayor para un servicio de cable alámbrico, sobre todo cuando una compañía de cable está empezando. Los proveedores del cable alámbrico e inalámbrico tendrían que pagar la misma mensualidad para llevar cada canal, pero un sistema de distribución alámbrico es mucho más caro desplegar y mantener. Si la infraestructura de alambre no está allí, la compañía debe poner el cable en todas las áreas que desea proporcionar servicio, lo que resulta muy caro; el mantenimiento de la infraestructura de cable de fibra óptica y coaxial también es muy costoso. El único costo del equipo de un proveedor del sistema MMDS es la instalación de transmisión, la cual, aún es cara, pero es mucho menor que la instalación y conexiones para un sistema de cable alámbrico. Cada consumidor debe tener

un receptor, pero este costo es normalmente compartido por el consumidor. Este bajo costo inicial es la razón para que el cable inalámbrico sea tan atractivo en las áreas rurales y en los países en vías de desarrollo. La transmisión inalámbrica puede alcanzar a muchas personas sin la necesidad de crear cualquier infraestructura.

d. PROGRAMACIÓN

Utilizando tecnología analógica, el cable alámbrico puede transmitir sobre los 100 canales y el cable inalámbrico puede transmitir solo 33. Ambas tecnologías pueden transmitir cinco veces tantos canales utilizando tecnología digital. El cable alámbrico tendría una ventaja distinta en los tipos de programación que ellos podrían ofrecer. Sin embargo, la tecnología digital es más probable a ser utilizada en el cable inalámbrico. De hecho, la transmisión inalámbrica tendrá que ser digital para competir con la transmisión alámbrica. Asumiendo que la tecnología digital es empleada, el volumen de programación de los sistemas de cable alámbrico existentes (analógico) y el cable inalámbrico es casi el mismo. Los dos medios pueden transmitir aproximadamente el mismo número de canales, y ellos tienen el mismo derecho de acceso básicamente a todos los canales que ellos quieren entregar, y así al tipo de programas que ellos pueden ofrecer.

2.5.7.3. DIFUSION DIGITAL POR SATÉLITE

La Difusión Digital por Satélite (DBS, Direct Broadcasting by Satellite) es un sistema de distribución de satélite en pequeña escala. El Servicio Satelital Directo (DSS, Direct Satellite Service) es una tecnología similar a DBS. Ambos sistemas utilizan un satélite para su transmisión, con cada cliente utilizando una antena satelital con ancho de 30 a 90 cm para recibir la señal. Es común para el cliente poseer su antena, a menudo llamado "plato" satelital, al contrario del cable inalámbrico donde se alquila una antena lo que probablemente será más común. El equipo y el servicio DSS son normalmente más caros que DBS, pero proporciona más canales para compensar esto. Ambas tecnologías son similares y las consideraremos como una sola al comparar con el sistema MMDS.

a. CALIDAD DE SERVICIO

En DBS y DSS la calidad de imagen es muy alta debido a que utilizan tecnología digital en la transmisión de su señal. Asumiendo que el cable inalámbrico también utilizará transmisión digital, la imagen que proporciona puede ser muy buena. Las condiciones de tiempo adversas tienen más efecto en la recepción satelital que en la recepción del sistema MMDS, haciendo de los sistemas de cable inalámbrico más fiable.

¹ Ref. [61] Wireless Cable TV and Pacific Telesis' Digital Video Project. Chow Francis, Ho Philip and Metz Hayden. Diciembre 1996
<http://www.alder.eecs.berkeley.edu/~fchow/ee228.html>.

b. ACCESIBILIDAD

Los sistemas de transmisión satelital son más accesibles que el cable inalámbrico porque no hay más hardware necesario a ser instalado en la tierra que la antena del cliente. Por lo tanto ninguna infraestructura necesita ser creada en absoluto, los sistemas satelitales son ideales para usuarios individuales en áreas rurales. Los sistemas satelitales requieren línea de vista con el transmisor al igual que el sistema MMDS, pero este es un requisito trivial para los receptores satelitales ya que ellos son grandes. Mientras las mejoras en la tecnología han reducido el tamaño de los receptores satelitales grandemente, algunos todavía pueden tener más de 180 cm de diámetro. La mayoría de los más nuevos platos de satélite son más pequeños, pero en promedio todavía más grandes que una antena MMDS. De esta manera el consumidor tiene que considerar si tiene un lugar conveniente para poner el plato cuando se instala DBS o DSS.

c. COSTO

Los sistemas de cable inalámbrico tienen una ventaja diferente sobre los sistemas de satélite en términos de costo. El precio más bajo de los equipos satelitales es comparable con el equipo MMDS más costoso, así en la mayoría de casos una antena para el cable inalámbrico será significativamente más barata que una para la transmisión satelital. La caja downconverter también es más cara para los sistemas de satélite, costando a menudo dos o tres veces más que para el sistema MMDS. Los sistemas de satélite también tienen mensualidades de servicio regulares que son normalmente más caras que las mensualidades proyectadas para el cable inalámbrico. La tecnología y servicio del sistema MMDS es de esta manera más económico que DBS y DSS en todos los aspectos, y cuando consideramos el costo de un paquete total (equipo y mensualidad de servicio) esta diferencia de precio puede ser sustancial.

d. PROGRAMACIÓN

Los servicios satelitales ofrecen muchos canales de programación, típicamente entre 100 y 200 canales. Asumiendo que se utilizan transmisión y compresión digital en los sistemas de cable inalámbrico, el número de canales es el mismo que puede ofrecerse con el sistema MMDS, ligeramente menos en algunos casos. El cable inalámbrico puede llevar programación local que el servicio de satélite no puede proporcionar normalmente, esto constituye una ventaja puesto que los usuarios requieren acceso a programación que es específica a su medio. Aunque el satélite puede suministrar un número de canales y diversidad de programas todavía la entrega de programación local es un crédito para cable inalámbrico.

CAPÍTULO 3

EL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN
MULTIPUNTO MULTICANAL
(MMDS) BIDIRECCIONAL Y SUS
APLICACIONES

CAPÍTULO 3

EL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN MULTIPUNTO MULTICANAL (MMDS) BIDIRECCIONAL Y SUS APLICACIONES

3.1. INTRODUCCIÓN

En este capítulo se tratará de llevar una visión clara sobre el sistema bidireccional ya que fue legalizado (1998) la utilización del espectro del sistema MMDS (Multichannel Multipoint Distribution System) por parte de la FCC (Federal Communications Commission) para la utilización del sistema MMDS bidireccional, lo que permitirá que una gran variedad de servicios interactivos de banda ancha tengan cierto alcance, tales como: telefonía clásica, datos para aplicaciones de negocio y video interactivo. El desafío para los diseñadores y operadores consiste en cómo aprovechar los factores positivos del espectro del sistema MMDS, tales como las características de buena propagación y la disponibilidad equitativa de la tecnología de radio frecuencia frente a factores como la mezcla de canales ITFS (Instructional Television Fixed Service) y la irregularidad y escasez del recurso de frecuencia en una asignación que no estaba inicialmente destinado para la utilización bidireccional.

3.2. SISTEMAS GENERALES

A continuación se describen los modelos de referencia OSI y TCP/IP, sobre los cuales se basan las diferentes arquitecturas de redes.

3.2.1. MODELO DE REFERENCIA OSI

Es un modelo para la interconexión de sistemas heterogéneos que fue creado por la Organización Internacional de Estandarización (ISO, International Organization for Standardization)¹. El modelo no especifica servicios y protocolos (no es una arquitectura), está estructurado en 7 capas o niveles como se ve en la Figura 3.1. y la función de cada capa tiende a definir protocolos normalizados internacionalmente. A continuación se describe cada una de las capas de este modelo.

1. **Capa Física.** Provee las características mecánicas eléctricas, funcionales y de procedimiento para establecer, utilizar y liberar un circuito físico entre el Equipo Terminal

de Datos (DTE, Data Terminal Equipment) y el Equipo de Comunicación de Datos (DCE, Data Communications Equipment). La transmisión de información es a nivel de bit.

2. **Capa Enlace.** Se ocupa de transformar un medio de transmisión común en una línea sin errores para la capa red, estableciendo una conexión lógica entre dos nodos adyacentes de la red. Resuelve los problemas causados por pérdida, daño o duplicidad de tramas. Se encarga del control de flujo, direccionamiento y secuenciamiento de tramas. Se divide en dos subcapas:
 - MAC (Media Access Control). Maneja diferentes protocolos para acceder al medio físico².
 - LLC (Link Logic Control). Se encarga de unificar los procedimientos de la capa red³.
3. **Capa Red.** Se preocupa del control de la subred de comunicaciones. Realiza funciones de enrutamiento, conmutación, control de flujo y recuperación de fallas de la capa enlace. Provee los procedimientos para garantizar que los paquetes lleguen del nodo origen al nodo destino sin errores.
4. **Capa Transporte (capa host-host).** Recibe los datos de la capa sesión, los divide si es necesario y los pasa a la capa red, asegurándose de que lleguen correctamente a su destino. Aísla la capa sesión de los cambios inevitables a los que está sujeta la tecnología del hardware. Puede multiplexar varias conexiones de transporte sobre la misma conexión de red. Si la conexión de transporte necesita gran caudal, puede crear múltiples conexiones de red. Realiza el control de flujo entre host.
5. **Capa Sesión.** Permite a los usuarios de máquinas diferentes establecer sesiones entre ellos así como el control de diálogo entre usuarios distantes. Se encarga del manejo de fichas para el control de operaciones críticas y sincronización para comprobaciones intermedias y recuperaciones durante transferencias o actualizaciones.
6. **Capa Presentación.** Se ocupa de la sintaxis (formatos, códigos) de los datos, de manera que estos sean legibles a los procesos de aplicación. Maneja estructuras de datos abstractas, es decir convierte de la representación utilizada dentro del computador a la representación estándar de red.
7. **Capa Aplicación.** Proporciona la interfaz final entre la red y el usuario. Tiene en cuenta el significado de la información y no la sintaxis. Provee al usuario cualquier proceso de aplicación por ejemplo: software para terminales virtuales (TELNET), transferencia de

¹ Ref [47] Redes de Computadores. Andrew Tanenbaum. México, 1997: pag 28.

² Ref [47] Redes de Computadores. Andrew Tanenbaum. México, 1997: pag 243.

³ Ref [47] Redes de Computadores. Andrew Tanenbaum. México, 1997: pag 275.

archivos (FTP, File Transfer Protocol), correo electrónico (SMTP, Simple Mail Transfer Protocol), entre otros.

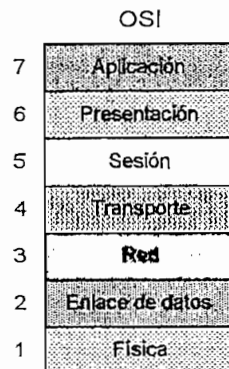


Figura 3.1. Modelo de referencia OSI.

3.2.2. MODELO DE REFERENCIA TCP/IP

El modelo de referencia TCP/IP (Transmission Control Protocol/Internet Protocol), fue creado originalmente por ARPA (Advanced Investigation Projects Agency), asociado al Departamento de Defensa de los Estados Unidos, en la red ARPANET. Este modelo está constituido de 4 capas¹, como se muestra en la Figura 3.2. A continuación se describe cada una de ellas.

1. **Capa Host-Red.** No define exactamente las funciones de esta capa. Esta capa debe permitir a un host conectarse a una red utilizando un protocolo (no está definido) que permita enviar paquetes IP sobre una red.
2. **Capa Internet.** Permite a los hosts entregar paquetes a una red y los deja viajar independientemente a su destino (servicio no orientado a conexión). Define un formato de paquete y un protocolo denominado IP. Las funciones de esta capa son similares a las de la capa red del modelo OSI.
3. **Capa Transporte.** Permite que entidades pares en los nodos de origen y destino lleven a cabo una conversación. Se definen dos protocolos:
 - TCP. Es un protocolo confiable orientado a conexión, permite que los datos de una máquina sean entregados sin error a otra.
 - UDP (User Datagram Protocol). Es un protocolo no confiable no orientado a conexión, utilizado en aplicaciones donde es vital la entrega de datos y no su entrega sin errores.

¹ Ref [47] Redes de Computadores. Andrew Tanenbaum. México, 1997: pag 35.

4. **Capa Aplicación.** Esta capa contiene todos los protocolos de aplicación de alto nivel. Entre estos tenemos: FTP, TELNET, SMTP, entre otros.

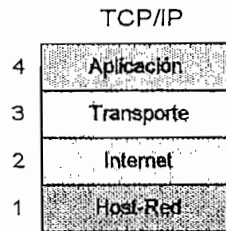


Figura 3.2. Modelo de referencia TCP/IP.

3.2.3. PROTOCOLO IP

Un datagrama IP consiste de una cabecera y una parte de datos. La cabecera tiene una parte fija de 20 bytes y una parte opcional de longitud variable. El formato de la cabecera consta de diferentes campos que se muestran en la Figura 3.3¹.

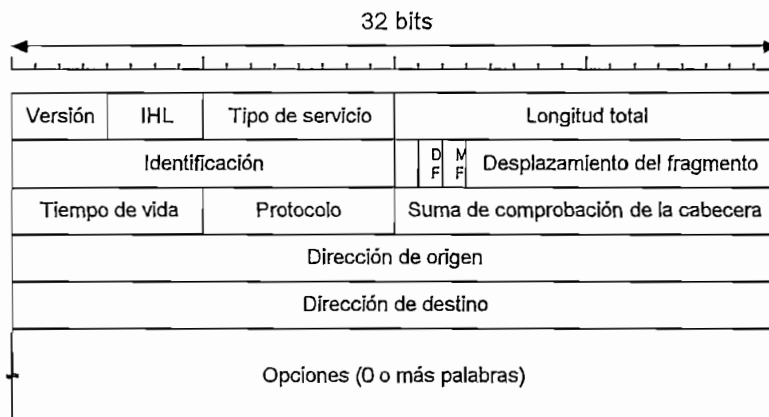


Figura 3.3. Cabecera IP (Protocolo de Internet).

- **Versión.** Lleva el registro de la versión del protocolo IP utilizado.
- **Longitud de la cabecera IP (IHL).** Indica la longitud de la cabecera en palabras de 32 bits.
- **Tipo de servicio.** Permite al host indicar a la subred el tipo de servicio que quiere, este campo contiene un campo de prioridad de 0 (normal) a 7 (paquete de control de red), tres indicadores: D (Delay), T (Throughput) y R (Reliability) y dos bits no utilizados. Los tres bits indicadores permiten al host especificar lo que más le interesa: retardo, rendimiento y confiabilidad.
- **Longitud total.** Define la longitud total del datagrama en octetos (cabecera y datos).

¹ Ref [47] Redes de Computadores. Andrew Tanenbaum. México, 1997: pag 413.

- **Campo de identificación.** Sirve para que el host de destino determine a qué datagrama pertenece un fragmento recién llegado.
- Luego se tiene un bit no utilizado y dos campos de 1 bit: DF y MF. DF (Don't Fragment) indica si un datagrama puede (DF=0) o no (DF=1) ser fragmentado. MF (More Fragments) es necesario para saber si un fragmento es (MF=0) o no (MF=1) el final de un datagrama.
- **Desplazamiento del fragmento.** Indica la posición de un fragmento dentro de un datagrama.
- **Tiempo de vida.** Es un contador que sirve para limitar la vida de un paquete, permitiendo un tiempo de vida máxima de 255 s. Cuando el contador llega a cero el paquete se descarta y se envía de regreso un paquete de aviso al host de origen.
- **Protocolo.** Indica la capa de transporte a la que debe entregarse el datagrama ensamblado como: TCP, UDP, etc.
- **Suma de comprobación de cabecera (checksum).** Permite la detección de errores solo a nivel de cabecera del datagrama.
- **Dirección de origen.** Indica el número de red.
- **Dirección de destino.** Indica el número de host.

El campo de opciones permitirá que las nuevas versiones de protocolos incluyan información ausente en el diseño original. Actualmente hay 5 opciones definidas pero no todas son reconocidas por los ruteadores; entre las cuales tenemos:

1. **Seguridad.** Especifica que tan secreto es el datagrama (información).
2. **Enrutamiento estricto desde el origen.** Indica la trayectoria a seguir desde el origen al destino.
3. **Enrutamiento libre desde el origen.** El paquete debe pasar por los ruteadores indicados en la lista y en el orden especificado.
4. **Registrar ruta.** Hace que cada ruteador agregue su dirección IP al campo de opción.
5. **Marca de tiempo.** Hace que cada ruteador agregue su dirección IP (32 bits) y marca de tiempo (32 bits).

Por otro lado a más de IP, que se utiliza para la transferencia de datos, Internet tiene varios protocolos de control que se usan en la capa de red como: ICMP (Internet Control Message Protocol), ARP (Address Resolution Protocol), RARP (Reverse Address Resolution Protocol) y IGMP (Internet Group Management Protocol).

3.2.4. PROTOCOLOS DE TRANSPORTE DE INTERNET

Los protocolos que se encuentran en la capa de transporte son muy utilizados en Internet, debido a las ventajas y excelentes propiedades que estos ofrecen.

3.2.4.1. PROTOCOLO TCP

La entidad TCP transmisora y receptora intercambian datos en forma de segmentos. Un segmento consiste de una cabecera TCP fija de 20 bytes más un campo de opciones, seguida de bytes de datos. El software TCP decide el tamaño de los segmentos, es decir puede unir o dividir datos para formar un segmento. Existen dos limitaciones que restringen el tamaño del segmento¹.

- Cada segmento, incluso la cabecera TCP, debe caber en la carga útil de 65535 bytes del IP.
- Cada red tiene una Unidad Máxima de Transferencia (MTU, Maximum Transfer Unit), y cada segmento debe caber en la MTU.

Un segmento demasiado grande para viajar por una red puede dividirse en varios segmentos y cada segmento nuevo recibe sus propias cabeceras TCP e IP. El protocolo TCP debe estar preparado para manejar y resolver problemas causados por daño, pérdida y duplicidad de segmentos de una manera eficiente, mediante la utilización de varios algoritmos. La cabecera de TCP se muestra en la Figura 3.4.²

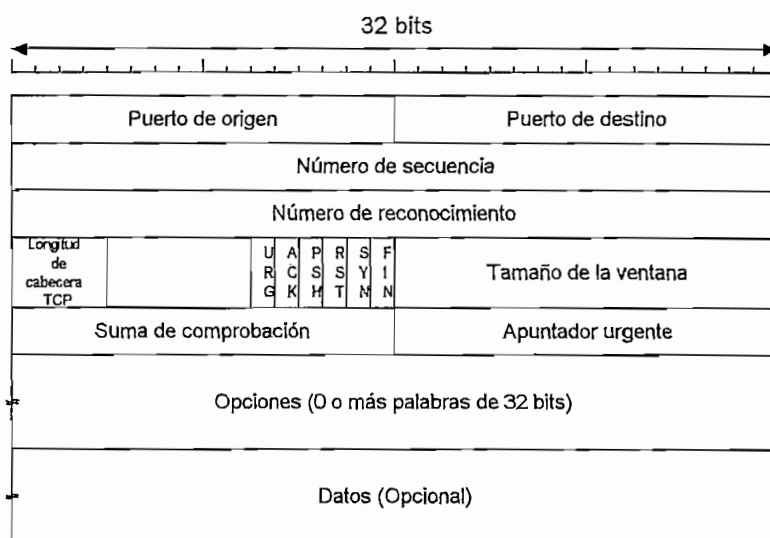


Figura 3.4. Cabecera TCP.

- **Puerto de origen.** Número de puerto TCP que identifica al programa de aplicación origen.
- **Puerto destino.** Número de puerto TCP que identifica al programa de aplicación destino.
- **Número de secuencia.** Tiene 32 bits e indica el número de secuencia del primer byte de datos contenido en el campo de datos (en el destino ubica el segmento dentro del flujo de datos enviado).

¹ Ref [47] Redes de Computadores. Andrew Tanenbaum. México, 1997: pag 525.

² Ref [47] Redes de Computadores. Andrew Tanenbaum. México, 1997: pag 526.

- **Número de acuse de recibo.** Tienen 32 bits e indica el número de secuencia del siguiente byte de datos que espera recibir el host destino.
- **Longitud de la cabecera TCP.** Indica la longitud de la cabecera en palabras de 32 bits.
- Se tiene un campo no utilizado, reservado para el futuro, formado de 6 bits.
- **Apuntador urgente.** Sirve para indicar la posición del último byte de datos urgentes enviados en un segmento junto con otros datos que se encontraban previamente almacenados (sustituye los mensajes de interrupción). Posteriormente se tiene 6 banderas de 1 bit.
- **URG.** Se establece en 1 si está en uso el apuntador urgente.
- **ACK.** Se establece en 1 para indicar que el número de acuse de recibo es válido.
- **PSH.** Se solicita al receptor entregar los datos a la aplicación inmediatamente y no ponerlos en buffers hasta la recepción de un buffer completo.
- **RST.** Se usa para restablecer una conexión, para rechazar un segmento no válido o un intento de abrir una conexión.
- **SYN.** Se usa para establecer conexiones.
- **FIN.** Se usa para liberar una conexión.
- **Tamaño de ventana.** El control de flujo en TCP se maneja usando un protocolo de ventana deslizante de tamaño variable. Este campo indica el número de bytes que ese momento el destino puede almacenar en sus buffers internos.
- **Suma de comprobación (Checksum).** Permite detectar errores en el segmento y reconocer si el segmento llegó a su destino y puerto correcto. Es una suma de comprobación entre la cabecera, los datos y la pseudocabecera mostrada en la Figura 3.5.

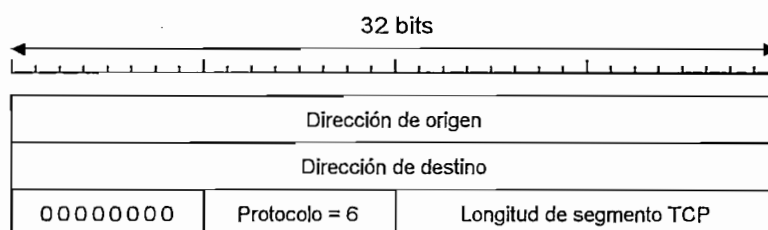


Figura 3.5. Pseudocabecera incluida en la suma de comprobación de TCP.

La pseudocabecera tiene las direcciones IP de 32 bits de las máquinas de origen y destino, el número de protocolo TCP (6) y la cuenta de bytes del segmento TCP¹. La inclusión de la pseudocabecera en el cálculo de la suma de comprobación del segmento TCP ayuda a detectar paquetes mal entregados.

- **Campo de opciones.** Se diseñó para contar con una manera de agregar características extras no cubiertas por la cabecera normal.

¹ Ref [47] Redes de Computadores. Andrew Tanenbaum. México. 1997: pag 528.

3.2.4.2. PROTOCOLO UDP

El protocolo UDP ofrece mecanismos a las aplicaciones para enviar datagramas IP encapsulados sin tener que establecer una conexión. Muchas aplicaciones cliente–servidor que tienen una solicitud y una respuesta usan UDP. Un segmento UDP consiste de una cabecera seguido de datos. La cabecera se muestra en la Figura 3.6¹.

- **Puerto de origen.** Identifica el puerto UDP de la máquina origen.
- **Puerto de destino.** Identifica el puerto UDP de la máquina destino.
- **Longitud UDP.** Contiene la longitud total del datagrama en octetos (incluye la cabecera de 8 bytes y los datos).
- **Suma de comprobación UDP.** Permite detectar errores en los datos y reconocer si un datagrama de usuario llegó a su destino y puerto correcto. La suma de comprobación (opcional) de UDP incluye la misma pseudocabecera de formato de TCP, la cabecera UDP y los datos UDP.

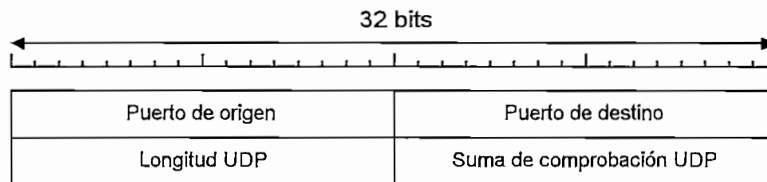


Figura 3.6. Cabecera UDP.

3.2.5. PROTOCOLO DE ADMINISTRACIÓN DE REDES

El Protocolo Sencillo de Administración de Redes SNMP (Simple Network Management Protocol), proporciona una manera sistemática de supervisar y administrar una red de computadoras. Esta estructura y su protocolo se implementaron ampliamente volviéndose un estándar de facto. Posteriormente se definió una versión mejorada del SNMP, que es el SNMPv2².

3.2.5.1. MODELO SNMP

Este modelo consta de 4 componentes: nodos administrados, estaciones administradas, información de administración y protocolo de administración. Esto se muestra en la Figura 3.7.³

¹ Ref [47] Redes de Computadores. Andrew Tanenbaum, México, 1997: pag 542.

² Ref [47] Redes de Computadores. Andrew Tanenbaum, México, 1997: pag 630.

³ Ref [47] Redes de Computadores. Andrew Tanenbaum, México, 1997: pag 631.

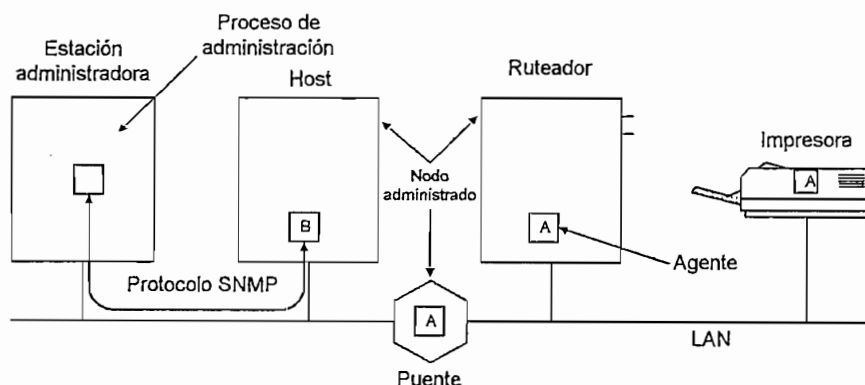


Figura 3.7. Componentes del modelo de administración SNMP.

Los nodos administrados pueden ser: host, ruteadores, puentes, impresoras u otros dispositivos, capaces de comunicar información. El nodo debe ser capaz de ejecutar un proceso de administración SNMP, llamado agente SNMP.

La administración de la red se hace desde estaciones administradoras (computadoras de propósito general) que ejecutan un software especial, dichas estaciones contienen uno o más procesos que se comunican con los agentes a través de la red, emitiendo comandos y recibiendo respuestas.

Cada dispositivo (ruteador, impresora, puente, etc.) mantiene una o más variables llamadas objetos que describen su estado. El conjunto de todos los objetos posibles de una red se da en la estructura de datos MIB (Management Information Base). La estación administradora interactúa con los agentes utilizando el protocolo SNMP. Este protocolo permite a la estación administradora consultar el estado de los objetos locales de un agente, y cambiarlo de ser necesario. Lo más importante de SNMP es la definición de quién tiene que llevar el registro y de qué y cómo se comunica esta información.

Cuando un agente nota que ha ocurrido un suceso significativo (congestionamientos, problemas en la línea, etc.), de inmediato informa a todas las estaciones administradoras de su lista de configuración; este informe se llama interrupción SNMP. Dado que la comunicación entre los nodos administrados y la estación administradora no es confiable, es deseable que la estación administradora sondee ocasionalmente cada nodo, buscando sucesos inusuales.

3.2.5.2. PROTOCOLO SNMP

Como se vio anteriormente en el modelo SNMP la estación administradora envía una solicitud a un agente pidiendo información o actualización de su estado de cierta manera. La respuesta del agente es la información solicitada o la confirmación de que ha actualizado su estado según

se solicitó. El SNMP define 7 mensajes que pueden enviarse. El séptimo mensaje es el de respuesta. Los 6 mensajes se tienen a continuación¹.

1. **Get-request.** Solicita el valor de una o más variables.
2. **Get-next-request.** Solicita la variable que sigue a esta.
3. **Get-bulk-request.** Obtiene una tabla grande.
4. **Set-request.** Actualiza una o más variables.
5. **Inform-request.** Mensaje de Administrador a administrador describiendo la MIB local.
6. **SnmpV2-trap.** Informe de interrupciones de agente a administrador.

3.3. EL SISTEMA MMDS BIDIRECCIONAL

El reporte y orden de la FCC 98-231 realizada el 25 de septiembre de 1998, redefine MDS (Multipoint Distribution Service) e ITFS como un servicio de comunicaciones bidireccional². El espectro es autorizado para la transmisión bidireccional, facilitando la reutilización de frecuencias, configuraciones celulares, el acceso bidireccional a Internet a alta velocidad y otros servicios. De esta forma se pensará en una transmisión desde una localidad del suscriptor a la estación base; en donde los hubs de la estación sirven como puntos de recolección para las señales de las estaciones de usuario en una configuración multipunto a punto para el flujo de señal upstream (haz de subida o flujo de información desde el suscriptor hacia el proveedor).

El sistema MMDS se ha utilizado como un medio de transporte para la entrega de datos a altas velocidades debido al gran rango de cobertura. El LMDS en 28 GHz se limita de 2 a 5 km debido al desvanecimiento por la lluvia lo que no es experimentado en 2,6 GHz. Las tecnologías de cobre (par trenzado) tales como ADSL, HDSL se limitan en distancia, y en muchas áreas no puede soportar datos de alta velocidad. La fibra y el cable coaxial proporcionan un medio excelente para los datos de alta velocidad pero no están disponibles en todas partes; además, la fibra y el coaxial una vez instalados pueden ser una inversión perdida debido a que el cliente puede elegir a otro proveedor. En cuanto a los equipos de radio se pueden redespigar en otros sitios sin dificultad, ya que la trayectoria aérea no constituye una inversión.

Para proporcionar un enlace de largo alcance de microonda se debe colocar antenas sobre lugares altos debido a la curvatura de la tierra. Por ejemplo, sobre una trayectoria de 40 kilómetros bajo atmósfera normal ($k = 4/3$), se requieren antenas a 24 m para un enlace con línea de vista, antenas más bajas experimentarán atenuación por pérdida de trayectoria del espacio libre debido a la difracción sobre una superficie esférica. La altura de la antena en el

¹ Ref [47] Redes de Computadores. Andrew Tanenbaum. México, 1997: pag 643.

² Ref [42] NPRM on two way transmission in the MDS/MMDS/ITFS spectrum bands. Fcc97-360. Federal Communications Commission. Washington D.C. Enero 1998. http://www.fcc.gov/Bureaus/Mass_Media/Notices/1997/fcc97360.txt: pag 1.

CM (Cable Modem) en la mayoría de los casos debe estar a menos de 10 m; en cambio la altura de la antena en el CMTS (Cable Modem Termination System) necesita estar por lo menos a 150 m. En la Figura 3.8. se ilustra el espacio requerido de la zona de Fresnel para un enlace con línea de vista. No debe haber obstrucción de la trayectoria ya sea por: colinas, edificios, o árboles.

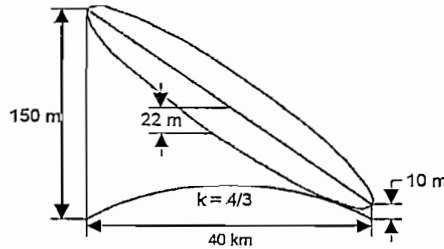


Figura 3.8. Geometría de la trayectoria de 40 km mostrando 60% de despeje de la primera zona de Fresnel.

La interferencia celda a celda limitará la capacidad en una estructura celular bidireccional. Por ejemplo si se consideran dos torres de 150 m espaciados 80 Km de separación con una antena de la estación de usuario que tiene una relación frente-atrás de 25 dB, considerando las estadísticas para la pérdida de trayectoria por espacio libre y la difracción de la superficie de la tierra. La Figura 3.9.¹ muestra la relación deseada-no deseada (D/U, Desirable/Undesirable) en función de la distancia entre la estación de respuesta y la no deseada o estación interferente.

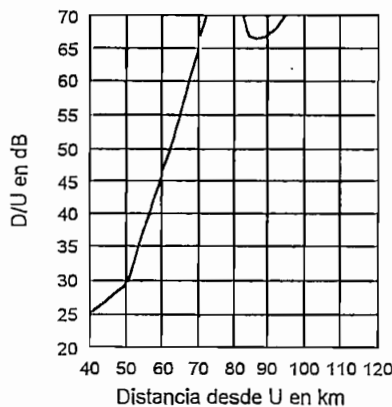


Figura 3.9. Relación Deseada a No deseada para torres de 150 m separadas 80 km.

En la Figura 3.9 se puede ver que un aislamiento mayor a 50 dB se tiene en la mayoría del área de cobertura con un evidente sitio de perturbación estando directamente en el centro de las dos torres donde el aislamiento llega solamente desde la relación frente-atrás de la antena. Para conseguir mayor aislamiento las torres pueden colocarse más espaciadas, preferiblemente en una área de muy baja densidad o también se pueden utilizar antenas con mejor relación frente-atrás en las áreas de perturbación (esto ayuda con la disponibilidad para

¹ Ref [12] Data over MDS Cable Modems with Fixed 2 GHz Radio Link, Urban D. <http://www.adc.com/Corp/BWG/MSD/cmodems.html>.

clientes muy lejanos). Se puede obtener mayor capacidad con la reutilización de frecuencia (sectorización o celularización) en un sistema de comunicación bidireccional MMDS. Sin embargo, el aislamiento de la antena será menor de 40 dB y típicamente 25 a 28 dB, utilizando antenas sectorizadas similares a las utilizadas en estaciones base PCS (Personal Communication Service). Sin embargo, no importa que tan buena sea la antena, las reflexiones de edificios y las colinas limitarán el sistema.

Por otro lado debido a la multidireccionalidad atmosférica, se debe tener una buena relación D/U debido al desvanecimiento acumulado. El rayo principal encontrará índices de refracción irregulares y cambiará de dirección, para que el nivel recibido sea un vector suma de los rayos. W.T. Barnett y A.Vigants en Bell Telephone Laboratories desarrollaron una fórmula para predecir la disponibilidad dado un margen de desvanecimiento basado en una medida exhaustiva y una base teórica legítima.

$$P_c = \frac{6 \times 10^{-7} \cdot a \cdot b \cdot F \cdot d^3}{\frac{FM}{10^{10}}} \quad (3.1)$$

Donde:

- P_c = Probabilidad de atenuación por desvanecimiento
- FM = Margen de desvanecimiento en dB
- a y b = Constantes dependientes sobre las condiciones terrestres y climáticas
- F = Frecuencia en GHz
- d = Distancia de la trayectoria en km

Se debe notar que la probabilidad de desvanecimiento es directamente proporcional al cubo de la longitud de la trayectoria, de esta manera las trayectorias largas sufrirán significativamente más desvanecimiento por múltiples trayectorias atmosféricas. La disponibilidad en porcentaje para varias distancias y márgenes de desvanecimiento en dB se muestra en la Tabla 3.1.¹

Desvanecimiento	Distancia en km			
	8	16	32	48
10	99.998	99.983	99.864	99.541
12	99.999	99.989	99.914	99.711
20	99.999	99.998	99.986	99.954
30	99.999	99.999	99.999	99.995

Tabla 3.1. Porcentaje de disponibilidad para varias distancias y márgenes de desvanecimiento.

¹ Ref [12] Data over MDS Cable Modems with Fixed 2 GHz Radio Link. Urban D. <http://www.adc.com/Corp/BWG/MSD/cmocems.html>.

Se puede observar que para las longitudes de la trayectoria de 8 km o menos, el margen de desvanecimiento no es un problema, sin embargo para una trayectoria de 48 km se requiere un margen de desvanecimiento de 30 dB para una disponibilidad del 99.995%. Es deseable una disponibilidad del 99.999%, es decir 5.3 minutos por año que deje de funcionar un sistema.

3.3.1. TÉCNICAS DE MULTIPLEXACIÓN

Cuando se requiere la utilización del espectro para el sistema MMDS bidireccional, es necesario particionar el espectro tanto para la señal upstream y la señal downstream (haz de bajada o flujo de información desde el proveedor hacia el suscriptor). Los tipos de duplexación usuales en el sistema MMDS, tienen una aplicación especial, de acuerdo al tipo de servicio a implementarse¹; existen dos tipos de duplexación: Duplexación por División de la Frecuencia (FDD, Frequency Division Duplex) y Duplexación por División de Tiempo (TDD, Time Division Duplex), que a continuación se detallan.

3.3.1.1. MULTIPLEXACIÓN FDD

Si se requiere utilizar el sistema MMDS para el acceso a Internet con retorno telefónico, el tráfico es sumamente asimétrico con un requerimiento relativamente bajo de ancho de banda para el flujo upstream. Si el retorno es inalámbrico se utiliza el MDS-1 y posiblemente MDS-2 para el flujo upstream en un sistema FDD; en este caso se pueden dividir en varios canales de 1, 2 o 3 MHz para el despliegue de múltiples sectores y múltiples celdas. La gran separación del flujo upstream y downstream permitirá duplexores económicos y el bajo ancho de banda del upstream permite más bajas potencias de transmisión, lo que implica una solución de mínimo costo para el suscriptor.

En la actualidad el desafío del sistema MMDS es su utilización para servicios en aplicaciones de negocio como: la telefonía, la extensión de LANs, redes virtuales privadas (VPN, Virtual Private Network) y videoconferencias; que son servicios que requieren un gran ancho de banda y una simetría del tráfico (canal de subida y bajada iguales). Una de las mejores soluciones podría ser FDD usando los grupos E, F y H dividido en partes casi iguales².

En el sistema FDD se requiere que el operador negocie la alternancia de canales ITFS (grupo G) para proveer dos bandas con separación de por lo menos 40 MHz entre las bandas de la señal upstream y downstream como se puede visualizar en la Figura 3.10. Este tipo de duplexación requiere un duplexor de gran desempeño. Se puede dividir cada bloque nuevo inmediato en canales (según las reglas FCC no tiene que ser 6 MHz) y sub-bandas (grupos de canales).

¹ Ref [26] Frequency Reuse and Capacity in Two-way MMDS; Roman V. I. <http://www.adc.com/Corp/BWG/MSD/2waymmds.html>.

² Ref [26] Frequency Reuse and Capacity in Two-way MMDS; Roman V. I. <http://www.adc.com/Corp/BWG/MSD/2waymmds.html>.

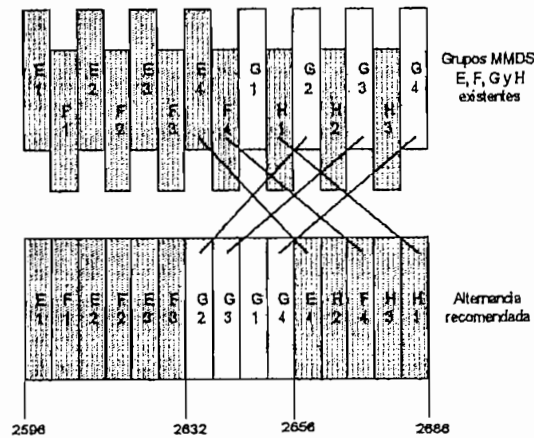


Figura 3.10. Alternancia de canales ITFS.

3.3.1.2. MULTIPLEXACIÓN TDD

Si se utiliza la duplexación por división de tiempo (TDD), no se quiere negociar la alternancia de los canales ITFS. Este método permite que cada canal opere independiente de los otros canales. Cada canal es utilizado tanto para la señal upstream como downstream, resultando un ancho de banda para datos más bajo por sección del equipo, pero en cambio TDD puede ser más barato. TDD funciona muy bien en situaciones con tráfico de capacidad media¹. En la Figura 3.11 se muestra la trama de tiempo típica del sistema TDD.

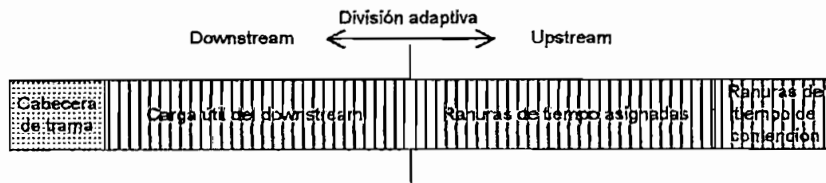


Figura 3.11. Trama de tiempo TDD adaptativa.

En el sistema TDD se pueden dividir los recursos del flujo upstream/downstream variando la sincronización del tiempo y la modulación. Es decir se puede usar más eficientemente la frecuencia del canal, ajustando la sincronización de la duplexación del tiempo a la variable asimétrica del tráfico. De esta forma se podría tener una mezcla de suscriptores residenciales y de negocios cuya característica del tráfico varía significativamente durante las horas de día.

La trama de tiempo TDD requiere una coordinación de sincronización, entre todos los sectores de una celda o entre celdas adyacentes. Lo cual resultaría una buena utilización del espectro si cada sector permitiría ajustar independientemente el tráfico. Pero esto requiere un alto nivel de aislamiento, 100 dB o más, entre los transmisores del sector del mismo sitio de celda, para

¹ Ref [26] Frequency Reuse and Capacity in Two-way MMDS; Roman V. I. <http://www.adc.com/Corp/BWG/MSD/2waymmds.html>.

permitir que la trama de tiempo transmitida por un transceiver oculte la trama de tiempo recibida de otro transceiver sincronizadamente; por la misma razón TDD no permite colocar en la misma vecindad (roof top) equipos FDD operando en canales MMDS adyacentes.

Para obtener un alto aislamiento se requiere de una distancia considerable con diferente sincronización. Utilizando esta disposición de celdas sería un gran desafío tecnológico para los diseñadores de los sistemas TDD.

3.3.2. LUGARES DE INTERFERENCIA

Para tener una visión más clara sobre la interferencia que se produce en el sistema MMDS se relaciona con el Servicio de Comunicaciones Personales (PCS) y el sistema móvil celular.

En los PCS y sistemas móviles celulares la preocupación principal es la interferencia de la señal de retorno upstream. La cual está presente debido a que el enlace tiene carga simétrica y el receptor de la estación base tiene una dura tarea en la recepción de una multitud de transmisiones móviles a través de antenas no direccionales y sufriendo diferentes desvanecimientos rápidos.

Los sistemas MMDS tienen una mejor inmunidad en el flujo de retorno debido a que el flujo upstream es usualmente de capacidad baja que emplea modulación de bajo orden. Además las antenas fijas, directivas y grandes crean un retardo en el desvanecimiento de la señal, permitiendo un control de potencia del sistema de transmisión; para una operación relativamente exacta. Por consiguiente en la trama de tiempo del flujo de retorno upstream la mayor parte de los suscriptores transmiten a baja potencia, diferente a la transmisión downstream. Por lo tanto, la interferencia de la señal del enlace downstream es la más problemática, contrario al caso móvil celular.

En lo concerniente a los diseños celulares; el sistema móvil celular y PCS se refieren a una especie de alcance de cobertura de celdas. El número de sectores es relativamente bajo (3 a 4) y manejan con mayor frecuencia los hands-offs (cambios de celdas).

A las frecuencias del sistema MMDS con antenas fijas se tiene una alta ganancia, lo que permite tener un gran alcance del enlace (más de 16 km), permitiendo operar a las compañías empleando un sistema con un número relativamente bajo de torres. Pero para servir a un número alto de suscriptores dentro de tal radio de cobertura, se requiere de un gran número de sectores con reutilización de frecuencias, lo cual es posible debido a que los suscriptores son fijos. Estos principios pueden ser aplicados tanto a sistemas FDD y TDD.

3.3.3. REUTILIZACIÓN DE FRECUENCIAS EN EL SISTEMA MMDS BIDIRECCIONAL

Para llevar a cabo el reutilización de frecuencias, involucra limitar el área geográfica sobre la cual se transmite el espectro, para poder usar de nuevo el mismo espectro en otra área geográfica cercana. Hay dos maneras de lograr este propósito: celularización y sectorización. Estas dos técnicas usadas conjuntamente y combinadas con las antenas direccionales del suscriptor, pueden reforzar ampliamente su efectividad¹.

La celularización involucra reducción del radio de cobertura de la estación base, usualmente para reducir la potencia de transmisión. De esta manera, se pueden instalar estaciones base adicionales cercanas, y algunas frecuencias del espectro pueden ser utilizadas más de una vez dentro de una área. Uno de los inconvenientes es que deben ser instaladas más estaciones base, aumentando substancialmente los costos de infraestructura. Además, la competencia por la posesión de los sitios favorables para colocar la antena ha llegado a ser increíblemente difícil en los últimos años, con la expansión rápida de las redes PCS².

La sectorización involucra la utilización de un sistema de antenas direccionales en la estación base, dividiendo el área de cobertura en sectores. Algunos o todos estos sectores pueden usar el mismo espectro de frecuencia para diferentes destinos de datos. Con la sectorización se puede lograr grandes grados de reutilización sin estaciones base adicionales (dando como resultado macroceldas). Los altos grados de sectorización pueden incrementar grandemente la capacidad, pero la estación base llega a ser mucho más compleja, ya que debe ser capaz de conmutar grandes cantidades de datos, y debe ser fiable.

Las estaciones base sectorizadas pueden proveer más frecuencias de reutilización si se utiliza diversidad de polarización para aislar sectores adyacentes. En este caso cada sector puede transmitir el flujo downstream en la misma frecuencia de canal (A1) y cada uno puede recibir en la misma frecuencia de canal (A2); por esta razón, solamente se necesitan dos frecuencias de canal para tener un sistema bidireccional. Los sectores adyacentes deben usar diferentes polaridades (por ejemplo H-V-H-V) para mejorar el aislamiento y reducir la interferencia cocanal. De esta manera, un suscriptor localizado en el borde, donde los sectores adyacentes se superponen, puede distinguir su señal usando una antena con buen aislamiento de polarización cruzada.

Por otra parte si el operador no tiene la opción de usar polarización horizontal y vertical juntas, se deben usar cuatro canales de frecuencia. Para el downstream se usan canales alternos (por

¹ Ref [3] Advances in Two-Way Data Transmission Using MMDS Spectrum. Peragine Thomas L., Ryan Donna J. 1998. http://www.spke.com/html/body_an_alternative_technology.html.

² Ref [3] Advances in Two-Way Data Transmission Using MMDS Spectrum. Peragine Thomas L., Ryan Donna J. 1998. http://www.spke.com/html/body_an_alternative_technology.html.

ejemplo, A1-B1-A1-B1) y para el upstream se usan dos canales diferentes (A2-B2-A2-B2); de esta manera, los suscriptores en el borde, donde sectores adyacentes se sobreponen, pueden distinguir sus señales usando transceivers sintonizados a frecuencias diferentes. Un ejemplo de un plan de frecuencias de un sistema sectorizado se muestra en la Figura 3.12.¹

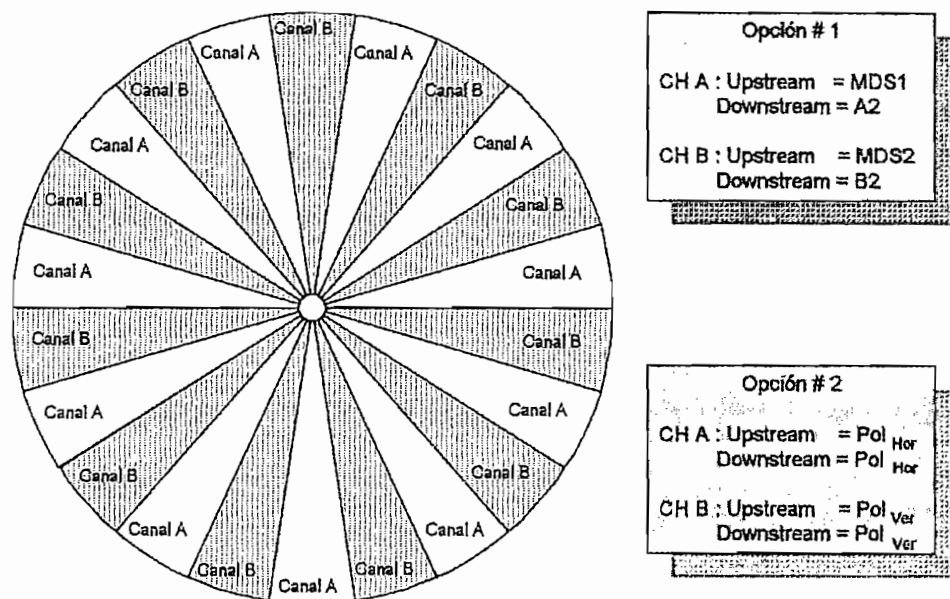


Figura 3.12. Plan de frecuencia de sistema sectorizado.

Los sistemas de antena sectorizada pueden ser creados por la combinación de múltiples antenas direccionales, cada una cubriendo una pequeña área angular para una cobertura de 360 grados. Sin embargo, esta aproximación tiene varios inconvenientes como:

- La instalación y alineación son complejas, numerosos factores desconocidos pueden afectar el proceso de instalación, por eso se complica el arreglo.
- Deben escogerse localidades de la estación base donde se pueden montar docenas de antenas sobre un edificio o sobre una torre.

3.3.3.1. REUTILIZACIÓN DE FRECUENCIA EN UNA CELDA

Como se mencionó anteriormente una de las formas de ampliar la capacidad es la reutilización de frecuencia, para lo cual primeramente se debe dividir el espectro en sub-bandas que no necesariamente son iguales. Si se requiere una alta reutilización con un número bajo de sectores, el espectro debe ser dividido en pocas sub-bandas en lo posible.

¹ Ref [3] Advances in Two-Way Data Transmission Using MMDS Spectrum. Peragine Thomas L., Ryan Donna J. 1998. http://www.spke.com/html/body_an_alternative_technology.html.

En la Figura 3.13 (a), (b) y (c) se divide el espectro disponible en 3, 2 y 3 sub-bandas respectivamente en diseños de 6 y 12 sectores. El factor de reutilización F_R , es el número de sectores dividido por el número de sub-bandas¹; en este caso es 2, 3 y 4 respectivamente:

$$F_R = \frac{\text{Número de sectores}}{\text{Número de sub - bandas}} \quad (3.2)$$

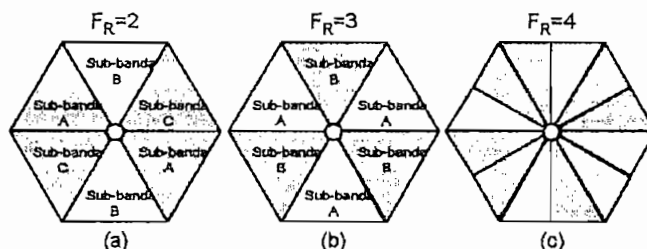


Figura 3.13. Celdas con 6 y 12 sectores. Factor de reutilización de 2, 3 y 4.

Para mejorar el factor de reutilización con un bajo número de sectores y sub-bandas, se utilizan principalmente dos factores de aislamiento que son:

a. RECHAZO DEL LÓBULO LATERAL EN UNA ANTENA CONCENTRADORA (HUB ANTENNA)

La razón para dividir en 3 sub-bandas (Figura 3.13 (a) y (c)) es porque la tecnología de la antena disponible puede proveer rechazo significativo del lóbulo lateral, solamente en el tercer sector adyacente a más de $2.5 B_{3dB}$ de aislamiento, ya que el lóbulo principal está entre $\pm 0.5 B_{3dB}$. Pero para antenas de mejor calidad y con un ancho del rayo (60° y más), podría ser que el requerimiento de rechazo se alcanzará en el segundo sector adyacente, a $1.5 B_{3dB}$. Esto conduciría a grandes reutilizaciones de frecuencias para el mismo número de sectores como en la Figura 3.13 (b) con un $F_R = 3$. En la actualidad se tiene antenas con ganancia de los lóbulos laterales (referente al principal) alrededor de $\alpha = -28$ dB.

b. POLARIZACIÓN ALTERNADA

En Figura 3.14 (a) se muestra que con un factor de reutilización alto de 6, se puede conseguir 12 sectores (la orientación de las líneas muestra la polarización horizontal (H) o vertical (V)). La interferencia se reduce por alternabilidad de la polaridad en los sectores, para que la misma frecuencia con la misma polarización llegue solamente al sector frontal. Uno de los problemas es que para una sectorización gradual debe permitirnos un despliegue mínimo de equipos, con lo cual dependiendo de la demanda se puede dividir y aumentar el número de sectores.

¹ Ref [26] Frequency Reuse and Capacity in Two-way MMDS; Roman V. I. <http://www.adc.com/Corp/BWG/MSD/2waymmds.html>.

Pero en el caso de usar polarización alternada en los sectores, el operador tendría que visitar los sitios del suscriptor para reorientar las antenas. La solución adecuada sería poner dos áreas grandes de polaridad diferente como se visualiza en la Figura 3.14 (b). Esto no reduce la obstrucción en los lóbulos laterales pero reduce sobre todo la interferencia y ayuda en el diseño de las múltiples celdas.

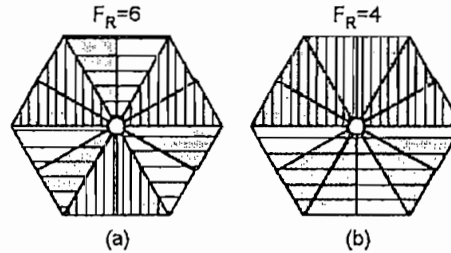


Figura 3.14. Sectores de celda con polarización cruzada.

La cantidad de discriminación que se puede conseguir depende de la cantidad de múltiples trayectorias y obstáculos dentro de la zona de Fresnel los cuales destruyen la polarización. Los sistemas fijos con antenas direccionales en ambos extremos, podrían tener una destrucción baja de polarización, pero aún para un diseño de 2-3 GHz, especialmente para el caso residencial donde las antenas no son muy grandes, no se puede contar con polarización cruzada (cross-polarization) mayor a: $p = -8$ dB. Por otra parte las regulaciones FCC pueden permitir solamente un tipo de polarización en algunas áreas, debido a la interferencia con las áreas cercanas. A continuación se da una ecuación aproximada para la interferencia¹.

$$SIR = \frac{S}{I} = \frac{S}{\sum_i I_i + N_R} = \frac{S}{\sum_i \alpha_i S_i + \sum_j p_j \alpha_j S_j + N_R} \quad (3.3)$$

Donde:

- SIR = Relación señal a interferencia
- S_i = Potencias de transmisión en otros sectores usando las mismas sub-bandas
- I_i = Interferencia
- N_R = Ruido a la entrada del receptor

Si se considera que todas las potencias de transmisión en los sectores son iguales entonces $S_i = S$ y como el funcionamiento está lejos de la sensibilidad, N_R es despreciable. N_1 es el número de sectores con una polarización y N_2 es el número de sectores con la polarización opuesta.

¹ Ref [26] Frequency Reuse and Capacity in Two-way MMDS; Roman V. I. <http://www.adc.com/Corp/BWVG/MSD/2waymmds.html>.

$$SIR = \frac{S}{I} = \frac{1}{\alpha(N_1 + N_2\rho)} \quad (3.4)$$

En una primera aproximación, al aplicar la ecuación anterior, los requerimientos de SIR (Signal to Interference Ratio) del módem se presentan en la Tabla 3.2.¹

	Figura 3.13. (a)	Figura 3.13. (b)	Figura 3.13 (c)	Figura 3.14 (a)	Figura 3.14 (b)
SIR en dB	28	25	23	24	26.8

Tabla 3.2. Requerimientos de SIR del módem.

También debe considerarse un factor de seguridad $K = -2$ a -5 dB.

3.3.3.2. REUTILIZACIÓN DE FRECUENCIA EN ESCENARIOS MULTICELDA

El primer objetivo del sistema MMDS es cubrir el BTA (Basic Trading Area) con un gran alcance del enlace, un pequeño número de celdas y muchos sectores, y posteriormente hacer un análisis de escenarios, sobre escalabilidad y despliegue gradual. La Figura 3.16 muestra un ejemplo de multiceldas desplegando 3 celdas seguidas². Generalmente, los mecanismos de aislamiento en los escenarios multiceldas son:

1. **Directividad de la antena concentradora.** La interferencia con una ganancia estimada en $\alpha = -28$ dB es recibida a través de lóbulos laterales.
2. **Directividad de la antena del suscriptor.** El desempeño del lóbulo lateral de la antena del suscriptor es bajo debido a su limitado ancho de haz. El ancho de haz es aproximadamente de 7° a 9° , con una ganancia relativa de los lóbulos laterales de $\beta = -22$ dB para un espacio angular de más de 19° .
3. **Alcance.** Los sectores serán desplegados tal que cuando la interferencia y la señal estén alineadas (sin separación de directividad de antena), la relación de distancia del interferente al tamaño de celda será: $x/D \geq 5$; lo cual puede proveer una separación de por lo menos 14 dB debido a que el coeficiente de propagación está entre 2 y 4.
4. **Directividad de la antena vertical.** Es posible alcanzar ganancias adicionales en SIR, al inclinar hacia abajo la antena concentradora (del proveedor) e inclinar hacia arriba la del suscriptor como se muestra en Figura 3.15. La ganancia en SIR depende de la altura relativa de las antenas concentradora y del suscriptor y de la relación de distancia x/D . La ganancia en SIR se estima en: $G = 3$ dB para $x/D \cong 3$ y $G = 4$ dB para $x/D \cong 3$.

¹ Ref [26] Frequency Reuse and Capacity in Two-way MMDS; Roman V. I. <http://www.adc.com/Corp/BWG/MSD/2waymmds.html>.

² Ref [26] Frequency Reuse and Capacity in Two-way MMDS; Roman V. I. <http://www.adc.com/Corp/BWG/MSD/2waymmds.html>.

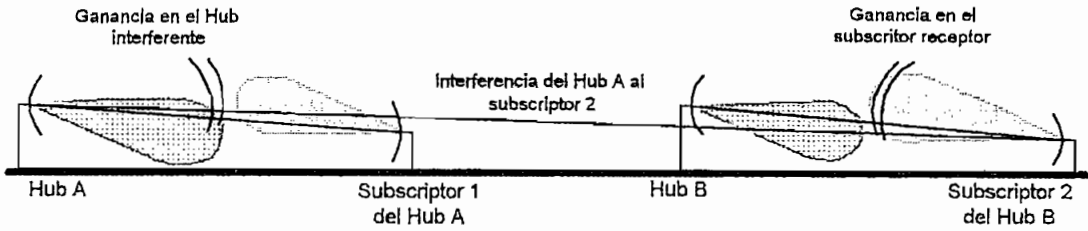


Figura 3.15. Ganancias en SIR por inclinación de las antenas.

Lo siguiente es un cálculo de interferencia para el peor sitio en el despliegue del diseño de la Figura 3.16¹, la cual tiene alternados dos diseños de celdas que se pueden repetir en una zona tal que x/D no esté debajo de 5.

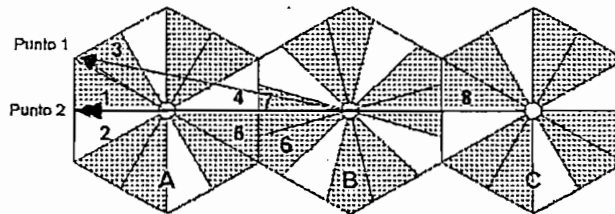


Figura 3.16. Cadena de celdas con $F_R = 4$.

Hay dos factores de interferencia además de los mencionados en el caso de una celda²:

1. El punto 1 recibe interferencia del concentrador B a $x/D = 2.8$:

$$\frac{S}{I_1} = \frac{G.(x/D)^2}{\beta} = 30 \text{ dB (interferencia despreciable)}$$

2. El punto 2 recibe interferencia del concentrador C a $x/D = 5$:

$$\frac{S}{I_2} = G.(x/D)^2 = 18 \text{ dB (dominante sobre la interferencia de una celda)}$$

Adicionalmente hay otros factores que dependen de la implementación y circunstancias del despliegue que tienen que tomarse en consideración cuando se especifica la relación SIR del módem:

1. Errores de equalización:
 - Dinámico. Cuando rastrea el movimiento en múltiples trayectorias.
 - Estático. Si el equalizador es demasiado rápido.
2. Interferencia de canales adyacentes del mismo sector o de sectores adyacentes.
3. Otras interferencias en bandas cercanas, tales como: PCS, radares, etc.

¹ Ref [26] Frequency Reuse and Capacity in Two-way MMDS; Roman V. I. <http://www.adc.com/Corp/BWG/MSD/2waymmds.html>.

² Ref [26] Frequency Reuse and Capacity in Two-way MMDS; Roman V. I. <http://www.adc.com/Corp/BWG/MSD/2waymmds.html>.

4. En los escenarios multicelda, como la señal y la interferencia vienen de lugares diferentes, de vez en cuando el desvanecimiento afectaría la señal.

Por consiguiente se requiere tomar en cuenta un factor de seguridad adicional en el rango de $K = -2$ a -5 dB en total en todos los escenarios mencionados.

3.3.3.3. ESCENARIOS MULTICELDA Y DISEÑOS EXTENDIDOS

Se puede extender el mencionado modelo de reutilización de frecuencia en todas las direcciones, es decir en estos esquemas se logra cubrir toda el área con un $F_R = 2$, 8 sectores y $x/D = 5$ como muestra la Figura 3.17. En este caso el CIR (Carrier to Interference Ratio) es aproximadamente 15 dB. Se pueden implementar esquemas con factores de reutilización de: 1, 2 o 4¹.

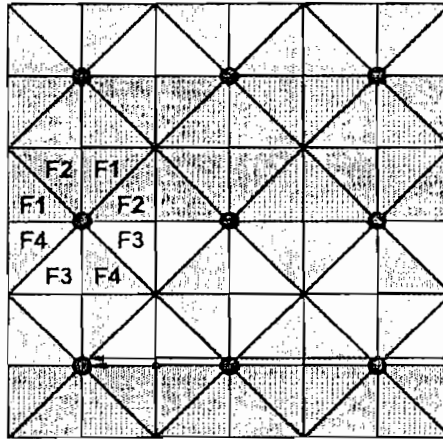


Figura 3.17. Cobertura completa con 4 sub-bandas y $F_R = 2$.

Para tener un bajo costo en el equipo y máxima frecuencia de utilización, se debe dividir el espectro en solo 2 o 3 sub-bandas (del tipo de reutilización A, B, A, B... o A, B, C, A, B, C...). En la Figura 3.18. se presenta el caso donde un diseño de celda diferente es adherido a la zona de celdas.

La celda adicional crea interferencia entre los pares de sectores: 5-7, 2-8, 1-3, 4-6 a $x/D = 3$. La antena inclinada ayudaría con aproximadamente $G = 3$ dB, para que la interferencia sea:

$$\frac{S}{I_2} = G.(x/D)^2 = 12.5 \text{ dB} \quad (3.5)$$

¹ Ref [26] Frequency Reuse and Capacity in Two-way MMDS; Roman V. I. <http://www.adc.com/Corp/BWG/MSD/2waymmnds.html>.

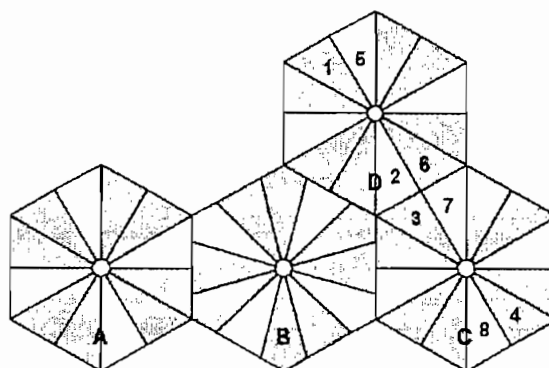


Figura 3.18. Rotura del modelo de línea.

Si el requerimiento mencionado es difícil de obtener en el módem, el operador necesitaría comprometer la capacidad por uno de los siguientes métodos¹:

- Dividir la sub-banda pertinente entre los dos sectores de cada par, para que en 8 sectores sea de 48, se emplearía solo media capacidad. Esto es equivalente a una pérdida de la capacidad de 8.33%.
- Emplear niveles más bajos de modulación o tasas de codificación FEC más bajas para alcanzar el SIR bajo.

Otros métodos en el diseño de un módem permiten compartir el espectro entre los sectores separados holgadamente sin dividir la banda estrictamente²:

- El filtro o ecualizador adaptivos mejoran la señal contra la interferencia ya que tienen diferentes perfiles de múltiples trayectorias.
- Diversidad de antena y técnicas de arreglos de antena.
- El protocolo izquierda-derecha es una técnica simple de asignación de ranuras (slots) de tiempo que permite la competencia de los dos sectores, A y B para compartir flexiblemente el canal, como indica la Figura 3.19. Las colisiones solo ocurren cuando los dos requieren un ancho de banda alto. La subcapa de Acceso al Medio puede averiguar los suscriptores afectados por la interferencia y asignarlos al inicio del período de trama.

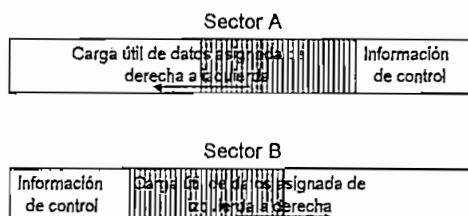


Figura 3.19. Protocolo Izquierda-Derecha en la trama de tiempo downstream.

¹ Ref [26] Frequency Reuse and Capacity in Two-way MMDS; Roman V. I. <http://www.adc.com/Corp/BWG/MSD/2waymmds.html>.

² Ref [26] Frequency Reuse and Capacity in Two-way MMDS; Roman V. I. <http://www.adc.com/Corp/BWG/MSD/2waymmds.html>.

- Para la señal upstream que opera en numerosos canales estrechos, el método opcional es el salto de frecuencia.

3.3.3.4. POLARIZACIÓN ALTERNADA EN MULTICELDAS

El método más eficiente para conseguir alta reutilización de frecuencia en ambientes de celdas múltiples es la utilización de polaridad alternada. La Figura 3.20. muestra cómo las mismas celdas hexagonales pueden ser arregladas en zonas paralelas de polaridad alternada. Esta estructura permite modificar la estructura de los sectores sin la necesidad de visitar a los suscriptores¹. La polarización alternada permite por igual, mejores diseños para el reutilización de frecuencias, pero para situaciones reales la estructura del despliegue no es homogénea.

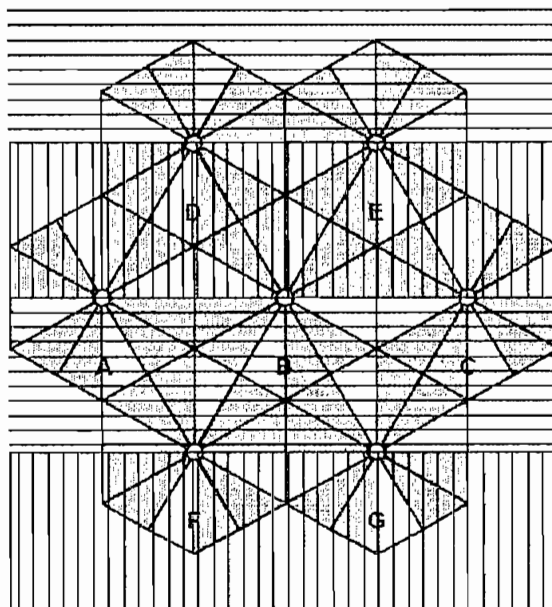


Figura 3.20. Polaridad alternada en tiras. 12 sectores de celdas con $F_R = 4$.

La Figura 3.21, muestra un aumento gradual de la capacidad. En (a) un operador podría estar con dos sub-bandas de frecuencia en dos sectores con $F_R = 1$, en (b), (c) y (d) se puede tener un $F_R = 2, 4$ y 8 , preservando las dos sub-bandas y polarización en las zonas².

En la Figura 3.22. se muestra una mezcla de diferentes sectores de celdas³. En los dos casos el $x/D = 5$ y por consiguiente los requerimientos del módem en SIR es aproximadamente 15 dB.

¹ Ref [26] Frequency Reuse and Capacity in Two-way MMDS; Roman V. I. <http://www.adc.com/Corp/BWG/MSD/2waymmds.html>.

² Ref [26] Frequency Reuse and Capacity in Two-way MMDS; Roman V. I. <http://www.adc.com/Corp/BWG/MSD/2waymmds.html>.

³ Ref [26] Frequency Reuse and Capacity in Two-way MMDS; Roman V. I. <http://www.adc.com/Corp/BWG/MSD/2waymmds.html>.

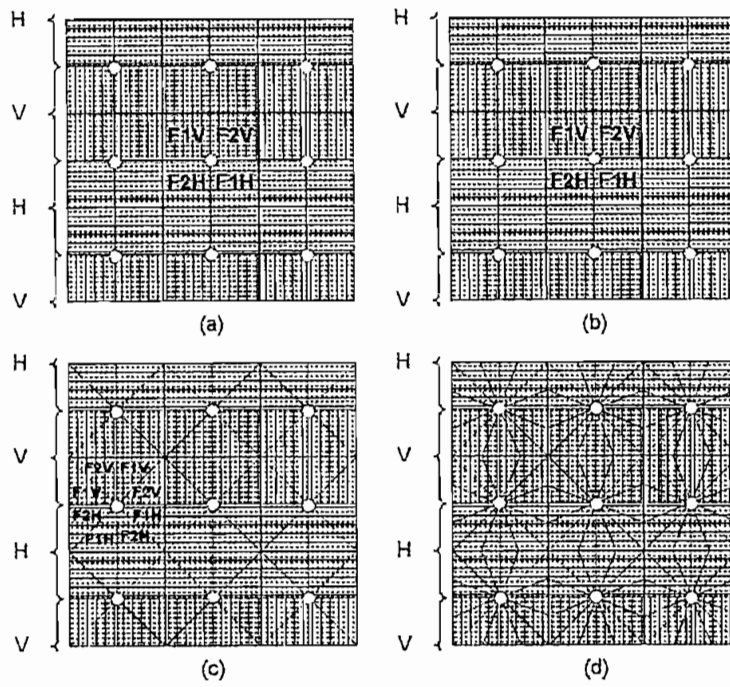


Figura 3.21. Reutilización gradualmente creciente en tiras con polaridad alternada.

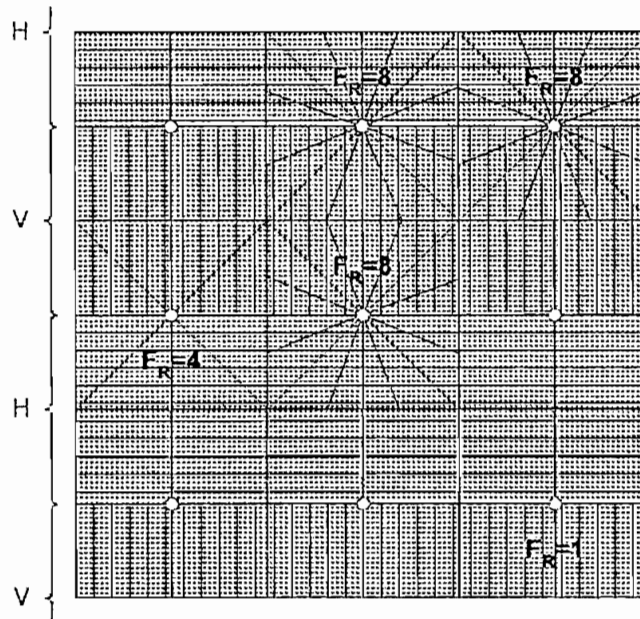


Figura 3.22. Polaridad alternada en tiras. Celdas sectorizadas distintamente.

3.3.3.5. CAPACIDAD

Si se tienen 6 canales en el flujo downstream de 6 MHz cada uno y un factor de reutilización de 4, el ancho de banda total del flujo downstream disponible en una celda es 144 MHz y si se tiene una eficiencia del ancho de banda de 2 bits/Hz (después de sustraer todas las pérdidas),

la velocidad de transmisión de los datos es 288 Mbps¹. Al tener un radio de la celda de 10 km, el área de la celda es 314 Km². La densidad del ancho de banda de los datos sería 0.92 Mbps por Km². Obviamente, esto apenas es suficiente, para un negocio modelo. Debido a que los requisitos para datos y servicios de telefonía, están en el rango de varios cientos de kbps en promedio a la hora pico; se debe tener factores de reutilización altos.

3.4. TOPOLOGÍAS DE REDES DE DATOS BIDIRECCIONALES USANDO MMDS

Hay varias estructuras para diseños de redes que pueden ser usadas para proveer servicios bidireccionales usando el sistema MMDS. Estas estructuras pueden tener sus ventajas y desventajas y son utilizadas dependiendo de la aplicación a ser implementada. Sin embargo un sistema MMDS debe tener una estructura asimétrica o simétrica para el enlace de comunicaciones. La topología asimétrica fue la primera en utilizarse en el sistema bidireccional debido al retorno que era vía empresas de telecomunicaciones. La topología simétrica se abrió a raíz de la asignación de frecuencias para el espectro del sistema MMDS bidireccional, en donde se puede tener tanto una topología simétrica o asimétrica dependiendo de la aplicación o tipo de enlace (punto a punto ó punto a multipunto). Entre las diferentes topologías tenemos las siguientes:

3.4.1. Topología asimétrica

3.4.2. Topología punto a punto

3.4.3. Topología punto multipunto

3.4.1. TOPOLOGÍA ASIMÉTRICA

Se utiliza un downstream de difusión con un retorno telefónico sobre líneas terrestres para el upstream. La ventaja de esta estructura es que no requiere utilizar el espectro para el upstream. Esta propuesta está siendo usada actualmente en varios ensayos en algunos países. Sin embargo, las velocidades de datos en el flujo upstream se limitan a las velocidades de la línea terrestre, típicamente solo 33.6 kbps. Aunque esta asimetría es adecuada para aplicaciones que requieren altas velocidades solo en el downstream como el acceso a Internet, pero hay muchos otras aplicaciones que requieren ancho de banda simétrico.

3.4.2. TOPOLOGÍA PUNTO A PUNTO

Como resultado de peticiones recientes a la FCC para la utilización del espectro del sistema MMDS bidireccional, son posibles nuevas topologías simétricas. Las topologías punto a punto

¹ Ref [26] Frequency Reuse and Capacity in Two-way MMDS; Roman V. I. <http://www.adc.com/Corp/BWG/MSD/2waymmds.html>.

han sido usadas tradicionalmente como troncales de comunicación para relevar grandes volúmenes de información sobre trayectorias terrestres. Una configuración punto a punto podría usar 2 canales MMDS para proveer datos de alta velocidad en ambas direcciones entre dos localidades. Una aplicación típica de esta topología podría proveer conexión inalámbrica de una LAN o WAN entre dos edificios en un campus.

3.4.3. TOPOLOGÍA PUNTO MULTIPUNTO

Una tercera topología es una configuración de red Punto a Multipunto. En este caso se utiliza una estación base localizada en la mitad de una área de cobertura, la cual soporta múltiples usuarios localizados a lo largo de toda el área. La industria de redes de computadoras ha crecido rápidamente por el desarrollo de productos que trabajan en una arquitectura concentradora de flujo (hub-spoke). Una estación base de banda ancha basada en el sistema MMDS puede encajar perfectamente dentro de una red de concentradores y routers. De hecho, la estación base del sistema MMDS puede ser considerada un nuevo e innovador producto de una red de computadoras.

3.5. PROBLEMAS DE CAPACIDAD

La capacidad es una preocupación importante cuando se desarrolla una red de comunicaciones inalámbricas. Las licencias FCC para el espectro de frecuencia han llegado a ser una inversión costosa, por consiguiente se debe utilizarlo de la manera más eficiente, ya que el espectro tiene una capacidad finita para información digital¹. El poseedor del espectro debe ocupar el ancho de banda disponible con el método de modulación más eficiente a un costo razonable por usuario. De esta manera para aumentar la eficiencia espectral se debe utilizar técnicas de compresión y modulación digital innovadoras, como también técnicas espaciales, tales como sectorización y celularización.

3.6. TECNOLOGÍA Y ADELANTOS EN EL CABLE MÓDEM

La idea de utilizar las características ventajosas del espectro de 2,1 a 2,7 GHz para la salida de datos a alta velocidad fue propuesta hace algunos años². La industria del cable ha definido un estándar para los cable módems de datos designado como Sistema de Red por Cable Multimedia (MCNS, Multimedia Cable Network System), con la finalidad de proporcionar unidades interoperables de bajo costo para proporcionar acceso de alta velocidad. Estos cable módems se pueden utilizar para acceso a Internet, video sobre demanda e incluso podrían proveer telefonía IP, entre otras aplicaciones.

¹ Ref [3] Advances in Two-Way Data Transmission Using MMDS Spectrum. Peragine Thomas L., Ryan Donna J. 1998. http://www.spke.com/html/body_an_alternative_technology.html.

² Ref [12] Data over MDS Cable Modems with Fixed 2 GHz Radio Link. Urban D. <http://www.adc.com/Corp/BWG/MSD/cmodems.html>.

Esta sección describe el cable módem (CM) estándar adoptado por las compañías de cable y su factibilidad para ser utilizado en un sistema MMDS. Se describen las especificaciones de MCNS en la capa MAC y PHY (PHYSical). Se relacionan con la compatibilidad de MCNS en: el simple control, el ajuste de la frecuencia y de la sincronización, la relación señal a ruido, las linealidades, el ruido de fase, y las múltiples trayectorias del canal radioeléctrico a 2.5 GHz

3.6.1. ESTÁNDAR MCNS Y DOCSIS

Las Especificaciones del Interfaz de Servicios de Datos Sobre Cable (DOCSIS, Data Over Cable Service Interfaz Specifications) define la especificación de la interfaz de radio frecuencia para la transferencia bidireccional del tráfico IP sobre una red de cable coaxial o HFC (Hybrid Fiber/Coax). El desarrollo de este estándar fue realizado por Cable Labs e iniciado por TCI, Time Warner, Cox, y Comcast, conocido como el consorcio MCNS¹. El objetivo del servicio es la entrega de datos a alta velocidad sobre una base interoperable uniforme, consistente, abierta, sin propietario y multiproveedor. El estándar del módem DOCSIS ha sido aceptado como J.112 por la Unión Internacional de Telecomunicaciones.

Un enlace de comunicación bidireccional se establece entre: el Sistema de Terminación del Cable Módem (CMTS) al headend (Centro de distribución) o a la estación base y el CM al terminal del suscriptor o sitio del cliente. El CMTS debe unir la red lateral con el backbone de una red como la Red de Telefonía Conmutada Pública (PSTN, Public Switched Telephony Network) mediante protocolos tales como SS7 y GR303, el Proveedor de Servicios de Internet (ISP, Internet Service Provider) y la Red de Área Ancha (WAN) vía 100BaseT y ATM OC-3. El CM debe conectarse con el Equipo en las Instalaciones del Cliente (CPE, Customer Premises Equipment) con una Tarjeta de Interfaz de Red (NIC, Network Interface Card) Ethernet 10BaseT a una computadora y un jack RJ11 a una toma telefónica.

DOCSIS también se ha definido para una red de cable², pero las ideas principales sobre el canal de RF (Radio Frequency) son útiles, determinando la aplicabilidad y limitaciones de DOCSIS en otros medios. El rango de frecuencia del flujo downstream es de 50 a 860 MHz, cubriendo los 222 a 408 MHz utilizados por operadores ITFS y MMDS que utilizan un oscilador local de 2278 MHz en el bloque del downconverter, con un canal espaciado de 6 MHz. El retardo de la información desde el headend al cliente más distante es menos de 800 μ s (una trayectoria de 48 km tendrá un retardo de 156 μ s). El CNR y CIR son mayores que 35 dB relativo al nivel de sincronismo máximo, de video analógico con señales QAM del downstream nominal de -10 a -6 dBc. Dentro del canal de 6 MHz, el rizado de amplitud debe ser menor o igual a 0.5 dB con un rizado de retardo de grupo menor o igual a 75 ns.

¹ Ref [12] Data over MDS Cable Modems with Fixed 2 GHz Radio Link. Urban D. <http://www.adc.com/Corp/BWGM/MSD/cmodems.html>.

² Ref [53] Sistemas de transmisión para servicios interactivos de televisión por cable. Recomendación UIT-T J.112. Marzo 1998.

3.6.2. MICROREFLEXIONES EN UN SISTEMA MMDS

El sistema MMDS puede experimentar niveles ligeramente más altos de microreflexiones que los asumidos por la red de cable DOCSIS. Sin embargo, están dentro del rango de corrección del ecualizador adaptivo. El rango de frecuencia del flujo upstream es de 5 a 42 MHz con CNR (Carrier to Noise Ratio) y CIR mayor de 25 dB, el rizado de amplitud de 0.5 dB/MHz y el rizado de retardo de grupo de 200 ns/MHz. Los niveles de microreflexión para el flujo downstream y upstream se muestra en la tabla 3.3 y las microreflexiones medidas en los sistemas MMDS se muestra en la tabla 3.4. Se puede comparar las mediciones de las microreflexiones mostradas en estas dos tablas¹.

Retardo en una red de cable	Nivel Downstream	Nivel Upstream
< 0.5 μ s	-10 dBc	-10 dBc
< 1.0 μ s	-15 dBc	-20 dBc
< 1.5 μ s	-20 dBc	-30 dBc
> 1.5 μ s	-30 dBc	-30 dBc

Tabla 3.3. Microreflexiones en una red de cable.

Retardo MMDS	Nivel Downstream
< 0.5 μ s	-10 dBc
< 1.0 μ s	-18 dBc
< 1.5 μ s	-25 dBc
> 1.5 μ s	-25 dBc
> 2.0 μ s	-30 dBc

Tabla 3.4. Microreflexiones en un sistema MMDS.

Las tablas indican que el sistema MMDS puede experimentar niveles más altos de microreflexiones que las asumidas por la red de cable DOCSIS. Sin embargo, basados en mediciones de implementaciones de ecualizadores la trayectoria del sistema MMDS debería estar dentro del rango de corrección de los ecualizadores adaptivos².

Las pruebas realizadas por el comité MCNS sobre el canal de RF para la plataforma de cable incluyeron una variación del nivel de la señal en el día y a diferentes estaciones, de 8 dB de un mínimo a un máximo en el upstream. Por otra parte en una planta de cable inalámbrica en Filadelfia se realizó una serie de mediciones del nivel de la señal para distancias que van

¹ Ref [36] MMDS Tests of Digital Transmission in 64 QAM Format; Waltrich J.B., Wireless Cable Technical Symposium, Febrero 1996.

² Ref [43] Performance of a QAM MMDS Transmission System in the Presence of Linear and Nonlinear Cascaded Distortions, AWGN, and Multipath. Urban David. Junio 1997. <http://www.adc.com/Corp/BWG/MSD/qammmms.html>.

desde 3 a 32 km. Los resultados indican que puede esperarse una variación del nivel de la señal de 6 dB entre el verano y el invierno en una área con bloqueo de árboles. De esta manera, la variación en el nivel de la señal en un radioenlace inalámbrico fijo de 2.6 GHz en diferentes estaciones, puede desviarse de las suposiciones en las cuales está basado DOCSIS. El rango de nivel especificado en la salida del CM es de +8 a +58 dBmV con QPSK y de +8 a +55 dBmV con 16 QAM. Así, con un rango dinámico de 50 dB en el transmisor del CM la variación estacional en el nivel de la señal puede repartirse a través de los comandos MAC del CMTS al CM. Cabe anotar que DOCSIS no especifica ninguna inversión de frecuencia en la trayectoria del flujo downstream o upstream, pero para un sistema MMDS la inversión espectral se encuentra en el enlace de bajada de RF del downconverter, para que una inversión espectral complementaria deba ocurrir en el transmisor de la estación base.

3.6.3. PROTOCOLOS DE COMUNICACIÓN

Dentro del stack de protocolos de comunicación que se involucran en un sistema MMDS para su correcto funcionamiento y desempeño, incluyen las subcapas, Medio Físico Dependiente (PMD, Physical Medium Dependent), convergencia de transmisión en el downstream, y Control de Acceso al Medio (MAC). A continuación se describen los protocolos de comunicación en un sistema MMDS¹.

3.6.3.1. FUNCIÓN DE LA SUBCAPA MAC

La subcapa MAC define un solo transmisor para cada canal downstream en los CMTS y todos los CMs escuchan a todas las tramas transmitidas en el canal downstream, en los cuales son registradas y aceptadas aquellas tramas cuyos destinos comparten el mismo CM (o CPE correspondiente).

En un enlace multipunto a punto es decir muchos transmisores CM y un receptor CMTS, se caracteriza el canal de flujo upstream. El tiempo en el canal upstream es ranurado, proporcionando TDMA (Time Division Multiple Access) a las marcas de tiempo reguladas. El CMTS mantiene la referencia de tiempo y controla la utilización del canal permitido a cada intervalo; además se pueden reservar ranuras de tiempo para un CM designado o pueden abrirse para ser disputados por todos. Durante la disputa de las ranuras de tiempo, pueden ocurrir colisiones que se solucionan mediante la utilización de reintentos. Un CM puede competir para solicitar un tiempo de transmisión y compite por una magnitud de tiempo limitada para transmitir datos.

La subcapa MAC del CMTS controla la asignación del ancho de banda. Se definen las minirranuras upstream; teniendo una mezcla dinámica de oportunidades de transmisión

upstream para la contienda y reservación con los paquetes de longitud variable para mejorar la eficiencia.

3.6.3.2. FUNCIÓN DE LA CAPA FÍSICA Y SUBCAPAS

La capa física (PHY) consiste de la subcapa de Convergencia de Transmisión Downstream y la subcapa PMD. La subcapa de Convergencia de Transmisión Downstream proporciona servicios adicionales tales como video digital sobre el flujo de bits de la capa PHY. Se definen los paquetes MPEG con una longitud de 188 bytes que consiste en 4 bytes de cabecera y 184 bytes de carga útil.

La subcapa PMD del downstream realiza modulación 64/256 QAM¹, ocupando un espectro de 6 MHz, código de bloques Reed Solomon concatenado y código de Trellis, intercalado de profundidad variable para soportar latencia de datos sensible e insensible. La función de la subcapa PMD es definir CM y CMTS interoperables tal que cualquier implementación de un CM pueda trabajar con cualquier CMTS.

Los CMs flexibles y programables están bajo control del CMTS en el flujo upstream, con disponibilidad de frecuencia, TDMA, QPSK/16 QAM, trama fija y formato de longitud variable, múltiples velocidades de símbolo, código de bloque Reed Solomon programable, y preámbulos programables. Para la compatibilidad con arreglos combinados y fraccionados del flujo downstream y upstream típicos en los headends, se requieren interfaces de salida para el flujo downstream y de entrada para el flujo upstream separados en el CMTS; esto es bastante conveniente para el despliegue de la estación base del sistema MMDS.

3.6.4. CONTROL DE ACCESO AL MEDIO

Para definir las características del flujo upstream se debe transmitir por el CMTS un Descriptor de Canal Upstream (UCD, Upstream Channel Descriptor). El tiempo entre la transmisión de mensajes UCD no puede ser más de 2 segundos, además dentro del UCD el CMTS define el tamaño de la miniranura (T) para el CM, el tamaño T de la miniranura para el canal upstream viene en unidades de marca de la base de tiempo de 6.25 microsegundos. Los valores posibles son $T = 2^M$ donde $M = 1, \dots, 7$. entonces $T = 2, 4, 8, 16, 32, 64, 128$.

En la transmisión upstream, se debe seleccionar el tipo de la modulación, QPSK o 16 QAM. Para QPSK, cada dos bits corresponde a uno de los 4 niveles, mientras para 16 QAM, cada 4 bits corresponden a uno de los 16 niveles. Además se debe escoger una de las cinco velocidades de símbolo: 160, 320, 640, 1280, 2560 kBd para la duración de símbolo de: 6.25,

¹ Ref [12] Data over MDS Cable Modems with Fixed 2 GHz Radio Link. Urban D. <http://www.adc.com/Corp/BWG/MSD/cmmodems.html>.

3.125, 1.5625, 0.78125, 0.390625 μ s respectivamente. Se utiliza Acceso Múltiple por División de Frecuencia (FDMA, Frequency Division Multiple Access) para permitir que más de un CM establezca un enlace de comunicación con el CMTS, de esta forma una portadora de frecuencia entre 5 y 42 MHz puede ser asignada al CM por el CMTS vía un comando MAC downstream. Para una velocidad de símbolo de 640 MBd, un nuevo símbolo es transmitido cada 1.5625 μ s, pero desafortunadamente una señal que es finita en el tiempo será infinita en frecuencia y de esta manera no causa interferencia a otros símbolos pero interfiere con otros canales de frecuencia.

Para eliminar la interferencia intersímbolo se debe utilizar un filtro de raíz cuadrada de coseno alzado de Nyquist que mantiene la señal dentro de un ancho de banda asignado. El factor de roll-off es 25%, de esta forma el ancho del canal es 1.25 veces la velocidad de símbolo: 200, 400, 800, 1600, 3200 kHz. Por ejemplo, para un canal de 800 kHz de ancho de banda le corresponde una velocidad de símbolo de 640 kBd y pueden ser definidos 46 canales dentro de 5 a 42 MHz de la banda upstream. Para un canal estrecho, solamente 185 CMs puede soportar simultáneamente con FDMA, por lo cual es necesario otra propuesta de acceso múltiple como TDMA.

Utilizando MDS-1, MDS-2A, y WCS (Wireless Communications Service) para el upstream se obtiene un ancho de banda de 40 MHz para la transmisión del sistema MMDS bidireccional, repartido en 49 canales con un ancho de banda de 800 kHz². De esta manera, el ancho de banda upstream puede ser reutilizado en una red de microonda con celularización y sectorización. Con 7 celdas, empleando 6 sectores y un factor de reutilización de 2, se pueden definir 686 canales upstream para servir a una región. Sin embargo, el deseo es servir no cientos o miles sino a 10 o un par de cientos de miles, así la ranura de tiempo necesita ser definida y utilizar una transmisión de ráfaga, de esta forma un CM puede utilizar el canal en un tiempo determinado y otro CM puede utilizar el mismo canal en otro tiempo.

La ráfaga upstream inicia con un preámbulo para permitir al demodulador CMTS asegurar la ráfaga de datos entrante. La longitud del preámbulo es programable a través de mensajes MAC transferidos en el downstream desde el CMTS al CM. Puesto que el preámbulo no lleva la carga útil de información, es recomendable mantener un preámbulo pequeño. Sin embargo si el preámbulo no es suficientemente largo permitirá al demodulador de ráfaga CMTS acoger la carga útil de información sin pérdidas. Aunque DOCSIS no especifica que preámbulo utiliza, por ejemplo, en ráfagas de preámbulos se está utilizando 32 símbolos para una velocidad de símbolo QPSK de 640 kBd.

¹ Ref [54] Sistemas digitales multiprogramas para servicios de televisión, sonido y datos de distribución por cable. Recomendación UIT-T J.83, Abril 1997. Anexo B pag 11.

² Ref [12] Data over MDS Cable Modems with Fixed 2 GHz Radio Link. Urban D. <http://www.adc.com/Corp/BWGM/MSD/cmmodems.html>.

Después del último símbolo del preámbulo está el primer símbolo de datos. La palabra código que sigue al preámbulo consiste de un paquete de datos y un campo de paridad FEC. Dentro del UCD de la subcapa MAC los atributos del perfil de ráfaga del CMTS establecerán la corrección de errores FEC (T), donde $T = 0, \dots, 10$ bytes y los bytes de información de la palabra código FEC (k), donde $k = 16, \dots, 253$ bytes. Por ejemplo, un típico perfil de ráfaga para una velocidad de símbolo QPSK de 640 kBd con 64 bits de longitud del preámbulo, puede tener $k = 64$ palabras código FEC de información y $T = 8$ bytes de corrección de errores FEC. De esta forma 256 símbolos de datos seguirán los 32 símbolos del preámbulo, seguido por 64 símbolos de paridad.

El filtro de conformación del pulso que elimina la interferencia de canales adyacentes, extiende la duración del símbolo más allá de la longitud del período de símbolo, entonces se requiere una rampa ascendente y una rampa descendente entre ráfagas. Por consiguiente un tiempo de resguardo puede ser permitido entre el último símbolo de paridad de una ráfaga y el primer símbolo del preámbulo de la próxima ráfaga, por lo cual es típico una banda de resguardo de 8 símbolos.

La ráfaga upstream de símbolos consiste de un preámbulo, datos, paridad FEC, tiempo de resguardo, no puede ser recibida por el CMTS a menos que llegue con el nivel de potencia, frecuencia de portadora preestablecidos y a la ranura de tiempo correcta. La temporización y sincronización es el mayor desafío en el diseño del protocolo MAC. El CMTS proporciona una referencia de temporización global a cada CM para transmitir la sincronización de tiempo (SYNCH) del mensaje MAC en el downstream. SYNCH contiene una indicación de tiempo que identifica exactamente el tiempo de transmisión de los mensajes del CMTS, el CM compara la indicación de tiempo con el tiempo real y hace ajustes a las referencias de reloj local. El intervalo nominal entre los mensajes SYNCH es de 10 ms.

El CM debe asegurar el downstream con la subcapa de convergencia de transmisión enviando mensajes SYNCH a la capa MAC antes de usar un canal upstream. El CM puede ser sometido a un proceso de alineación por lo cual se requieren desplazamientos de temporización correctos de manera que las transmisiones de los CMs estén alineadas con el límite correcto de la ranura. El ajuste del nivel de la señal RF en el CM es realizado mediante una función de mantenimiento periódico controlado por el CMTS.

Posteriormente el CM inicia una solicitud de alineación, y el CMTS envía una respuesta de alineación que contiene información de ajuste de potencia y ajuste de frecuencia. La información de ajuste de potencia especifica el cambio relativo en el nivel de potencia de transmisión que el CM está realizando, de esta forma llegan transmisiones al CMTS con el nivel de potencia deseado; de igual forma sucede con el ajuste de frecuencia.

3.6.5. MODULACIÓN Y CODIFICACIÓN UPSTREAM

El upstream utiliza un formato de modulación en ráfaga con cinco velocidades de símbolo y dos formatos de modulación; que incluyen: conformación de pulsos para la eficiencia espectral, agilidad de frecuencia de portadora, y nivel de potencia de salida seleccionable. La modulación del flujo upstream es QPSK o 16 QAM con corrección de errores Reed Solomon programable. La ráfaga modulada de longitud variable tiene temporización precisa que comienza en puntos separados por múltiplos enteros de 6.25 μ s, la velocidad de símbolo más alta es 2.56 MBd para que se transmitan 16 símbolos durante un intervalo de 6.25 μ s. La velocidad de símbolo más baja es 160 kBd para que una duración del símbolo sea 6.25 μ s¹. Cada ráfaga soporta: modulación flexible, velocidad de símbolo, preámbulo, aleatorización de carga útil y codificación FEC programable. Todos los parámetros de la transmisión upstream asociados con salidas de transmisión de ráfagas procedentes del CM son configurables por el CMTS mediante mensajes MAC; muchos de los parámetros son programables ráfaga por ráfaga.

Cinco símbolos deben separar el centro del último símbolo de una ráfaga con el centro del primer símbolo del preámbulo de la próxima ráfaga. El tiempo de resguardo debe ser mayor o igual a la duración de cinco símbolos más el error de temporización máximo. El desempeño de la temporización del CM se especifica en DOCSIS pero el error de temporización máximo y el tiempo de resguardo pueden variar para CMTSs de diferentes fabricantes.

El receptor CMTS recupera la portadora y la temporización de símbolo de una señal de nivel variante centrada en torno al nivel de potencia pedido desde el transmisor del CM y realizar el seguimiento, la adquisición de ráfagas y la demodulación. El demodulador CMTS debe proporcionar una estimación de la temporización de las ráfagas con respecto a un borde de referencia, potencia de señal recibida, relación señal a ruido y puede utilizar ecualización adaptiva para atenuar los efectos de ecos, interferencia y retardo de grupo. La función procesamiento de señal del receptor proporciona la señal de referencia de temporización con respecto al borde y de desbloqueo a los demoduladores para activar la adquisición de ráfagas para cada ranura de ráfagas asignada. Para toda ráfaga upstream, el CMTS tiene el conocimiento previo de su longitud en símbolos. El modulador del CM debe proporcionar modulación QPSK y 16 QAM, mientras que el CMTS puede proporcionar cualquiera de las dos o ambas, además el CMTS para cada ranura de ráfaga del flujo upstream, tiene un conocimiento previo de la longitud de ráfaga exacta en símbolos.

El filtro de raíz cuadrada de coseno alzado de Nyquist tiene un factor de roll-off de 25 %. En la tabla 3.5.² se muestran las cinco velocidades de símbolo y los anchos del canal.

¹ Ref [12] Data over MDS Cable Modems with Fixed 2 GHz Radio Link. Urban D. <http://www.adc.com/Corp/BWG/MSD/cmmodems.html>.

² Ref [12] Data over MDS Cable Modems with Fixed 2 GHz Radio Link. Urban D. <http://www.adc.com/Corp/BWG/MSD/cmmodems.html>.

Velocidad de símbolo kBd	Ancho del canal kHz
160	200
320	400
640	800
1280	1600
2560	3200

Tabla 3.5. Velocidades de símbolo en el upstream.

La velocidad de símbolo más baja resulta en una relación señal a ruido más alta debido al ancho de banda de ruido más angosta, además proporciona más inmunidad a múltiples trayectorias puesto que el desvanecimiento tiende a ser plano y la frecuencia menos selectiva. Si se tienen velocidades de símbolo más altas se aumenta la ganancia estadística debido a las velocidades de ráfaga más altas a través de un conducto compartido de datos. Sin embargo con los beneficios viene una sensibilidad elevada al cambio de frecuencia en el oscilador local utilizado para convertir ascendentemente la señal que transmite el CM del rango desde 5 - 42 MHz a 2150 - 2162 MHz para el upstream del sistema MMDS.

El demodulador CMTS debe operar apropiadamente con una frecuencia de portadora que está dentro del 4% de la velocidad de símbolo. Por ejemplo, para una velocidad de símbolo de 640 kBd, la frecuencia de portadora debe estar dentro de los 25 kHz de la nominal. Una buena especificación para transmisores de estaciones de respuesta de bajo costo es una estabilidad de frecuencia de 11 ppm (partes por millón) para una exactitud de frecuencia de +/- 25 kHz sobre tiempo y temperatura. El transmisor del CM debe soportar el funcionamiento en el rango de 5 a 42 MHz. Con un ajuste apropiado en el CMTS mediante comandos MAC al CM, se puede ajustar la frecuencia de portadora de la señal upstream con el más bajo BER (Bit Error Rate).

El flujo upstream utiliza corrección de errores Reed Solomon programable con longitud de palabra código y longitud del byte de paridad seleccionables. El tamaño máximo de una palabra código es 255 bytes y el tamaño mínimo de la palabra código es 18 bytes (16 bytes de información más 2 bytes de paridad). El número de errores que puede corregirse dentro de una palabra código (denotado T), es igual al número de bytes de paridad dividido por 2. La Figura 3.23 muestra la curva teórica de la tasa de bits errados vs la relación señal a ruido para QPSK sin FEC y con dos posibles técnicas FEC tomadas de los ejemplos del estándar DOCSIS¹. El modulador del upstream debe tener un codificador (scrambler) por lo cual se realiza un XOR entre el flujo de bits de salida del codificador RS y una Secuencia Binaria Pseudo Aleatoria (PRBS, PseudoRandom Binary Sequence) creada por un registro de desplazamiento de 15 bits con un determinado valor configurado por el CMTS.

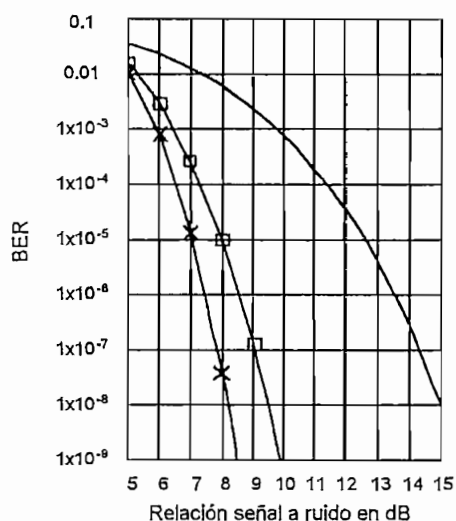


Figura 3.23. BER para RS(80,64) x y RS(40,32) □ comparado con QPSK.

La subcapa PMD del upstream debe admitir un campo de preámbulo de longitud variable que se sitúa delante de los datos una vez que éstos han sido aleatorizados y codificados según Reed Solomon. La longitud y valor del preámbulo son configurados por el CMTS, la longitud del preámbulo es 0, 2, 4,..., 1024 bits para QPSK y 0, 4, 8,..., 1024 bits para 16 QAM. De esta forma, la longitud máxima del preámbulo es 512 símbolos QPSK o 256 símbolos 16 QAM. Una longitud típica del preámbulo es 16 o 32 símbolos.

Las características de la transmisión se dividen en tres categorías²:

1. Parámetros del canal tales como: velocidad de símbolo, frecuencia central, y cadena de preámbulo.
2. Atributos del perfil de ráfaga tales como: modulación, longitud del preámbulo, corrección de errores FEC, bytes de información de la palabra código FEC, longitud de ráfaga, y tiempo de resguardo.
3. Parámetros únicos del usuario tales como: nivel de potencia, desplazamiento de alineación, desplazamiento de frecuencia, longitud de ráfaga, coeficientes de ecualizador de transmisión.

El desplazamiento de alineación es la corrección de retardo aplicada por el CM al tiempo de trama en sentido ascendente del CMTS derivado en el CM, para sincronizar las transmisiones en sentido ascendente en el esquema TDMA. El CM debe implementar el desplazamiento de frecuencia dentro de +/-10 Hz, en el rango de +/-32 kHz con incrementos de 1 Hz. La configuración del desplazamiento de alineación está entre 0 a 65535 con una resolución

¹ Ref [3] pag 278

² Ref [12] Data over MDS Cable Modems with Fixed 2 GHz Radio Link, Urban D. <http://www.adc.com/Corp/BWG/MSD/cmodems.html>.

de 1/64 del incremento de marcas de trama $\frac{6.25 \mu\text{s}}{64} = 0.097656250 \mu\text{s} = \frac{1}{4} \left(\frac{1}{2.56 \text{ MHz}} \right)$. El

desplazamiento de alineación asegura que la señal del modulador del CM llegue dentro de la ranura de tiempo apropiada al demodulador CMTS. Por otra parte DOCSIS define los niveles aceptables de emisiones espurias. La tasa de símbolos errados (SER, Symbol Error Rate) debe estar dentro de 0.5 dB del SER vs BER teórico para el codificador QPSK y 16 QAM. El SNR (Signal to Noise Ratio) del grupo medido en un analizador de modulación debe ser mayor que 30 dB.

El rango máximo de potencia recibida nominal controlada en el demodulador upstream para una señal de 640 kD es -10 a +20 dBmV. Los demoduladores deben operar dentro de su especificación de desempeño definida con ráfagas recibidas de +/- 6 dB de la potencia recibida nominal controlada. Para un enlace de microonda con línea de vista con una longitud de trayectoria mayor a 8 km, la disponibilidad para un margen de desvanecimiento de solo 6 dB no será satisfactoria. De esta manera el desempeño real del demodulador upstream del CMTS es meritorio.

3.6.6. MODULACIÓN Y CODIFICACIÓN DOWNSTREAM

La modulación downstream está dada por la ITU-T J.83 (Anexo B) con algunas modificaciones en las características de intercalación. El tipo de modulación utilizado es 64 QAM con una velocidad de símbolo de 5.056941 MBd con una respuesta de filtro de raíz cuadrada de coseno alzado de 18% de factor de roll-off y un canal de 6 MHz. La técnica de corrección de errores directa empleada es RS (128,122) con una codificación Trellis de proporción 14/15 con intercalación y aleatorización. La velocidad de información es 26.97035 Mbps¹.

Se requiere una relación señal a ruido teórica de 21 dB para un BER de 10^{-8} con una pérdida de implementación medida de 1.5 dB, de esta manera una relación señal a ruido de 23 dB debería asegurar un funcionamiento apropiado.

Por otro lado se puede utilizar 256 QAM pero el SNR requerido será 6 dB más alto que para 64 QAM, y puede esperarse una pérdida de implementación de unos pocos dB adicionales, haciendo de 256 QAM difícil de llevar a cabo en un sistema MMDS por el rango reducido, susceptibilidad a CIR debido a la interferencia celda a celda y sector a sector.

La modulación downstream se ha utilizado por muchos años en servicio de difusión de video MMDS y acceso a Internet con retorno por compañías de telecomunicaciones. Cabe notar que un sistema de datos bidireccional tiene la necesidad de aumentar la capacidad a través de la

¹ Ref [54] Sistemas digitales multiprogramas para servicios de televisión, sonido y datos de distribución por cable. Recomendación UIT-T J.83. Abril 1997. Anexo B pag 26-33.

celularización y sectorización. La celularización se ha hecho para sistemas de difusión de video en forma de sitios de repetición, en algunos casos con un gran número de repetidores de alta potencia. Sin embargo, un sitio de repetición se requiere solo en una región obstruida para aumentar la cobertura, de esta manera la región obstruida se asegura casi siempre; la interferencia experimentada será el resultado tanto del modelo no ideal de la antena como de la situación no ideal del sitio siendo estos los problemas más comunes. Se deben aumentar celdas en un sistema bidireccional para aumentar la capacidad a través de la reutilización de frecuencia, teniendo en cuenta todos los problemas que esto involucra.

Una área con buena cobertura puede necesitar ser subdividida en múltiples celdas simplemente porque se han encontrado limitaciones de capacidad, en este caso, el terreno obstruido no puede ser tomado en cuenta para el aislamiento entre celdas. Sin embargo las técnicas existentes permiten poner celdas cercanas en un sistema de microonda fijo con antenas altamente direccionales con el espectro completo disponible reutilizándose en cada celda. En general estas técnicas requieren de una modulación que funcione correctamente con un CIR de 15 dB y de esta manera la modulación y codificación downstream de DOCSIS no es suficiente.

El sistema B de cable emplea una técnica de corrección directa de errores altamente eficiente de cuatro capas de procesamiento (Codificación Reed Solomon, intercalación, aleatorización y codificación reticular) que rinde 27 Mbps con un SNR umbral de 23 dB¹. Por el contrario el sistema A para 16 QAM utiliza solo RS (204,188) y requiere un SNR de 18 dB, obteniendo solo 18 Mbps². Se ha utilizado la codificación convolucional de más alta proporción para bajar el SNR umbral en los sistemas MMDS, por ejemplo la especificación de TV utiliza un código de proporción 5/6 para bajar el SNR umbral a 19 dB con una carga útil de 23 Mbps. La especificación DAVIC para el sistema MMDS que se ha desplegado comercialmente tiene una codificación Trellis de proporción 11/12 opcional.

Una alternativa ideal de modulación para sistemas de capacidad muy alta que emplean muchas celdas es ATSC 8-VSB (estándar de difusión terrestre UHF en EEUU); en el cual se transmiten 3 bits por símbolo a una tasa de 10.76 MHz en una sola banda lateral con RS (208,188), Trellis de proporción 2/3 e intercalación para una velocidad de transmisión de carga útil de 19 Mbps que requiere un SNR de 15 dB. Los ecualizadores adaptivos son muy buenos para tratar con múltiples trayectorias severas experimentadas en difusión UHF utilizando antenas de suscriptor montadas sobre o dentro de casa.

¹ Ref [54] Sistemas digitales multiprogramas para servicios de televisión, sonido y datos de distribución por cable. Recomendación UIT-T J.83. Abril 1997: Anexo B pag 26.

² Ref [54] Sistemas digitales multiprogramas para servicios de televisión, sonido y datos de distribución por cable. Recomendación UIT-T J.83. Abril 1997: Anexo A pag 14.

3.7. TRANSMISIÓN DE DATOS Y ACCESO A INTERNET A ALTA VELOCIDAD

Un sistema inalámbrico de banda ancha puede entregar sobre los 30 Mbps de capacidad de datos en un canal de 6 MHz. La ventaja de los sistemas inalámbricos es que estos pueden proporcionar una ráfaga de alta velocidad de acceso a Internet a: 16, 32, o 56 km de radio de cobertura, dependiendo de la banda de frecuencia utilizada.

3.7.1. TRANSMISIÓN BÁSICA DE INTERNET

Hay dos diferencias básicas entre el Internet y la transmisión continua de datos¹. La primera, para el tráfico de Internet, los conceptos de transferencia continua de datos y ancho de banda asignado a cada usuario no tienen sentido. El Internet proporciona ancho de banda sobre demanda excepto en la transferencia de paquetes en ráfaga. Habrá retardos recibiendo un archivo o una ráfaga de datos si hay muchos usuarios. La segunda, muchas formas de transferencia de archivos en Internet requieren del Protocolo de Internet con acuses de recibo (ACKs). Latencia en el retorno de los ACKs, hacen lenta a la fuente de información retardando el flujo downstream para la transferencia de archivos.

La comunicación downstream utiliza el protocolo TCP/IP. La computadora del cliente reconoce los paquetes recibidos enviándole la señal ACK en el upstream. TCP usa una forma de control de flujo de datos llamada protocolo de ventana deslizante, esto permite que ráfagas downstream muy rápidas del flujo se ajusten a la alta velocidad de bits del canal downstream (pero velocidades promedio más bajas suben en los canales compartidos y la capacidad de la computadora de recibir datos de 1 Mbps a 2 Mbps). Esto perfecciona las comunicaciones de ráfagas donde la latencia o el tiempo de retardo en la recepción del ACK afecta la velocidad de la señal downstream.

Tenemos algunos efectos de TCP/IP en los sistemas de cable módem que se muestran a continuación²:

- TCP/IP es mucho más tolerante a pérdidas breves ocasionales en la comunicación downstream causadas por la interferencia que una señal de televisión, porque esta puede pedir retransmisiones.
- Un camino de retorno es necesario para reconocer los paquetes transmitidos así como los archivos solicitados.

¹ Ref [34] Internet Transmission Basics, Wireless Broadband Modems Tutorial, Hybrid, Octubre 1999, http://www.webproforum.com/wire_broad/topic01.html.

² Ref [34] Internet Transmission Basics, Wireless Broadband Modems Tutorial, Hybrid, Octubre 1999, http://www.webproforum.com/wire_broad/topic01.html.

- El tráfico es asimétrico, esto es, un camino downstream inalámbrico de 10 Mbps todavía produce transferencia rápida de archivos downstream incluso con un bajo ancho de banda para el camino de retorno, tal como la conexión telefónica a 14.4 kbps.
- Un camino downstream inalámbrico con camino de retorno telefónico es una manera viable de proporcionar servicio. Las opciones de retorno inalámbrico están en sus inicios debido al costo del equipo y ancho de banda disponible limitado, ellos ofrecen latencia más baja y en muchos casos una velocidad upstream más alta.
- Tanto el retorno telefónico como el inalámbrico pueden introducir factores adicionales que causan alta latencia, lo que produce velocidades downstream más lentas.

El sistema de módem de banda ancha puede aportar latencias (de ida y vuelta) que varían desde 25 ms para el retorno inalámbrico y a más de 125 ms para el retorno telefónico. El ACK tiene alrededor de 40 bytes de longitud para los sistemas de retorno telefónico y alrededor de 80 bytes de longitud para el retorno inalámbrico debido a sus diferentes protocolos.

3.7.2. SISTEMA DE UN CABLE MÓDEM

En la Figura 3.24. se muestra el diagrama de un sistema MMDS con retorno alámbrico para el acceso de Internet. La arquitectura cliente-servidor del módem proporciona el control de operación de los módems (clientes) desde el headend¹.

Comenzando con el proveedor de servicios, se requiere una conexión de Internet además de varios servidores locales, tales como servidores de e-mail y un servidor de respaldo, para guardar las páginas accedidas frecuentemente en lugar de pedir las repetidamente a la red. Conectando a esta LAN está un router downstream. La salida digital pasa por un modulador 64 QAM, el cual proporciona una señal IF de 44 MHz al transmisor. Esta señal ocupa un ancho de banda de 6 MHz (El tipo de modulación y el tamaño del canal varía de acuerdo al fabricante).

El cliente recibe la señal con línea de vista, y el cable módem se conecta vía Ethernet a la computadora o a múltiples computadoras en una LAN Ethernet². El camino de retorno del cable módem en la Figura 3.24. es a través de la red telefónica y llega a un banco de módems y a un ruteador para el upstream. Este camino de retorno lleva peticiones upstream y acuses de recibo de los paquetes downstream.

Conectando el camino de retorno directamente a la LAN del proveedor, se tiene una transferencia de archivos mucho más rápida desde los servidores locales. Los bancos de módems podrían estar en una localidad remota, conectados por instalaciones digitales

¹ Ref [8] Basics of Cable Modem System and Cable Modem. Wireless Broadband Modems Tutorial. Hybrid. Octubre 1999. http://www.webproforum.com/wire_broad/topic02.html.

² Ref [8] Basics of Cable Modem System and Cable Modem. Wireless Broadband Modems Tutorial. Hybrid. Octubre 1999. http://www.webproforum.com/wire_broad/topic02.html.

tradicionales, además podrían conectarse a otro punto de acceso de Internet, esto no hace diferente el tráfico de Internet pero retardaría la transferencia desde los servidores locales debido al retraso de ACKs.

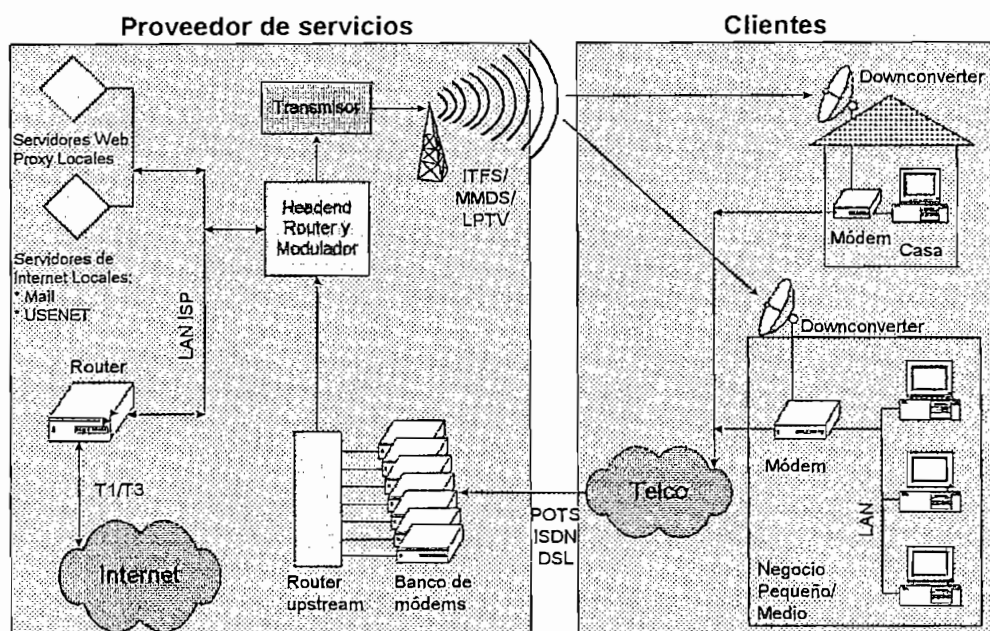


Figura 3.24. Diagrama del sistema simplificado.

3.7.3. ARQUITECTURA DEL CABLE MÓDEM

El servicio de un módem de banda ancha inalámbrica está basado en la arquitectura del sistema más simple del servicio del cable alámbrico. Un sistema de televisión por cable moderno tiene canales downstream de 50 a 806 MHz. El cable módem sintoniza a todos o algunos de estos canales que dependen de su diseño. El nivel nominal de la señal es 0 dBmV (1 mV en 75 Ω) en la interfaz del cliente y además es estable, variando lentamente con la temperatura y el tiempo. Un modulador 64 QAM puede llevar 30 Mbps de datos en un canal de 6 MHz¹.

Como se muestra en la Figura 3.25, un cable módem consiste de un sintonizador de televisión estándar controlado digitalmente, un demodulador 64 QAM y una conexión Ethernet a la computadora del cliente². El camino de retorno desde la computadora lleva mensajes ACK o transfiere archivos hacia el proveedor tales como e-mail.

¹ Ref [8] Basics of Cable Modem System and Cable Modem, Wireless Broadband Modems Tutorial, Hybrid, Octubre 1999, http://www.webproforum.com/wire_broad/topic02.html.

² Ref [8] Basics of Cable Modem System and Cable Modem, Wireless Broadband Modems Tutorial, Hybrid, Octubre 1999, http://www.webproforum.com/wire_broad/topic02.html.

La conexión upstream puede usar una conexión RS232 a un módem telefónico o una señal upstream modulada con QPSK para el retorno sobre el sistema de cable inalámbrico. Un procesador interno con memoria controla el sintonizador, el camino de retorno y las funciones más complejas tales como la filtración de paquetes del flujo downstream.

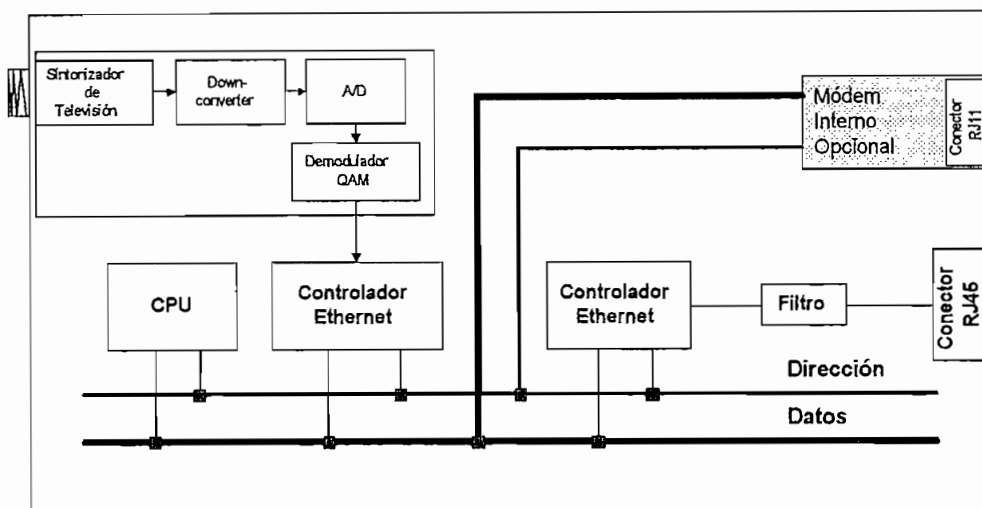


Figura 3.25. Diagrama de bloques simplificado de un cable módem.

Se tiene algunas características en cuanto a la sintonización del módem¹:

- El módem ideal opera tanto para la televisión por cable alámbrico como inalámbrico, aunque el inalámbrico tiene algunos requerimientos diferentes debido a la propagación y a la manera en que la señal es recibida.
- Un sintonizador de televisión estándar controlado digitalmente tiene pasos de sintonización fijos de 62.5 kHz.
- Los cables módems utilizan sintonización digital discreta, no analógica. Muchos módems sintonizan en pasos de 6 MHz, lo cual no es suficiente para todas las bandas inalámbricas.
- El demodulador 64 QAM también controla el sintonizador. El demodulador tiene que ser capaz de corregir errores de frecuencia que ocurren en el sintonizador de televisión, downconverter y en la señal recibida.

3.7.4. ARQUITECTURA DE UN SISTEMA DOWNSTREAM INALÁMBRICO

En el diseño de un sistema inalámbrico para el acceso a Internet pueden influenciar varios factores, los cuales se deben tener muy en cuenta²:

¹ Ref [8] Basics of Cable Modem System and Cable Modem, Wireless Broadband Modems Tutorial, Hybrid, Octubre 1999, http://www.webproforum.com/wire_broad/topic02.html.

² Ref [5] Architecture of a Wireless Downstream System, Wireless Broadband Modems Tutorial, Hybrid, Octubre 1999, http://www.webproforum.com/wire_broad/topic03.html.

- La localización física del transmisor inalámbrico puede ser diferente a la localización del headend de Internet.
- Se requiere transmisión con línea de vista.
- La potencia de la señal disminuye con la distancia.
- Diferentes frecuencias fijas de transmisión son utilizadas según la disponibilidad de las licencias.
- Distorsión por múltiple trayectoria.
- Se requiere una antena receptora en: el techo o a un costado del edificio.
- El funcionamiento bidireccional está limitado por las licencias disponibles, ancho de banda, y regulaciones de la FCC.

Si se tiene completa libertad, el transmisor podría estar en un sitio conveniente y con línea de vista con el cliente, para la conexión del servicio de Internet. Estos dos requerimientos entran en conflicto casi todo tiempo, de esta manera el transmisor y el headend de Internet no pueden estar localizados conjuntamente.

El sitio para la antena y el transmisor inalámbrico son normalmente elegidos para proporcionar televisión con línea de vista a una área metropolitana o varias comunidades rurales ya que las bandas de frecuencia fueron autorizadas para esta amplia área de cobertura. El punto más cercano de conexión al Internet está a menudo en el centro de la ciudad, el cual es el mejor lugar para el mantenimiento del headend de Internet.

Como se muestra en la Figura 3.26.¹ el transmisor del sistema MMDS no puede cubrir el área completa. Un repetidor de baja potencia puede necesitarse para cubrir áreas dónde no existe línea de vista.



Figura 3.26. Configuración de la transmisión MMDS: transmisor distante con el headend de Internet y el Punto de Presencia en el centro de la ciudad.

¹ Ref [5] Architecture of a Wireless Downstream System. Wireless Broadband Modems Tutorial, Hybrid, Octubre 1999. http://www.webproforum.com/wire_broad/topic03.html.

3.7.5. ARQUITECTURA DE RECEPCIÓN DE LA SEÑAL

La banda de frecuencia determina el tipo de antena receptora y downconverter a ser utilizados, el sistema MMDS requiere una antena pequeña integrada con un downconverter montados en el techo o al costado de un edificio. Las antenas pueden ser arreglos horizontales de 1000 cm² con 17 dB de ganancia, o diseños en forma de arco (domo) con características similares.

Se puede usar también parábolas parciales de 60 cm de diámetro, o antenas Yagi de 60 cm de largo. La mayoría de downconverters permiten una opción de ganancia interna tan buena como la ganancia de la antena para que el nivel de la señal de salida pueda estar tan cerca a 0 dBmV para el módem. Cabe notar que se debe tener en cuenta muchos aspectos en un enlace inalámbrico como son¹:

- Colocar la antena adecuadamente para minimizar la múltiple trayectoria.
- Asegurar la posición de la antena para recibir la señal directa en lugar de una señal reflejada la cual puede variar en nivel.
- Establecer el nivel de la señal cerca de 0 dBmV.
- Trabajar con el fabricante del downconverter para lograr la selección más simple de la ganancia del amplificador y la ganancia de la antena para el área de cobertura, lo que minimiza el número de modelos diferentes necesarios.
- Usar los cálculos de pérdida de trayectoria apropiados para los enlaces de microonda. El cálculo para múltiples moduladores a través de un transmisor común (subcanalización) es un poco diferente que para una sola señal sobre un transmisor.
- Un downconverter diseñado para un cable módem también puede soportar servicio de video. Lo inverso no puede ser verdad ya que el cable módem tiene requerimientos de nivel específicos.
- La señal nominal del cable alámbrico es 0 dBmV en 75 Ω . El sintonizador/demodulador del cable módem aceptará una variación limitada en el nivel de entrada. Dependiendo del fabricante, modelo, frecuencia de funcionamiento y ambiente del sistema MMDS, la pérdida de trayectoria es estable excepto para la distorsión por múltiples trayectorias (idealmente eliminada por el ecualizador adaptivo del cable módem), y pueden seleccionarse la ganancia de la antena o del downconverter para proporcionar el nivel correcto al cable módem.

3.7.6. OPCIONES DE RETORNO INALÁMBRICO

La operación inalámbrica bidireccional está en sus inicios debido a la disponibilidad del espectro, equipo, y regulaciones cambiantes de la FCC. La tecnología, regulaciones, y los

¹ Ref [46] Receiving the Signal at the Subscriber, Wireless Broadband Modems Tutorial, Hybrid, Octubre 1999, http://www.webproforum.com/wire_broad/topic05.html.

problemas comerciales están cambiando muy rápidamente, sin embargo un proveedor de servicio usará una mezcla de retorno telefónico, ISDN, y retorno inalámbrico como requisito para satisfacer las necesidades del cliente.

Por otro lado algunos operadores bidireccionales deben enfrentar problemas tales como¹:

- Si el transmisor está separado del headend de Internet, un camino de retorno debe ser autorizado y comprado, similar al del flujo downstream.
- El costo del sistema, incluyendo el costo de oportunidad del espectro el cual podría usarse para las señales downstream en lugar de upstream.
- La relación ancho de banda/velocidad de transmisión usado por el upstream; por ejemplo, los 12 MHz de ancho de banda de la combinación de MDS-1 y MDS-2, podrían dividirse en canales de 200 kHz con velocidades de 256 o 320 kbps. Esto da 60 canales que soportan alrededor de 3000 suscriptores con antenas omnidireccionales no sectorizadas. Es decir, que las antenas receptoras en el retorno deben ser sectorizadas de acuerdo al crecimiento de usuarios para lograr la misma capacidad de suscriptores en el upstream y downstream.
- El modulador QPSK y la porción upconverter del transverter determinan la estabilidad de frecuencia y la salida de señales espurias de la ruta de transmisión de retorno.
- Al transmitir la señal de retorno al sitio del transmisor downstream permite integrar antenas transmisora y receptora en el sitio del cliente. Las cuales son de menor costo que unidades separadas, ya que estas apuntan en la misma dirección, la antena transmisora se alinea automáticamente cuando la antena de recepción se instala y alinea.
- Al transmitir la señal de retorno al headend de Internet (PoP) donde posiblemente requiere de antenas separadas con alineación individual. Esto evita el requerimiento de obtener la señal de retorno desde el transmisor downstream atrás al PoP.

3.7.6.1. UTILIZACIÓN DE BANDAS ISM

Una de las formas para el retorno upstream en un sistema MMDS es la posibilidad de usar moduladores de espectro disperso (Spread Spectrum) disponibles comercialmente en cualquiera de las bandas ISM (Instructional Scientific and Medical). Estos pueden ser controlados desde salidas RS232 de un cable módem de la misma manera que en un módem telefónico externo para el retorno telefónico.

La ventaja es que el espectro ahora es libre y disponible. Esto puede ser una solución viable a largo plazo dado el costo del espectro en las bandas de frecuencia tradicionales, y la alta direccionalidad de las antenas a 2.4 GHz lo que minimiza la probabilidad de interferencia con

¹ Ref [62] Wireless Return (Two-Way Wireless) Options, Wireless Broadband Modems Tutorial, Hybrid, Octubre 1999.
http://www.webproforum.com/wire_broad/topic07.html.

otros usuarios. En la Figura 3.27. se muestra un diagrama en bloques de un sistema inalámbrico con retorno ISM¹.

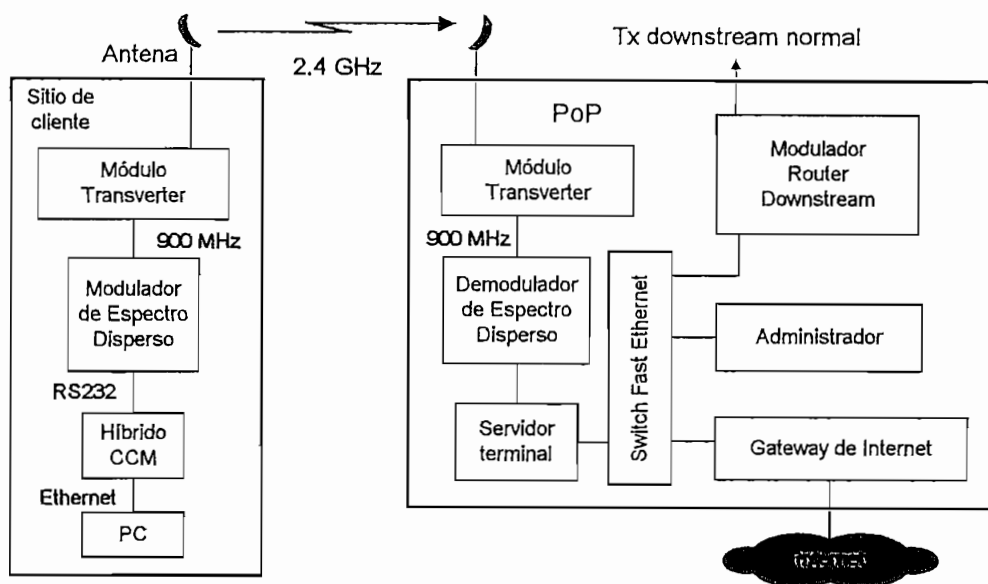


Figura 3.27. Una forma para usar la banda ISM para retorno inalámbrico a 900 MHz/2.4 GHz.

3.7.6.2. UTILIZACIÓN DE LA SEÑAL QPSK DE UN CABLE MÓDEM

Este tipo de retorno consiste en tomar los 5 a 42 MHz de las señales de salida QPSK del módem de retorno por cable y trasladarlas a las bandas de frecuencia: WCS, MDS-1, MDS-2, y MDS-2A.

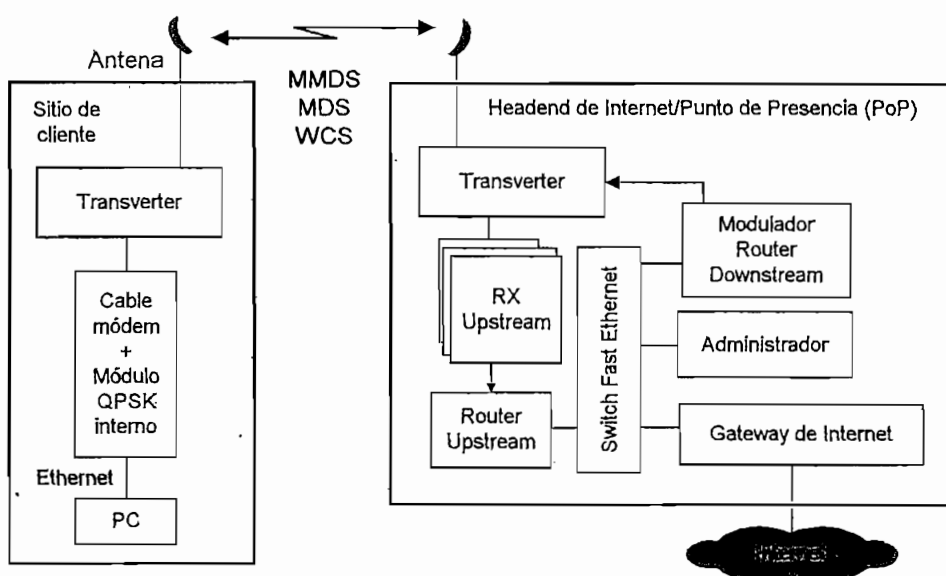


Figura 3.28. Retorno inalámbrico usando la señal QPSK de un Cable Módem.

¹ Ref [62] Wireless Return (Two-Way Wireless) Options. Wireless Broadband Modems Tutorial. Hybrid. Octubre 1999.

Los transverters (combinación de upconverter y downconverter) son similares en apariencia a los downconverters, generan de 50 mW o 100 mW de potencia transmitida. Esto es suficiente para llegar al sitio de transmisión downstream o al headend de Internet si está muy cerca y existe línea de vista. La velocidad de bits de la señal QPSK puede ser desde 256 kbps a 5.12 Mbps. Esto se puede visualizar en la Figura 3.28¹.

3.7.7. SISTEMA DE TRANSMISIÓN MMDS/WCS PARA EL ACCESO A INTERNET

Con la compresión de video digital, en el sistema MMDS pueden dedicarse unos pocos canales de RF para proporcionar datos de alta velocidad (> 10 Mbps) a usuarios de Internet. Esto está ya autorizado por la FCC para el caso de RF del flujo downstream con líneas upstream proporcionadas por Compañías de Telecomunicaciones (Telco).

Varios operadores tienen aplicado licencias a prueba por varias ciudades con esquemas de acceso de datos con retornos de RF. Por otra parte se ha formado un consorcio de varias industrias de sistemas MMDS que está realizando estudios teóricos y poniéndolos a prueba en laboratorios. Esas actividades han apoyado para que la FCC pueda reglamentar y autorizar estándares que permitan acceso de datos de RF bidireccional por medio del sistema MMDS.

Asumiendo que la mayoría de canales RF del sistema MMDS son dedicados a un servicio de entrega de video de entretenimiento, solo un número limitado de canales están disponibles para los datos downstream. La digitalización de video es una forma de incrementar la capacidad de los sistemas y de los canales disponibles para datos.

Los sistemas de transmisión MMDS/WCS para acceso a Internet incluyen transmisores canalizados, combinadores de canal, respaldo automático, y equipo de administración de red. Los transmisores digitales aceptan una IF QAM centrada a 44 MHz entonces convierten ascendentemente y amplifican la señal. Los transmisores están disponibles con 5 W a 100 W de potencia de salida promedio¹.

Se utilizan osciladores de cristal para proporcionar excelente ruido de fase. Amplificadores Feedforward y técnicas de ecualización proporcionan buena ganancia y linealidad de fase mientras minimizan el consumo de potencia. Filtros de conformación espectral son requeridos por los sistemas WCS para eliminar potencia fuera de banda. Los combinadores de canal utilizan filtros direccionales de guía de onda para combinar canales de microonda no adyacentes y adyacentes para la transmisión, como se muestra en la Figura 3.29. Los sistemas

http://www.webproforum.com/wire_broad/topic07.html.

¹ Ref [62] Wireless Return (Two-Way Wireless) Options. Wireless Broadband Modems Tutorial. Hybrid. Octubre 1999.
http://www.webproforum.com/wire_broad/topic07.html.

de transmisión proporcionan administración de redes SNMP para la configuración remota y administración por defecto².

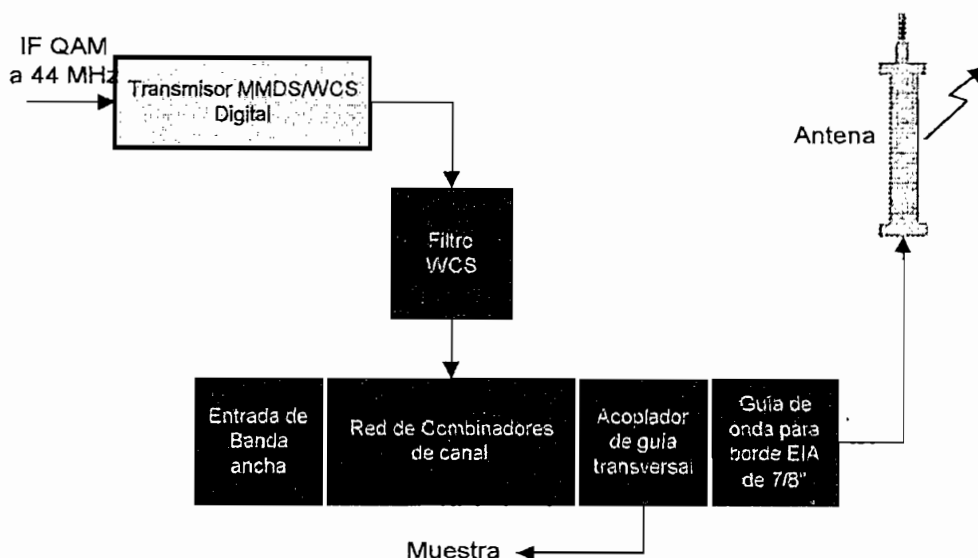


Figura 3.29. Diagrama de bloques de un transmisor MMDS/WCS típico.

3.8. VIDEO BAJO DEMANDA Y VIDEOCONFERENCIAS

La transmisión de video ha sido la forma tradicional para el cual fue concebido el sistema MMDS, pero debido a los adelantos y a necesidades de los usuarios el sistema se ha ido modificando para aplicaciones bidireccionales.

El sistema MMDS digital es un sistema de comunicación inalámbrico que utiliza una topología asimétrica para aplicaciones de video sobre demanda. El sistema MMDS utiliza una señal totalmente digital como fuente de información en lugar de una señal insertada de datos de video, lo cual nos permite transmitir en un enlace inalámbrico de 2 a 3 GHz a 27 Mbps una señal MPEG-2 (en tiempo real), archivos de Internet, entre otras aplicaciones digitales. Se utilizan antenas sectorizadas de alta ganancia combinadas con técnicas FDMA para aumentar al máximo el número de suscriptores por celda. El pedido se lo hace por el módem de línea telefónica. Esto se puede visualizar en la Figura 3.30³.

¹ Ref [38] MMDS/WCS Transmitter Systems for Internet Access. *Wireless Broadband Modems Tutorial*. Hybrid. Octubre 1999. http://www.webproforum.com/wire_broad/topic10.html.

² Ref [38] MMDS/WCS Transmitter Systems for Internet Access. *Wireless Broadband Modems Tutorial*. Hybrid. Octubre 1999. http://www.webproforum.com/wire_broad/topic10.html.

³ Ref [17] Digital MMDS as an Asymmetric Wireless Communication System for Video-on-demand applications. Ivanov Tatiana. Abril 1997. <http://www.ccc-can/data03.html>.

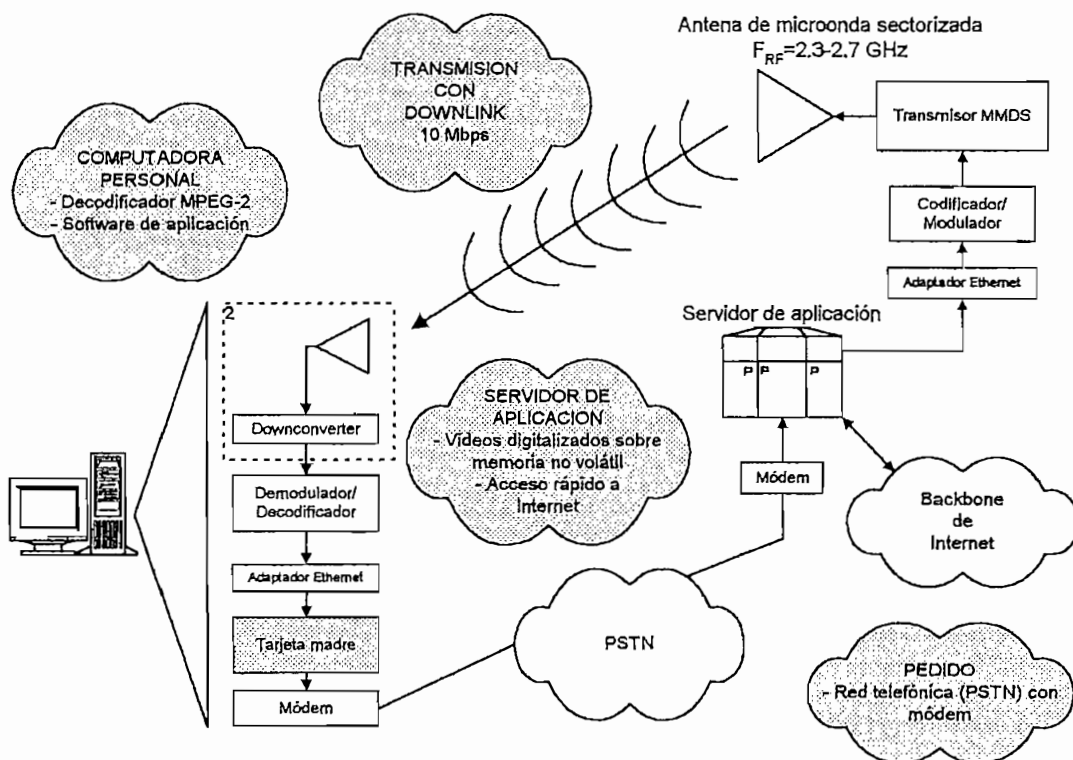


Figura 3.30. Enlace asimétrico para transmisión de video.

3.8.1. APRECIACIÓN DE LA APLICACIÓN

Cabe notar que el equipo utilizado es similar al que se utiliza para el acceso a Internet ya que es cuestión del proveedor distribuir un servicio u otro, como en este caso se puede distribuir tanto video como Internet, debido a la digitalización.

Desde el computador personal, el suscriptor puede navegar en el Internet, transmitir un archivo grande (FTP) o pedir un video. En los primeros dos casos, el servidor de aplicación, el cuál tiene un enlace de velocidad muy alta (tipo backbone) con el Internet, envía los paquetes a la computadora del suscriptor mediante un enlace descendente inalámbrico a 27 Mbps. En el caso en que el suscriptor quiere un video, el servidor utiliza como fuente de información algún dato comprimido con MPEG-2.

3.8.2. ENLACE DE COMUNICACIÓN

Una arquitectura con una sola fase de conversión ascendente es presentada. En este caso se utiliza un upconverter de frecuencia, tal como el MA4061 (se debe notar que cada arquitectura puede utilizar diferentes fabricantes), para seleccionar los canales¹. En este caso los 24

¹ Ref [17] Digital MMDS as an Asymmetric Wireless Communication System for Video-on-demand applications. Ivanov Tatiana. Abril 1997. <http://www.ccc-can/data03.html>.

canales son combinados en un combinador de microonda como se ve en la Figura 3.31. La parte de RF se integra dentro del PC como indica la Figura 3.32.

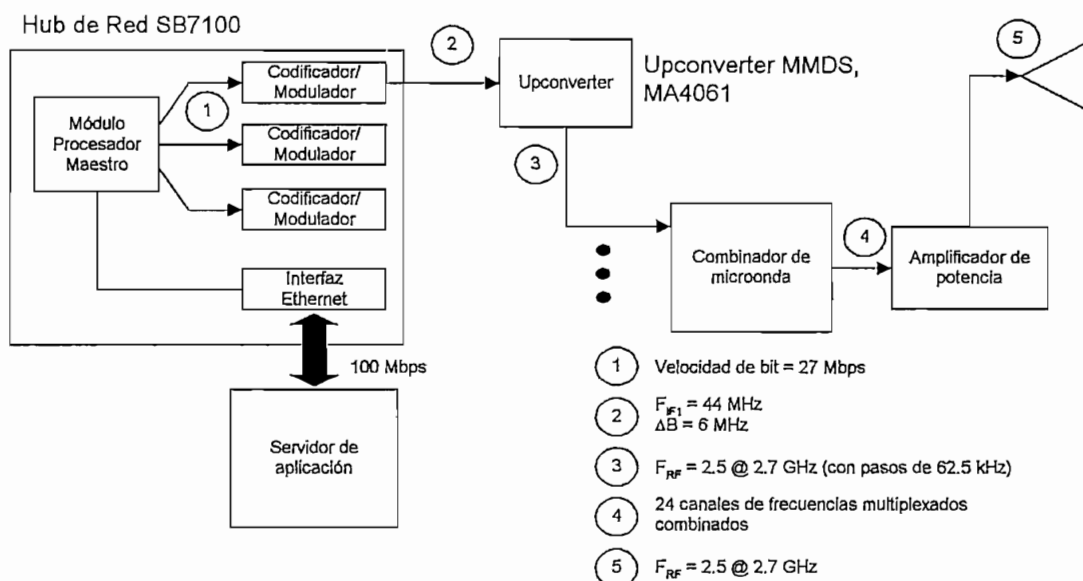


Figura 3.31. Configuración del transmisor.

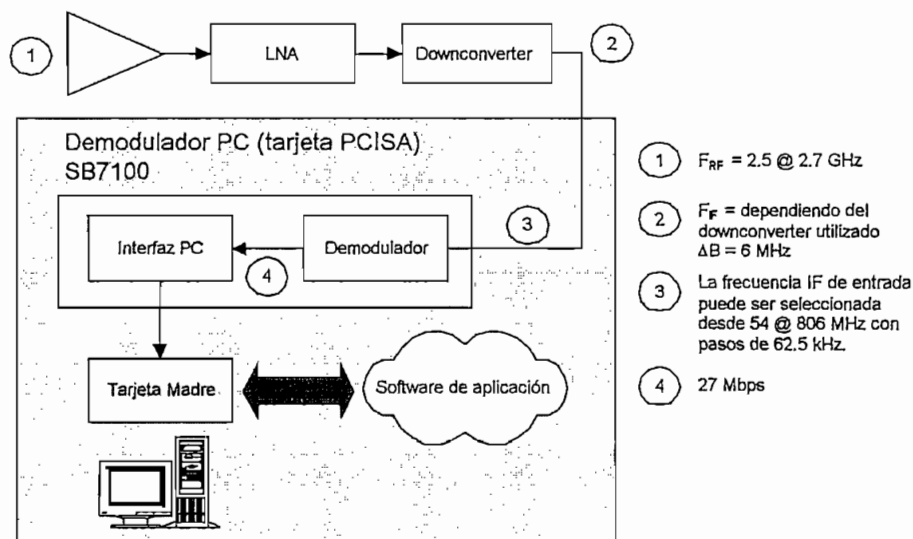


Figura 3.32. Configuración del receptor.

Entre el downconverter y el demodulador no se necesita ningún filtro IF. Después de que pasa por los mezcladores, se tiene una señal de banda base (punto 2). Debido a los canales adyacentes, esta señal de banda base contiene componentes de alta frecuencia que impiden al decodificador tomar una buena decisión acerca de los bits. El Filtro Pasabajos (LPF) desecha las componentes no deseadas y permite que solo las componentes deseadas pasen.

CAPÍTULO 4

PROYECCIONES FUTURAS
DEL SISTEMA MMDS Y SU
APLICACIÓN EN EL ECUADOR

CAPÍTULO 4

PROYECCIONES FUTURAS DEL SISTEMA MMDS Y SU APLICACIÓN EN EL ECUADOR

4.1. INTRODUCCIÓN

Como se vio en los capítulos anteriores el sistema MMDS ha ido mejorando paulatinamente en lo que respecta a voz, datos y últimamente servicios integrados. En este capítulo se describirá las nuevas aplicaciones o avances que se están logrando en el sistema MMDS como es la transmisión de servicios integrados de: voz, datos y video. Así como la situación actual del sistema en nuestro país.

Debido a que la FCC (Federal Communications Commission) aprobó en 1988 el espectro para MMDS bidireccional se tiene un gran número de experimentos en nuevas aplicaciones que se están llevando a cabo por diversos fabricantes. Se detallará 4 de las diferentes arquitecturas que se han introducido más en el mercado para proveer varios servicios a los usuarios en todas partes del mundo.

4.2. SISTEMA DE ENTREGA DE BANDA ANCHA PRIZM

El Sistema de Entrega de Banda Ancha (BDS) PRIZM, es un sistema inalámbrico punto multipunto, con gran ancho de banda, provee una gran variedad de servicios digitales sobre una gran área de cobertura. PRIMZ DBS (Broadband Delivery System), utiliza la reutilización del espectro y de esta manera incrementa sobre todo la capacidad de throughput sobre las 10 veces.

Los servicios que puede proveer PRIZM DBS pueden ser cualquier servicio que pueda correr sobre una red Ethernet, entre estos tenemos:

- Transmisión de datos de alta velocidad (10 Mbps)
- Acceso a Internet a alta velocidad (10 Mbps)
- Telefonía IP
- Voz sobre IP (VoIP)
- Videoconferencias
- Video sobre demanda

La frecuencia de operación de PRIZM DBS es de 1 a 10 GHz. Por otra parte "Spike" ofrece 3 versiones de PRIZM DBS¹.

1. **PRIZM 2300 DBS.** Opera en el espectro WCS (Wireless Communication Services) de 2.3 GHz a 2.37 GHz. Puede operar hasta 50 km desde la estación base PRIZM DBS.
2. **PRIZM 2400 DBS.** Opera principalmente en el espectro MMDS (Multichannel Multipoint Distribution Services) de 2.1 a 2.7 GHz, pero puede cubrir un rango entero de 2 a 3 GHz si se desea. Puede operar hasta 50 km desde la estación base PRIZM DBS.
3. **PRIZM 5800 DBS.** Opera en el espectro UNII (Unlicensed National Information Infrastructure) de 5.725 a 5.825 GHz. Opera a más bajos niveles de potencia hasta un rango de 5 km.

Una estación base de PRIZM DBS debe tener línea de vista, sistemas de respaldo (backup) de potencia, torres o sitios en edificios o aprovechar superficies montañosas. Los módems PRIZM de RF son ajustados automáticamente sus niveles de potencia sobre el rango de 30 dB para compensación por desvanecimiento por lluvia. Debido a que el sistema utiliza haz de microonda altamente direccional, el sistema no es susceptible a múltiples trayectorias, además el haz puede ser ajustado ayudando a vencer varias situaciones de múltiple trayectoria.

En el sistema PRIZM 2400 cada sector cubre 16.67 grados, pero otras configuraciones son posibles. Una estación base PRIZM DBS es lanzada típicamente con un mínimo de 4 sectores, que puede ser incrementada a 22 sectores². PRIZM DBS es un sistema de alta escalabilidad.

Se puede compartir el ancho de banda y de esta manera proveer a los usuarios alta velocidad de datos en ráfaga. Se utiliza una tecnología basada en Ethernet con el protocolo CSMA/CD permitiendo muchos usuarios compartir un ancho de banda dentro de un sector.

Se está integrando soluciones ATM que tienen protocolos muy robustos. Estas interfaces de sistemas con backbones ATM al headend y Ethernet al CPE (Customer Premise Equipment). Con tal configuración de módem y conmutación tecnológica se tiene más versatilidad en el ancho de banda y el nivel de servicio ofrecido a los consumidores. El ancho de banda puede ser asignado desde 64 kbps y puede aumentar en incrementos de 64 kbps. Clientes con servicios básicos pueden convivir con otros clientes de alta velocidad sin la necesidad de establecer conexiones dedicadas.

Comúnmente PRIZM puede operar con 4 QAM (QPSK), 16 QAM y 64 QAM; obteniéndose velocidades de 10 Mbps a 30 Mbps sobre un canal de 6 MHz. Virtualmente cualquier equipo

¹ Ref [3] Advances in Two-Way Data Transmission Using MMDS Spectrum. Peragine Thomas L., Ryan Donna J. 1998. http://www.spke.com/html/body_an_alternative_technology.html.

² Ref [3] Advances in Two-Way Data Transmission Using MMDS Spectrum. Peragine Thomas L., Ryan Donna J. 1998. http://www.spke.com/html/body_an_alternative_technology.html.

terminal que pueda convertir a un protocolo IP (routers IP) puede ser soportado por PRIZM DBS. PRIZM DBS provee el sistema del operador y el sistema del suscriptor a una interfaz estándar Ethernet.

Debido a que PRIZM DBS es un estándar básico, todas las soluciones son fácilmente configuradas y mejoradas usando aplicaciones de acuerdo a ISO/OSI. Aplicaciones de voz, vídeo y servicio de datos corren correctamente en PRIZM DBS. Esto es posible porque el switch IP solución de Spike empleado por PRIZM DBS puede priorizar, manejar todo el ancho de banda (tomando en cuenta la ruta) en incrementos de 1 kbps¹ (por encima de 64 kbps). Los switches de la interfaz de telefonía IP con un Punto de Presencia (PoP, Point of Presence) en el switch de la central de telecomunicaciones son provistos a cada uno de los sitios de los suscriptores o a centros de operación de PRIZM DBS. La interfaz es controlada utilizando un Protocolo Simple de Administración de Redes (SNMP, Simple Network Management Protocol). En el acceso a Internet, el ancho de banda para el suscriptor individual puede ser controlado desde 64 kbps a 10 Mbps².

4.2.1 ARQUITECTURA DE UN SISTEMA PRIZM

En el diseño de un sistema de comunicación de datos bidireccional se requiere de un análisis y planificación cuidadoso, ya que se puede tener problemas que influyen en la determinación de la potencia efectiva radiada en la antena de la estación base y en la antena del suscriptor, y en el área de cobertura resultante. Tanto la estación base y los suscriptores como un sistema de operación deben ser capaces de entenderse con otros equipos MMDS y otros proveedores inalámbricos en el área de servicio, tales como sistemas PCS y celulares.

El PRIZM BDS utiliza esta propiedad, tecnología de antena altamente sectorizada para proveer 360° de cobertura con 22 sectores contiguos³. El diagrama de bloques de un sector PRIZM se muestra en la Figura 4.1. Los componentes del sistema de la estación base son:

1. **Antena de la estación base.** Diseño propio de Spike Technologies.
2. **Radio transceiver de la estación base.** Diseño propio de Spike Technologies, realiza transmisión y recepción full duplex, traslación de frecuencia desde frecuencias IF del cable módem hasta frecuencias RF de la interfaz aérea y traslación de frecuencia desde frecuencias RF de la interfaz aérea hasta frecuencias IF del cable módem.
3. **Módem del headend.** Utiliza cable módems de datos de diferentes fabricantes.

¹ Ref [3] Advances in Two-Way Data Transmission Using MMDS Spectrum. Peragine Thomas L., Ryan Donna J. 1998. http://www.spke.com/html/body_an_alternative_technology.html.

² Ref [3] Advances in Two-Way Data Transmission Using MMDS Spectrum. Peragine Thomas L., Ryan Donna J. 1998. http://www.spke.com/html/body_an_alternative_technology.html.

³ Ref [3] Advances in Two-Way Data Transmission Using MMDS Spectrum. Peragine Thomas L., Ryan Donna J. 1998. http://www.spke.com/html/body_an_alternative_technology.html.

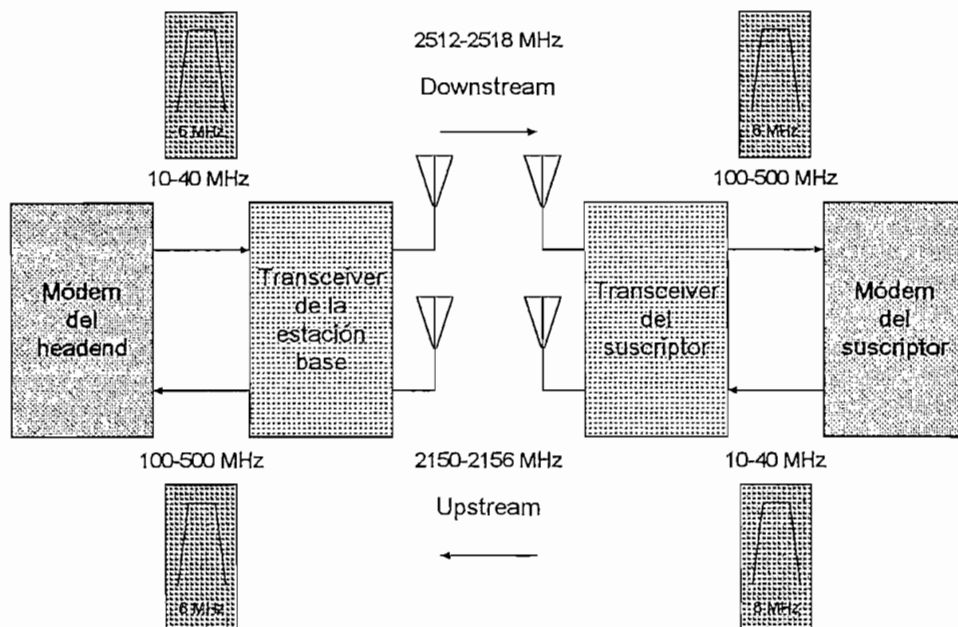


Figura 4.1. Diagrama de bloques del sistema de datos MMDS bidireccional.

El rango de cobertura de cualquier sistema RF se determina por la Potencia Radiada Efectiva (ERP, Equivalent Radiated Power) permisible y un mínimo SNR (Signal to Noise Ratio) recibida. Los problemas de desempeño de la antena son: nivel del lóbulo lateral, nivel del lóbulo posterior, ganancia, y ancho del haz. El desempeño de RF incluye ganancia, linealidad de los dispositivos y niveles corrompidos. Los componentes de los sitios del suscriptor son:

1. **Antena del suscriptor.** Antena direccional parabólica de malla.
2. **Radio transceiver del suscriptor.** Utiliza la misma tecnología que la radio de la estación base.
3. **Módem del suscriptor.** Puede utilizar cable módems de datos de diferentes fabricantes.

La versión del headend usada en la estación base puede tener sobre los 1024 usuarios en su red. Su protocolo MAC (Media Access Control) permite una configuración punto a multipunto y permite acceso a múltiples usuarios a la red a través del protocolo TDMA (Time Division Multiple Access). Los módems utilizados pueden ser reconfigurados como un módem de enlace (bridging) del suscriptor, que conecta a múltiples usuarios (LAN). Se disponen también de unidades personales para los suscriptores. Todas estas unidades utilizan software SNMP para proveer monitoreo remoto de los parámetros del enlace (bridging) y del desempeño.

El SNR y el SIR (Signal to Interference Ratio) se requieren que sean mayores que 22 dB y 25 dB, respectivamente. Esto tiene influencia en el diseño del sistema, diseño del transceiver, y especialmente en el diseño de la antena. La máxima distancia al suscriptor se debe limitar para asegurar un SNR mínimo en el módem del receptor. Los lóbulos laterales de la antena se

deben minimizar para reducir los niveles de señal desde otros sectores, lo cual contribuirá con los niveles de SNR. Para el diseño de una antena sectorizada, el lóbulo posterior y los lóbulos laterales adyacentes llevan la energía más alta no deseada.

Hoy en día están disponibles nuevos cable módems, muchos de estos se diseñaron por una eventual simpatía al estándar MCNS que operan con 64 QAM ó 256 QAM en el downstream y QPSK ó 16 QAM en el upstream (velocidad mayor a 30 Mbps). A menudo se utiliza corrección de errores directa (FEC) para reducir los requerimientos rigurosos de SNR, además se utilizan tecnologías TDMA y CDMA (Code Division Multiple Access). Spike ha trabajado con muchos de estos fabricantes en ensayos de campo. La arquitectura PRIZM es flexible y puede operar con muchos de estos módems.

Spike Technologies actualmente tiene varias instalaciones en América del Norte y del Sur. Los primeros ensayos con el sistema PRIZM ocurrieron en Nashua, New Hampshire usando un permiso experimental, que permitió utilizar MDS-1, MDS-2, y otros diez canales MMDS. Actualmente provee: Internet, videoconferencia, telefonía IP, y conexión de redes LAN y WAN, en el área de Nashua. Spike Technologies está también involucrada en otros proyectos por todo el mundo.

4.3. SISTEMA DE BANDA ANCHA MMDS HYPERCABLE

Hypercable, llamado también MMDS, diseñado por M/M/D/S y fabricado por M/D/S International ofrece a los consumidores más de 130 canales analógicos de alta definición sobre un enlace inalámbrico, incluye múltiples lenguajes y sonido estéreo, y 2000 canales digitales MPEG2 DVB y 5 Gbps de acceso a Internet. Las frecuencias asignadas para Hypercable (desde 1.7 a 60 GHz) permitiendo el uso de antenas y receivers de bajo costo. Por otra parte la especial modulación en FM o QPSK, reduce el costo de los equipos y costo de trabajo.

4.3.1. FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA

Los programas de televisión terrestre o satelital y producciones de video local son transmitidos desde el headend digital o headend analógico con una antena discreta omnidireccional o direccional al cliente.

Las señales SHF pueden ser recibidas a 200 km desde el transmisor con una pequeña antena directiva. La señal desplegada por Hypercable puede ser procesada por el CDTV350 analógico

y decodificador digital, y así permitir al operador el manejo de la suscripción¹. La Figura 4.2.² muestra la arquitectura de este sistema.

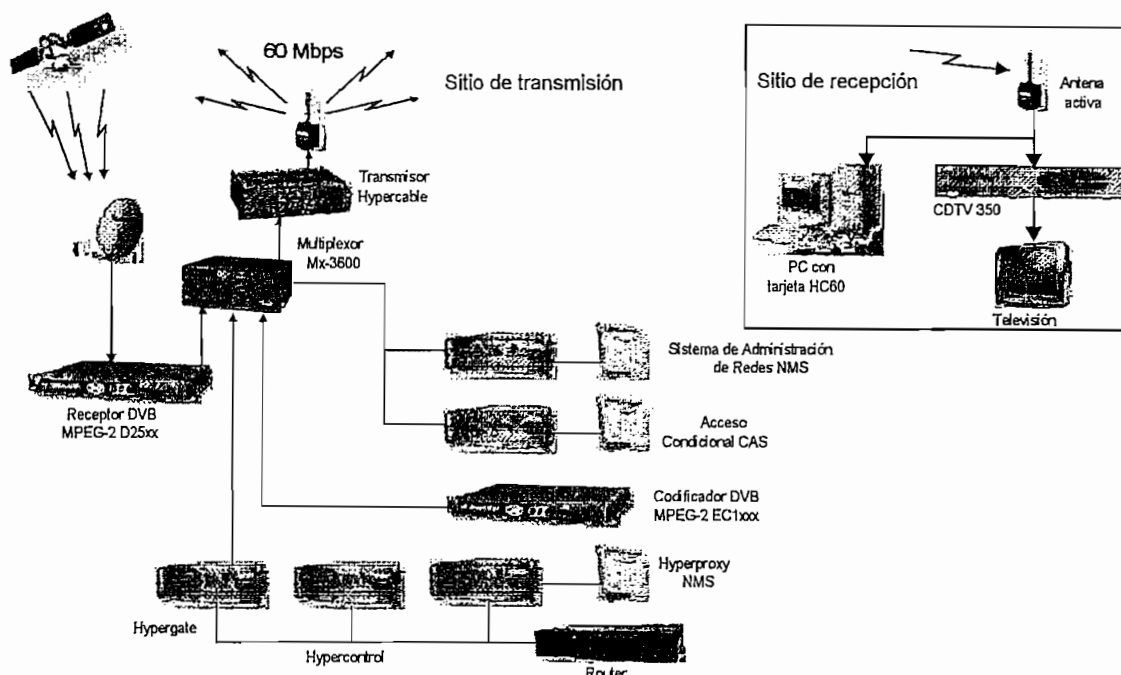


Figura 4.2. Arquitectura del sistema MMDS Hypercable.

4.3.2. CELULARIZACIÓN DEL HYPERCABLE

El Hypercable puede también cubrir una gran área, tal como una ciudad o un país, usando una estructura celular, fuera de cualquier interferencia entre los canales de las múltiples celdas. Solamente un pequeño amplificador es necesario para transmitir cientos de canales analógicos y digitales sobre muchos kilómetros. Aun un espejo o una pieza de metal puede reflejar la señal de cientos de canales sobre kilómetros. La banda de frecuencia de 10.7 a 12.7 GHz está permitida para transmisiones terrestres (servicio compuesto) y espacios de transmisión, y recomendado por la Unión Internacional de Telecomunicaciones.

4.3.3. VENTAJAS DE HYPERCABLE

Hypercable está disponible a muy bajo costo, debido al uso de modulación FM o QPSK, el cual necesita baja potencia de transmisión que AM. El principal suministro es 500 veces menos que el usual AM o QAM de 2.5 GHz MMDS. (4 vatios de potencia pueden cubrir 200 km de radio).

¹ Ref [33] Hypercable, M/D/S/ International, <http://www.hypercable.net/hypercable.pdf>.

² Ref [33] Hypercable, M/D/S/ International, <http://www.hypercable.net/hypercable.pdf>.

Hypercable está listo para la super autopista (superhighway) del cable inalámbrico y puede transmitir: NTSC, PAL, SECAM, MPEG-2 y cualquiera estándar de TV existente en el futuro. El sistema de transmisión, Hypercable, es un paso hacia la comunicación global inalámbrica. Hypercable tiene una gran capacidad de canales, con calidad de imagen y sonido.

4.4. PROYECTOS Y EXPERIMENTOS INALÁMBRICOS DE BANDA ANCHA DE LOS LABORATORIOS AT&T

En esta sección se describe el experimento inalámbrico fijo bidireccional de banda ancha conducido por los Laboratorios AT&T, investigación realizada en Monmouth County, New Jersey, EEUU. El experimento empezó a fines de 1997, y hay doce sitios los cuales son las casas de empleados voluntarios de AT&T. Este opera en el espectro MMDS de 2.6 GHz y está basado en la tecnología del cable módem. La red desplegada está basada en herramientas de monitoreo y administración web que mejora grandemente la administración, diagnóstico y optimización del sistema.

4.4.1. APLICACIONES

La subred de la estación base tiene un servidor FTP y un servidor web, los cuales son utilizados para pruebas, y para proveer funciones de monitoreo y administración de la red. El aprovechamiento de esta capacidad complementa el canal inalámbrico sobre el downstream, el cual excede la capacidad del enlace T1 backhaul (enlace terrestre). Las aplicaciones de usuario soportadas son:

- Teleconmutación
- Voz sobre IP (VoIP)
- Video sobre demanda y difusión de video
- Computación a clientes pequeños

4.4.2. ACCESO DE PAQUETES USANDO MMDS

Una red inalámbrica fija es una opción atractiva para redes de acceso de paquetes de banda ancha. Las redes fijas inalámbricas ofrecen un despliegue rápido, flexible y de bajo costo inicial. El MMDS o sistema de cable inalámbrico fue originalmente diseñado para servicios de difusión de video, cubriendo una sola celda de 10 a 40 km de radio (tecnología similar a la de TV por cable). El primer sistema de datos MMDS, tiene un canal de paquetes de alta velocidad en el downstream (haz de bajada), con el upstream (haz de subida) provisto por un enlace de módem telefónico; esto reduce la velocidad de transmisión del upstream y también requiere

una línea telefónica para los servicios de datos. Una red inalámbrica bidireccional supera estas desventajas, y este experimento fue uno de los primeros sistemas MMDS bidireccional.

Con el crecimiento de popularidad del Internet, el sistema MMDS ha evolucionado ahora a redes de acceso bidireccional. En los sistemas iniciales de una sola celda no hay interferencia cocanal y puede cubrir áreas metropolitanas grandes con suficiente capacidad, el nuevo sistema MMDS tiene que usar una arquitectura con reutilización del espectro de frecuencia.

Los diseños celulares preferidos envuelven relaciones señal a interferencia (SIR) moderadas de 12 a 15 dB en lugar de 25 dB requerido para un downstream con 64 QAM¹. Mientras los despliegues inalámbricos fijos (multiceldas) utilizan esquemas de modulación tales como QPSK y 16 QAM, este sistema experimental de una sola celda usa módems de 64 QAM, ya que los módems de 64 QAM son sensibles a los deterioros de canal (lo cual les proporcionó la oportunidad de estudiar los efectos del canal cercanamente).

4.4.3. ARQUITECTURA DEL SISTEMA EXPERIMENTAL

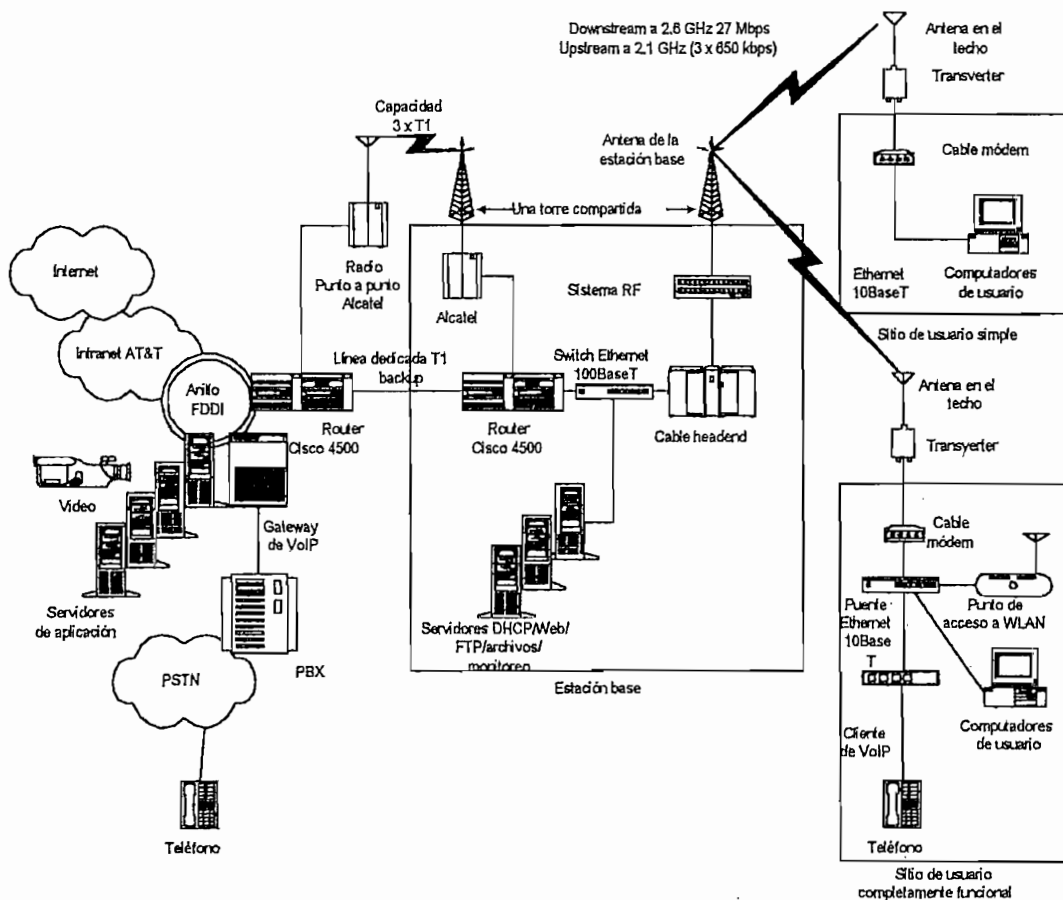


Figura 4.3. Arquitectura del sistema MMDS experimental de AT&T.

La Figura 4.3. describe los componentes del sistema experimental, el cual ha estado operando continuamente desde fines de 1997. Hay 12 sitios de usuario esparcidos a través de Red Bank, área de New Jersey dentro de un radio de 13 km de la estación base, que tienen sistemas de radio caseros y equipos de red de datos IP. Los sitios de usuario son las casas de los empleados voluntarios de AT&T, y además una localidad de los Laboratorios de Investigación de AT&T.

La estación base es conectada a la intranet IP de los laboratorios AT&T (8.5 km de ruta) por un enlace de radio punto a punto con 3 x T1 (4.5 Mbps) de capacidad y un backup (respaldo) por línea terrestre T1². El sistema está basado sobre una tecnología de cable módem de dos vías y el uso de IP como un protocolo de capa de red.

4.4.3.1. SUBSISTEMAS DE RADIO Y MAC

El sistema experimental está basado en el sistema de cable módem comercial HFC (Hybrid Fiber Coax) bidireccional. La estación base alberga un headend de cable que opera en un downstream a 44 MHz y en un upstream de 5 a 40 MHz. Se utilizan cable módems compatibles en los sitios de usuario. Las componentes del sistema son:

a. EQUIPO DE LA ESTACIÓN BASE

Para las señales downstream, la señal de 44 MHz desde el cable headend es convertida a 2.6 GHz y transmitida a 48 dBm de Potencia Radiada Isotrópica Equivalente (EIRP, Equivalent Isotropically Radiated Power), al sitio de usuario. La antena de la estación base tiene una ganancia de 15 dB, 180° de ancho del haz (cardioide) y una altura efectiva de 120 m. Aunque el cable headend fue desarrollado antes, el estándar DOCSIS (Data Over Cable Service Interface Specifications) es adoptado ampliamente en la actualidad, además sus especificaciones son similares a DOCSIS. El ancho del downstream de 6 MHz es utilizado para transporte MPEG-2, el cual lleva paquetes IP a 27 Mbps utilizando 64 QAM a una velocidad de símbolo de 5 MBd, y una cabecera FEC de 3 Mbps³.

Las señales upstream son señales QPSK en ráfaga dentro de canales de 600 kHz. Las señales upstream recibidas son convertidas al rango de 5 a 40 MHz. El cable headend extrae los paquetes IP de usuario desde la señal upstream para ser procesados a una velocidad de 650 kbps⁴. El sistema soporta tres canales upstream asignados a módems de usuarios individuales.

¹ Ref [57] The AT&T Labs Broadband Fixed Wireless Field Experiment. Kim B. Shankaranarayanan N. Henry P. Schlosser K. Fong T. IEEE Communications Magazine. Octubre 1999; pag 56

² Ref [57] The AT&T Labs Broadband Fixed Wireless Field Experiment. Kim B. Shankaranarayanan N. Henry P. Schlosser K. Fong T. IEEE Communications Magazine. Octubre 1999; pag 57

³ Ref [57] The AT&T Labs Broadband Fixed Wireless Field Experiment. Kim B. Shankaranarayanan N. Henry P. Schlosser K. Fong T. IEEE Communications Magazine. Octubre 1999; pag 57

⁴ Ref [57] The AT&T Labs Broadband Fixed Wireless Field Experiment. Kim B. Shankaranarayanan N. Henry P. Schlosser K. Fong T. IEEE Communications Magazine. Octubre 1999; pag 57.

El downstream está continuamente encendido y el upstream es compartido en tiempo usando acceso múltiple basado en poleo.

b. EQUIPO DEL SITIO DE USUARIO

Los sitios de usuario tienen antenas montadas en el techo de 60 cm con 7.5° de ancho del haz y una ganancia de 24 dBi, a una altura efectiva de 3.6 a 9 m¹. La antena está conectada directamente a los transverters que contienen amplificadores upstream/downstream y mezcladores para la conversión up/down. Hay una cantidad pequeña de pérdida y distorsión adicionales debido a la concatenación de las etapas transverter y módem de RF.

Los transverters son montados típicamente cerca de las antenas para minimizar las pérdidas de la señal y conectados vía cables coaxiales de 75 Ω a cables módems, los cuales son colocados internamente. Si es necesario, se utiliza atenuadores para igualar los niveles de potencia de la señal al rango dinámico de entrada de los módems. Los transverters son activados desde el interior a través del cable coaxial de RF usando un acoplador DC. Los cable módems se comunican con los dispositivos de usuario usando una interfaz Ethernet 10BaseT.

4.4.3.2. LA RED IP

La red IP esencialmente consiste de tres redes conectadas: la subred de usuario, la subred de la estación base, y la intranet de los Laboratorios AT&T. En la subred de usuario están todos los dispositivos IP de usuario, y el headend rutea el tráfico IP entre esta subred y la subred de la estación base. El tráfico entre dos sitios de usuario es tratado como tráfico de capa 2 y no implica un ruteo de capa IP. La estación base de la subred utiliza conmutación 100BaseT Ethernet y consta de un servidor de Protocolo de Configuración Dinámica de Host (DHCP, Dynamic Host Configuration Protocol) y otros servidores de aplicaciones. Un router IP de medio rango conecta la estación base de la subred a la intranet de AT&T vía enlaces T1 backhaul. Otro router IP termina esos enlaces T1 dentro de la intranet de AT&T y conecta el Internet como también varios servidores internos de aplicaciones.

4.4.3.3. SISTEMA DE ADMINISTRACIÓN DE RED BASADO EN WEB

La configuración y monitoreo de varias redes y dispositivos computadores inicialmente requieren múltiples y diferentes interfaces (TELNET, FTP, web), cada uno con diferente login. Un sistema de administración de red basado en web fue implementado para integrar varios sistemas de software disponibles al público o comercialmente alrededor de una plataforma

comercial desarrollada para administración de redes. El sistema reside sobre un servidor dentro de la intranet y soporta lo siguiente:

- Monitoreo y configuración de cualquier protocolo de administración de red simple, habilitando dispositivos en el sistema experimental a través de cualquier interfaz browser web en la intranet de AT&T.
- La Base de Información de Administración (MIB, Management Information Base) de SNMP manipulada para interfaces de clientes.
- La colección de datos estadísticos en tiempo real, presentación, y manipulación sobre un browser web utilizando Java Applets.
- Alarmas para falla de dispositivos, degradación en la calidad de la señal y otras condiciones de falla en el cliente vía e-mail, fax o browser web.
- Control remoto de varios servidores y computadores de usuarios dentro de un browser de windows utilizando servidores Java de Redes de Computadoras Virtuales (VNC, Virtual Network Computing), desarrollados por los laboratorios AT&T. Utilizando VNC, los computadores en los sitios de usuarios pueden ser configurados remotamente para participar en experimentos, medida del desempeño y soporte técnico.
- Acceso y control con reconocimiento de captura de paquetes a varias localidades en el sistema. Estos controladores remotos de software reconocen el lugar en la subred, en el sitio de usuario, y la intranet, dado que las implementaciones que lleva SNMP no proveen mucho detalle sobre el tráfico de red. La captura de reconocimiento y análisis de paquetes Ethernet ayudan en la depuración y medida, inclusive medidas de largos períodos.

4.5. SISTEMA DE ENTREGA DE BANDA ANCHA AXITY

ADC Microwave Systems Division es uno de los proveedores de sistemas de transmisión MMDS más grandes del mundo con instalaciones en más de 30 países en América, Asia, Africa, Australia, y Europa. ADC ha trabajado con la FCC para desarrollar nuevas reglas para uso flexible del espectro MMDS para la transmisión de voz, vídeo, y datos bidireccionales. ADC cuenta con su plataforma AXITY que es un sistema de acceso inalámbrico de banda ancha el cual proporciona servicio de datos de alta velocidad².

4.5.1. ARQUITECTURA DEL SISTEMA DE ADC

ADC tiene la tecnología para entregar una solución inalámbrica competitiva para datos de alta velocidad y telefonía IP. Esta plataforma basada en paquetes IP proporciona velocidad de datos en ráfaga de 10 Mbps e inherentemente permite asignación dinámica del ancho de

¹ Ref [57] The AT&T Labs Broadband Fixed Wireless Field Experiment. Kim B. Shankaranarayanan N, Henry P. Schlosser K. Fong T. IEEE Communications Magazine. Octubre 1999: pag 57.

² Ref [31] Global Solutions for MMDS. ADC Telecommunications. 1998. <http://www.adc.com/Corp/BWG/MSD/mmdsbrch.pdf>.

banda para la eficacia espectral MMDS. En la Figura 4.4. se muestra la arquitectura del sistema de ADC¹.

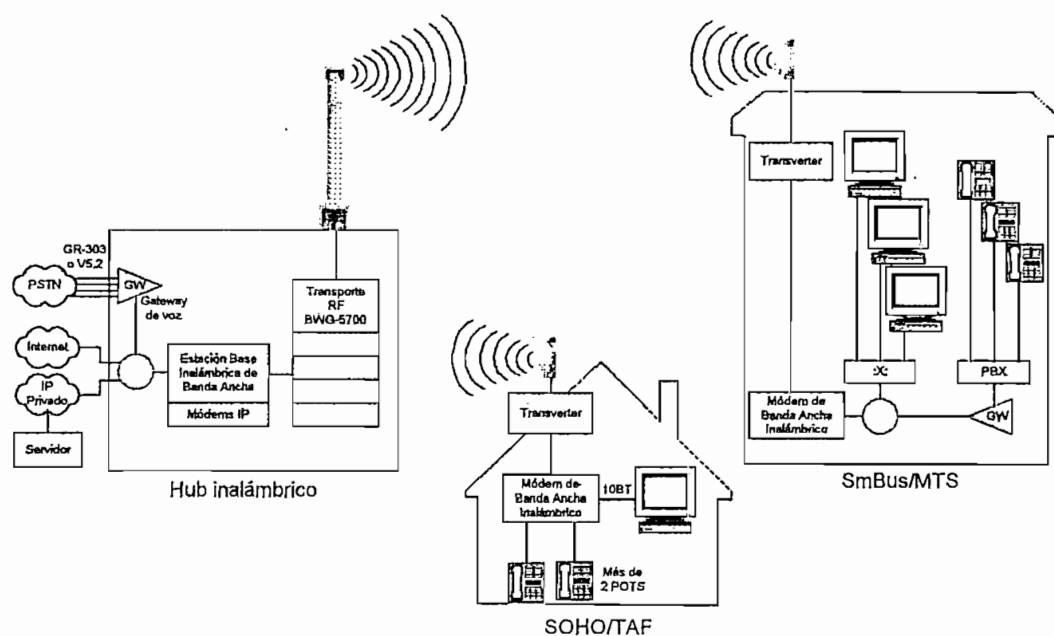


Figura 4.4. Arquitectura del sistema de ADC.

La plataforma de ADC proporciona una interfaz rentable, escalable entre cable módems inalámbricos localizados en pequeños negocios y el backbone de datos/redes telefónicas conmutadas públicas.

4.5.2. ADMINISTRACIÓN DE LA RED MEDIANTE SNMP

Con el sistema SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition), los operadores tienen monitoreo y control remoto en tiempo real del sitio del transmisor vía LAN/WAN o red conmutada. SCADA utiliza SNMP que es aceptada ampliamente en la industria de redes de datos. La importancia de un acercamiento basado en estándares es que esto es interoperable con equipo de otros proveedores que le permite así al operador manejar el sistema entero de una plataforma común. La interfaz gráfica del usuario corre en NT y UNIX².

4.5.3. SOLUCIONES DE BANDA ANCHA DE AXITY

El sistema de acceso inalámbrico de banda ancha Axity entrega un servicio de datos de alta velocidad. Para el downstream ADC utiliza una antena omnidireccional (una celda) para la difusión de información desde una estación base a los suscriptores en el espectro MMDS. En

¹ Ref [31] Global Solutions for MMDS. ADC Telecommunications. 1998. <http://www.adc.com/Corp/BWG/MSD/mmdsbrch.pdf>.

² Ref [31] Global Solutions for MMDS. ADC Telecommunications. 1998. <http://www.adc.com/Corp/BWG/MSD/mmdsbrch.pdf>.

el upstream, desde el suscriptor a la estación base, típicamente utiliza el espectro de MDS (Metropolitan Distribution System). La transmisión de datos en el upstream es a través de TDMA. El Sistema de Terminación de Módem Inalámbrico (WMTS, Wireless Modem Terminal System) localizado en la estación base controla, la asignación del ancho de banda del upstream, y la asignación de los ranuras de tiempo a los suscriptores¹.

El diseño típico para el upstream es dividir en 4 sectores de 90°. El modelo apropiado es que un canal de 6 MHz está disponible para el downstream y un total de 8 MHz está disponible para el upstream. Si el requisito de capacidad de la red aumenta, el diseño del sistema de Axity permite la reutilización de frecuencias para aumentar al máximo el ancho de banda disponible. En la Figura 4.5 se observa el diagrama en bloques de la estación base.

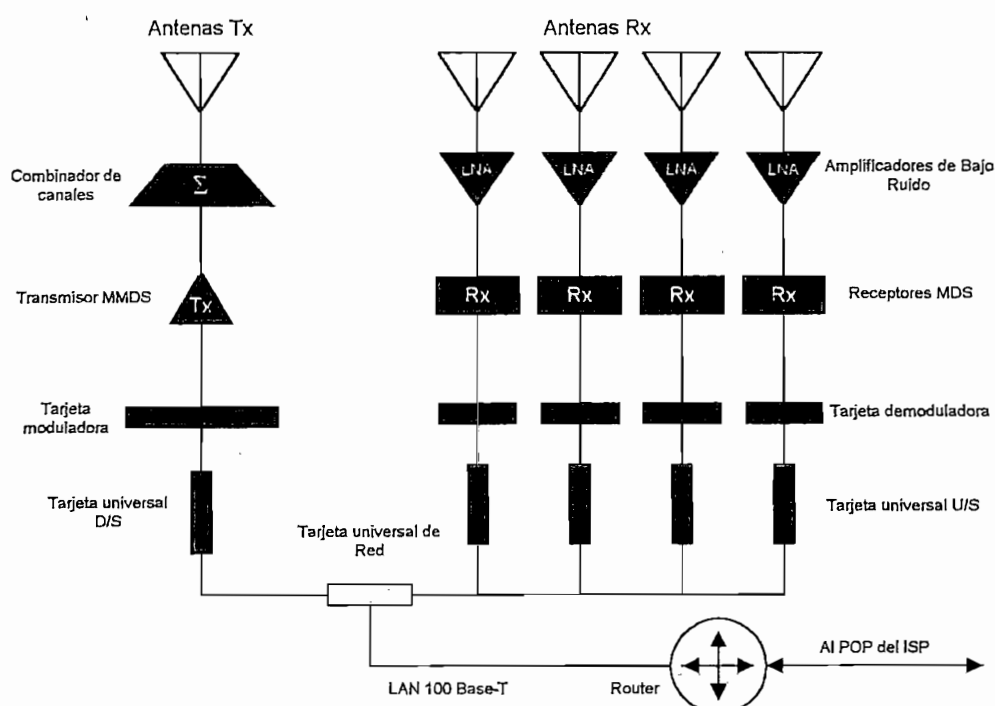


Figura 4.5. Diagrama de bloques del equipo de la estación base.

Dependiendo de la localización del cliente a la estación base, algunos sectores del upstream dentro de la celda pueden tener un número mayor de frecuencias asignados para mayor capacidad de tráfico. Para lugares comerciales se tiene un flujo de datos downstream (D/S) de 512 kbps y upstream (U/S) de 256 kbps; para un usuario residencial el flujo de datos downstream (D/S) de 256 kbps y upstream (U/S) de 64 kbps.

En el downstream, el orden de la modulación se puede seleccionar: QPSK, 16 QAM, 64 QAM, 256 QAM. El tráfico upstream es subcanalizado dentro de 4 canales de 1.6 MHz con cada

¹ Ref [7] Axity Capacity Package A Rev 2-0-1. Brad J. Ruth, ADC Telecommunications. Abril 2000. <http://www.adc.com/bwg>.

sector del upstream usando un solo canal de 1.6 MHz. El orden de la modulación para el upstream es QPSK¹.

La ventaja de la plataforma de Axity es su habilidad de compartir el espectro entre los múltiples usuarios, y para asignar el ancho de banda dinámicamente (de acuerdo a la prioridad). Cuando un usuario requiere de un alto ancho de banda, una porción mayor del espectro puede asignarse a él, por un período corto de tiempo (ancho de banda instantáneo del cliente pueden ser sumamente alto).

4.5.4. ENLACE UPSTREAM Y DOWNSTREAM

A continuación se muestra el diagrama en bloques simplificado de un enlace downstream y upstream. Figura 4.6².

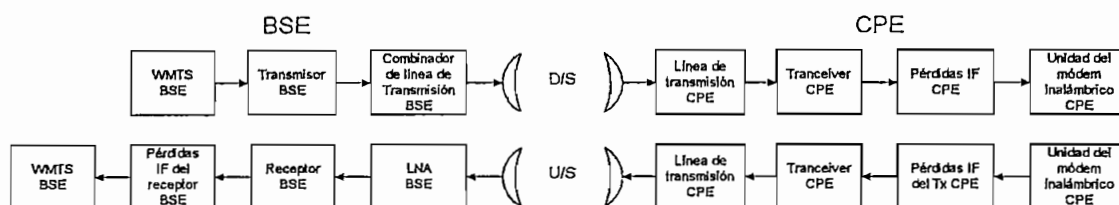


Figura 4.6. Diagramas de los enlaces downstream y upstream

4.5.4.1. ENLACE DOWNSTREAM

El BSE WMTS proporciona una señal de IF de 44 MHz al transmisor BSE (Base Station Equipment). El Transmisor BSE proporciona un Control de Ganancia de Transmisión (TGC, Transmit Gain Control) para que tenga la misma potencia promedio de salida para una gama amplia de niveles de entrada.

La Unidad de Módem Inalámbrica (WMU, Wireless Modem Unit) del CPE tiene parámetros para el punto de ajuste de la entrada de potencia que se selecciona para proporcionar un rango dinámico adecuado en el WMU. La diferencia entre un mínimo y un máximo se requiere para que dependiendo de la estación, el día, y las variaciones del equipo no cause la señal recibida una sobre carga al receptor. Así el punto de equilibrio de la entrada de potencia realizará un balance entre la variación de la estación y el día en el extremo máximo y el margen de desvanecimiento requerido para el mínimo extremo.

¹ Ref [7] Axity Capacity Package A Rev 2-0-1. Brad J. Ruth, ADC Telecommunications. Abril 2000. <http://www.adc.com/bwg>.

² Ref [7] Axity Capacity Package A Rev 2-0-1. Brad J. Ruth, ADC Telecommunications. Abril 2000. <http://www.adc.com/bwg>.

La atenuación IF del downstream es ajustada hasta que la potencia de la señal recibida es igual a la potencia del punto de ajuste. En el caso de enlaces de gran alcance, la atenuación IF debe ser reducida a su valor mínimo. Para un BER de 1×10^{-6} el umbral CNR (Carrier to Noise Ratio) basado en pruebas debe ser de 17.9 dB para 16 QAM¹.

4.5.4.2. ENLACE UPSTREAM

El Módem BSE tiene un parámetro de ajuste de la entrada de potencia que determina el nivel de la señal al cual todos los módems están inicialmente en un rango y subsecuente los niveles de potencia para el Control de Potencia de Lazo Cerrado (CLPC, Closed Loop Power Control). La combinación de un nivel señal fija (mediante CLPC) y ruido fijo (dentro de WMTS), obviamente produce, un CNR fijo en el WMTS bajo condiciones ideales (sin desvanecimiento). El algoritmo de CLPC compensa para las variaciones de la estación/día (típico de 6 a 12 dB) y los cambios de gran escala en la pérdida del camino. De acuerdo con, el algoritmo tiene un tiempo relativamente lento constante (>1 segundo) y no puede rastrear el desvanecimiento rápidamente.

La potencia de salida de la unidad de módems inalámbricos está bajo el control directo del WMTS, se debe tener cuidado para mantener entre un mínimo y máximo adecuado en el transceiver WMU y CPE. El punto de ajuste de la potencia de salida del módem CPE es seleccionado para mantener una adecuada operación entre un mínimo y máximo en el CLPC. ADC ha realizado numerosas pruebas para cuantificar la calidad de desempeño del upstream. Desde las condiciones espalda con espalda del módem, desempeño de 1×10^{-6} se obtiene a 12 dB de CNR con 1.28 kBd QPSK¹.

4.6. EL SISTEMA MMDS EN EL ECUADOR

En el Ecuador el rango de frecuencia para el sistema MMDS ha sido utilizado en forma muy desordenada, saliéndose de las normas internacionales las cuales ya tienen una asignación específica. Este caos se debe a que no ha existido una regulación clara y apropiada o normas establecidas por el Consejo Nacional de Telecomunicaciones hasta la fecha actual. En estos últimos años se espera su normalización para que este espectro de frecuencias sea utilizado legalmente de acuerdo a las normas internacionales.

4.6.1. UTILIZACIÓN DEL ESPECTRO EN EL ECUADOR

En nuestro país se usa el rango de frecuencia MMDS de manera inadecuada en muchas aplicaciones como: enlaces punto a punto o en LANs inalámbricas dentro de las industrias, etc.

¹ Ref [7] Axity Capacity Package A Rev 2-0-1. Brad J. Ruth. ADC Telecommunications. Abril 2000. <http://www.adc.com/bwg>.

Por otro lado, también se utilizan en el sistema MMDS en un porcentaje bajo como en el caso de UNIVISA.

La Policía Nacional también está haciendo uso del espectro MMDS, trayendo graves consecuencias al sistema de TV de UNIVISA, este problema está tratándose de resolver entre las partes interesadas.

4.6.2. SISTEMA MMDS DE UNIVISA

UNIVISA es una empresa que proporciona el servicio de TV inalámbrica utilizando el espectro de frecuencia MMDS, este sistema tiene una concesión de 20 canales en este rango. Actualmente esta empresa presta sus servicios en cinco ciudades: Quito, Guayaquil, Portoviejo, Manta y Ambato, así como sus alrededores que tengan línea de vista.

Por las características del terreno solo en la ciudad de Quito cuenta con un transmisor ubicado en el Pichincha y con tres repetidores ubicados en: Atacazo, Puengasí y San Francisco Mirador; el objetivo de los repetidores es dar servicio a las áreas que no tienen línea de vista con el transmisor principal. El headend de video se encuentra localizado en el mismo sitio del transmisor, es decir, en el Pichincha. Aquí se hace la recepción de canales de TV satelitales los cuales luego de su procesamiento hasta llegar a banda base, se vuelve a procesar y acondicionar estas señales a las características que requiere MMDS.

El sistema cuenta además con un radioenlace desde la matriz de UNIVISA hasta el Pichincha el cual permite tener programación local; también sirve para realizar el control del servicio pague por ver desde un computador, insertando datos de control en la portadora de audio, estos datos son decodificados en la caja set-top y sirven para habilitar o deshabilitar todo o parte de los canales que se transmiten al suscriptor. Este radioenlace trabaja a la frecuencia de 6 MHz.

4.7. PROPUESTA DE NORMALIZACIÓN PARA EL USO DE TRANSMISIONES UNIDIRECCIONALES PARA MMDS

Debido a que en el Ecuador no se encuentra normalizado el sistema MMDS, nosotros proponemos un modelo de normalización para usar transmisiones unidireccionales utilizando MMDS. Por ser la televisión la principal aplicación del MMDS unidireccional el Consejo Nacional de Telecomunicaciones (CONATEL) y el Consejo Nacional de Radio y Televisión (CONARTEL) deben considerar un reglamento propuesto por operadores de sistemas MMDS o

¹ Ref [7] Axity Capacity Package A Rev 2-0-1. Brad J. Ruth. ADC Telecommunications. Abril 2000. <http://www.adc.com/bwg>.

propuestas como la nuestra para el uso de transmisiones unidireccionales en las frecuencias del Sistema de Distribución Multipunto Multicanal (MMDS).

Nuestra propuesta tiene como base y referencia directa las reglas y regulaciones de la FCC y la Recomendación J-150 de la UIT-T. Nosotros alentamos al CONATEL, CONARTEL y a los operadores a expresar sus opiniones sobre este modelo.

La Recomendación UIT-T J-150 define los sistemas A, B, C y D para implementar nuevos servicios digitales multiprogramas por sistemas inalámbricos MMDS, cada uno de estos con estructura de trama, codificación de canal y modulación definidos. Una vez que el CONARTEL elija uno o varios de estos sistemas se seguirá con el proceso de normalización, aunque para nuestro parecer el sistema que más se acerca a la realidad de nuestro país es el sistema "C", por sus características (Anexo 4). Lo siguiente resume las reglas y regulaciones para proporcionar servicios unidireccionales.

4.7.1. DEFINICIONES

En esta sección se indicará algunas definiciones que servirán posteriormente para sustentar nuestra propuesta.

4.7.1.1. SERVICIO MMDS

Las redes radioeléctricas de distribución punto multipunto de banda ancha MMDS, son aquellas que permiten la emisión, transmisión, distribución y recepción de señales de televisión, punto multipunto para la prestación de servicios de telecomunicaciones, mediante el uso del espectro radioeléctrico que para tal objeto atribuye el CONATEL junto al CONARTEL.

El sistema utiliza el espectro de microonda en el rango de 2.1 a 2.7 GHz mientras proporciona servicios de red multipunto. El servicio MMDS utiliza una tecnología con línea de vista. Obstrucciones de terreno tales como montañas, edificios altos y follaje localizados entre el sitio transmisor y del suscriptor pueden impedir la recepción de una señal de calidad.

4.7.1.3. ATRIBUCIÓN DE FRECUENCIAS

La Secretaría Nacional de Telecomunicaciones (SENATEL) al elaborar el plan de frecuencias atribuirá las frecuencias utilizadas para el establecimiento de sistemas radioeléctricos de distribución punto multipunto de banda ancha con tecnología MMDS, atendiendo recomendaciones internacionales o en su defecto distribuciones nacionales de otros países de general aceptación, que garanticen la pluralidad de proveedores de tecnología en las bandas

atribuidas, y que garanticen la satisfacción de las necesidades propias en materia de servicios de telecomunicaciones de la República del Ecuador, que prevean el desarrollo de nuevos servicios y que tengan como resultado el uso eficiente y racional del espectro radioeléctrico. Los canales MMDS ocupan 6 MHz de ancho de banda y son designados como siguen:

- | | |
|-------------------------------|--------------------------------|
| 1. Canal A1: 2500 - 2506 MHz | 17. Canal E1: 2596 - 2602 MHz |
| 2. Canal A2: 2512 - 2518 MHz | 18. Canal E2: 2608 - 2614 MHz |
| 3. Canal A3: 2524 - 2530 MHz | 19. Canal E3: 2620 - 2626 MHz |
| 4. Canal A4: 2536 - 2542 MHz | 20. Canal E4: 2632 - 2638 MHz |
| 5. Canal B1: 2506 - 2512 MHz | 21. Canal F1: 2602 - 2608 MHz |
| 6. Canal B2: 2518 - 2524 MHz | 22. Canal F2: 2614 - 2620 MHz |
| 7. Canal B3: 2530 - 2536 MHz | 23. Canal F3: 2626 - 2632 MHz |
| 8. Canal B4: 2542 - 2548 MHz | 24. Canal F4: 2638 - 2644 MHz |
| 9. Canal C1: 2548 - 2554 MHz | 25. Canal G1: 2644 - 2650 MHz |
| 10. Canal C2: 2560 - 2566 MHz | 26. Canal G2: 2656 - 2662 MHz |
| 11. Canal C3: 2572 - 2576 MHz | 27. Canal G3: 2668 - 2674 MHz |
| 12. Canal C4: 2584 - 2590 MHz | 28. Canal G4: 2680 - 2686 MHz |
| 13. Canal D1: 2554 - 2560 MHz | 29. Canal H1: 2650 - 2656 MHz |
| 14. Canal D2: 2566 - 2572 MHz | 30. Canal H2: 2662 - 2668 MHz |
| 15. Canal D3: 2578 - 2584 MHz | 31. Canal H3: 2674 - 2680 MHz. |
| 16. Canal D4: 2590 - 2596 MHz | |

Además se incorporan 31 canales de respuesta de 125 kHz cada uno los cuales no llevan señales de video y se denominan canales "I" y ocupan el rango de frecuencias comprendido entre 2686 – 2690 MHz.

4.7.1.3. ESTACIONES REPETIDORAS DE SEÑAL

Debe darse también la definición para las estaciones repetidoras de señal para permitir a tales estaciones originar transmisiones, retransmisiones de otras estaciones así como promover operaciones de cable inalámbrico celularizados. Estas estaciones repetidoras de señal se requieren para completar la transmisión en áreas donde no existe línea de vista y que el transmisor MMDS no puede cubrir. Se debe requerir también que todas los concesionarios de estaciones repetidoras posean un permiso. Una estación repetidora de señal recibirá protección de interferencia dentro de su Área de Servicio Protegida (PSA, Protected Service Area) que está a 56 km del transmisor principal. Las estaciones repetidoras podrían servir como sitios de recepción más allá del PSA de la estación repetidora, aunque tales sitios de recepción no ofrezcan protección. Las estaciones repetidoras no pueden tener áreas de servicio sobrelapadas.

4.7.2. PROBLEMAS DE PROCEDIMIENTO DE PETICIÓN

Trataremos los posibles problemas que se encontrarían al tratar de obtener permisos de operación del sistema MMDS unidireccional y sus posibles soluciones.

4.7.2.1. REGISTRO INICIAL DE UNA SEMANA

Se propone abrir una semana el registro de almacenamiento para regular el archivo inicial de peticiones para estaciones transmisoras o repetidoras. Este registro se anunciará por aviso público. Todas las peticiones archivadas en este registro serán consideradas como si fueran archivadas el mismo día. Cualquier petición que se archive en este registro que cause interferencia a otra no será considerada mutuamente exclusiva. Más bien, se requerirá que tales solicitantes resuelvan sus conflictos de interferencia de una manera que permita la concesión de ambas peticiones. Un fracaso por resolver los conflictos de interferencia producirá el rechazo de ambas peticiones.

Después de la primera semana de apertura del registro de almacenamiento, se emitirá un aviso público que identifique todas las peticiones. Los solicitantes tendrán un período (60 días¹) desde esa fecha para archivar enmiendas que resuelvan cualquier conflicto de interferencia. Tales enmiendas no pueden causar interferencia adicional a estaciones previamente propuestas o autorizadas. Ninguna nueva petición puede someterse durante este tiempo.

Al cabo de este período, se emitirá un segundo aviso público listando todas las peticiones que se han aceptado. Esto comenzará un segundo período (60 días) durante el cual las partes interesadas pueden archivar las peticiones para negar. En el día siguiente a este segundo período del aviso público, todas las peticiones contrarias y certificadas apropiadamente serán concedidas. Desde ese día las peticiones adelantadas y nuevas pueden archivar en cualquier momento. Esto comenzará el procedimiento de almacenamiento "en el registro de almacenamiento deslizante".

4.7.2.2. REGISTRO DE ALMACENAMIENTO DESLIZANTE

En el día siguiente (61° día) después de iniciado el segundo período del aviso público, el primer día, el sistema de registro de almacenamiento tomará efecto. A estas alturas, las peticiones para las estaciones transmisoras pueden someterse en cualquier momento y cada día en el cuál uno o más peticiones están sometidas a juzgarse en un "registro". Las peticiones archivadas el mismo día y que causan interferencia a otros debe rectificarse por las partes interesadas antes de que el CONATEL y la SUPTEL concedieran sus peticiones. Tales

peticiones deben proteger todas las estaciones propuestas o autorizadas previamente, también puede exigirse protección de las peticiones archivadas posteriormente.

Para cada "registro", un aviso público será emitido anunciando un período (60 días) en el que permita a las partes interesadas archivar una petición para negar. Si ninguna petición se recibe, la(s) petición(es) se concederá(n). Si una petición para negar se archiva, el peso de demostrar que una instalación propuesta no causará interferencia quedará con el solicitante que propone tales señales. Cualquier nueva instalación que cause interferencia no autorizada a cualquier instalación protegida, sin tener en cuenta si una petición fue o no negada se somete durante el período de aviso público, debe dejar de operar inmediatamente hasta que la nueva estación pueda eliminar la interferencia.

4.7.2.3. PROCEDIMIENTOS DE PETICIÓN

Las autorizaciones MMDS serán adjudicadas por subasta para cada área geográfica conocida como Area Comercial Básica (BTA). Un concursante para una BTA será autorizado para un cierto número de canales MMDS vacantes en todo la BTA, sujeto al derecho de protección de interferencia de concesionarios existentes, los cuales son aceptados a una área de servicio protegida de 56 km. Aunque a un ganador de la subasta se le emitirá una autorización de cobertura para el BTA, esto todavía puede archivar peticiones prolongadas separadas para cada canal MMDS (o grupo de canales) siguiendo la subasta. También, donde las peticiones para reconsideración o reintegración de autorizaciones MMDS pendientes.

Los ganadores de la subasta tendrán un período (5 años²) durante el cual ellos pueden iniciar o expandir el servicio dentro de su BTA autorizada sin competición de otros solicitantes. Se permitirá a las BTAs ser particionadas y a los propietarios de las autorizaciones BTA se les permitirá contratar con otras entidades permitiéndoles archivar peticiones para canales disponibles dentro de la subregión. Al archivar una petición, el solicitante debe:

1. Demostrar que tiene solvencia económica.
2. Someter por duplicado el análisis de ingeniería avalizado por un Ingeniero Electrónico y/o en Telecomunicaciones, y todas las extensas certificaciones y exhibiciones requeridas por las reglas y regulaciones adoptadas, como documento y en disquete, al CONATEL para sus archivos de servicio público.
3. Servir a todas las partes potencialmente afectadas con una copia y el análisis completo de ingeniería.

¹ Ref [22] Everything you always wanted to know about wireless cable...But were afraid to ask. Rini Bob. Coran Steve. Lancellota Steve. Washington D.C. 1995: pag 6

² Ref [42] NPRM on two way transmission in the MDS/MMDS/ITFS spectrum bands. Fcc97-360. Federal Communications Commission. Washington D.C. Enero 1998. http://www.fcc.gov/Bureaus/Mass_Media/Notices/1997/fcc97360.txt.

Como parte de este proceso, el solicitante es requerido para certificar que estos materiales se proporcionaron verdaderamente al CONATEL. La petición debe estar completa y además la certificación debe ser notariada. El fracaso para proporcionar esta certificación producirá el desecho de la petición.

El personal revisará la documentación para asegurar que todos los materiales requeridos están incluidos. Las peticiones completas aparecerán entonces en el aviso público sin la revisión minuciosa y, si no tiene oposición, se concederá. Sin embargo, la operación de una nueva instalación podría causar interferencia no autorizada a una instalación protegida, la nueva instalación debe dejar de operar inmediatamente hasta que tal interferencia pueda solucionarse, sin tener en cuenta si una petición para negar fue archivada o la interferencia no fue pronosticada a ser causada a la instalación protegida.

La Superintendencia de Telecomunicaciones (SUPTTEL) debe dirigir auditorías al azar para asegurar que los solicitantes estén obedeciendo las reglas impuestas, particularmente en lo que se refiere a obedecer las certificaciones hechas en la petición. En caso de un solicitante certificado inapropiadamente una petición o tal petición conteniendo un error, el personal desechará la petición o, si ya emitió, revocará la licencia. Si el error fuera encontrado hecho con mala intención, una confiscación monetaria también puede imponerse o el caso puede ser designado para audiencia.

Se esperará que los solicitantes estimen el número máximo de estaciones de transmisión que servirán a cada estación repetidora. Este número debería incrementar, la licencia requerida para modificar su autorización acordada.

4.7.3. INTERFERENCIA

El proceso de ingeniería de una aplicación explica totalmente las fórmulas y ecuaciones a ser usadas al diseñar tal sistema. En la preparación del registro de almacenamiento inicial, se creará una nueva base de datos que incluirá toda la información técnica del sistema MMDS así como toda la información técnica con respecto a las estaciones transmisoras.

Se requerirá que las estaciones propuestas encuentren relaciones de protección de interferencia D/U de 45 dB para la interferencia cocanal y de 0 dB para la interferencia de canal adyacente¹ y la protección estándar en los bordes de -73 dBW/m^2 de densidad de flujo de potencia². Estas normas serán usadas cuando se calcule la interferencia de múltiples estaciones autorizadas en el transmisor autorizado, así como en las situaciones donde las

¹ Ref [22] Everything you always wanted to know about wireless cable...But were afraid to ask. Rini Bob. Coran Steve. Lancellota Steve. Washington D.C. 1995: pag 3.

² Ref [22] Everything you always wanted to know about wireless cable...But were afraid to ask. Rini Bob. Coran Steve. Lancellota Steve. Washington D.C. 1995: pag 2.

señales de las estaciones principales, repetidora (para sistemas analógicos y digitales) debe combinarse para determinar los niveles de interferencia. Tales análisis de ingeniería también tendrán en cuenta los niveles de señales recibidas reales de las señales deseadas y no deseadas en el sistema de protección del receptor. Se permiten a las estaciones operar a 33 dBW de EIRP, aunque no se espera que la mayoría de los sistemas utilicen el nivel de potencia máximo.

La SUPTEL debe reiterar su compromiso para dejar inmediatamente fuera de funcionamiento parte o todo de cualquier sistema que está causando interferencia si el concesionario no ha cooperado totalmente de una manera oportuna para eliminar tal interferencia. Se espera que el concesionario de una estación ofensiva comience un esfuerzo cooperativo con cualquier concesionario que reciba interferencia para resolver el problema lo más rápido posible a expensas del concesionario ofensivo. Si el concesionario suspende rápida e inadecuadamente realizar estas obligaciones, se tomará la acción remedial apropiada. La SUPTEL debe ser muy seria y no tolerará tal interferencia.

4.7.4. NORMAS TÉCNICAS

Para establecer las normas técnicas que contiene esta propuesta basamos nuestras afirmaciones en los capítulos presentados anteriormente.

4.7.4.1. CANALIZACIÓN

Se permitirá a los concesionarios "subcanalizar" y "supercanalizar" los canales de 6 MHz y 125 kHz para permitir la máxima flexibilidad de operación posible.

La subcanalización es la división de un canal normal de ancho de banda fijo en múltiplos, aunque no necesariamente iguales, los canales de menor ancho de banda. La supercanalización es la agregación de múltiples canales contiguos de ancho de banda normal en canales de ancho de banda más grande. Tal modificación de canales no requerirá nuevo permiso.

La autorización MMDS continuará siendo emitida en divisiones de canales de 6 MHz y por consiguiente a los grupos de canales tradicionales. La supercanalización será realizada en acuerdo con los convenios entre los varios concesionarios involucrados. Sin embargo, los concesionarios deben prevenirse que cada concesionario cuyas frecuencias comprenden un super canal se sostendrá individual y conjuntamente responsable con otros concesionarios contribuyendo para asegurar que todas las operaciones obedezcan las reglas establecidas.

4.7.4.2. MÉTODOS DE MODULACIÓN

Además de los formatos de modulación digital QAM y VSB, se permitirán también el uso de otros formatos de modulación digitales donde tal uso puede demostrarse para estar dentro de los confines de los estándares de protección de interferencia para los servicios MMDS.

4.7.4.3. MÁSCARA ESPECTRAL

Para las señales digitales, la uniformidad de potencia es esencial para producir una señal "como ruido" la cual puede evaluarse para propósitos de interferencia como si ninguna parte de la señal tuviera mayor (o menor) impacto de interferencia que cualquier otra porción de la señal. Por consiguiente, se continuará el requisito de densidad espectral uniforme de potencia, incluso el requisito para la dispersión de energía continua durante tiempos de no modulación, usando 6 MHz como el ancho de banda de referencia para las limitaciones de potencia.

4.7.4.4. TOLERANCIA DE FRECUENCIA Y CERTIFICACIÓN DE EQUIPO

El requisito de tolerancia de frecuencia de +/- 1 kHz se establecerá para la estación principal y todos los transmisores digitales y analógicos. También se retendrá para todos los transmisores repetidores digitales y analógicos con un EIRP que excede -9 dBW. Para todos los transmisores y repetidores con EIRP menor que -9 dBW, ningún requisito de tolerancia de frecuencia se impondrá.

Todos los transmisores principales y repetidores deben recibir la certificación. El uso de equipo análogo no certificado existente para emisiones digitales también se permite todavía, si las emisiones generadas por este equipo conforman las especificaciones de la máscara espectral apropiadas.

4.8. PROPUESTA DE NORMALIZACIÓN PARA EL USO DE TRANSMISIONES BIDIRECCIONALES PARA MMDS

En esta sección se propone un modelo de normalización para transmisiones bidireccionales utilizando MMDS. El CONATEL, CONARTEL y SENATEL conjuntamente deben conceder un reglamento propuesto por operadores de sistemas MMDS o propuestas como ésta para el uso de transmisiones bidireccionales en el rango de frecuencias MMDS.

Esta propuesta tiene como base y referencia directa solamente las nuevas reglas de la FCC que tienen efecto desde el 24 de enero de 1999 en los Estados Unidos de Norte América.

Nosotros alentamos a los Organismos nombrados anteriormente y a los operadores a expresar sus opiniones sobre este modelo.

4.8.1. DEFINICIONES

De la misma manera que en el apartado anterior, se indicará algunas definiciones que servirán posteriormente para sustentar la propuesta en las transmisiones bidireccionales.

4.8.1.1. SERVICIO MMDS

Se debe extender la definición de MMDS para crear un servicio totalmente flexible en el que los concesionarios puedan proporcionar servicio unidireccional o bidireccional en respuesta a las demandas del mercado competitivo. Anteriormente, sólo el servicio unidireccional con una capacidad limitada en el uso de canales de respuesta fue permitido. Se debe agregar ahora el uso de estaciones de respuesta y hubs de estación de respuesta. Las estaciones de respuesta permiten la transmisión upstream de los predios del suscriptor a un hub de estación de respuesta. El hub de estación de respuesta sirve como punto de recolección para señales de las estaciones de respuesta y, si es necesario, enviar estas señales al sitio de transmisión.

Esta configuración permite a las estaciones de respuesta operar a un nivel de potencia bajo, puesto que los hubs de estación de respuesta estarán más cerca a los suscriptores que al sitio de transmisión. Debe prevenirse el uso de canales entrelazados, un grupo de canales para las transmisiones upstream y el grupo de canales adyacentes para las transmisiones downstream. Cualquier parte de un canal MMDS puede usarse como un canal de respuesta.

4.8.1.2. ASIGNACIÓN DE FRECUENCIAS

Para el servicio MMDS bidireccional se incorporan los canales MDS, estos canales ocupan 6 MHz de ancho de banda, por lo tanto los canales downstream existentes son los mismos usados en el sistema MMDS unidireccional (4.7.1.2) y se agregan los siguientes:

1. Canal MDS-1: 2150 - 2156 MHz.
2. Canal MDS-2: 2156 - 2162 MHz

Se puede utilizar solo una parte del canal MDS-2, la cual se denomina MDS-2A que tiene un ancho de banda de 4 MHz en el rango 2156 - 2160 MHz. Además se incorporan 31 canales de respuesta de 125 kHz cada uno y se denominan canales "I" y ocupan el rango de 2686 - 2690 MHz.

4.8.1.3. ESTACIONES REPETIDORAS DE SEÑAL

La definición para las estaciones repetidoras de señal también se ha extendido para permitir a tales estaciones originar transmisiones y retransmisiones de otras estaciones. Su definición es la misma que se dio en los sistemas unidireccionales (4.7.1.3)

4.8.2. PROBLEMAS DE PROCEDIMIENTO DE PETICIÓN

A continuación describimos los problemas que se tendrían cuando se trate de obtener permisos de operación de los servicios bidireccionales y sus posibles soluciones.

4.8.2.1. REGISTRO INICIAL DE UNA SEMANA

Se propone abrir una semana el registro de almacenamiento para regular el archivo inicial de peticiones para hubs de estación de respuesta o estaciones repetidoras de respuesta. Este registro se anunciará por aviso público. El procedimiento para la obtención de permisos MMDS bidireccional es el mismo que en el sistema unidireccional (4.7.2.1), con la diferencia en el uso de hubs de estación de respuesta o estaciones repetidoras de respuesta.

4.8.2.2. REGISTRO DE ALMACENAMIENTO DESLIZANTE

Un día después (61° día) de iniciado el segundo período del aviso público, el primer día el sistema de registro de almacenamiento tomará efecto. En estas instancias, las peticiones para los hubs de estación de respuesta pueden someterse en cualquier momento y cada día en el cuál uno o más peticiones bidireccionales están sometidas a juzgarse en un registro. Para archivar peticiones se procede de igual manera que en los sistemas unidireccionales (4.7.2.2)

4.8.2.3. PROCEDIMIENTOS DE PETICIÓN

Todas las peticiones deben estar completas cuando se someten a los Organismos para ser procesadas. El solicitante ahora debe certificar específicamente en su petición que ha reunido todos los requisitos con respecto a la protección de interferencia a instalaciones existentes y propuestas con prioridad y que ha servido a todas las partes potencialmente afectadas.

Por otra parte, el solicitante no puede certificar cuando archiva su petición que ha reunido los requisitos de interferencia y sin tal certificación, su petición se desechará. Tales certificaciones son muy importantes puesto que el CONARTEL ya no dirigirá las revisiones de ingeniería independientes de cada petición archivada pero confiará en estas certificaciones para

determinar si una petición está completa. Al archivar una petición, el solicitante debe proceder como en el caso de los sistemas unidireccionales (4.7.2.3).

Debe notarse que la autorización de la estación actual emitida para una estación que utiliza transmisiones bidireccionales incluirá solo información técnica con respecto al hub de estación de respuesta y no de la estación de respuesta actual. Sólo se proponen teóricamente tales estaciones de respuesta en la petición, desde que ellas ofrecen sus servicios a los suscriptores del sistema y desde que estas estaciones de respuesta estarán operando a niveles de potencia bajos. Se esperarán que los solicitantes estimen el número máximo de estaciones de respuesta que servirán cada hub de estación de respuesta. Este número debería incrementar la licencia requerida para modificar su autorización acordada.

4.8.2.4. CONMUTACIÓN ENTRE EL ESTADO DE PORTADORA COMÚN Y NO COMÚN

Para proporcionar máxima flexibilidad, se permitirá licencias para conmutar desde el estado de portadora común a no común, o viceversa, sin buscar las autorizaciones subsecuentes. Las licencias que desean hacer un cambio sólo necesitan someterse a un período (30 días¹) después del aviso de tales cambios al CONATEL.

4.8.3. INTERFERENCIA

El proceso de ingeniería de aplicaciones bidireccionales explica las fórmulas y ecuaciones a ser usadas al diseñar el sistema. Las reglas sobre interferencia, utilizadas para el sistema MMDS unidireccional (4.7.3) en los transmisores son idénticas para los hubs de estación de respuesta.

Los sitios de recepción MMDS podrían ser afectados adversamente por sobrecargas del downconverter, se exigirá a un concesionario de hub de estación que notifique a cualquier concesionario MMDS formalmente, cuando una estación de respuesta sea localizada en la vecindad de cualquier sitio de recepción del concesionario MMDS. Específicamente, una zona de notificación con un radio de 600 m alrededor de cada sitio de recepción MMDS ha sido creada.

Se requiere dar un aviso certificado al concesionario MMDS correspondiente, dentro de un período (mínimo 20 días) posterior a la activación de cualquier estación de respuesta dentro de tal zona, tal aviso debe proporcionar información técnica y de contacto específicos.

¹ Ref [42] NPRM on two way transmission in the MDS/MMDS/ITFS spectrum bands. Fcc97-360. Federal Communications Commission, Washington D.C. Enero 1998. http://www.fcc.gov/Bureaus/Mass_Media/Notices/1997/fcc97360.txt.

La SUPTEL debe realizar el mismo procedimiento que en el sistema unidireccional (4.7.3) en caso de no respetar los acuerdos acerca de la interferencia. La SUPTEL debe ser muy seria y no tolerará tal interferencia.

4.8.4. NORMAS TÉCNICAS

Analizamos a continuación la propuesta de normalización técnica que tiene que ver con las transmisiones bidireccionales.

4.8.4.1. CANALIZACIÓN

El concepto de subcanalizar y supercanalizar es el mismo que en los sistemas unidireccionales (4.7.4.1). La diferencia es que las reglas establecidas deben permitir a los concesionarios escoger "estáticamente" y "dinámicamente" el ancho de banda a usarse en sus estaciones.

El uso estático ocurre cuando un concesionario configura su sistema para que los anchos de banda usados en todas sus estaciones sean fijos e inmutables. El uso dinámico ocurre cuando los anchos de banda en uso puedan cambiar para acomodar la transmisión inteligente, por ejemplo, la transmisión de un flujo de datos seguida por la transmisión de una señal de video.

4.8.4.2. MÉTODOS DE MODULACIÓN

Además de los formatos de modulación digital QAM y VSB, se permitirán también el uso de una forma adicional de modulación, QPSK y el protocolo CDMA. Se permitirán también otros formatos de modulación digitales donde tal uso puede demostrarse para estar dentro de los confines de los estándares de protección de interferencia para los servicios MMDS bidireccional.

4.8.4.3. MÁSCARA ESPECTRAL

El concepto de máscara espectral es similar al descrito en el sistema MMDS unidireccional (4.7.4.3). Se continuará el requisito de densidad espectral uniforme de potencia, incluso el requisito para la dispersión de energía continua durante tiempos de no modulación, usando 6 MHz como el ancho de banda de referencia para las limitaciones de potencia.

4.8.4.4. TOLERANCIA DE FRECUENCIA Y CERTIFICACIÓN DE EQUIPO

Para la tolerancia de frecuencia y certificación del equipo se debe cumplir los mismos requisitos que en los sistemas MMDS unidireccionales (4.7.4.4).

4.8.4.5. PROTECCIÓN DE LAS EMISIONES DE RF

Se requiere que el equipo de respuesta del suscriptor sólo sea instalado por el concesionario de la estación hub, sus empleados o sus agentes. Además, los concesionarios MMDS que emplean tecnología bidireccional deben sujetarse a los niveles eminentes a cada transceiver del suscriptor referido a las normas establecidas. El nivel sujeto por el fabricante parecería ser por otra parte la solución más lógica a este requisito.

Los manuales de instrucciones y otra información que acompañan a los transceivers del suscriptor también deben incluir una explicación completa de tales niveles y de las normas respectivas. Esta información debe incluir consejos acerca de las distancias de separación mínimas requeridas entre los usuarios y las antenas de radiación para cumplir las normas expuestas. Además, debe respaldarse el uso de características de seguridades en tales unidades del suscriptor, sí esto se puede hacer a un costo razonable. Si se encuentra que los procedimientos adoptados no logran la protección deseada de las emisiones de RF, se volverá a revisar este problema en el futuro.

4.8.5. EL USO DE LOS CANALES DE 125 kHz ó "I"

Debe rediseñarse los canales de 125 kHz como "canales I" y eliminar el requisito que tal canal se use junto con los canales de 6 MHz específicamente asociados¹. Cada concesionario puede usar ahora su espectro de canal I como una estación de respuesta o para transmisiones punto a punto. Los canales I soportarán protección de la misma manera que otros canales MMDS. Además, pueden usarse tales canales a discreción del concesionario, pueden arrendarse, subcanalizarse, supercanalizarse o cambiarse. Debe permitirse a los concesionarios MMDS el uso de cuatro canales de 6 MHz y cuatro canales de 125 kHz para el uso en una sola área de funcionamiento.

La autorización para las transmisiones downstream en el canal I puede ser obtenida archivando una modificación de petición en el CONATEL. Tales peticiones archivadas para canales I asociados con el espectro MMDS considerarán cambios menores y no necesitarán ser sometidas en un registro de almacenamiento.

¹ Ref [42] NPRM on two way transmission in the MDS/MMDS/TFS spectrum bands. Fcc97-360. Federal Communications Commission. Washington D.C. Enero 1998. http://www.fcc.gov/Bureaus/Mass_Media/Notices/1997/fcc97360.txt.

CAPÍTULO 5

DISEÑO DEL SISTEMA DE
TELEVISIÓN INALÁMBRICA
MMDS

CAPÍTULO 5

DISEÑO DEL SISTEMA DE TELEVISIÓN INALÁMBRICA MMDS

5.1. INTRODUCCIÓN

La demanda por la entrega de servicios sobre redes de banda ancha está creciendo rápidamente, debido al servicio y aplicaciones que el sistema ofrece a los clientes remotos de una manera confiable. Para ofrecer servicios rentables sobre una red inalámbrica se debe disponer de un plan de diseño detallado. Una solución debe estar enfocada sobre una combinación perfecta de elementos de diseño del backbone (trayectoria principal de una red) y de accesos inalámbricos a la red.

Este capítulo describe una solución general a los requerimientos de nuestro país para la implementación del sistema de TV inalámbrica. Esta solución se dará tanto para áreas de alta densidad como para áreas de baja densidad de población, de acuerdo a las condiciones de nuestro país.

5.1.1. BENEFICIOS DE UNA RED INALÁMBRICA

Las oportunidades proporcionadas por la reglamentación de las telecomunicaciones mundiales, espectro autorizado y adelantos en la tecnología de microonda permiten a los operadores obtener beneficios importantes en redes inalámbricas, tales como:

- Alta capacidad de ancho de banda disponible
- Flexibilidad y escalabilidad
- Servicio de distribución multipunto rentable
- Arquitectura abierta
- Rápido despliegue del servicio y su comercialización
- Bajo costo de infraestructura en el despliegue y construcción gradual con la demanda

5.1.2. VENTAJAS DE UNA RED INALÁMBRICA

La tecnología inalámbrica de banda ancha, proporciona a los operadores algunas ventajas importantes, como se muestran a continuación:

- Más bajo capital y costo de operación
- Uso optimizado del ancho de banda inalámbrico del backhaul/backbone
- Plataforma multiprotocolar, para soportar multimedia
- Administración de red de extremo a extremo
- Soporte alámbrico/inalámbrico
- Calidad de servicio
- Redundancia para asegurar disponibilidad
- Convergencia de datos, Internet, voz y video
- Capacidad de capturar clientes potenciales con servicios de valor agregado

5.1.3. APLICACIONES DE LAS REDES INALÁMBRICAS

Una red inalámbrica de banda ancha puede entregar las siguientes aplicaciones de una forma rentable a sus clientes¹:

- Televisión inalámbrica
- Video sobre demanda
- Multimedia residencial (acceso a Internet, distribución de TV, telefonía)
- Videoconferencia
- Redes Privadas Virtuales (VPNs, Virtual Private Network)
- SOHO (Small Office Home Office)
- Telemedicina
- Teletrabajo
- Educación a distancia
- Interconexión de redes de área local (LAN)
- Redes temporales (por ejemplo, en desastres naturales)
- Supervisión por video
- Respaldo al cobre/fibra
- Backbone de PCS (Personal Communication Service)

De estas aplicaciones se realizará el diseño para la implementación de un sistema para el servicio de radiodifusión de TV inalámbrica.

5.2. CRITERIOS DE DISEÑO DE LA RED

Como se puede ver el estudio que se realizó en los capítulos anteriores del sistema MMDS nos da mucha facilidad para llevar a cabo el diseño del sistema inalámbrico de televisión. Para el

¹ Ref [10] Broadband Wireless Cell Planning and Network Design. Newbridge, Junio 1999.
http://www.newbridge.com/doctypes/technewbridgenote/pdf/wirelesscall_nn.pdf.

dimensionamiento de la red se debe tomar en cuenta muchos aspectos tales como: aspectos técnicos, económicos, infraestructura, etc.

5.2.1. DETERMINACIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS CLIENTE RED

Se debe determinar la posición y demografía del área o áreas de cobertura del servicio, para luego recoger información sobre cada región para determinar el tipo de cobertura. Esta información incluye¹:

- Porcentaje de áreas de servicio de densidad residencial, y comercial
- Densidades y tipos de clientes finales
- Número de clientes anuales por área de cobertura
- Parámetros de calidad del servicio tal como el porcentaje de cobertura necesario por área de cobertura
- Disponibilidad de la conexión de la red y del cliente, incluyendo los efectos por lluvia

5.2.2. PARÁMETROS DE COBERTURA EN LA IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA

Se entiende por cobertura, al sector geográfico que está dentro del área de una celda y que mantiene un campo eléctrico superior al límite establecido. Se debe garantizar la calidad dentro del área de cobertura.

En las comunicaciones por microonda debido a que las señales de microonda viajan en línea recta, requieren de línea de vista entre el transmisor y receptor para tener una señal confiable y de buena calidad. En la planificación y diseño del sistema MMDS se debe tomar en cuenta que el rango teórico de un transmisor con la cobertura real del sistema son dos conceptos diferentes. La cobertura está dada por:

- El rango de transmisión del sistema puede ser de 30 a 50 km dependiendo de la potencia del transmisor
- La potencia del transmisor está dada por la FCC

Lo más importante en el diseño del sistema MMDS es el porcentaje de sitios con línea de vista dentro del área de servicio. Un porcentaje pobre de sitios con línea de vista, debido a las sombras de edificios y obstáculos de tierra o a la curvatura de la tierra, limitará el desempeño potencial del sistema.

¹ Ref [10] Broadband Wireless Cell Planning and Network Design. Newbridge. Junio 1999. http://www.newbridge.com/doctypes/technewbridgenote/pdf/wirelesscell_nn.pdf.

5.3. ESTRUCTURA DEL SISTEMA MMDS Y ANÁLISIS DE LOS ENLACES DE MICROONDA

Un análisis de la cobertura y de los enlaces de microonda son necesarios a fin de obtener características que proporcionen el mejor desempeño del sistema. En la actualidad se disponen de programas para calcular la cobertura y el desempeño de los enlaces con rapidez y confiabilidad.

5.3.1. UBICACIÓN DE POSIBLES SITIOS

Para la ubicación del sistema, lo primero que se debe realizarse es revisar los mapas y escoger los posibles sitios. En una topografía ideal de un sistema MMDS se debe considerar algunos aspectos para el buen funcionamiento del sistema, tales como¹:

- La antena transmisora se debe localizar en lo alto de una montaña sin tomar en cuenta las obstrucciones que podrían proyectar sombra (por ejemplo en la Figura 5.1.).
- Si no existe ninguna montaña en el área, bastaría una torre alta, lo que tiene la desventaja de las pérdidas intrínsecas al conectar la guía de onda desde el transmisor hasta el elemento radiador (antena) encima de la torre (por ejemplo en la Figura 5.2.).
- El sitio de transmisión o estación base debe tener caminos de servicio rápidamente accesibles, energía eléctrica fiable y un área electromagnéticamente callada.
- Para compensar la curvatura de la tierra, el terreno debería empezar inclinándose suavemente a aproximadamente 30 kilómetros del transmisor.
- Averiguar si existen otros sistemas de comunicación en los sitios, lo cual dará la posibilidad de que exista energía eléctrica y caminos de acceso.
- Analizar si se tiene en el sector, sistemas de telecomunicaciones para evaluar la compatibilidad electromagnética de las señales y evitar interferencias.

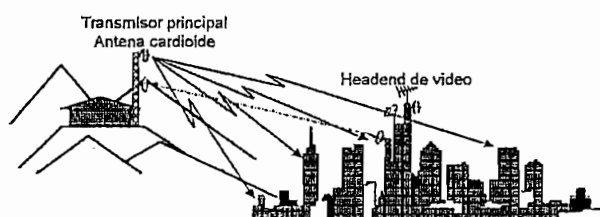


Figura 5.1. Cobertura en una región montañosa (Quito)

Pocas veces se tiene las condiciones ideales para implementar un sistema, ya que es raro encontrar la infraestructura requerida como: caminos, electricidad y comunicaciones, para la

¹ Ref [59] The 50 Kilometer Myth-Realizing Practical System Coverage. Restrepo Jorge E. Woods Norman F. Julio 1997. <http://www.cableaml.com/50Kmyth.html>.

operación de un transmisor, aun si estos están disponibles es probable que estos sean deficientes.

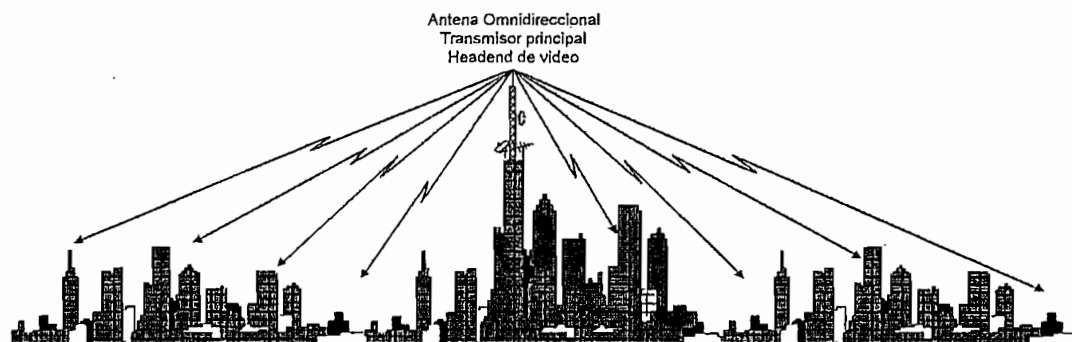


Figura 5.2. Cobertura en una región plana (Guayaquil)

En realidad se tiene un bajo porcentaje de clientes con línea de vista, que se deben resolver usando repetidores a lo largo del área. A menos que el transmisor esté localizado en un sitio donde se encuentra la mayoría de las condiciones ideales, es prácticamente imposible lograr un porcentaje razonable de sitios con línea de vista más allá de un área de cobertura considerable (20 a 30 kilómetro de radio).

Hay otras alternativas para cubrir las áreas de servicio irregularmente formadas para un porcentaje óptimo de sitios con línea de vista de una manera rentable (celularización). Nuevos desarrollos técnicos han hecho posible ofrecer una cobertura optimizada.

5.3.2. BANDAS DE FRECUENCIA UTILIZADAS

Para la distribución de información en el sistema MMDS se tiene la banda de frecuencia desde 2.5 a 2.7 GHz, ocupando un total de 31 canales analógicos y más de 200 canales digitales. Cada canal ocupa un rango de 6 MHz de ancho de banda. Dependiendo de la concesión de cada país se tendrá la asignación de un grupo de canales.

5.3.3. DISTRIBUCIÓN DE LA SEÑAL EN EL SISTEMA MMDS

Se puede distribuir las señales desde el headend (Centro de distribución) central a los transmisores periféricos vía fibra óptica o enlaces AML (Amplitude Modulated Link). Puesto que la distribución por fibra y microonda son medios de transmisión de banda ancha, ellos unen los transmisores de banda ancha sin necesidad de bancos complejos de procesadores de señal u

otro hardware de canalizado. La salida del receptor entra directamente en la entrada del transmisor de banda ancha¹.

La tecnología AML ha demostrado ser muy fiable llevando sobre 80 canales de TV analógica simultáneamente, más de 500 canales digitales, o cualquier mezcla de los dos. Esto, acoplado con el más bajo número de transmisores y repetidores de banda ancha, aumenta la fiabilidad del sistema global y disminuye los costos de mantenimiento y operación.

La combinación de transmisores y repetidores de banda ancha de alta potencia ofrecen una herramienta poderosa para optimizar los sitios con línea de vista. La tecnología de linealización de banda ancha del sistema MMDS, con un estudio detallado de la topografía del sitio y un estudio geográfico detallado del mercado potencial, hace posible obtener un mejor diseño del sistema proyectado a los objetivos globales del operador.

Para los enlaces de microonda las bandas de frecuencia adecuadas están en el rango de 2 GHz a 23 GHz (entre estas AML)². En nuestro país estas bandas de frecuencia se utilizan para diferentes aplicaciones. Se podría utilizar cualquier tipo de frecuencia, dependiendo del uso en el país y disponibilidad de cada uno.

5.3.4. ANÁLISIS DE PERFILES EN LOS ENLACES DE MICROONDA

Se entiende por perfil a un corte vertical de terreno que se realiza, gráficamente a lo largo del enlace, desde un sitio a otro. El perfil es dibujado a escala, con respecto a la distancia y altitud. Los datos para dibujar el perfil son obtenidos de las cartas topográficas. Es recomendable usar las cartas de 1:50000, debido a que tienen mejor detalle de alturas.

Para la construcción del perfil se debe calcular la curvatura del radio aparente de la tierra, para diferentes puntos de referencia, a lo largo del enlace.

$$\Delta h = \frac{d_1 d_2}{12.74k} \quad (5.1)$$

Donde:

- Δh = Curvatura de la tierra en un punto a lo largo del enlace en m
- d_1 = Distancia desde un sitio al punto en cuestión en km
- d_2 = Distancia desde el punto opuesto al punto en cuestión en km

¹ Ref [59] The 50 Kilometer Myth-Realizing Practical System Coverage, Restrepo Jorge E. Woods Norman F. Julio 1997. <http://www.cableaml.com/50Kmyth.html>.

² Ref [59] The 50 Kilometer Myth-Realizing Practical System Coverage, Restrepo Jorge E. Woods Norman F. Julio 1997. <http://www.cableaml.com/50Kmyth.html>.

k = Constante del radio de la tierra

Los perfiles se pueden dibujar de dos maneras: Considerando el haz una línea recta y haciendo las correcciones a la curvatura de la tierra ó considerando a la tierra plana y haciendo correcciones al haz. Esto se muestra en la Figura 5.3.

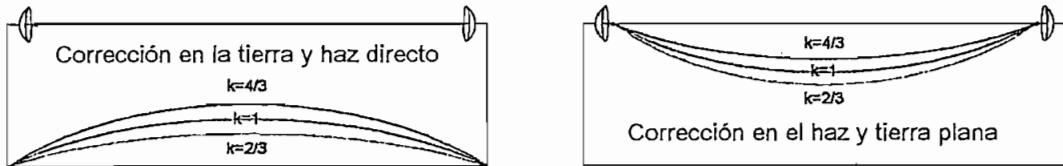


Figura 5.3. Opciones de corrección en el cálculo de la línea de vista.

Para tener un buen enlace se debe tener despejado la primera zona de Fresnel, cuyo radio está dado por:

$$R_{RF} = 17.3 \sqrt{\frac{d_1 d_2}{d.F}} \quad (5.2)$$

Donde:

- R_{FR} = Radio de la primera zona de Fresnel en m
- d_1 = Distancia del sitio de Tx al punto en cuestión en km
- d_2 = Distancia del sitio de Rx al punto en cuestión en km
- F = Frecuencia en GHz
- d = Distancia total del enlace en km

Por otra parte para $k = 4/3$, la primera zona de Fresnel debe estar despejada totalmente y para $k = 2/3$ un 80% aproximadamente. Si los perfiles cumplen con este criterio se procede a elegir los sitios.

5.3.5. ANÁLISIS DEL ENLACE

Una vez definidos los sitios se realiza el análisis del enlace para lo cual se realiza los cálculos siguientes. El análisis del enlace se debe realizar en base a la siguiente fórmula.

$$P_{RX} = P_{TX} - 2L_B - L_{BSA} - L_{BSB} - L_{FS} + G_{TX} + G_{RX} \quad (5.3)$$

Donde:

P_{TX}	= Potencia de transmisión en dBm
P_{RX}	= Potencia de recepción en dBm
G_{TX}	= Ganancia de la antena de transmisión en dBi.
G_{RX}	= Ganancia de la antena de recepción en dBi
L_{FS}	= Pérdidas por espacio libre en dB
L_B	= Pérdidas de branching en dB
L_{BSA}	= Pérdidas en la guía de onda o alimentador en la estación A en dB
L_{BSB}	= Pérdidas en la guía de onda o alimentador en la estación B en dB

Donde G_{RX} y G_{TX} dependen del diámetro de la antena y de la frecuencia, L_{BSA} y L_{BSB} dependen de la longitud de la guía de onda, L_B es proporcionado por el fabricante del equipo. Las pérdidas por espacio libre están dadas por:

$$L_{FS} = 92.4 + 20 \log (d) + 20 \log (F) \quad (5.4)$$

Donde:

L_{FS}	= Pérdidas por espacio libre en dB
d	= Distancia del enlace en km
F	= Frecuencia del enlace en GHz

El margen de desvanecimiento está dado por:

$$F_M = P_{RX} - U_{RX} \quad (5.5)$$

Donde:

U_{RX}	= Potencia umbral de recepción en dBm
P_{RX}	= Potencia de recepción en dBm
F_M	= Margen de desvanecimiento en dB

La potencia umbral de recepción está dada por:

$$U_{RX} = -171 + 3 + (NF + UFM) + 30 + 10 \log AB \quad (5.6)$$

Donde:

U_{RX}	= Potencia umbral de recepción en dBm
NF	= Figura de ruido en dB
UFM	= Umbral de mejoramiento en dB

ΔB = Ancho de banda en Hz

La probabilidad que el enlace se corte, en un enlace sin protección, referido al peor mes estará dada por:

$$P_c = 6 \times 10^{-7} \cdot a \cdot b \cdot F \cdot d^3 \cdot 10^{\frac{-FM}{10}} \quad (5.7)$$

Donde:

- P_c = Probabilidad que el sistema quede sin servicio en el peor mes
- a, b = Factor que depende del clima, terreno y las características del enlace
- F = Frecuencia del enlace en GHz
- d = Distancia del enlace en km
- FM = Margen de desvanecimiento en dB

La confiabilidad está dada por:

$$C\% = 100 \cdot (1 - P_c) \quad (5.8)$$

En la Figura 5.4. se muestra el balance de pérdidas.

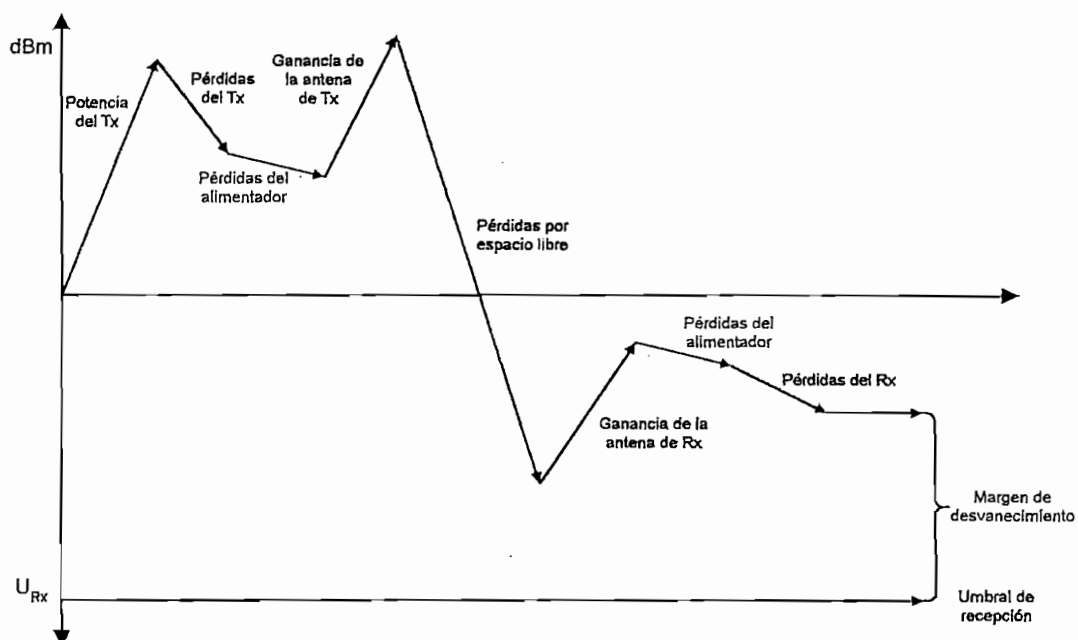


Figura 5.4. Balance de pérdidas.

5.3.6. SELECCIÓN DEL EQUIPO

Se debe analizar el tipo de equipo a utilizar, con protección o sin protección. El equipo sin protección consta de un transmisor y un receptor en cada sitio. En el equipo con protección se tienen varias alternativas, entre las principales tenemos:

5.3.6.1. DIVERSIDAD DE FRECUENCIA

Consiste en transmisores y receptores conectados en paralelo los cuales trabajan a diferente frecuencia y tienen uno o varios equipos de protección. Trabajan con una sola antena, como muestra la Figura 5.5.

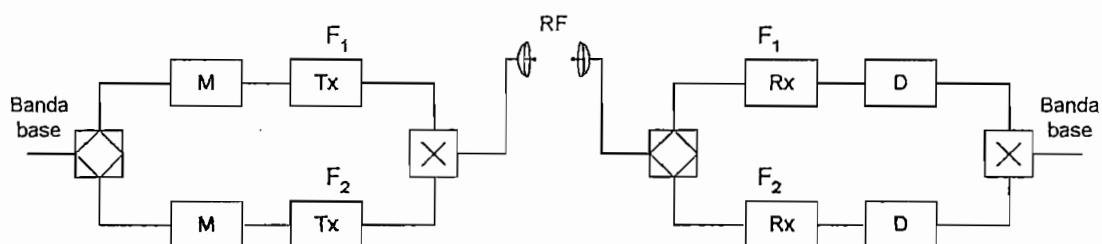


Figura 5.5. Diversidad de frecuencia.

5.3.6.2. DIVERSIDAD DE ESPACIO

Este tipo de diversidad es eficaz contra los desvanecimientos provocados por las reflexiones en el suelo evitando que la señal reflejada anule la señal principal. Utiliza dos antenas. Figura 5.6.

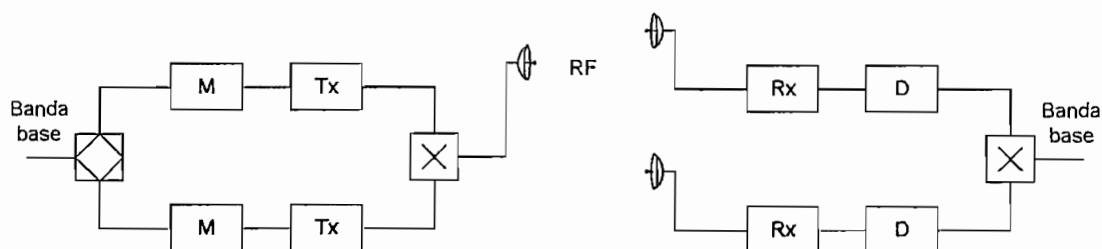


Figura 5.6. Diversidad de espacio.

5.3.6.3. DIVERSIDAD DE POLARIZACIÓN

No se utiliza para diversidad de transmisión propiamente dicho. Se utiliza para reducir la interferencia en el caso de reutilización de frecuencias en el sistema. Puede ser de polarización horizontal o vertical.

5.4. ARQUITECTURA CELULAR DEL SISTEMA MMDS

Los transmisores y repetidores MMDS de banda ancha hacen posible implementar un acercamiento "celular" o "potencia distribuida". Una arquitectura celular ofrece una solución más eficiente, permitiendo la optimización de áreas de servicio como se ilustra en la Figura 5.7. Además la topología celular permite a los operadores obtener ventajas importantes tales como¹:

- La eliminación de torres extremadamente grandes y caras e infraestructura requeridas por la mayoría de sistemas transmisores centralizados.
- La reducción del número y tamaño de áreas sombreadas, obteniéndose mejoras significativas en cobertura con línea de vista.
- Una racionalización significativa en la inversión inicial del operador. Un operador de sistemas MMDS puede implementar un diseño del sistema en fases consecutivas, haciendo posible concentrar primero en los mercados más aprovechables para un retorno más rápido de la inversión y un impacto más manejable en el flujo de dinero.

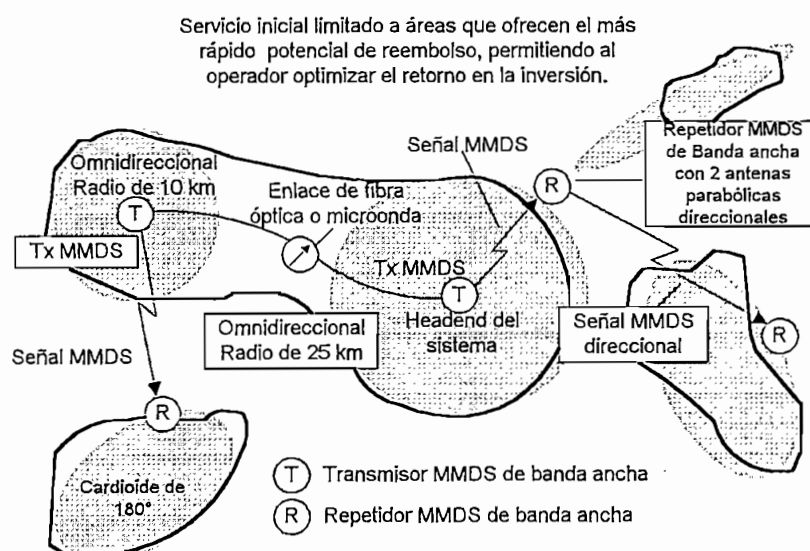


Figura 5.7. Arquitectura de un sistema distribuido.

La tecnología del sistema MMDS de banda ancha es independiente de la modulación por consiguiente puede digitalizarse. Las técnicas de linealización probadas, similar a las usadas a frecuencias más altas, son usadas para obtener transmisores y repetidores MMDS de banda ancha con potencia suficiente para iluminar las áreas de servicio con un radio de 20 kilómetros. La tecnología de linealización del sistema MMDS de banda ancha permite 31 canales analógicos (o 200 canales digitales) para ser controlados por un solo transmisor y/o repetidor.

¹ Ref [59] The 50 Kilometer Myth-Realizing Practical System Coverage. Restrepo Jorge E. Woods Norman F. Julio 1997. <http://www.cableaml.com/50Kmyth.html>.

Las ventajas de una topología del sistema MMDS distribuida reduce a una fracción de costo de una arquitectura centralizada.

5.4.1. SOLUCIONES A LOS OBSTÁCULOS EN UN SISTEMA MMDS

Uno de los problemas más comunes en el sistema MMDS son los obstáculos más allá de los 20 km del sitio de transmisión, especialmente en las ciudades donde la topografía es irregular. El problema es mayor en áreas densamente pobladas con número grande de edificios altos, en donde las sombras son de tamaño considerable. Más allá de los 30 km, se tiene un problema adicional por la curvatura de la tierra, que hace imposible utilizar al máximo el potencial del sistema. Esto se muestra en la Figura 5.8.

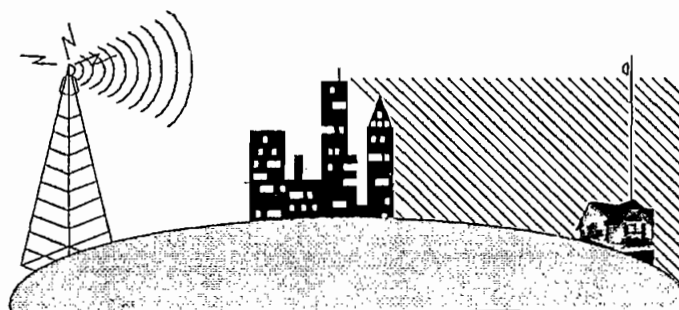


Figura 5.8. Problema de obstrucción y curvatura de la Tierra.

En la Figure 5.9. se muestra cómo cuantificar el problema de sombra¹.

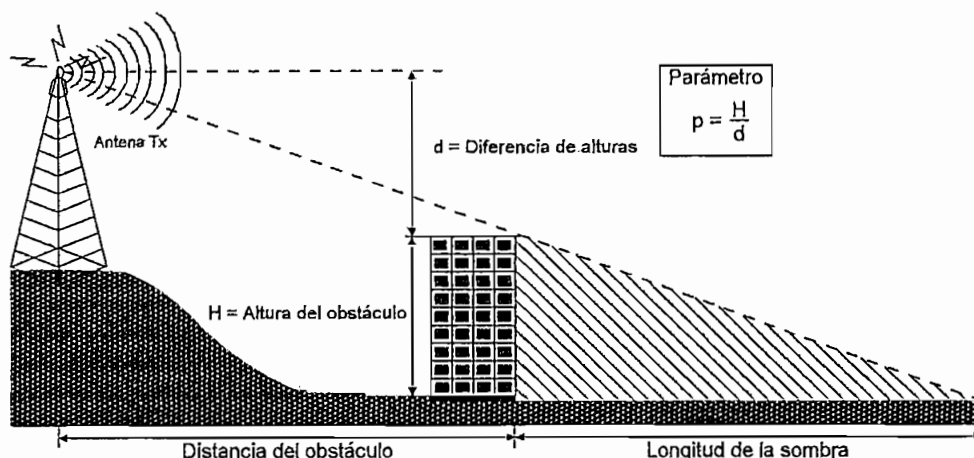


Figura 5.9. Cuantificación de la sombra.

¹ Ref [59] The 50 Kilometer Myth-Realizing Practical System Coverage. Restrepo Jorge E. Woods Norman F. Julio 1997. <http://www.cableaml.com/50Kmyth.html>.

Dado un obstáculo localizado a una cierta distancia del transmisor MMDS, la longitud de la sombra proyectada por el obstáculo está en función de la distancia al transmisor y el parámetro p , donde:

$$p = \frac{H}{d} \quad (5.9)$$

Donde:

- H = Altura del obstáculo
 d = Diferencia en la altura entre la antena transmisora MMDS y el obstáculo

De la Figura 5.10. se puede obtener la longitud de la sombra dado el parámetro p .

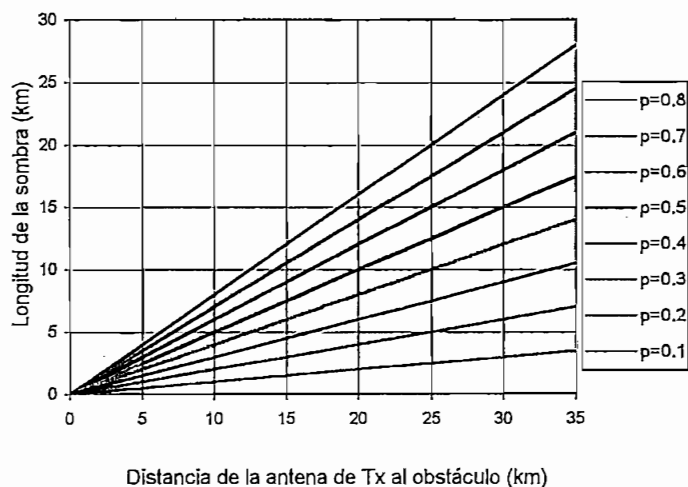


Figura 5.10. Longitud de la sombra respecto a la distancia de la antena TX.

5.4.2. DESBORDAMIENTO RF

El bajo porcentaje de sitios con línea de vista debido a las áreas de sombra no puede mejorar aumentando la potencia en el transmisor. Por lo contrario una potencia de salida excesiva puede ser contraproducente debido al desbordamiento de la señal.

Cuando se utilizan repetidores de señal de baja potencia en los sitios de sombras, se exponen a menudo las fronteras de estas áreas sombreadas a la señal original así como a la señal repetida. Dependiendo de la energía de la señal de cada uno, esto puede causar una distorsión no deseada en el sitio del receptor debido al retardo de tiempo en la señal repetida y/o

reflejada. Señales reflejadas despedidas de las estructuras vecinas (edificios, carteleras, etc) pueden complicar las cosas aún más, con distorsión adicional en algunos sitios de recepción.

En muchos casos, la instalación incorrecta de los repetidores, el diseño incorrecto de la antena repetidora y/o aislamiento del lóbulo lateral y polarización cruzada insuficiente en las antenas del suscriptor puede incrementar el problema.

5.4.3. BALANCE DEL SISTEMA Y SELECCIÓN DE ANTENAS Y TORRES

El balance del sistema se obtiene con las siguientes ecuaciones. Se debe considerar que la confiabilidad para un sistema inalámbrico es deseable si está al rededor de 99,999%.

$$P_{RX} = P_{TX} - 2L_B - L_{TS} - L_{FS} + G_{TX} + G_{DC} + G_{RX} - L_{CS} \quad (5.10)$$

$$FM = 30 \log d + 10 \log (6.a.b.F) - 10 \log (1-C) - 70 \quad (5.11)$$

$$FM = P_{RX} - U_{RX} \quad (5.12)$$

$$U_{RX} = CNR + NF + N = CNR + NF - 174 + 10 \log(AB) \quad (5.13)$$

Donde:

P_{TX}	= Potencia de transmisión en el sitio de transmisión en dBm
P_{RX}	= Potencia de recepción en el sitio del cliente en dBm
G_{TX}	= Ganancia de la antena del transmisor en dBi
G_{RX}	= Ganancia de la antena del receptor en dBi
G_{DC}	= Ganancia del downconverter en dB
L_{FS}	= Pérdidas por espacio libre dB
L_B	= Pérdidas del branching en dB
L_{CS}	= Pérdidas en la guía de onda en el sitio del cliente en dB
L_{TS}	= Pérdidas en la guía de onda en el sitio de transmisión en dB
F	= Frecuencia de operación del sistema en GHz
FM	= Margen de desvanecimiento en dB
U_{RX}	= Potencia umbral de recepción en dBm
C	= Confiabilidad
$a \cdot b$	= Factor que depende del clima, terreno y las características del enlace
d	= Distancia del enlace en km
AB	= Ancho de banda en Hz
CNR	= Relación portadora a ruido en dB
NF	= Figura de ruido en dB

5.4.3.1. SELECCIÓN DE ANTENAS

Se puede emplear varias configuraciones alternativas de antenas, dependiendo de la disposición del sistema. Las antenas normalizadas son omnidireccionales y direccionales.

Las antenas omnidireccionales se utilizan en lugares planos (en la Costa) y sectores urbanos grandes (en ciudades). Las antenas direccionales se utilizan en lugares montañosos (en la Sierra) y sectores rurales. Tanto en antenas omnidireccionales y direccionales la ganancia está normalizada; esta varía dependiendo del fabricante.

El criterio para escoger una u otra depende del radio del área que se quiere cubrir. Por lo general en áreas donde no se tiene cobertura se escoge la antena de mayor ganancia.

5.4.3.2. SELECCIÓN DE TORRES

Una vez ubicados los posibles sitios y escogido las antenas se pueden definir la altura de la torre, considerando las características del sitio, obstáculos y la existencia o no de otros sistemas de comunicación. Algunas entidades pueden influenciar en la altura de la torre tales como: Aviación Civil, Empresa Eléctrica y Municipio.

Para el diseño de la estructura de la torre se deberá tomar en cuenta aspectos tales como: peso que va a soportar la torre, condiciones ambientales, aplicaciones futuras, etc.

5.5. SELECCIÓN DEL EQUIPO MMDS.

Para la selección del equipo a utilizarse en la implementación del sistema MMDS de televisión inalámbrica se debería realizar una licitación. En los documentos de invitación (denominados "Bases"), constan los bienes y servicios conexos que se requieren, el procedimiento de la invitación, el método de evaluación del oferente y de la oferta, y las condiciones contractuales. Las bases del concurso incluyen las siguientes partes:

5.5.1. Invitación

5.5.2. Modelo de carta de presentación y compromiso

5.5.3. Modelo de la propuesta

5.5.4. Instrucciones al oferente

5.5.5. Especificaciones técnicas

5.5.6. Proyecto de contrato

5.5.7. Principios y criterios para la calificación del oferente y selección de la oferta

5.5.1. INVITACIÓN

La invitación al concurso de ofertas debe constar de: nombre del proyecto, objetivos y alcances del proyecto, forma de pago y financiamiento, y lugar y fecha de entrega de las propuestas.

5.5.2. MODELO DE CARTA DE PRESENTACIÓN Y COMPROMISO

Este modelo sirve de identificación a la empresa oferente, y debe contener: nombre del oferente, firma del oferente o de su representante legal, sede social del oferente y domicilio, cédula de ciudadanía, RUC o pasaporte del oferente y de su representante legal (de ser el caso). Además debe contener:

- Declaración que la oferta es honrada y de buena fe, y que se la efectúa luego de haber estudiado todos los documentos de la invitación.
- Autorización para verificar la autenticidad de los documentos presentados.
- Aceptación de someterse a las exigencias y condiciones precontractuales y en caso de ser adjudicatario convenir en firmar el contrato por escritura pública.
- Aceptación de todas las obligaciones que corresponden como oferente y los derechos que se reserva el licitante para la calificación de la propuesta, la adjudicación y la firma del contrato.
- Garantizar que todos los trabajos que deba realizarse para dar cumplimiento al objetivo del contrato estarán sujetos a las especificaciones técnicas que formarán parte de las bases.
- Garantizar el cumplimiento, en la elaboración y presentación de la oferta, y en la presentación de las planillas de pago, en el caso de ser adjudicado.

5.5.3. MODELO DE LA PROPUESTA

La oferta debe ser presentada en varios formularios. El propósito de los formularios, que deben ser incluidos en la oferta, es el de disponer de un resumen de la información solicitada. Sin embargo, el resumen no reemplaza a la documentación que sustentará dicha información.

Los formularios serán presentados según las instrucciones que se indiquen. Uno de los formularios presentará la información relativa a la competencia jurídica y técnica requerida para dar cumplimiento al objetivo del contrato y contendrá:

- Resumen de presentación de documentos
- Resumen del cumplimiento de las bases del concurso

Otro formulario presentará toda la información económica relativa a los precios, forma de pago y financiamiento de la oferta, de la siguiente manera:

- Resumen de la oferta
- Resumen de costos
- Detalle de costos unitarios
- Cronograma de ejecución
- Tabla de amortización de la deuda (en caso de financiamiento)

5.5.4. INSTRUCCIONES AL OFERENTE

Entre las instrucciones que se deben dar al oferente están las siguientes:

- Objeto y alcance del concurso
- Leyes y jurisdicción
- Causas para el rechazo de la oferta
- Garantía de seriedad de la oferta
- Aclaración y modificación a las bases del concurso
- Elaboración de la propuesta
- Tipos de ofertas
- Condiciones comerciales de la oferta
- Contenido de los sobres y formularios
- Proceso a cumplirse hasta la adjudicación
- Procedimiento para la suscripción del contrato
- Sanciones por la no celebración del contrato
- Administración del contrato

5.5.5. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

Dentro de las especificaciones técnicas se debe tener lo siguiente:

- Objeto del concurso
- Dimensionamiento
- Repuestos
- Documentación
- Mantenimiento y capacitación
- Garantías
- Garantía técnica
- Garantía de suministro de repuestos

- Materiales y servicios

5.5.6. PROYECTO DE CONTRATO

Una vez que ya se haya escogido al ganador del concurso se procederá a la firma del contrato cuyo encabezado debe incluir lo siguiente:

- Nombre del contratista
- Objetivo del contrato
- Valor del proyecto
- Número del concurso
- Plazo de entrega
- Comparecientes

El contrato en sí contendrá las siguientes cláusulas

- Antecedentes
 - Necesidad de la contratación
 - Marco legal
 - Autorizaciones
 - Invitación
 - Contratación
 - Fondos
- Objeto del contrato
- Valor y forma de pago
- Plazo de entrega
- Pagos indebidos
- Documentos del contrato
- Garantías
- Multas
- Renuncia al reajuste de precio
- Causas de terminación del contrato
- Entrega y recepción
- Administración del contrato
- Derechos e impuestos
- Controversias

Al final del contrato deben firmar los representantes de la empresa que realiza el concurso y el contratista.

5.5.7. PRINCIPIOS Y CRITERIOS PARA LA CALIFICACIÓN DEL OFERENTE Y SELECCIÓN DE LA OFERTA

Antes de proceder a la evaluación detallada, se determinará si la oferta se ajusta a las bases. Para este fin, se considerará que la oferta se ajusta a los documentos de la invitación cuando corresponda, sin diferencia de importancia, a todas las estipulaciones y condiciones de las bases. Para llegar a esta determinación se basará en los documentos que constituyen la propia oferta y en las aclaraciones que se hayan solicitado, de ser el caso.

Se verificará que los documentos solicitados en las bases sean presentados por el oferente, que contengan la información solicitada y que esta sea adecuada a los fines para los cuales fue solicitada. Si se determina que la oferta no se ajusta a las bases, se la rechazará y el defecto no podrá ser subsanado con posterioridad por el oferente.

Para el examen detallado se verificará que el formulario esté cumpliendo debidamente las normas, carta de presentación y compromiso, según el modelo preparado. Este documento deberá ser presentado de acuerdo al modelo de las bases. Cualquier cambio podrá causar el rechazo de la propuesta. Estados de situación financiera y de resultados del último ejercicio económico. Se verificará la situación financiera de la compañía.

En la propuesta técnica se juzgará si las excepciones de cumplimiento de las especificaciones técnicas a las que están sujetas los bienes y servicios que deban incluirse en la obra afectan o no, de manera significativa, a la misma. Cuando el oferente haya incluido rubros que considera son necesarios para el cumplimiento del trabajo solicitado, se hará una evaluación de esos rubros, tanto en el concepto como en la cantidad. Los rubros de este tipo, que sean juzgados razonables en el análisis, serán incluidos en la oferta para la valoración de la misma.

Para la evaluación del aspecto técnico de la oferta, se procederá a comparar en forma detallada lo solicitado en las bases para el sistema en la oferta básica; y en base a esta comparación, se asignará el puntaje respectivo. Los diferentes grupos de características técnicas del sistema, serán valorados de la siguiente manera:

GRUPO	PUNTAJE
1. Cumplimiento de las principales características técnicas	15
2. Características técnicas adicionales	5
3. Garantía técnica	15
4. Costo	15
5. Flexibilidad y confiabilidad	10
6. Facilidades de administración, operación y mantenimiento	10
7. Software	10

8. Equipos complementarios	5
9. Mantenimiento y capacitación	5
10. Documentación	5
11. Financiamiento	5
TOTAL	100

5.6. PLANIFICACIÓN Y DISEÑO DE APLICACIÓN PARA LA CIUDAD DE QUITO

En esta sección se desarrollará la planificación y diseño del sistema de televisión inalámbrica para la ciudad de Quito, para poder visualizar de una mejor manera los requerimientos y parámetros involucrados en el diseño de la red.

El objetivo principal es diseñar un sistema para dar servicio de televisión inalámbrica a la ciudad de Quito, como una aplicación del sistema MMDS.

5.6.1. ASIGNACIÓN DE CANALES

La asignación de canales depende de la legislación del país y como en la actualidad no está asignado el espectro de frecuencia en nuestro país el diseño se lo realizará para 16 canales del espectro de frecuencia del sistema MMDS, asumiendo que la concesión de frecuencias está dada por grupo de canales.

Debido a que el sistema MMDS es digital, se utilizará equipo digital con técnicas de compresión MPEG-2 para incrementar el número de canales digitales en el sistema. Cabe notar que se podría escoger cualquier relación de compresión MPEG-2 (5:1, 10:1, 16:1 entre otros) dependiendo de la calidad de la información y futuras aplicaciones, que el sistema pueda tener. El tipo de modulación que utiliza es 64 QAM (30 Mbps) debido a que es, el más utilizado para difusión de televisión. En el futuro se podrá utilizar otros tipos de modulación más sofisticados como 128 y 256 QAM.

5.6.2. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LOS SITIOS

Debido a que la ciudad de Quito se encuentra en una región montañosa, para realizar la implementación del sistema se considerará:

- El headend se encontrará localizada en el sector de la Carolina, debido a que se encuentra más cerca de los canales de televisión local.
- El sitio de transmisión estará localizada en el sector de las antenas del Píchincha

- La señal será unida del headend al sitio de transmisión mediante un enlace AML
- La relación señal a ruido umbral debe estar entre 19 dB a 25 dB para un BER de 1×10^{-4} a 1×10^{-6}
- La relación portadora a ruido umbral debe estar entre 30 dB a 45 dB
- Si se utiliza repetidores se debe tener la relación de señal deseada/no deseada de 45 dB o más para reducir la interferencia cocanal

Se podrá usar un solo transmisor de banda ancha o un transmisor por canal dependiendo del fabricante, precios y características técnicas del equipo, para optar por el esquema más conveniente. En nuestro caso se va a concentrar todos los canales de programación en el headend (La Carolina), y mediante un enlace AML se llevará al sitio de transmisión en el Pichincha. Se utilizará un solo transmisor de banda ancha, que es lo más conveniente en el sitio de transmisión para la cobertura Norte y Centro de Quito.

Para la cobertura del sector Sur de la ciudad se utilizará un repetidor de banda ancha localizado en el Atacazo. En caso de que se quiera extender el sistema a los valles de Tumbaco y los Chillos se tendría que colocar repetidores de banda ancha en sitios adecuados. Es decir se deberá usar un esquema de celularización, como se mencionó anteriormente (5.4). En la Figura 5.11 y 5.12 se muestra la cobertura de la ciudad de Quito.

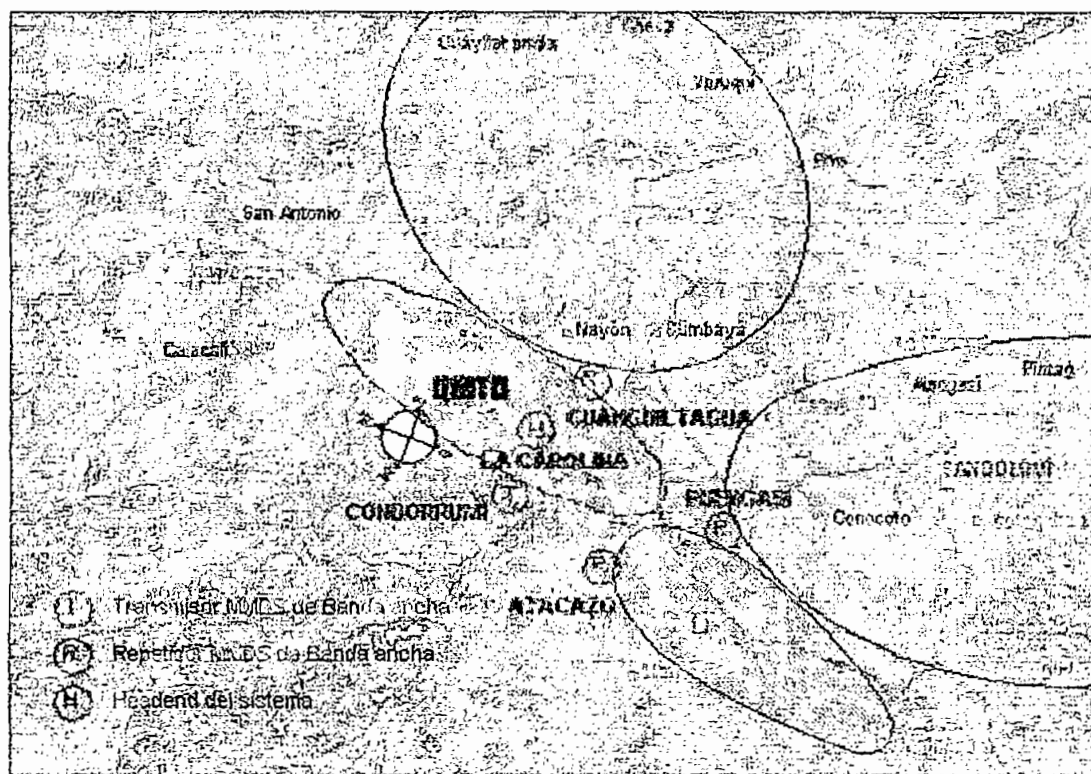


Figura 5.11. Cobertura celular de Quito.

En el cuadro 5.1 se presenta los datos de ubicación y altura de los diferentes sitios utilizados tanto para la transmisión como repetición.

NOMBRE	LATITUD	LONGITUD	ALTURA (m)
Cerro Condorrumi (Pichincha)	0° 9' 38"	78° 31' 43"	3860
Cerro Atacazo (Libertad 1)	0° 12' 48"	78° 31' 37"	3260
Loma Puengasí	0° 14' 35"	78° 29' 39"	3078
Loma Guanguitagua	0° 10' 44"	78° 27' 28"	2989

Tabla 5.1. Ubicación de los sitios de transmisión y repetición.

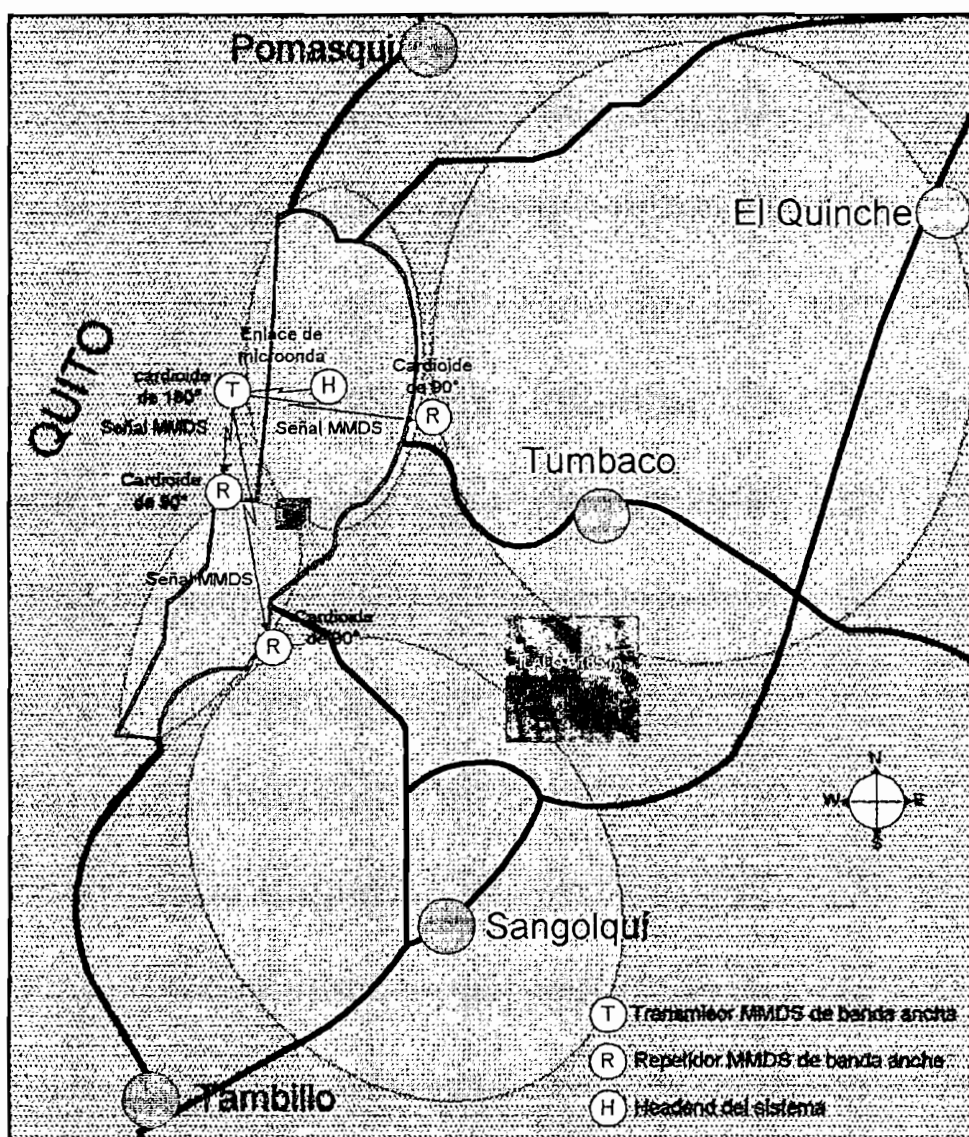


Figura 5.12. Arquitectura del sistema distribuido para la ciudad de Quito.

5.6.2.1. COBERTURA Y DISPONIBILIDAD DE CONDORRUMI

Cubre todo el sector norte y centro de la ciudad de Quito. Se debe considerar que no existe cobertura en algunos lugares debido a obstrucciones de edificios ó montes (por ejemplo lugares cercanos al Panecillo). Existen caminos de acceso con disponibilidad de energía eléctrica.

5.6.2.2. COBERTURA Y DISPONIBILIDAD DEL ATACAZO

Cubre todo el sector sur de la ciudad de Quito. Se debe tener en cuenta obstrucciones de montes y edificios. Existen caminos de acceso con disponibilidad de energía eléctrica.

5.6.2.3. COBERTURA Y DISPONIBILIDAD DE PUENGASÍ

Cubre todo el sector del Valle de los Chillos como Sangolquí, San Rafael, Conocoto, entre otros. Cabe notar que se debe tener en cuenta la obstrucción de montes y edificios. Existen caminos de acceso con disponibilidad de energía eléctrica.

5.6.2.4. COBERTURA Y DISPONIBILIDAD DE GUANGUILTAGUA

Cubre todo el sector del Valle de Tumbaco, específicamente la ciudad de Tumbaco y sus alrededores. Se debe tener en cuenta la obstrucción de montes y edificios. Existen caminos de acceso con disponibilidad de energía eléctrica.

5.6.3. BALANCE DEL SISTEMA

El balance del sistema se realiza considerando una confiabilidad del 99,999% (deseable) y considerando la distancia más larga 15 km.

$$P_{RX} = P_{TX} - 2L_B - L_{TS} - L_{FS} + G_{TX} + G_{DC} + G_{RX} - L_{CS}$$

$$FM = 30 \log d + 10 \log (6.a.b.F) - 10 \log (1 - C) - 70$$

$$FM = P_{RX} - U_{RX}$$

$$U_{RX} = CNR + NF + N = CNR + NF - 174 + 10 \log(AB)$$

Datos:

$G_{TX} = 16$ dBi	$G_{RX} = 16$ dBi	$L_{FS} = 124.55$ dB	$d = 15$ Km
$L_B = 4$ dB	$L_{CS} = 0.435$ dB	$L_{TS} = 2.3$ dB	$F = 2.7$ GHz.
$a = 1/4$	$b = 1/8$	$AB = 6$ MHz	$U_{RX} = -57.22$ dBm
$G_{RX} = 32$ dB	$CNR = 40$ dB	$NF = 3$ dB	

Entonces se tiene:

$$FM = 30 \log d + 10 \log (6.a.b.F) - 10 \log (1 - P_C) - 70$$

$$FM = 30 \log 15 + 10 \log (6 * 0.25 * 0.125 * 2.7) - 10 \log (1 - 0.99999) - 70 = 12.30381058 \text{ dBm}$$

$$P_{RX} = FM + U_{RX} = 12.30381058 - 63.2184875 = -44.9146769 \text{ dBm}$$

$$P_{TX} = P_{RX} + 2L_B + L_{CS} + L_{TS} - G_{TX} - G_{RX} - G_{DC} + L_{FS}$$

$$P_{TX} = -44.91 + 2(4) + 0.435 + 2.3 - 16 - 16 - 32 + 124.55 = 20.32426843 \text{ dBm}$$

Por lo tanto la potencia requerida por el transmisor será de: 20.32426843 dBm/canal. Para la cobertura norte la potencia será de 100 vatios (Ver gráficos del anexo 7). El mismo proceso se realiza para la cobertura de los repetidores.

5.6.4. CÁLCULOS RADIOELÉCTRICOS

Los cálculos se realizaron a partir del perfil topográfico y la primera zona de Fresnel visto en la sección anterior. La pérdida de los alimentadores se obtiene a partir del tipo de guía de onda ó cable utilizado y la distancia entre la antena y el equipo. La guía de onda utilizada en el sitio de transmisión y de repetición es la EW20 (atenuación 1.45 dB/100m), cable coaxial Heliax de 1/4 de pulgada utilizado en los sitios de recepción (atenuación 23 dB/100m) y la guía de onda EWP127A utilizada en el enlace AML (atenuación 11.45 dB/100m). Se escogieron de acuerdo a las características del enlace.

5.6.5. SELECCIÓN DE ANTENAS Y TORRES

El tipo de antena y la ganancia se ha determinado buscando las características que permitan adaptarse a la distribución geográfica y cobertura del sistema. Como se explicó en el numeral 5.4.3.1. y 5.4.3.2. para lugares montañosos el tipo de antena será direccional, es decir un arreglo de antenas que cubra 180 grados de cobertura. En los repetidores se utilizarán arreglos de antenas que cubran 90 grados.

Una vez ubicados los sitios y las antenas, se debe definir con criterio las torres como se mencionó en la sección anterior (5.4.3.1. y 5.4.3.2.). Es recomendable utilizar torres entre 10 y 50 m dependiendo del sitio. En el sitio del transmisor y repetidor se utilizarán torres de 30m.

5.6.6. DISEÑO DEL ENLACE DE MICROONDA

En esta sección se realizará el análisis del enlace de microonda desde el headend al sitio de transmisión en el Pichincha. Se utilizará la banda de frecuencia de 13 GHz como se mencionó en la sección (5.3.3).

5.6.6.1. ANÁLISIS DE PERFILES

En el anexo 6 se presenta el perfil necesario para enlazar el headend ubicado en la Carolina con el sitio de transmisión ubicado en el Pichincha. El perfil se realizó considerando la tierra plana y con la corrección de $k = 4/3$. Como se puede observar existe línea de vista (no existe obstrucción). En el cuadro 5.2 se tiene los datos de los sitios.

NOMBRE	LONGITUD	LATITUD	ALTURA (m)
Cerro Condorrumi (Pichincha)	0° 9' 38"	78° 31' 43"	3860
Sector de la Carolina	0° 10' 3"	78° 31' 86"	2800

Tabla 5.2. Ubicación del headend y del sitio de transmisión.

5.6.6.2. CÁLCULOS DEL ENLACE

En el anexo 6 se presenta los cálculos del enlace. Para los cálculos se utilizó las fórmulas de la sección 5.3.5. De los cálculos se puede concluir que el enlace es confiable.

5.6.7. EQUIPO SELECCIONADO Y COSTOS DEL SISTEMA

En la selección del equipo se tomó en cuenta los criterios mostrados en la sección 5.5.7. tomando como referencia las características de los equipos halladas anteriormente y que se encuentran en el Anexo 7. La selección del se lo hará por módulos, tomando en cuenta la compatibilidad de los equipos. A continuación se presentan los resultados obtenidos por los proveedores de los diferentes equipos.

Parámetro de calificación	Transmisores y repetidores MMDS (1)			Downconverters MMDS integrados (2)		
	ADC	Wavecom	ABE	Gemtek	Andrew	Remec
1 (15)	15	14	13	13	15	15
2 (5)	5	4	4	4	4	4
3 (15)	15	13	13	14	14	14
4 (15)	13	14	15	10	15	13

Parámetro de calificación	Transmisores y repetidores MMDS (1)			Downconverters MMDS integrados (2)		
	ADC	Wavecom	ABE	Gemtek	Andrew	Remec
5 (10)	10	10	8	8	8	8
6 (10)	10	10	9	8	10	9
7 (10)	10	10	9	9	10	9
8 (5)	5	5	4	4	5	5
9 (5)	5	4	4	4	4	4
10 (5)	5	4	4	4	5	5
11 (5)	5	3	3	3	3	3
TOTAL	98	91	86	81	93	89

Tabla 5.3. Selección de transmisores, repetidores y receptores MMDS.

Proveedores seleccionados:

(1)	ADC (http://www.adc.com)		
	Transmisor: 6455A		\$ 29,250.00
	Repetidores: 6474A		\$ 16,230.00
	6475A		\$ 24,750.00
(2)	Andrew (http://www.andrew.com)		
	Downconverter: QD-5445		\$ 123.38

Parámetro de calificación	Antenas de transmisión MMDS (3)			Antenas grid de recepción (4)		
	Microwave Filter	Cable AML	CEC	Air Linx	Andrew	Mectronic
1 (15)	14	13	12	12	14	12
2 (5)	4	3	4	4	5	3
3 (15)	15	14	13	13	14	12
4 (15)	15	14	12	13	15	14
5 (10)	9	9	8	8	9	7
6 (10)	9	8	9	8	9	9
7 (10)	0	0	0	0	10	0
8 (5)	5	5	3	4	5	4
9 (5)	5	4	4	4	5	3
10 (5)	5	3	4	4	5	4
11 (5)	4	4	4	3	4	3
TOTAL	85	77	73	73	95	71

Tabla 5.4. Selección de antenas MMDS.

Proveedores seleccionados:	(3)	Microwave Filter (http://www.microwavefilter.com)		
		Antenas Tx:	U8010	\$ 1,925.00
	(4)	Andrew (http://www.andrew.com)		
		Antena grid:	18T-2127	\$ 93.85

Parámetro de calificación	Transmisores y receptores AML (5)			Antenas AML(6)		
	Cable AML	AML Wireless	AML Communic.	Andrew	Cable AML	AML Wireless
1 (15)	13	14	12	15	13	13
2 (5)	2	4	3	5	2	4
3 (15)	14	14	14	15	14	14
4 (15)	14	15	13	15	13	14
5 (10)	10	10	9	8	9	8
6 (10)	9	9	9	9	9	9
7 (10)	10	10	10	10	0	0
8 (5)	0	0	0	0	0	0
9 (5)	5	5	5	5	5	5
10 (5)	3	4	3	5	4	3
11 (5)	3	3	3	3	3	3
TOTAL	83	88	81	90	77	78

Tabla 5.5. Selección del equipo para el enlace AML.

Proveedores seleccionados:	(5)	AML Wireless (http://www.amlwireless.com)		
		Transmisor:	HIBT	\$ 143,750.00
		Receptor:	CORE 1-294	\$ 18,975.00
	(6)	Andrew (http://www.andrew.com)		
		Antena:	VHPX4A-130	\$ 2,825.00

A continuación se tiene un resumen del equipo seleccionado, entre los diferentes proveedores.

Proveedor	Fabricante	Calificación
Transmisores y repetidores MMDS (1)	ADC	98
Downconverters MMDS integrados (2)	Andrew	93
Antenas de transmisión MMDS (3)	Microwave Filter	85
Antenas Grid de recepción (4)	Andrew	95
Transmisores y receptores AML (5)	AML Wireless	88
Antenas AML(6)	Andrew	90

Tabla 5.6. Equipo seleccionado.

A continuación se presentan las tablas de los costos del sistema basándose en los equipos seleccionados. La Tabla 5.6. muestra el costo de los equipos mientras la Tabla 5.7. muestra el costo de las líneas de transmisión y conectores.

EQUIPO	CANTIDAD	COSTO	TOTAL
6455A	1	29,250.00	29250
6474A	1	16,230.00	16230
6475A	2	24,750.00	49500
QD-5445*	10000	123.38	1233800
Explorer 3000*	10000	200	2000000
U8010	4	1,925.00	7700
18T-2127	3	93.85	281.55
HIBT	1	143,750.00	143750
CORE 1-294	1	18,975.00	18975
VHPX4A-130	2	2,825.00	5650
TOTAL			3410156.55

* Asumimos 10000 usuarios en las cuatro zonas de cobertura.

Tabla 5.7. Costos del equipo AML y MMDS.

MATERIAL	CANTIDAD	COSTO	TOTAL
EW20	180	106.4	19152
120E	14	1,450.00	20300
EWP127A	30	51.25	1537.5
1127DCT	4	325	1300
LDF1-50*	100000	4.27	427000
L1PNM-H*	20000	20	400000
TOTAL			869289.5

* Asumimos 10000 usuarios en las cuatro zonas de cobertura.

Tabla 5.8. Costos de líneas de transmisión y conectores.

El cable Heliac LDF1-50 tiene un costo de \$ 1.30/ft ó \$ 4.27/m, mientras las guías de onda utilizadas son EW20 con un costo de \$ 32.43/ft ó \$ 106.40/m y EWP127A con un costo de \$ 15.62/ft ó \$ 51.25/m. Los conectores utilizados son: L1PNM-H con un costo de \$ 20.00, 120E con un costo de \$ 1,450.00, 1127DCT con un costo de \$ 325.

De las tablas anteriores podemos deducir los costos en la transmisión y los costos en los sitios de recepción, los cuales son:

Transmisión:	\$	218,646.05
Recepción ¹ :	\$	4'060,800.00
TOTAL:	\$	4'279,446.05

De lo anterior podemos concluir que el mayor costo se da en los sitios de recepción, y este costo dependerá del número de usuarios presentes en el sistema¹, y será directamente proporcional al número de abonados. En el costo de transmisión no se incluyen: costos de concesión de frecuencias, torres, programación, etc. Los lugares y los equipos respectivos en cada uno de ellos se muestran en la Figura 5.13. Las principales características técnicas del equipo seleccionado se encuentran en el Anexo 7.

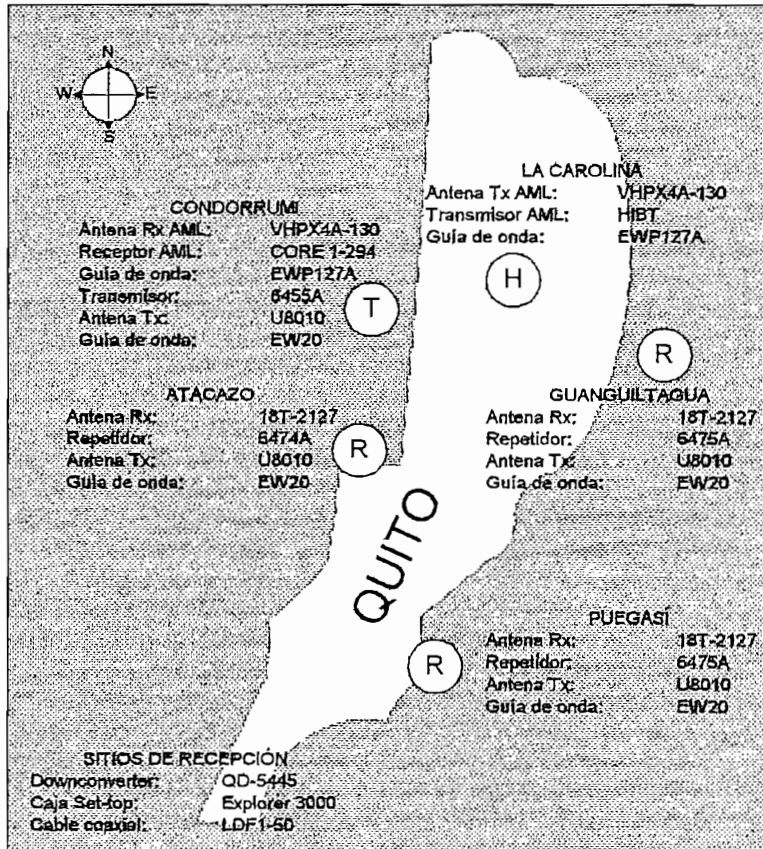


Figura 5.13. Equipo del sistema MMDS para la ciudad de Quito.

CAPÍTULO 6

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CAPÍTULO 6

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. CONCLUSIONES

- Lo más importante para culminar con éxito una instalación de un sistema MMDS, es realizar una adecuada planificación de todas las etapas del proyecto. Esto nos evitará problemas que se pueden presentar durante la instalación del sistema, lo cual representa un significativo ahorro de tiempo y dinero en la instalación.
- Los adelantos en los esquemas de modulación, algoritmos y estándares de compresión de video, técnicas FEC, avances en circuitos integrados de microonda y transistores de potencia han hecho de MMDS una manera rentable para la entrega de video digital de alta calidad.
- El desempeño de un sistema de transmisión MMDS estará limitado por muchos factores, al utilizar modulación digital y corrección de errores directa, entre los más importantes tenemos: relación señal a ruido en el receptor, desvanecimiento por múltiple trayectoria, no linealidad del amplificador, respuesta de frecuencia de los enlaces en cascada de un sistema de transmisión, entre otros.
- La modulación digital con FEC da mejoras significativas en el desempeño sobre los sistemas NTSC analógicos. Considerando que los sistemas analógicos requieren un SNR en el orden de 40 dB, 64 QAM con codificación Reed Solomon y Trellis tienen un SNR umbral de 19 dB. De esta manera, cualquier cliente que recibe un nivel de señal suficiente para asegurar un SNR de 19 dB sin múltiple trayectoria tendrá recepción libre de errores y los clientes que reciban un nivel de señal con un SNR de 25 dB con múltiple trayectoria tendrá recepción segura y confiable.
- Los sistemas MMDS tienen cuatro arquitecturas para su implementación que son los sistemas: A, B, C y D, que especifican los cuatro sistemas digitales de televisión por cable inalámbrico sometidos a la UIT-T, lo cual revela que la normalización de los sistemas digitales de televisión por cable inalámbrico está tratándose por primera vez en la UIT-T y que, cuando la UIT emprendió esta tarea de normalización, ya se habían desarrollado e implementado provisionalmente varios sistemas. Cada uno de estos sistemas tienen: definida la estructura de trama, la codificación de canal y la modulación de las señales digitales multiprogramas para servicios de televisión, sonido y datos. Debe señalarse que

estos sistemas tratan solo de la entrega de señales en sentido descendente, y que las necesidades de los servicios interactivos que requieren canales de sentido descendente y ascendente (de retorno) están fuera del ámbito de estos sistemas

- El desarrollo de la tecnología digital permite a los sistemas digitales ofrecer ventajas considerables frente a las técnicas analógicas convencionales, con respecto a la calidad de imagen y de sonido, eficiencia del espectro y de potencia, flexibilidad del servicio, convergencia de multimedia y costos de equipo.
- Debido a las grandes ventajas que ofrece el sistema MMDS se está utilizando en los últimos tiempos para transmisiones bidireccionales tanto de voz, datos y video; lo cual involucra el estudio de la tecnología de reutilización de frecuencias en la celularización y sectorización.
- Se puede notar que el sistema MMDS bidireccional es muy flexible especialmente en el uso del cable módem de diferentes fabricantes. Los operadores de los sistemas de datos de alta velocidad deberían exigir para el cable módem la misma interoperabilidad y el mismo o mejor nivel de desempeño que los operadores de cable tienen con DOCSIS.
- El campo de acción de los sistemas MMDS es muy amplio y variado, por lo tanto, la información presentada en este trabajo puede servir de base para el desarrollo de futuros proyectos, como es el caso de sistemas MMDS bidireccional, con el cual se expande la capacidad de servicios que puede prestar un sistema de cable privado, en donde se tendrá la posibilidad de realizar compras por televisión, video sobre demanda, teleconmutación, servicios TDM/voz, teletrabajo, SOHO, interconexión de LANs, redes privadas virtuales (VPNs), videoconferencia, supervisión por video, telemedicina, educación a distancia, respaldo al cobre/fibra, backbone de PCS, redes temporales (por ejemplo, en desastres naturales), multimedia residencial (acceso a Internet, distribución de TV/video, telefonía), servicio de Internet, programación pague por ver, y otras aplicaciones que aparecerán en el futuro.

6.2. RECOMENDACIONES

- Todas las Recomendaciones y otras referencias utilizadas en esta investigación son objeto de constantes revisiones por lo que se recomienda que los usuarios de esta trabajo investiguen la posibilidad de aplicar las ediciones más recientes de las Recomendaciones y otras referencias.
- Se recomienda a futuro la planificación y normalización del espectro de frecuencia MMDS y de todas las bandas espectrales, a los Organismos que regulan las Telecomunicaciones en

nuestro país, puesto que en el Ecuador no existe una normativa en lo que tiene que ver con esta banda.

- Se recomienda a quienes implementen nuevos servicios digitales multiprogramas en redes de cable inalámbrico existentes y futuras utilicen uno de los sistemas (A, B, C y D) cuya estructura de trama, codificación de canal y modulación se especifican en la Recomendación J-150 de la ITU-T. Y de esta manera buscar oportunidades de una mayor convergencia, en lugar de desarrollar un sistema diferente basado en las mismas tecnologías.
- Se recomienda que en un futuro se haga un estudio más profundo del sistema MMDS especialmente para aplicaciones bidireccionales, ya que el estudio que se realizó servirá como una base para el desarrollo de nuevas tesis especialmente en la transmisión de servicios integrados de voz, datos y video.
- Se recomienda que si el operador inalámbrico de banda ancha realiza su diseño utilizando una herramienta de software considere la compra de la licencia de dicha herramienta de diseño para supervisar continuamente el desempeño del sistema con información estadística (porcentaje de cobertura dentro de una celda dada por las características del terreno), así como para realizar el análisis de tráfico continuo a lo largo del sistema.

ANEXOS

ANEXO 1

CODIFICACIÓN Y DECODIFICACIÓN REED SOLOMON

Uno de los códigos que utiliza el sistema MMDS para el control (detección y corrección) de errores es el de Reed Solomon, a continuación se presenta un resumen basado en la tesis del Ing. Rodrigo Acosta Arias [21] y en documentos de Internet [9], [11], [13], [20], [29], [41], [44], [48], [49], [55], [58].

Los códigos Reed Solomon son un tipo de código BCH con características matemáticas especiales basadas en los símbolos del Campo de Galois. Los códigos BCH son una generalización de los códigos de Hamming para la corrección múltiple de errores y se caracteriza por tener algoritmos de decodificación que crecen en complejidad de acuerdo a la capacidad de detección y corrección de errores. Debido a la estructura cíclica el proceso de codificación es bastante simple, no así su proceso de decodificación.

A1.1. CAMPO ARITMÉTICO DE GALOIS

Campos de Galois = campos de orden finito (cardinalidad).

Notación: $GF(q)$ = Campo de Galois de orden q .

Teorema: Los enteros $0, 1, \dots, p-1$ donde p es un primo, forman el campo $GF(p)$ bajo el módulo suma y multiplicación de p .

Definición: Sea β un elemento en $GF(q)$. El orden de β es el entero positivo más pequeño m tal que $\beta^m = 1$.

Teorema: Si $t = \text{ord}(\beta)$ para algunos $\beta \in GF(q)$, entonces $t \mid (q - 1)$.

Definición: Un elemento con orden $(q - 1)$ en $GF(q)$ se llama un elemento primitivo en $GF(q)$.

Cada campo $GF(q)$ contiene por lo menos un elemento primitivo α . Todos los elementos diferentes de cero en $GF(q)$ pueden representarse como $(q - 1)$ potencias consecutivas de un elemento primitivo α :

$$1, \alpha^1, \alpha^2, \alpha^3, \dots, \alpha^{q-2}, \alpha^{q-1} = 1, \alpha^q = \alpha, \dots$$

Teorema: El orden q de un Campo de Galois $GF(q)$ debe ser una potencia de un primo.

A1.1.1. POLINOMIOS SOBRE CAMPOS DE GALOIS

Definición: $GF(q)[x]$ = La colección de todos los polinomios $\alpha^0 + \alpha^1x + \alpha^2x^2 + \dots + x^n$ de grado arbitrario con coeficientes $\{\alpha_i\}$ en el campo finito $GF(q)$.

Definición: Un polinomio $p(x)$ es irreducible en $GF(q)$ si $p(x)$ no se puede factorar en un producto de polinomios de grado más bajo en $GF(q)[x]$.

Definición: Un polinomio irreducible $p(x) \in GF(q)[x]$ de grado m se dice que es primitivo si el entero positivo más pequeño n para el cual $p(x)$ divide $x^n - 1$ es $n = q^m - 1$.

Teorema: Las raíces $\{\alpha_j\}$ del polinomio primitivo de grado m $p(x) \in GF(q)[x]$ tiene orden $q^m - 1$. El teorema implica que las raíces $\{\alpha_j\}$ son los elementos primitivos en $GF(q^m)$.

A1.1.2. CONSTRUCCIÓN DEL CAMPO DE GALOIS $GF(2^m)$

Ejemplo: Construcción de $GF(8)$

$p(x) = x^3+x+1$ es primitivo en $GF(2)[x]$.

Sea α una raíz de $p(x) \Rightarrow \alpha^3 + \alpha + 1 = 0 \Rightarrow \alpha^3 = \alpha + 1$.

<u>Representación exponencial</u>		<u>Representación polinómica</u>
0	=	0
α^0	=	1
α^1	=	α
α^2	=	α^2
α^3	=	$\alpha + 1$
α^5	=	$\alpha^3 + \alpha^2 = \alpha^2 + \alpha + 1$
α^4	=	$\alpha^2 + \alpha$
α^6	=	$\alpha^2 + 1$
α^7	=	1

Suma: $\alpha^2 + \alpha^5 = (\alpha^2) + (\alpha^2 + \alpha + 1) = (\alpha + 1) = \alpha^3$

Multiplicación: $\alpha^4 \cdot \alpha^5 = \alpha^{9 \bmod (2^3-1)} = \alpha^2$

A1.2. CÓDIGOS NO BINARIOS BCH Y DE REED SOLOMON

Códigos BCH = clase extensa de códigos cíclicos poderosos para corregir errores aleatorios.

Códigos Reed Solomon (RS) = más importante entre los códigos BCH no binarios.

Un código RS que corrige t errores con símbolos de GF (q^m) tiene los parámetros siguientes:

- Longitud del bloque: $n = q^m - 1$ (MDS)
- Número de dígitos de chequeo de paridad: $n - k = 2t$
- Distancia mínima: $d_{\min} = 2t + 1$

A código cíclico q^m -ario (n, k) se genera por un polinomio de grado $n - k$ con coeficientes de GF (q^m) que es un factor de $x^n - 1$.

A1.3. CODIFICACIÓN DE FORMA SISTEMÁTICA

Considere los códigos RS con símbolos de GF(2^m), y sea α un elemento primitivo en GF(2^m).

El polinomio generador de un código RS primitivo que corrige t errores de longitud $2^m - 1$ es $g(x) = (x + \alpha)(x + \alpha^2) \dots (x + \alpha^{2t})$.

Sea $\alpha(x) = \alpha_0 + \alpha_1 x + \alpha_2 x^2 + \dots + \alpha_{k-1} x^{k-1}$ el mensaje a ser codificado, $k = n - 2t$. Los $2t$ dígitos de chequeo de paridad son los coeficientes del residuo $b(x) = b_0 + b_1 x + \dots + b_{2t-1} x^{2t-1}$ que es el resultado de dividir el polinomio mensaje $x^{2t} \alpha(x)$ por el polinomio generador $g(x)$. La Figura A1.1. muestra un sencillo diagrama de la codificación.

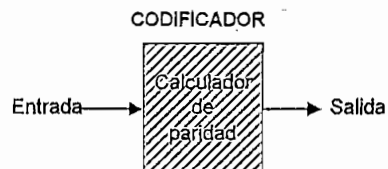


Figura A1.1. Codificador

A1.4. DECODIFICACIÓN DE CÓDIGOS REED SOLOMON

Sea $v(x) = v_0 + v_1 x + v_2 x^2 + \dots + v_{n-1} x^{n-1}$ el vector del código transmitido y sea $r(x) = r_0 + r_1 x + r_2 x^2 + \dots + r_{n-1} x^{n-1}$ el vector recibido correspondiente.

Entonces $e(x) = r(x) - v(x) = e_0 + e_1x + e_2x^2 + \dots + e_{n-1}x^{n-1}$ es el modelo del error agregado por el canal, donde $e_i = r_i - v_i$ es un símbolo de GF (2^m).

Asuma que el vector recibido tiene v errores en las posiciones i_1, i_2, \dots, i_v . Entonces

$$e(x) = e_{i_1}x^{i_1} + e_{i_2}x^{i_2} + \dots + e_{i_v}x^{i_v}$$

$\{\alpha^l\}, l = 1, 2, \dots, v$ define , los números de localización de errores. Entonces, se calcula los $2t$ síndromes como sigue:

$$S_j = r(\alpha^j) = e_{i_1}(\alpha^j)^{i_1} + e_{i_2}(\alpha^j)^{i_2} + \dots + e_{i_v}(\alpha^j)^{i_v} = e_{i_1}(\alpha^{i_1})^j + e_{i_2}(\alpha^{i_2})^j + \dots + e_{i_v}(\alpha^{i_v})^j$$

$$S_j = e_{i_1}X_1^j + e_{i_2}X_2^j + \dots + e_{i_v}X_v^j$$

Expandiendo obtenemos una secuencia de $2t$ ecuaciones algebraicas del síndrome:

$$\begin{aligned} S_1 &= e_{i_1}X_1 + e_{i_2}X_2 + \dots + e_{i_v}X_v \\ S_2 &= e_{i_1}X_1^2 + e_{i_2}X_2^2 + \dots + e_{i_v}X_v^2 \\ &\vdots \\ S_{2t} &= e_{i_1}X_1^{2t} + e_{i_2}X_2^{2t} + \dots + e_{i_v}X_v^{2t} \end{aligned}$$

Las ecuaciones del síndrome pueden traducirse en una serie de ecuaciones lineales definiendo el polinomio localizador de errores $\Lambda(x)$. $\Lambda(x)$ tiene como sus raíces los inverso de los localizadores de errores $\{X_i\}$:

$$\Lambda(x) = \prod_{i=1}^v (1 - X_i x) = \Lambda_v x^v + \Lambda_{v-1} x^{v-1} + \dots + \Lambda_1 x + 1$$

Asuma que $v = t$ errores han ocurrido, donde t es la capacidad de corrección de errores del código. Entonces, nosotros obtenemos la siguiente matriz de ecuaciones:

$$\begin{bmatrix} S_1 & S_2 & S_3 & \dots & S_t \\ S_2 & S_3 & S_4 & \dots & S_{t+1} \\ S_3 & S_4 & S_5 & \dots & S_{t+2} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ S_t & S_{t+1} & S_{t+2} & \dots & S_{2t-1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Lambda_t \\ \Lambda_{t-1} \\ \Lambda_{t-2} \\ \vdots \\ \Lambda_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -S_{t+1} \\ -S_{t+2} \\ -S_{t+3} \\ \vdots \\ -S_{2t} \end{bmatrix}$$

Para el proceso de decodificación es necesario la implementación de los siguientes algoritmos:

A1.4.1. Algoritmo iterativo de Berlekamp para encontrar el Polinomio Localizador del Error

A1.4.2. Algoritmo de Forney para Calcular las Magnitudes del Error

A1.4.3. Decodificación de la corrección

A1.4.1. ALGORITMO ITERATIVO DE BERLEKAMP PARA ENCONTRAR EL POLINOMIO LOCALIZADOR DEL ERROR

1. Calcular la secuencia del síndrome S_1, \dots, S_{2t} para la palabra recibida.
2. Inicializar las variables del algoritmo: $k = 0$, $\Lambda^{(0)}(x) = 1$, $L = 0$, y $T(x) = x$.
3. Poner $k = k + 1$. Calcular la diferencia $\Delta^{(k)}$ como sigue:

$$\Delta^{(k)} = S_k - \sum_{i=1}^L \Lambda_i^{(k-1)} S_{k-i}$$

4. Si $\Delta^{(k)} = 0$, entonces vaya al paso 8.
5. Modificar la conexión polinomial: $\Lambda^{(k)}(x) = \Lambda^{(k-1)}(x) - \Delta^{(k)}T(x)$.
6. Si $2L \geq k$, entonces vaya al paso 8.
7. Poner $L = k - L$ y $T(x) = \Lambda^{(k-1)}(x) / \Delta^{(k)}$.
8. Poner $T(x) = x \cdot T(x)$.
9. Si $k < 2t$, entonces vaya al paso 3.
10. Determinar las raíces de $\Lambda(x) = \Lambda^{(2t)}(x)$. Si las raíces son distintas y quedan en el campo correcto, determine las magnitudes del error, corrija las localizaciones correspondientes en la palabra recibida, y STOP.
11. Declare un fracaso de decodificación y STOP.

A1.4.2. ALGORITMO DE FORNEY PARA CALCULAR LAS MAGNITUDES DEL ERROR

Primero, defina un polinomio de síndrome de grado infinito

$$S(x) = S_1 x + S_2 x^2 + \dots + S_{2t} x^{2t} + S_{2t+1} x^{2t+1} + \dots$$

Entonces, defina el polinomio de magnitud del error como sigue:

$$\Omega(x) = [1 + S(x)] \Lambda(x)$$

Dado que nosotros conocemos sólo los primeros $2t$ coeficientes de $S(x)$, el problema de decodificación se vuelve uno de encontrar un polinomio $\Lambda(x)$ de grado menor o igual que t que satisfice.

$$\Lambda(x) [1 + S(x)] \equiv \Omega(x) \pmod{x^{2t+1}}$$

Las magnitudes del error se calculan usando la expresión:

$$e_k = \frac{-X_k \Omega(X_k^{-1})}{\Lambda'(X_k^{-1})}$$

Ejemplo: corrección de doble error usando el algoritmo de Berlekamp y un código Reed Solomon (7,3).

Usando la representación para GF(8), el siguiente polinomio generador para el código RS (7,3) se obtiene:

$$\begin{aligned} g(x) &= (x - \alpha)(x - \alpha^2)(x - \alpha^3)(x - \alpha^4) \\ &= x^4 + \alpha^3 x^3 + x^2 + \alpha x + \alpha^3 \end{aligned}$$

Sea $v(x) = \alpha^2 x^6 + \alpha^2 x^4 + x^3 + \alpha^5 x^2$ el polinomio recibido.

Entonces calcule los síndromes: $S_1 = \alpha^6$, $S_2 = \alpha^3$, $S_3 = \alpha^4$, $S_4 = \alpha^3$ y aplique el algoritmo de Berlekamp.

k	S_k	$\Lambda^{(k)}(x)$	$\Delta^{(k)}$	L	T(x)
0	-	1	-	0	x
1	α^6	$1 + \alpha^6 x$	$S_1 - 0 = \alpha^6$	1	αx
2	α^3	$1 + \alpha^4 x$	$S_2 - \alpha^5 = \alpha^2$	1	αx^2
3	α^4	$1 + \alpha^4 x + \alpha^6 x^2$	$S_3 - 1 = \alpha^5$	2	$\alpha^2 x + \alpha^6 x^2$
4	α^3	$1 + \alpha^2 x + \alpha x^2$	$S_4 - \alpha^4 = \alpha^6$	-	-

Tabla A1.1. Aplicación del algoritmo de Berlekamp.

El polinomio localizador del error es:

$$\Lambda(x) = 1 + \alpha^2 x + \alpha x^2$$

Calcule el polinomio de magnitud de error:

$$\begin{aligned} \Omega(x) &= \Lambda(x) [1 + S(x)] \bmod x^{2t+1} \\ &= (1 + \alpha^2 x + \alpha x^2)(1 + \alpha^6 x + \alpha^3 x^2 + \alpha^4 x^3 + \alpha^3 x^4) \bmod x^5 \end{aligned}$$

$$= (1 + x + \alpha^3 x^2) \bmod x^5$$

Los localizadores del error son $X_1 = \alpha^3$ y $X_2 = \alpha^5$. Las magnitudes del error encontradas serán:

$$e_{i_k} = \frac{-X_k \Omega(X_k^{-1})}{\Lambda'(X_k^{-1})} = \alpha^5 X_k + \alpha^5 + \alpha X_k^{-1}$$

$$e_3 = \alpha^5 \alpha^3 + \alpha^5 + \alpha \alpha^4 = \alpha$$

$$e_5 = \alpha^5 \alpha^5 + \alpha^5 + \alpha \alpha^2 = \alpha^5$$

El polinomio de error y la palabra código correspondiente:

$$e(x) = \alpha x^3 + \alpha^5 x^5$$

$$c(x) = \alpha^2 x^6 + \alpha^5 x^5 + \alpha^2 x^4 + \alpha^3 x^3 + \alpha^5 x^2 = \alpha^2 x^2 g(x)$$

A1.4.3. DECODIFICACIÓN DE LA CORRECCIÓN

Asuma un vector recibido con v errores y f correcciones. Sean $X_1 = \alpha^{l_1}$, $X_2 = \alpha^{l_2}$, ..., $X_v = \alpha^{l_v}$ los localizadores de error y $Y_1 = \alpha^{j_1}$, $Y_2 = \alpha^{j_2}$, ..., $Y_f = \alpha^{j_f}$ los localizadores de corrección.

Defina el polinomio de localizador de corrección:

$$\Gamma(x) = \prod_{l=1}^f (1 - Y_l x)$$

La decodificación se hace según los pasos siguientes:

1. Calcule el polinomio de corrección $\Gamma(x)$ usando la información de corrección proporcionada por el receptor.
2. Reemplace las coordenadas borradas con ceros y calcule el polinomio del síndrome $S(x)$.
3. Calcule el polinomio del síndrome modificado

$$\Xi(x) = (\Gamma(x) [1 + S(x)] - 1) \bmod x^{2t+1}$$

4. Aplique el algoritmo de Berlekamp para encontrar la conexión polinomial $\Lambda(x)$ usando los coeficientes del síndrome modificado Ξ_i , $i = f + 1, \dots, 2t$.

5. Encuentre las raíces de $\Lambda(x)$, de esta manera las localizaciones del error.
6. Determine las magnitudes de los errores y de las correcciones. Para eso, primero defina el polinomio localizador de error/corrección.

$$\Psi(x) = \Lambda(x) \Gamma(x)$$

Los valores de error y de corrección son:

$$e_k = \frac{-X_k \Omega(X_k^{-1})}{\Psi'(X_k^{-1})} \quad f_k = \frac{-Y_k \Omega(Y_k^{-1})}{\Psi'(Y_k^{-1})}$$

donde:

$$\Lambda(x) [1 + \Xi(x)] = \Omega(x) \text{ mod } x^{2t+1}$$

Ejemplo: decodificación Error/Corrección usando un código Reed-Solomon (7,3)

Sea $v(x) = \alpha^4 x^6 + \alpha^5 x^5 + \alpha^2 x^4 + x^3 + \alpha^6 x^2 + \alpha^5 x + \alpha^6$ el polinomio recibido

Asuma dos correcciones en las localidades $j_1 = 1, j_2 = 6$. Entonces,

$$\Gamma(x) = (1 - \alpha x)(1 - \alpha^6 x) = 1 + \alpha^5 x + x^2$$

Reemplace las coordenadas borradas por ceros y calcule los síndromes:

$$S_1 = \alpha, S_2 = \alpha, S_3 = \alpha, S_4 = \alpha^3$$

El polinomio del síndrome modificado está dado por:

$$\Xi(x) = [(1 + \alpha^5 x + x^2) (1 + \alpha x + \alpha x^2 + \alpha x^3 + \alpha^3 x^4) - 1] \text{ mod } x^5$$

$$\Xi(x) = \alpha^6 x + \alpha^4 x^2 + \alpha^6 x^3 + \alpha^2 x^4$$

Ahora aplique el algoritmo de Berlekamp para encontrar $\Lambda(x)$:

k	Ξ_k	$\Lambda^{(k)}(x)$	$\Delta^{(k)}$	L	T(x)
0	-	1	-	0	X
1	α^6	$1 + \alpha^6 x$	$\Xi_1 = \alpha^6$	1	αx
2	α^2	$1 + \alpha^3 x$	$\Xi_2 - \alpha^5 = \alpha^3$	-	-

Tabla A1.2. Cálculo del polinomio localizador del error.

Por consiguiente, $\Lambda(x) = 1 + \alpha^3x \Rightarrow X_1 = \alpha^3$. Luego, encontrar los polinomios $\Omega(x)$ y $\Psi(x)$:

$$\Omega(x) = \Lambda(x)[1 + \Xi(x)] \text{ mod } x^5$$

$$\Omega(x) = (1 + \alpha^3x) (1 + \alpha^6x + \alpha^4x^2 + \alpha^6x^3 + \alpha^2x^4) \text{ mod } x^5$$

$$\Omega(x) = 1 + \alpha^4x + \alpha x^2 + \alpha^2x^3. \Psi(x) = \Lambda(x) \Gamma(x)$$

$$\Psi(x) = (1 + \alpha^3x) (1 + \alpha^5x + x^2)$$

$$\Psi(x) = 1 + \alpha^2x + \alpha^3x^2 + \alpha^3x^3 \Rightarrow \Psi'(x) = \alpha^2 + \alpha^3x^2$$

Finalmente, calcule las magnitudes de error y de corrección:

$$e_3 = \frac{\alpha^3\Omega(\alpha^4)}{\Psi'(\alpha^4)} = \alpha^6$$

$$f_1 = \frac{\alpha\Omega(\alpha^6)}{\Psi'(\alpha^6)} = \alpha^5$$

$$f_6 = \frac{\alpha^6\Omega(\alpha)}{\Psi'(\alpha)} = \alpha^4$$

La palabra código correspondiente es:

$$c(x) = (\alpha^6 + \alpha^6x^2 + x^3 + \alpha^2x^4 + \alpha^5x^5) + (\alpha^5x + \alpha^6x^3 + \alpha^4x^6)$$

$$c(x) = \alpha^6 + \alpha^5x + \alpha^6x^2 + \alpha^2x^3 + \alpha^2x^4 + \alpha^5x^5 + \alpha^4x^6$$

La Figura A1.2. muestra un diagrama de bloques donde se muestran las etapas que se realizan en el proceso de decodificación.

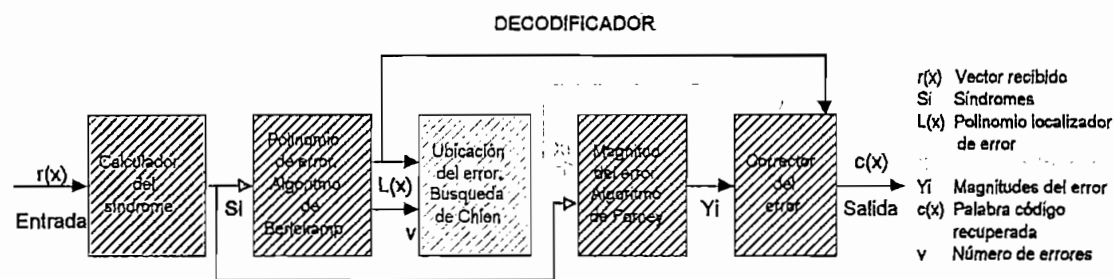


Figura A1.2. Decodificador

ANEXO 2

COMPRESIÓN DIGITAL DE VIDEO MPEG-2

El grupo de expertos de imágenes en movimiento (MPEG, Motion Picture Experts Group) fue formado por la Organización Internacional de Estándares (ISO) para desarrollar un conjunto de estándares para compresión de video digital y en concordancia con las siete capas del modelo OSI. El primer intento de MPEG fue para suplir la compresión de datos a velocidades de 1.5 Mbps para imágenes almacenadas. La segunda parte llamada MPEG-2, fue diseñada para generar velocidades de pixel entre 5 y 10 Mbps, para videos de mejor calidad en CATV y HDTV, entre otros. Este anexo se basa en las referencias [15], [19], [39] y [56].

A2.1. VIDEO DIGITAL

El video digital, utilizando tecnología de compresión MPEG-2 (estandarizado en ISO/IEC 13818), se transportará sobre redes de telecomunicaciones centrales tradicionales y una variedad de accesos de red residenciales que están emergiendo, incluyendo MMDS. Esto requiere una estrategia de comprobación que aislará los problemas a la red específica (central o de acceso) y la capa de transmisión. Los problemas de transmisión pueden ser analógicos o digitales por naturaleza. Un dato MPEG-2 está sujeto a diferentes deterioros en cada tipo de red, por ejemplo, en la red central SONET o SDH, ATM pueden dominar los deterioros, mientras en HFC pueden dominar la distorsión no lineal de la red de acceso y el ingreso de ruido.

Las razones para desplegar el video digital en general y específicamente video digital MPEG-2 son:

- El video digitalizado puede editarse utilizando editores no lineales.
- El video digitalizado puede guardarse en servidores; la compresión permite un almacenamiento más eficaz.
- Pueden transmitirse varios programas de video digital en un ancho de banda de un solo canal analógico de TV.
- Más alta calidad de video y audio, calidad escalable variando la velocidad de bits del codificador.
- Inclusión de datos, tales como guías electrónicas de los programas dentro del flujo de transporte MPEG.
- Interactividad mejorada.
- Inserción de contenido local.

La arquitectura básica de video digital, de la fuente al espectador, se muestra en Figura A2.1.

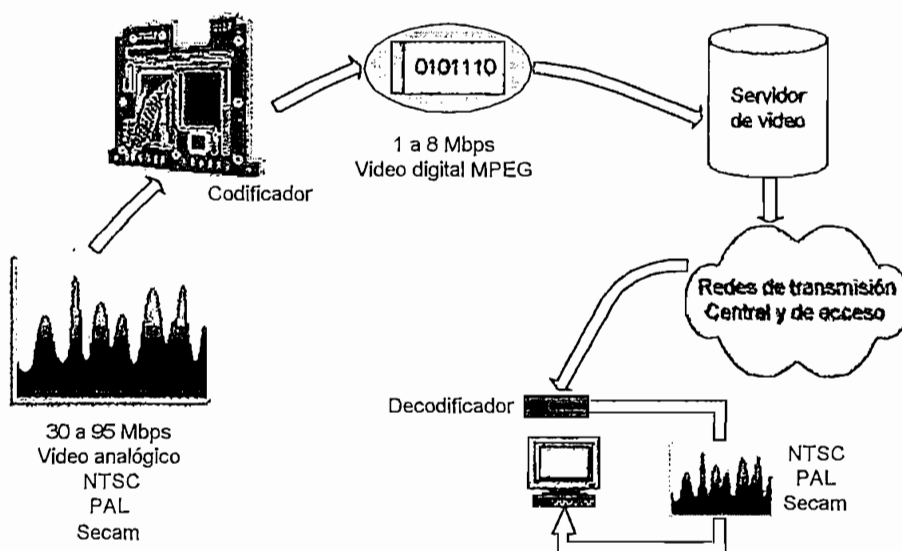


Figura A2.1. Arquitectura básica de video

A2.2. COMPRESIÓN DIGITAL

En la terminología de las señales digitales, compresión equivale a reducción de los datos a transmitir o grabar. La compresión es posible porque los mensajes (imágenes y sonidos) tienen mucha información redundante. Se define la redundancia como aquellos datos que son repetitivos o predecibles. La diferencia entre la cantidad total de datos de un mensaje y su redundancia se llama entropía, y corresponde a la información esencial del mensaje. En el caso de una señal de televisión, la redundancia puede ser espacial o temporal, según se refiera al mismo o a sucesivos campos de la imagen.

Cuando se comprime una señal, el transmisor elimina una parte de la información que contiene y reduce el flujo de datos. El receptor deberá reconstruir una aproximación del mensaje original a partir de la información restante que le llegue. La compresión de un mensaje puede hacerse:

- Sin pérdidas reales, es decir, transmitiendo toda la entropía del mensaje.
- Subjetivamente sin pérdidas, eliminando parte de la información esencial del mensaje que el observador no es capaz de percibir.
- Subjetivamente con pérdidas. En este caso, el mensaje se reconstruirá con errores perceptibles pero tolerables.

Los mecanismos que intervienen en la compresión se fundamentan en:

- La elección de un código adecuado.

- La eliminación de la información redundante o la menos significativa.

La elección de códigos eficaces permite reducir notablemente el flujo de bits necesario sin que se produzcan pérdidas en el mensaje. Como es frecuente en televisión, una imagen contiene grandes zonas del mismo color (por ejemplo rojo) se producirán muchas muestras iguales, que tendrán el mismo valor de código. Para su transmisión, en lugar de repetir el valor: "rojo, rojo, rojo,..." , sería más corto decir "n veces rojo", o sea, no transmitir el valor de cada muestra sino el número de veces que su valor se repite. Este artificio se conoce como "codificación de secuencias".

Si la redundancia de una zona de la imagen es grande, las muestras colindantes suelen ser parecidas, y en vez de codificar el valor absoluto de cada muestra, puede resultar más ventajoso codificar la medida en que cada muestra difiere de la anterior. Es lo que se denomina "codificación diferencial". Cuando esto sucede, podemos evitar la transmisión de una muestra ya que el receptor puede predecir el valor aproximado de la misma, calculándolo matemáticamente a partir de los valores de las muestras de dos o tres píxeles próximos. La proximidad de los píxeles puede ser espacial (en el mismo campo) o temporal (campos o cuadros sucesivos), esto nos ofrece tres tipos de predicción básicos: intracampo, intercampo e intercuadro.

Para eliminar la redundancia de un mensaje, necesitamos algún método que nos permita conocerla y separarla de la entropía del mismo. La solución a este problema nos ofrecen diversos procedimientos matemáticos, bastante engorrosos y nada fáciles de entender. La esencia de estos procedimientos radica en unas funciones matemáticas que nos permiten transformar una señal desde el dominio del tiempo al dominio de la frecuencia. Dicha transformación es posible porque la forma con que una señal varía en el tiempo está relacionada con las frecuencias puras que la componen.

Una señal de audio varía unidireccionalmente en un intervalo de tiempo y equivale a la suma, en ese intervalo, de un número determinado de señales sinusoidales de diferente amplitud, frecuencia y fase. La determinación de estas señales sinusoidales puede hacerse mediante una función matemática conocida como Transformada de Fourier.

A2.3. COMPRESIÓN DE VIDEO EN MPEG

En el caso de una imagen de video la variación de los píxeles se produce en las direcciones horizontal y vertical. Para procesar la imagen se utiliza una función matemática bidimensional conocida como "Transformada Discreta en Coseno (DCT, Discrete Cosine Transform)". Esta función se aplica a muestras de imagen tomadas en "bloques" de 8x8 píxeles y calcula, por

cada bloque, los 64 coeficientes que corresponden a las frecuencias horizontales y verticales del bloque. Como muestra la Figura A2.2.

La utilidad de la DCT radica en que, en el dominio del tiempo, las amplitudes de las 64 muestras de cada bloque de 8x8 píxeles suelen tener valores diferentes y de elevada cuantía, mientras que muchos de los 64 coeficientes de la función transformada suelen ser pequeños y muy iguales, y sólo unos pocos tienen un peso relevante. Esto permite cuantificarlos y codificarlos de una manera eficiente con códigos como los descritos en el apartado anterior. Para optimizar el número de ceros consecutivos, la lectura de los coeficientes se hace en zigzag y no horizontalmente. En la Figura A2.2. se indica los valores de las muestras y coeficientes de frecuencias para la luminancia de una escala de grises. Hay que resaltar que la DCT por sí misma no reduce los datos. Es la naturaleza de la señal de video la que hace que muchos coeficientes valgan cero, o tengan un valor tan pequeño que el ojo humano no pueda apreciar su efecto.

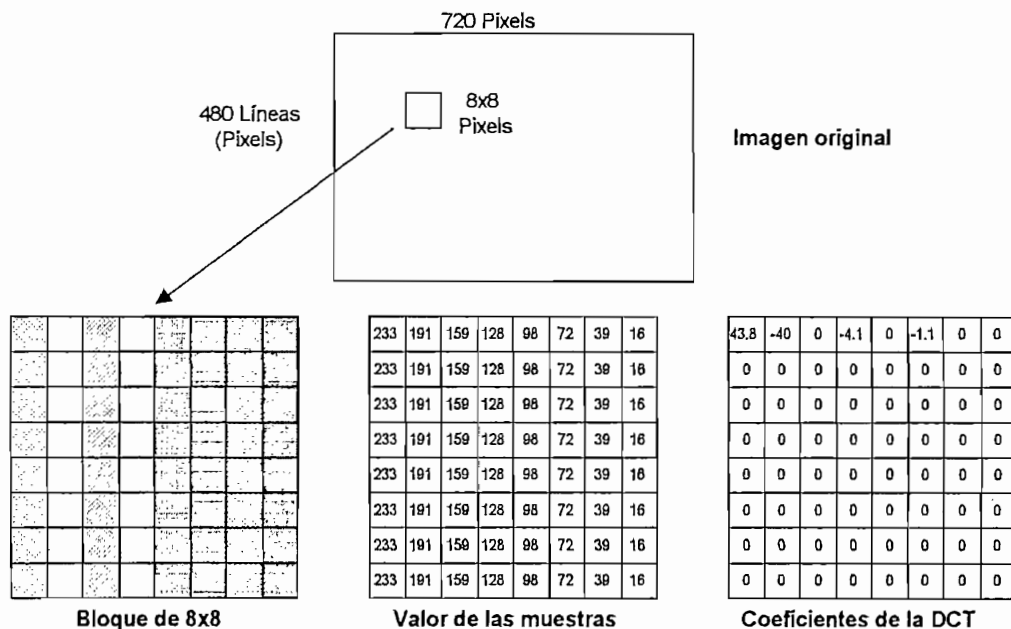


Figura A2.2. Transformada Discreta Coseno

MPEG-2 logra la compresión de dos modos: compresión espacial y compresión temporal.

A2.3.1. COMPRESIÓN ESPACIAL

La compresión espacial se refiere a una reducción del bit lograda en un solo cuadro. Este método de compresión utiliza una combinación de mosaicos de la imagen en bloques de bits (8x8), utilizando la Transformada Discreta Coseno, y aplicando el código de longitud corrida de Huffman para lograr la reducción del bit. En la codificación espacial hay pérdidas (es decir, un

poco de información se pierde en la compresión), pero existen parámetros de control para negociar fuera de imagen la pérdida contra la compresión y procesamiento. Algunos de estos parámetros son controlados por el usuario; otros se ajustan automáticamente en el proceso de codificación.

A2.3.2. COMPRESIÓN TEMPORAL

De mayor interés para el análisis de la red es la compresión temporal. Diferente de la compresión espacial, esta técnica de compresión logra la mayor reducción del bit. La compresión temporal se refiere a la reducción del bit que se logra quitando los bits de los cuadros sucesivos aprovechándose del hecho que relativamente pocos pixeles cambian la posición en 1/30 de un segundo (el periodo de tiempo entre los cuadros adyacentes). Un cuadro puede codificarse utilizando el conocimiento de un cuadro anterior y la predicción del movimiento aplicado para que se envíen simplemente los vectores de movimiento de bloques o macrobloques en lugar de codificar un cuadro completo. Esto logra una compresión superior que JPEG, que utiliza la misma compresión espacial como MPEG-2 pero no tiene ninguna provisión para la compresión temporal.

Además de la compresión, la calidad de presentación de video es afectada por otros factores que se detallan en la lista siguiente:

- Distancia de observación
- Velocidad de bit
- Contenido de la imagen
- Tamaño de la pantalla de imagen

Estos factores deben ser considerados al poner los parámetros para la compresión temporal. Con respecto a la velocidad de bit, un grupo de pruebas (Cermak) ha mostrado que el video MPEG-2 de 3 Mbps es comparable a la TV analógica normal y VHS sobre una gama amplia de contenido. Incrementando las velocidades de bit a 8.3 Mbps, sin embargo, no mejoran la calidad de vista significativamente. En cambio, MPEG de 8.3 Mbps se vio como comparable a la señal original no comprimida.

La sección siguiente discute los tipos de cuadros, los cuales están centrados a la compresión temporal.

A2.3.3. TIPOS DE CUADROS

Para lograr compresión temporal, se definen los siguientes tres tipos diferentes de cuadros:

- Cuadros I, o Intracuadros, los cuales son cuadros completos (comprimidos espacialmente)
- Cuadros P, o cuadros predichos, los cuales se predicen de cuadros I u otros cuadros P utilizando la predicción de movimiento.
- Cuadros B, o cuadros bidireccionales, los cuales se interpolan entre cuadros I y P.
- Cuadros D (cuadros DC) son cuadros que contienen solamente la DC (bloques de 8x8) para cada bloque. El soporte de este tipo de cuadro es opcional, y las secuencias pueden no contener cuadros D mezcladas con los otros tipos de cuadros.

Los cuadros P logran una reducción del bit en el orden de 50 por ciento de su cuadro I correspondiente. Los cuadros B logran la reducción del bit en el orden de 75 por ciento. Estas estimaciones de compresión son para el video MPEG-2 de 4 Mbps con definición SDTV y sin demasiado movimiento. La reducción real del bit difiere según el contenido del cuadro, la mezcla de cuadros I, P, y B en el flujo, y varios ambientes de parámetros para la compresión espacial.

A2.4. CLASIFICACIÓN Y PROTECCIÓN DE CUADRO

La Figura A2.3. muestra una secuencia de cuadros MPEG-2 en orden de despliegue. Este orden es diferente del orden en que los cuadros son decodificados. El decodificador recibe un cuadro I (Cuadro 1) que utiliza compresión espacial y despliega inmediatamente el cuadro. Dos cuadros B (Cuadros 2 y 3) son recibidos y protegidos por el decodificador. Finalmente, el decodificador entonces recibe un cuadro P (Cuadro 4), que fue utilizado por el codificador para calcular los cuadros B simplemente recibidos.

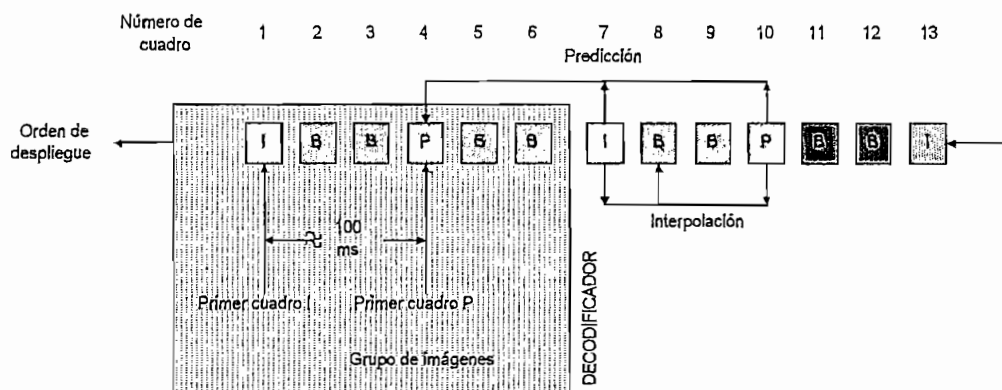


Figura A2.3. Compresión temporal MPEG en orden de despliegue.

El uso de cuadros B significa que el orden en que los cuadros son desplegados por el receptor no es el mismo orden en que se decodifican los cuadros en el receptor. En la Figura A2.3. el orden de decodificación es I, P, B, B. Esto es porque el cuadro P se calcula primero y entonces utilizando el cuadro I se calcula los dos cuadros B intermedios.

Dos cuadros B más (cuadros 5 y 6) entonces son recibidos y protegidos por el decodificador. El cuadro I original se descarta, y el primer cuadro P se utiliza con el próximo cuadro I (Cuadro 7) para calcular los dos últimos cuadros B. Con la recepción del nuevo cuadro I, el proceso se repite. Si existen muchos cuadros I, la calidad de la imagen tiende a ser más alta, pero se hace uso de ancho de banda. A pesar de eso, los cuadros I son necesarios cuando falla la compensación de movimiento para producir imágenes buenas.

El uso de cuadros B es un problema polémico porque estos imponen los requisitos de protección en el orden de Instrumentos Generales 1, un experto y pionero en el campo de TV digital, Ñhave (participante original de la Gran Alianza) se resistió al uso de cuadros B, creyendo que el costo del decodificador no justifica la reducción del ancho de banda en la red. Las actitudes sobre los cuadros B están volviéndose más amistosas porque el costo de memoria cae, pero hay todavía cambios importantes en el tamaño del buffer, la latencia, el ancho de banda, el costo de la memoria set-top, y la calidad de imagen.

Utilizando la Figura A2.3. el grupo de imágenes se refiere al conjunto de cuadros entre los cuadros I, incluso el primer cuadro I. El grupo de imágenes se muestra en la porción sombreada de la Figura A2.3. las imágenes en el grupo de imágenes se llama la distancia del cuadro I; en este ejemplo, la distancia del cuadro I es 6. La distancia del cuadro P es el número de cuadros. En la Figura A2.3. la distancia del cuadro I y la distancia del cuadro P son parámetros importantes. Para televisión que presenta 30 cuadros por segundo la distancia del cuadro I está en el orden de 15, lo que significa que un cuadro I es enviada cada medio segundo. La distancia del cuadro P está en el orden de 0.

La Figura A2.4. muestra un esquema de la codificación Intracampo, o sea, por comparación de muestras del mismo campo de la imagen. Una primera reducción de flujo se consigue convirtiendo la señal de entrada 4:2:2 de 10 bits a 4:2:0 de 8 bits. Después se aplica la DCT y se hace una cuantificación inteligente de los coeficientes para disminuir la redundancia de la señal. Finalmente se codifica la entropía resultante con códigos de secuencias y de longitud variable. Para suavizar y limitar el flujo de datos de salida, la cuantificación se hace más o menos severa mediante una señal de control que llega desde la salida.

Cuando hay movimiento, la información de un bloque puede variar de un campo al siguiente. El cálculo de los vectores de movimiento se hace con macrobloques de 16x16 píxeles (4 bloques) e investigando el sentido de los desplazamientos entre imágenes sucesivas. La codificación intercuadro trabaja sobre las imágenes aún no comprimidas y es un proceso sin pérdidas. Partiendo del cuadro actual y sus correspondientes vectores de movimiento, se calcula y predice el cuadro siguiente. Este cuadro predicho se resta del actual para obtener un cuadro error denominado "Cuadro P" cuyo contenido de información es pequeño y puede comprimirse fácilmente. Los Cuadros P contienen sólo predicción unidireccional.

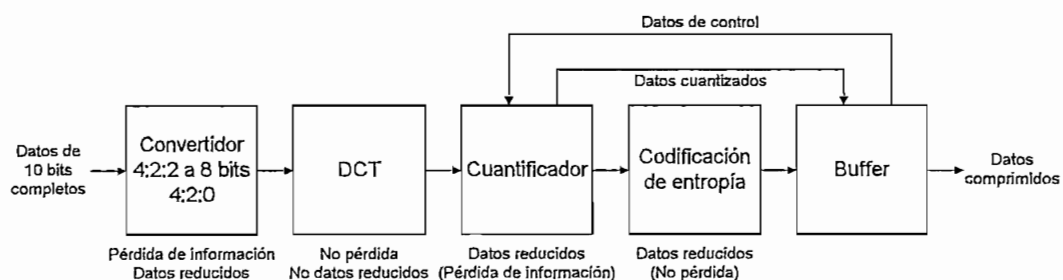


Figura A2.4. Codificación intracampana

MPEG-2 utiliza también imágenes predichas bidireccionalmente, es decir, con los cuadros anteriores y posteriores. A estos cuadros se les llama "Cuadros B". Contienen muy poca información pero son muy eficaces para controlar los errores de movimiento.

La idea básica de los cuadros P y B radica en que se necesita menos información para mandar los vectores de movimiento que la que se requeriría para mandar la información comprimida del macrobloque de píxeles, con lo que la compresión resulta más eficiente.

Las imágenes comprimidas I, P y B se transmiten en grupos de hasta 12 ó 15 imágenes. Cada grupo de imágenes se denomina GOP (Group of Pictures) y comienza con un cuadro tipo I, y se extiende hasta el siguiente cuadro I. Entre ellas se transmiten, con un orden preestablecido, los cuadros P y B.

El flujo binario de salida del codificador es un bloque de datos de gran tamaño organizado según una estructura jerárquica anidada. La jerarquía comienza en el nivel denominado "secuencia de video" y termina en el nivel correspondiente a los "bloques de la DCT". Se denomina "Corriente Binaria Elemental" (Elementary Bit Stream) y contiene toda la información fundamental de la señal de video codificada.

A2.5. VIDEO EN MPEG-2. PERFILES Y NIVELES

La codificación de video, en la forma que se ha descrito anteriormente, y su transmisión en grupos de imágenes del tipo I, P y B, confiere al sistema gran flexibilidad para ofrecer distintas calidades de imagen. MPEG-2 puede transmitir diferentes señales de video: entrelazadas ó no entrelazadas, de alta ó baja resolución, formato 4/3 ó 16/9, etc. Puede aceptar diferentes muestreos, como 4:2:2, 4:2:0, etc., y tener diferentes flujos binarios.

Hay diversos tipos de MPEG-2 que pueden clasificarse según una matriz de cinco "perfiles" y cuatro "niveles" (Tabla A2.1.), que nos determina el flujo binario máximo permitido para cada tipo. Los niveles definen las características (resolución, frecuencia de campo y formato) de la

señal de video original. Los perfiles definen las herramientas utilizadas para la compresión de datos.

De las 20 posibilidades que tiene la matriz, sólo se consideran útiles los once tipos de MPEG-2 a los que se les ha asignado el valor del flujo binario. De todos los tipos útiles, el más conocido es el de perfil y nivel "principal" que ha sido adoptado por el proyecto europeo DVB para la radiodifusión digital de programas.

	SIMPLE No cuadros B 4:2:0 No escalable	PRINCIPAL Cuadros B 4:2:0 No escalable	SNR Cuadros B 4:2:0 SNR escalable	ESPACIAL Cuadros B 4:2:0 SNR escalable Espacial escalable	ALTO Cuadros B 4:2:0 ó 4:2:2 SNR escalable Espacial escalable
ALTO 1920 Píxeles 1152 Líneas		80 Mbps (max)			100 Mbps (max)
ALTO-1.440 1440 Píxeles 1152 Líneas		60 Mbps (max)		60 Mbps (max)	80 Mbps (max)
PRINCIPAL 720 Píxeles 576 Líneas	15 Mbps (max)	15 Mbps (max)	15 Mbps (max)		20 Mbps (max)
BAJO 352 Píxeles 288 Líneas		4 Mbps (max)	4 Mbps (max)		

Tabla A2.1. Perfiles y niveles de MPEG-2.

A2.6. AUDIO EN MPEG-2

La compresión de audio tiene fundamentos semejantes a los de la compresión de video:

- Eliminar la redundancia de la señal de audio.
- Eliminar aquellas señales que son irrelevantes para el oído humano.

Sin embargo, la redundancia en las señales de audio es mucho menor que en las de video y la aplicación de la Transformada de Fourier es menos eficaz. En cambio, las propiedades del oído humano permiten un elevado grado de compresión ya que:

- Las bajas y altas frecuencias no son audibles si tienen un nivel por debajo del nivel umbral del oído para esas frecuencias.
- Un sonido fuerte de una determinada frecuencia cubre a los sonidos más débiles de frecuencias próximas.

Por tanto, estos componentes más débiles, que no se oírían incluso si los reprodujeramos fielmente, se eliminan en la codificación.

Hay tres capas o grados de complejidad en la compresión MPEG de audio. MPEG-2 permite sonidos monofónicos, estéreo y multicanal de alta calidad. La norma denominada multicanal 5.1 da la posibilidad de 5 canales a plena banda, más un canal de realce de bajos. Al igual que en el caso del vídeo, el flujo de datos de audio se denomina también corriente binaria elemental.

A2.7. FLUJOS DE DATOS MPEG-2

La señal MPEG-2 es muy compleja, y depende de qué parte de la cadena MPEG usted está interesado, los requerimientos serán diferentes: ES, PES, TS, PSI.... La terminología es nueva y confunde. La estructura del programa MPEG-2 y los flujos de transporte se muestran en la Figura A2.5. Estos se describirán más abajo.

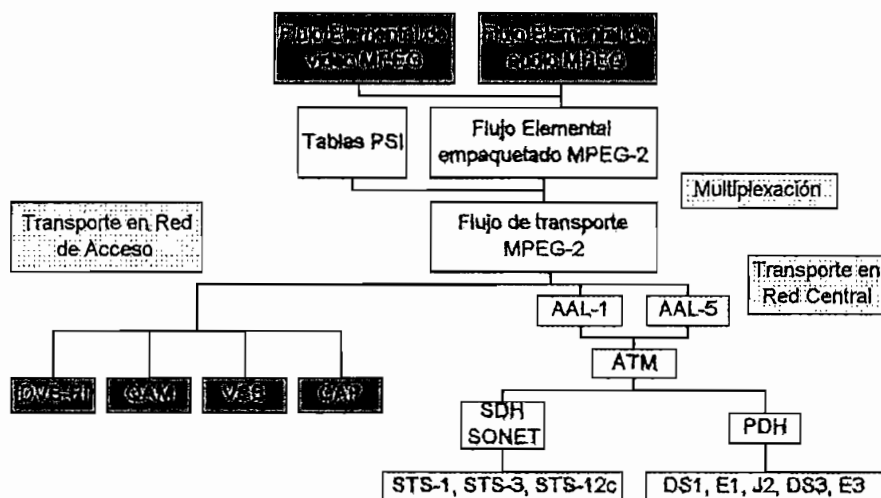


Figura A2.5. Estructura del programa MPEG-2

A2.7.1. FLUJO ELEMENTAL

Empezando con el contenido de vídeo y audio analógicos, los flujos elementales individuales (ES) se crean en el codificador MPEG-2. Es trabajo del codificador aplicar los algoritmos de compresión MPEG-2 al contenido de la fuente. Esto resulta en un ES comprimido individual para cada flujo de audio y vídeo. Si el codificador ha hecho su trabajo apropiadamente, la imagen y audio resultantes serán buenos; cuando se decodifica en una caja set-top y se ve en una TV. Lo que determina un flujo elemental bueno depende de varios factores:

- Calidad del material de la fuente original.

- La velocidad binaria del flujo codificado.
- Como el codificador aplica los algoritmos de compresión MPEG-2 dentro de la velocidad binaria permisible.

La compresión MPEG-2 consiste de dos componentes principales:

1. Compresión espacial intracuadro.
2. Compresión en movimiento intercuadro.

Los codificadores utilizan técnicas apropiadas para permanecer dentro de la máxima velocidad binaria permitida mientras al mismo tiempo asigna los bits a ambos componentes de compresión. Esto es una negociación entre la asignación de bits para el detalle en un solo cuadro y los bits para representar los cambios (movimiento) de cuadro a cuadro.

En la actualidad no hay ninguna correlación directa, entre los datos en el flujo elemental y la calidad de imagen. De momento, la única manera de verificar la calidad de la codificación es con el ojo humano, después de la decodificación.

A2.7.2. FLUJO ELEMENTAL EMPAQUETADO

Los flujos elementales individuales son esencialmente interminables. Es decir, la longitud del ES es tan larga como el propio programa. Cada ES se fracciona en paquetes de longitud variable. Resultando el Flujo Elemental Empaquetado (PES, Packetized Elementary Stream) que contiene una cabecera y bytes de carga útil. La cabecera contiene información sobre el proceso de codificación requerido por el decodificador MPEG para ser capaz de descomprimir el ES. Cada flujo ES individual resulta en un PES individual. A estas alturas, la información de audio y video todavía residen en PESs separados. El PES es principalmente una estructura lógica y realmente no se piensa que será utilizado para el intercambio, transporte, e interoperabilidad. El PES también sirve como un punto de conversión común entre los flujos de transporte y los flujos de programa.

A2.7.3. FLUJO DE TRANSPORTE

El Flujo de Transporte (TS) y el Flujo de Programa se forman por la multiplexación de paquetes PES. Durante la formación del flujo de transporte, se insertan paquetes adicionales, conteniendo tablas necesarias para demultiplexar el TS. Estas tablas se llaman colectivamente Información Específica de Programa (PSI). Los paquetes nulos, conteniendo una carga útil sin significado, también pueden insertarse para llenar los intervalos entre los paquetes de información productivos. Algunos paquetes contendrán información *para sincronizar* su programa asociado, y se llaman Referencia del Reloj de Programa (PCR). El PCR se inserta

en uno de los campos de cabecera opcionales del paquete TS. La recuperación del PCR permite al decodificador sincronizar su reloj a la misma proporción que el reloj del codificador original.

Los paquetes TS son fijos en la longitud en 188 bytes con mínimo 4 bytes de cabecera y máximo 184 bytes de carga útil. La estructura de la cabecera del flujo de transporte se muestra en la Figura A2.6.

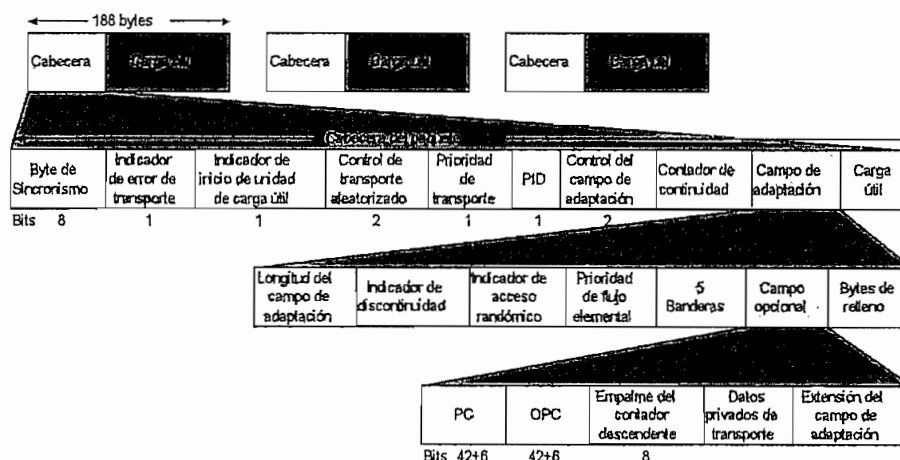


Figura A2.6. Estructura de la cabecera del flujo de transporte

Los principales campos en los 4 bytes mínimos de la cabecera son el byte de sincronización y el paquete ID (PID). La función del byte de sincronización se indica por su nombre. Es una palabra digital larga utilizada para delinear el principio de un paquete TS.

El PID es un único identificador de dirección. Cada flujo de video y audio así como cada tabla PSI necesita tener un único PID. El valor de PID se aprovisiona en el equipo de multiplexación MPEG. Ciertos valores de PID son reservados. Se indican los valores de PID reservados importantes en la Tabla A2.2. Otros valores de PID reservados son especificados por las organizaciones como DVB y ATSC para las guías electrónicas del programa y otras tablas.

8.191	Paquete nulo
0	Tabla de Asociación de Programas (PAT)
1	Tabla de Acceso Condicional (CAT)
8.191	Paquete nulo

Tabla A2.2. Valores de PID reservados

Para reconstruir un programa de todos sus componentes de video, audio, y tabla, es necesario asegurar que la asignación de PID se haga correctamente y que haya consistencia entre los

contenidos de la tabla PSI y los flujos asociados de video y audio. Este es uno de los principales problemas de MPEG.

Otros campos importantes en la cabecera del flujo de transporte incluye:

1. **Contador de continuidad (continuity_counter).** Es un campo de 4 bits que repetidamente se incrementa de 0 a 15 para cada PID; utilizado para determinar si los paquetes están perdidos o repetidos.
2. **Referencia de reloj de programa (PCR, Program Clock Reference).**
3. **Indicador de discontinuidad (discontinuity_indicator).** Indica una base de tiempo (PCR) y discontinuidad del continuity_counter; permite el decodificador ocuparse de tales discontinuidades.
4. **Indicador de acceso aleatorio (random_access_indicator).** Indica que el próximo paquete PES en el flujo PID contiene una cabecera de secuencia de video o el primer byte de una cuadro de audio.
5. **Empalme del contador descendente (splice_countdown).** Indica el número de paquetes del mismo número de PID a un punto del empalme (cuando un nuevo paquete PES empieza).

La salida del flujo de transporte MPEG resultante de un multiplexor puede ser un solo flujo de transporte de programa (SPTS) o, más generalmente, un flujo de transporte multiprograma. Un programa consiste en uno o más flujos elementales con la misma referencia de tiempo (por ejemplo, el audio y video de una película). Puede ser útil pensar en un programa de MPEG como el equivalente digital de un canal en el mundo de la TV analógica. Un multiplexor también puede utilizarse para crear un flujo de transporte multiprograma desde un número de flujos de transporte de programa individuales. Cuando esto se hace, pueden cambiarse los valores PID, subrayando la necesidad de verificar el aprovisionamiento exacto.

A2.7.4. FLUJO DE PROGRAMA

Se piensa que el TS es transportado sobre las redes con pérdida. Para los medios de transmisión sin pérdidas, tales como DVDs (Digital Video Disc), se utiliza una alternativa al flujo de transporte, llamada flujo de programa. La creación del flujo de programa, como el flujo de transporte, pasa en un multiplexor MPEG. Un flujo de programa contiene solo un programa individual y consiste de paquetes largos.

A2.7.5. INFORMACIÓN ESPECÍFICA DE PROGRAMA

La información específica de programa (PSI) es parte del flujo de transporte. La PSI no es solo una, sino un juego de tablas que se requieren para la demultiplexación y ordenamiento de los

PIDs pertenecientes a los programas. La Figura A2.7. indica la secuencia de decodificación de la tabla PSI requerida para ensamblar y descomprimir los contenidos de un programa. Trabajando al revés (para determinar qué PIDs de audio y video contienen el volumen de un programa particular), una Tabla de Mapa de Programa (PMT) debe decodificarse. Cada programa requiere su propio PMT con un único valor de PID. Para determinar qué PID contiene el PMT del programa deseado, la Tabla de Asociación de Programa (PAT) debe decodificarse. El PAT es la tabla PSI máster con valores de PID siempre iguales a cero (PID = 0). Si la PAT no puede encontrarse y decodificarse en el flujo de transporte, entonces ningún programa puede encontrarse, descomprimirse, y observarse.

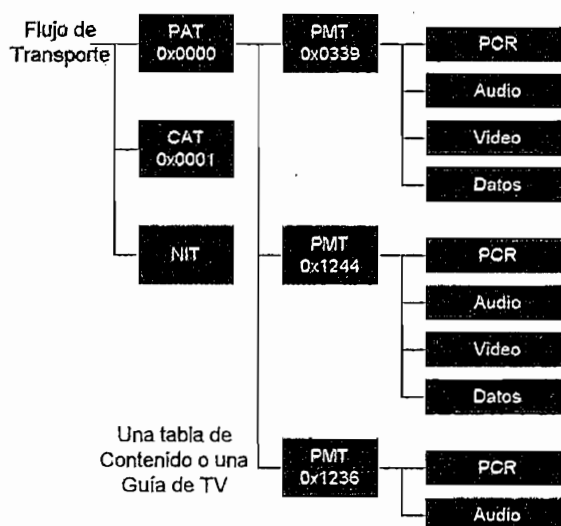


Figura A2.7. Secuencia de la tabla PSI

Para que una caja set-top pase por la recuperación del programa y proceso de descompresión, las tablas PSI deben enviarse periódicamente y con una tasa de repetición suficientemente rápida para que un espectador del canal buscado no sienta que la selección del programa toma demasiado tiempo. Así, verificando las tablas PSI para la sintaxis correcta y la tasa de repetición es una parte vital de MPEG.

Otro problema de PSI involucra la determinación de la exactitud y consistencia del contenido PSI. Cuando se cambian programas o se modifica el aprovisionamiento del multiplexor puede ocurrir lo siguiente:

- **PID sin referencia (unreferenced PID).** Paquetes con un valor de PID están presentes en el flujo de transporte los cuales no están referidos a ninguna tabla.
- **PID perdido (missing PID).** No hay paquetes con el valor de PID referido a una tabla PSI presente en el flujo de transporte.

Otra prueba útil de PSI es un chequeo de sanidad (control de errores) del contenido del programa. Simplemente porque no hay PIDs sin referencia o perdidos que indican el significado de que el espectador está recibiendo el programa correcto. Puede haber también por ejemplo, una desigualdad del contenido de audio del programa A que está siendo entregado con el contenido de video del programa B. Desde que MPEG permite múltiples canales de audio para idiomas múltiples, el chequeo de sanidad puede asegurar que los espectadores están recibiendo el idioma correcto. Es posible para utilizar una caja set-top y una televisión para hacer el chequeo de sanidad, pero una manera buena sería utilizar un set de prueba MPEG que incorpora toda la tabla PSI que verifica la construcción en el descompresor con imagen y despliegue de audio. Esto permitiría la comprobación personal para poner en correlación volúmenes de PSI y el programa real satisfecho así también permite un chequeo audiovisual rápido de la calidad del flujo elemental.

A2.8. CHEQUEOS DE SANIDAD DEL FLUJO DE TRANSPORTE

Además de los chequeos de la tabla y los chequeos de sanidad del contenido del programa, varios chequeos de sanidad de paquetes del flujo de transporte MPEG deben hacerse para asegurar que la multiplexación y transmisión sean hechos correctamente con poca o ninguna degradación. El consorcio de transmisión de video digital (DVB) ha desarrollado una lista de chequeos de sanidad del flujo de transporte estándares los cuales son parte de ETSI Technical Report ETR 290. Estos parámetros se han agrupado en tres niveles de prioridad.

- **Primera prioridad.** Necesario para la decodificabilidad, monitoreo básico.
- **Segunda prioridad.** Recomendado para la supervisión continua o periódica.
- **Tercera prioridad.** Monitoreo dependiente de la aplicación.

Los parámetros correspondientes a estas prioridades pueden encontrarse con definiciones completas en ETR 290.

A2.9. PRUEBAS Y MEDICIONES ADICIONALES DEL FLUJO DE TRANSPORTE

Otras mediciones útiles del flujo de transporte MPEG-2 incluyen monitoreo en tiempo real de los anchos de banda de PIDs individuales y jitter de PCR. La capacidad de transmitir un flujo de transporte MPEG puede ser útil para depurar las redes durante la instalación y mantenimiento así como en las aplicaciones industriales. Para estas aplicaciones, varios flujos de transporte MPEG precodificados se guardarían en el set de prueba listo para la llamada. Además, un flujo de transporte que contiene una secuencia de bits pseudo aleatorizados como una carga útil puede utilizarse para realizar pruebas de BER.

ANEXO 3

SISTEMA MMDS "A"

Este anexo tiene como referencia directa el anexo A de la Recomendación UIT-T J.83 [54], que se basa en trabajos sobre radiodifusión de televisión digital por satélite realizados en Europa.

A3.1. UNIDADES DEL SISTEMA MMDS "A"

El sistema MMDS "A" está formado por las siguientes unidades:

A3.1.1. INTERFAZ DE BANDA BASE Y SINCRONISMO

Esta unidad adaptará la estructura de datos al formato de la fuente de señal. La estructura de trama estará de acuerdo con la capa de transporte del MPEG-2 incluidos los bytes de sincronismo.

A3.1.2. INVERSIÓN DE SINCRONISMO 1 Y ALEATORIZACIÓN

Esta unidad invertirá el byte de sincronismo 1 de acuerdo con la estructura de trama de MPEG-2, y aleatoriza el flujo de datos para fines de conformación de espectro.

A3.1.3. CODIFICADOR REED SOLOMON (RS)

Esta unidad aplicará un código Reed Solomon (RS) abreviado a cada paquete de transporte aleatorizado para generar un paquete protegido contra errores. Este código también se aplicará al propio byte de sincronismo.

A3.1.4. INTERCALADOR CONVOLUCIONAL

Esta unidad efectuará una intercalación convolucional de profundidad $l = 12$ de los paquetes protegidos contra errores. La periodicidad de los bytes de sincronismo permanecerá invariable.

A3.1.5. CONVERSIÓN DE BYTES A m-TUPLAS

Esta unidad efectuará una conversión a símbolos QAM de los bytes generados por el intercalador.

A3.1.6. CODIFICACIÓN DIFERENCIAL

A fin de obtener una constelación invariante con la rotación, esta unidad aplicará una codificación diferencial de los 2 bits más significativos (MSB) de cada símbolo.

A3.1.7. CONFORMACIÓN DE LA BANDA DE BASE

Al igual que el sistema A de la Recomendación J.83, esta unidad establece la correspondencia de tuplas m con la codificación forma diferencial a componentes de señal I y Q y realiza un filtrado en raíz cuadrada coseno alzado de las señales I y Q antes de la modulación QAM.

A3.1.8. MODULACIÓN QAM E INTERFAZ FÍSICA

Al igual que el sistema A de la Recomendación J.83, esta unidad realiza la modulación QAM. Va seguida de la interfaz de la señal modulada en QAM al canal MMDS de radiofrecuencia.

El receptor del sistema A de MMDS realizará el procesamiento de señal inverso al descrito anteriormente para la modulación, con el fin de recuperar la señal de banda de base.

A3.2. CAPA DE TRANSPORTE MPEG-2

La capa de transporte de datos MPEG-2 se compone de paquetes que tienen 188 bytes, con 1 byte para fines de sincronización, 3 bytes de encabezamiento que contienen identificación del servicio, aleatorización e información de control, seguidos por 184 bytes de MPEG-2 o datos auxiliares.

A3.3. ESTRUCTURA DE TRAMA

La organización de las tramas se basará en la estructura de los paquetes de transporte MPEG-2. La estructura de las tramas del sistema se muestra en la Figura A3.1.

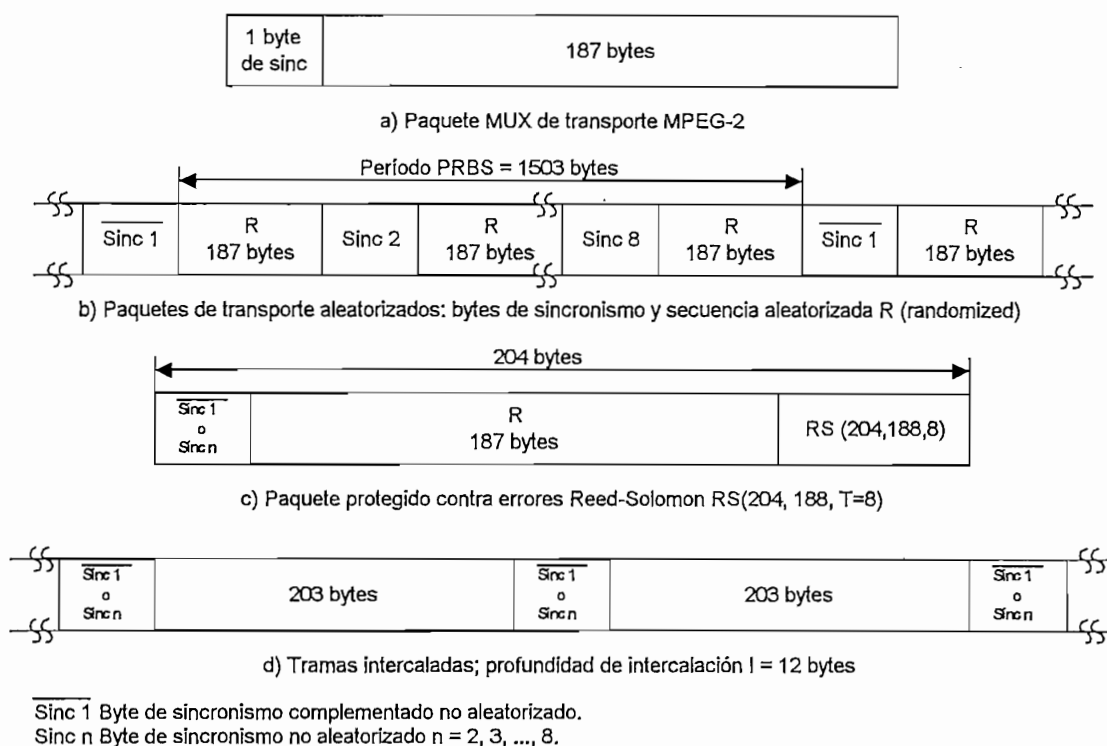


Figura A3.1. Estructura de las tramas.

A3.4. CODIFICACIÓN DE CANAL

Para conseguir el nivel apropiado de protección contra errores necesarios para la transmisión MMDS de datos digitales, se utilizará una FEC basada en la codificación Reed Solomon. A diferencia del sistema de base (baseline system) para satélite, no se aplicará ninguna codificación convolucional a la transmisión por cable. La protección contra ráfagas de errores se conseguirá mediante intercalación de bytes.

A3.4.1. ALEATORIZACIÓN PARA LA CONFORMACIÓN DEL ESPECTRO

El flujo de entrada del sistema se organizará en paquetes de longitud fija (ver Figura A3.1.), después del multiplexor de transporte MPEG-2. La longitud total del paquete MUX de transporte MPEG-2 es de 188 bytes, incluido un byte de palabra de sincronismo (es decir, 47_{HEX}). El orden de procesamiento en el lado transmisión empezará siempre por el MSB (es decir, 0) del byte de la palabra de sincronismo (es decir, 01000111).

Para satisfacer las condiciones del sistema de satélite y asegurar las transiciones binarias adecuadas de la recuperación de reloj, los datos a la salida del múltiplex de transporte MPEG-2 serán aleatorizados con arreglo a la configuración representada en la Figura A3.2. El polinomio del generador de secuencias binarias pseudoaleatorias (PRBS) será:

$$1 + x^{14} + x^{15}$$

La carga de la secuencia "100101010000000" en los registros PRBS, como se indica en la Figura A3.2., se iniciará al comienzo de cada ocho paquetes de transporte. Para proporcionar una señal de inicialización al desaleatorizador, el byte de sincronismo MPEG-2 del primer paquete de transporte de un grupo de ocho paquetes se invertirá bit a bit de 47_{HEX} a B8_{HEX}.

El primer bit a la salida del generador PRBS se aplicará al primer bit del primer byte siguiente al byte de sincronismo MPEG-2 (es decir, B8_{HEX}). Para ayudar a otras funciones de sincronización, durante los bytes de sincronismo MPEG-2 de los siete paquetes de transporte siguientes, continúa la generación de PRBS, pero su salida será desactivada, dejando estos bytes sin aleatorizar. El período de la secuencia PRBS será por tanto de 1503 bytes.

El proceso de aleatorización estará activo también cuando el flujo de bits de entrada del demodulador es inexistente, o cuando no cumple con el formato del flujo de transporte MPEG-2 (es decir, 1 byte de sincronismo + 187 bytes de paquete). Se hace así para evitar la emisión de una portadora no modulada desde el modulador.

A3.4.2. CODIFICACIÓN REED SOLOMON

Tras el proceso de la aleatorización por dispersión de energía, se realizará la codificación Reed Solomon abreviada en cada paquete de transporte MPEG-2 aleatorizado, con $T = 8$. Esto significa que pueden corregirse 8 bytes erróneos por paquete de transporte. Este proceso añade 16 bytes de paridad al paquete de transporte MPEG-2 para obtener una palabra de código (204, 188).

La codificación RS también se aplicará al byte de sincronismo de paquete, ya sea no invertido (es decir, 47_{HEX}) o invertido (es decir B8_{HEX}).

Polinomio generador de código es: $g(x) = (x + \lambda^0)(x + \lambda^1)(x + \lambda^2) \dots (x + \lambda^{15})$

Donde: $\lambda = 02_{HEX}$

Polinomio generador de campo es: $p(x) = x^8 + x^4 + x^3 + x^2 + 1$

El código Reed Solomon abreviado se implementará agregando 51 bytes, todos puestos a cero, antes de los bytes de información a la entrada de un codificador (255, 239); después del procedimiento de codificación se descartan estos bytes.

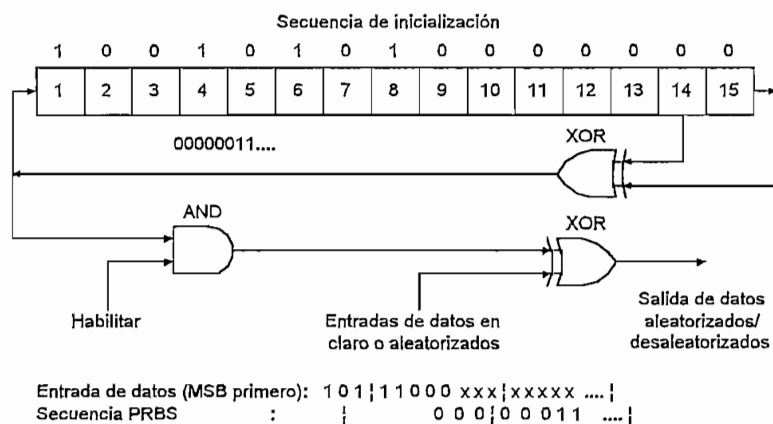


Figura A3.2. Diagrama esquemático del aleatorizador/desaleatorizador

A3.4.3. INTERCALACIÓN CONVOLUCIONAL

Siguiendo el esquema de la Figura A3.3. se aplicará intercalación convolucional de profundidad $l = 12$ a los paquetes protegidos contra errores (ver Figura A3.1 c). Esto produce una trama intercalada (ver Figura A3.1 d).

El proceso de intercalación convolucional se basará en el planteamiento de Forney, que es compatible con el planteamiento Ramsey tipo III, con $l = 12$. La trama intercalada se compondrá de paquetes superpuestos protegidos contra errores y estará delimitada por bytes de sincronismo MPEG-2 (que preservan la periodicidad de 204 bytes).

El intercalador puede componerse de $l = 12$ ramales, cíclicamente conectados al flujo de bytes de entrada por el conmutador de entrada. Cada ramal será un registro de desplazamiento primero en entrar, primero en salir (FIFO), con células de profundidad (M_j) (donde $M = 17 = N/l$, $N = 204 =$ longitud de trama protegida contra errores, $l = 12 =$ profundidad de intercalación, $j =$ índice del ramal). Las células del FIFO contendrán 1 byte y los conmutadores de entrada y de salida serán sincronizados.

Para fines de sincronización, los bytes de sincronismo y los bytes de sincronismo invertido serán siempre encaminados en el ramal "0" del intercalador (correspondiente a un retardo nulo).

El desintercalador es similar, en principio, al intercalador, pero los índices de ramal están invertidos (es decir, $j = 0$ corresponde al retardo máximo). La sincronización del desintercalador puede efectuarse encaminando el primer byte de sincronismo reconocido en el ramal "0".

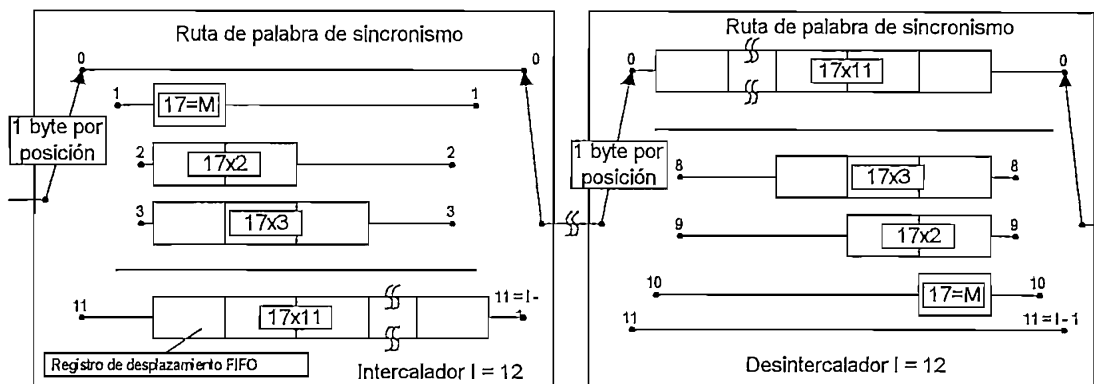


Figura A3.3. Diagrama conceptual del intercalador y desintercalador convolucionales.

A3.5. CORRESPONDENCIA DE BYTES A SÍMBOLOS

Después de la intercalación convolucional, se efectuará una correspondencia exacta de bytes a símbolos. La correspondencia se basará en el uso de fronteras de bytes en el sistema de modulación. En cada caso, el MSB del símbolo Z se tomará del MSB de byte V.

Por consiguiente, el siguiente bit significativo del símbolo se tomará del siguiente bit significativo del byte. En el caso de modulación 2^m QAM, el proceso hará corresponder k bytes hacia n símbolos, de manera que

$$8 k = n \cdot m$$

En la Figura A3.4. se ilustra el proceso en el caso de 64 QAM (donde $m = 6$, $k = 3$ y $n = 4$):

	Byte V		Byte V+1		Byte V+2	
de la salida del intercalador (bytes)	$b_7 b_6 b_5 b_4 b_3 b_2$	$b_1 b_0$	$b_7 b_6 b_5 b_4$	$b_3 b_2 b_1 b_0$	$b_7 b_6$	$b_5 b_4 b_3 b_2 b_1 b_0$
	MSB					LSB
Al codificador diferencial (símbolos de 6 bits)	$b_5 b_4 b_3 b_2 b_1 b_0$	$b_5 b_4 b_3 b_2 b_1 b_0$	$b_5 b_4 b_3 b_2 b_1 b_0$	$b_5 b_4 b_3 b_2 b_1 b_0$	$b_5 b_4 b_3 b_2 b_1 b_0$	$b_5 b_4 b_3 b_2 b_1 b_0$
	Símbolo Z	Símbolo Z+1	Símbolo Z+2	Símbolo Z+3	Símbolo Z+4	Símbolo Z+5

NOTA 1: Se entenderá que b_0 es el byte menos significativo (LSB) de cada byte o m-tupla.

NOTA 2:: En esta conversión, cada byte produce más de una m-tupla denominada Z, Z+1, etc, transmitiéndose Z antes que Z+1.

Figura A3.4. Conversión de bytes a m-tuplas para 64 QAM.

Los dos bits más significativos de cada símbolo se codificarán diferencialmente a fin de obtener una constelación QAM invariante a la rotación $\pi/2$. La codificación diferencial de los dos MSB vendrá dada por la expresión siguiente:

$$I_k = (\overline{A_k \oplus B_k}) \cdot (A_k \oplus I_{k-1}) + (A_k \oplus B_k) \cdot (A_k \oplus Q_{k-1})$$

$$Q_k = (\overline{A_k \oplus B_k}) \cdot (B_k \oplus Q_{k-1}) + (A_k \oplus B_k) \cdot (B_k \oplus I_{k-1})$$

La Figura A3.5. da un ejemplo de implementación de conversión de bytes a símbolos.

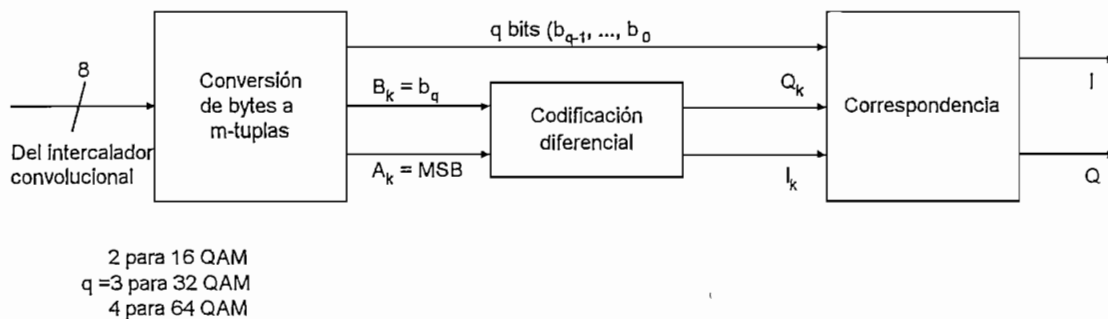


Figura A3.5. Ejemplo de implementación de la conversión de bytes a m-tuplas y la codificación diferencial de los dos MSB.

A3.6. MODULACIÓN

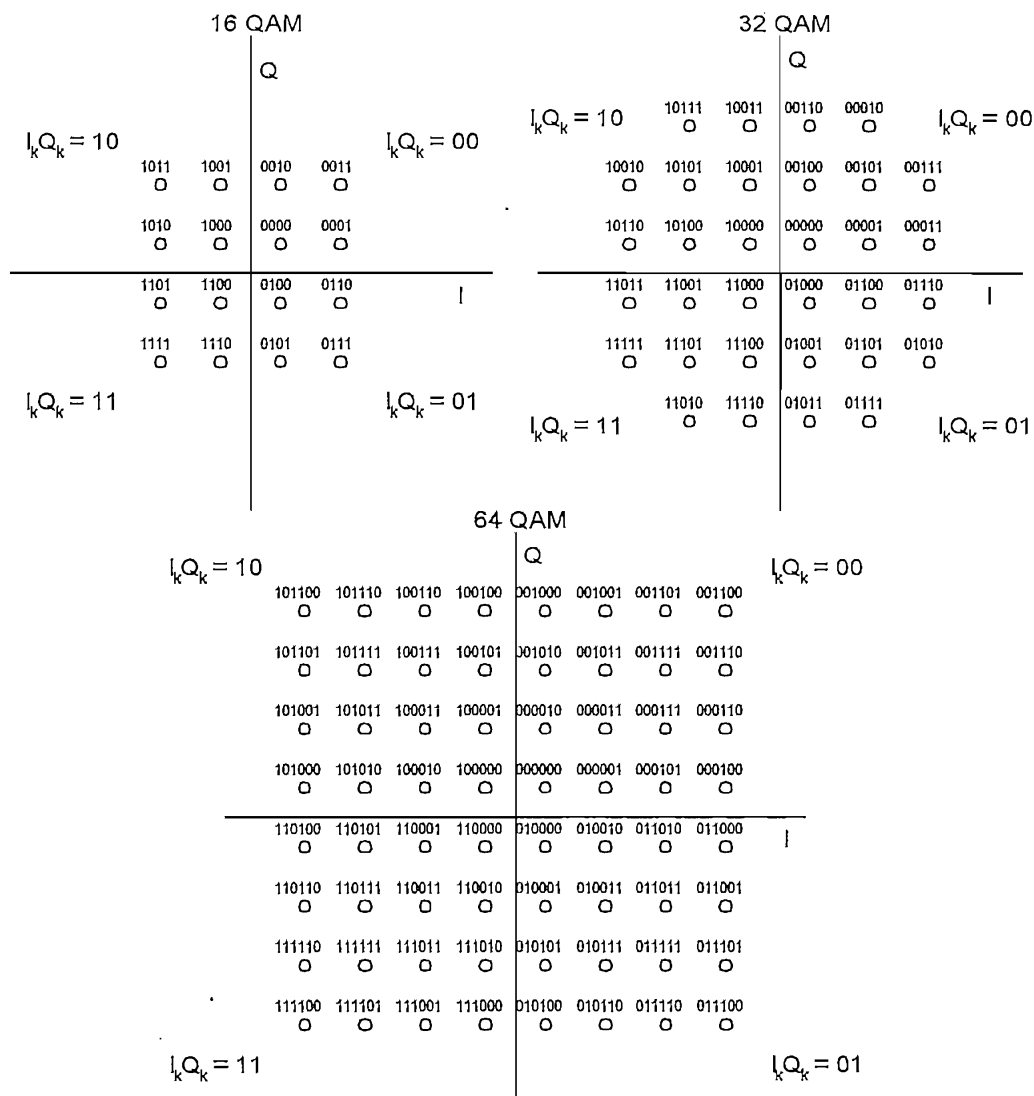
En el sistema A de la Recomendación J.83 se definen procedimientos de modulación para redes de distribución por cable, los cuales también son aplicables a los canales MMDS. Los procedimientos de modulación del sistema A serán idénticos a los definidos en el sistema A de la Recomendación J.83. La modulación del sistema será modulación de amplitud en cuadratura (QAM) con 16, 32 ó 64 puntos en el diagrama de constelación. Los diagramas de constelación del sistema para 16 QAM, 32 QAM y 64 QAM se representan en la Figura A3.6.

Como muestra la Figura A3.6., los puntos de constelación del cuadrante 1 se convertirán a los cuadrantes 2, 3 y 4 cambiando los dos MSB (es decir, I_k y Q_k) y haciendo rotar los q LSBs según la regla indicada en la Tabla A3.1.

Cuadrante	MSB	Rotación de LSB
1	00	
2	10	$+\pi/2$
3	11	$+\pi$
4	01	$+3\pi/2$

NOTA: Los receptores soportarán al menos la modulación 64 QAM.

Tabla A3.1. Conversión de los puntos de constelación del cuadrante 1 a otros cuadrantes del diagrama de constelación indicado en la Figura A3.6.



NOTA: $I_k Q_k$ son los dos MSB de cada cuadrante

Figura A3.6. Diagramas de constelación de 16 QAM, 32 QAM y 64 QAM.

Antes de la modulación, las señales I y Q se filtrarán en raíz cuadrada de coseno alzado. El factor de roll-off será 0,15. El filtro de raíz cuadrada de coseno alzado tendrá una función teórica definida por la expresión siguiente:

$$H(f) = 1 \text{ para } |f| < f_N(1-\alpha)$$

$$H(f) = \left\{ \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \operatorname{sen} \frac{\pi}{2f_N} \left[\frac{f_N - |f|}{\alpha} \right] \right\}^{1/2} \text{ para } f_N(1-\alpha) \leq |f| \leq f_N(1+\alpha)$$

$$H(f) = 0 \text{ para } |f| > f_N(1+\alpha)$$

donde: $f_N = \frac{1}{2T_s} = \frac{R_s}{2}$ es la frecuencia de Nyquist y el factor de roll-off $\alpha = 0,15$.

La característica del filtro de transmisor se indica en la Figura A3.8.

A3.7. CARACTERÍSTICAS DEL FILTRO DE BANDA BASE

La plantilla representada en la Figura A3.7. se utilizará como un requisito mínimo para la implementación de soporte físico del filtro de Nyquist. Esta plantilla tiene en cuenta no sólo las limitaciones de diseño del filtro digital, sino también los artefactos derivados de los componentes de procesamiento analógico del sistema (por ejemplo, conversión de D/A, filtrado analógico, etc).

El valor del rizado dentro de banda r_m en la banda de paso hasta $(1 - \alpha) f_N$ así como a la frecuencia de Nyquist f_N será inferior a 0,4 dB. El rechazo fuera de banda será superior a 43 dB.

El filtro tendrá una respuesta lineal de fase con el rizado de retardo de grupo $\leq 0,1 T_s$ (ns) hasta f_N , donde: $T_s = \frac{1}{R_s}$ es el periodo de símbolo.

Los valores del rizado dentro de banda y de rechazo fuera de banda indicados en este anexo quedan en estudio.

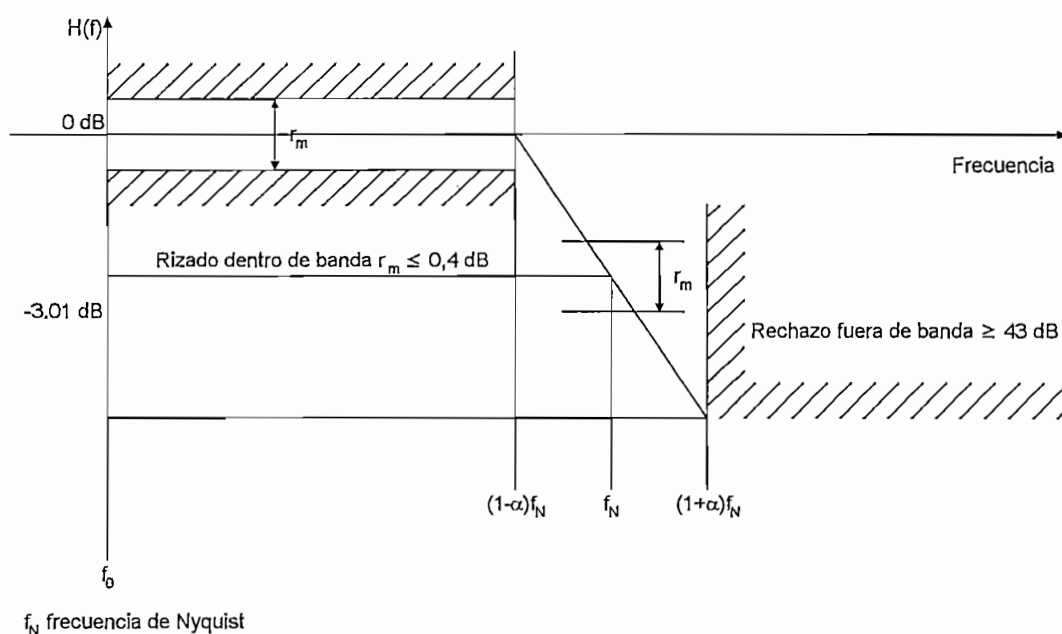


Figura A3.7. Características de amplitud del filtro de banda base semi Nyquist.

ANEXO 4

SISTEMA MMDS "C"

Este anexo tiene como referencia directa el anexo C de la Recomendación UIT-T J.83 [54], que se basa en trabajos sobre radiodifusión de televisión digital por satélite realizados en Japón.

A4.1. UNIDADES DEL SISTEMA MMDS "C"

El sistema MMDS "C" está formado por las siguientes unidades:

A4.1.1. LADO TRANSMISOR

La señal de banda de base para la transmisión MMDS es una fuente de paquetes de 188 octetos MPEG-2. Los paquetes MPEG-2 se procesan mediante los siguientes equipos y operaciones:

- 1) aleatorizador de datos;
- 2) codificador Reed-Solomon;
- 3) intercalador de datos;
- 4) codificador diferencial;
- 5) modulador 64-QAM.

A4.1.2. LADO RECEPTOR

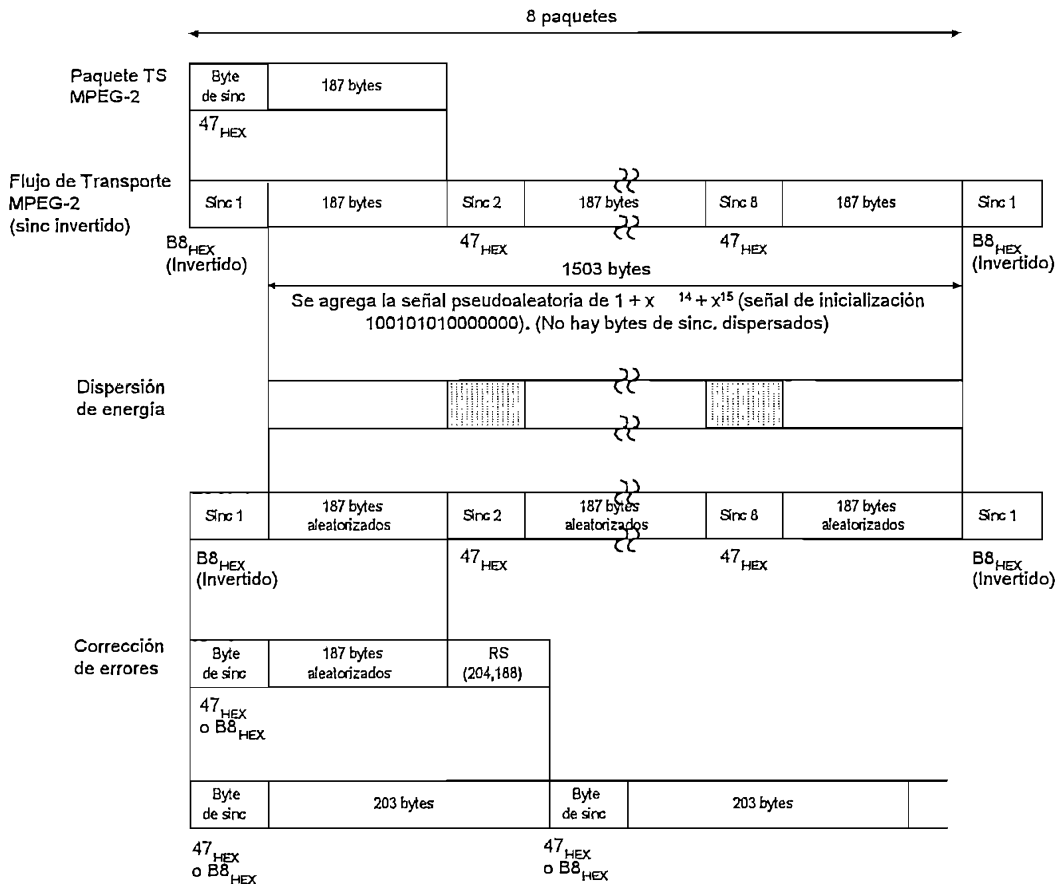
Después del amplificador de bajo ruido y del convertidor reductor, el lado receptor del sistema C MMDS se configura como la función inversa del lado transmisor: demodulador QAM, decodificador diferencial, establecimiento de correspondencia de símbolos a octetos, desintercalador, decodificador Reed Solomon y desaleatorizador de datos.

A4.2. CAPA DE TRANSPORTE MPEG-2

La capa de transporte del sistema digital multiprogramas se basa en MPEG-2. La multiplexación del transporte se efectúa en el paquete de flujo de datos de transporte que tiene 188 bytes según MPEG-2.

A4.3. ESTRUCTURA DE TRAMA

La organización de las tramas se basará en la estructura de los paquetes de transporte MPEG-2. La estructura de las tramas del sistema se muestra en la Figura A4.1.:



Intercalado: Intercalado convolucional (por unidad de byte).
No hay retardo de byte de sincronismo.

Figura A4.1. Configuración de la señal de transmisión.

A4.4. CODIFICACIÓN DE CANAL

Para conseguir el nivel de protección contra errores necesario para la transmisión por cable de datos digitales se utilizará una FEC basada en la codificación Reed Solomon. La protección contra ráfagas de errores se conseguirá mediante intercalación.

A4.4.1. ALEATORIZACIÓN

El flujo de entrada del sistema se organizará en paquetes de longitud fija (ver Figura A4.1.), después del multiplexor de transporte MPEG-2. La longitud total del paquete de multiplexión de transporte MPEG-2 es de 188 bytes, incluido un byte de palabra de sincronismo.

Para ofrecer la compatibilidad máxima con otros medios y asegurar las transiciones binarias adecuadas de la recuperación de reloj, los datos a la salida del múltiplex de transporte MPEG-2 serán aleatorizados con arreglo a la configuración de la Figura A4.2.:

El polinomio del generador de secuencias binarias pseudoaleatorias (PRBS) será:

$$x^{15} + x^{14} + 1$$

La carga de la secuencia "100101010000000" en los registros PRBS, como se indica en la Figura A4.2., se iniciará al comienzo de cada 8 paquetes de transporte. Para proporcionar una señal de inicialización al desaleatorizador, el byte de sincronismo MPEG-2 del primer paquete de transporte de un grupo de ocho paquetes se invertirá bit a bit de 47_{HEX} a B8_{HEX}.

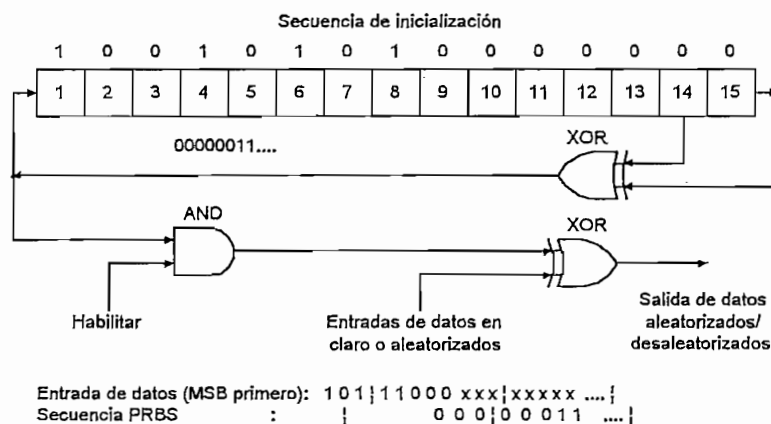


Figura A4.2. Diagrama esquemático del aleatorizador/desaleatorizador.

El primer bit a la salida del generador PRBS se aplicará al primer bit del primer byte siguiente al byte de sincronismo MPEG-2 invertido (es decir, B8_{HEX}). Para ayudar a otras funciones de sincronización, durante los bytes de sincronismo MPEG-2 de los siete paquetes de transporte siguientes, continúa la generación de PRBS, pero su salida será desactivada, dejando estos bytes sin aleatorizar. Por tanto, el periodo de la secuencia PRBS será de 1503 bytes.

A4.4.2. CODIFICACIÓN REED SOLOMON

Para la corrección de errores en recepción se emplea un código Reed Solomon abreviado (204, 188). Una organización posible de esa codificación consiste en agregar "0" de 51 bytes antes del byte de datos de entrada y suprimirlo después de la codificación en el circuito de codificación con Reed Solomon de fines generales (255, 239).

Polinomio generador de código es: $g(x) = (x + \lambda^0) (x + \lambda^1) (x + \lambda^2) \dots (x + \lambda^{15})$

donde: $\lambda = 02_{\text{HEX}}$

Polinomio generador de campo es: $p(x) = x^8 + x^4 + x^3 + x^2 + 1$

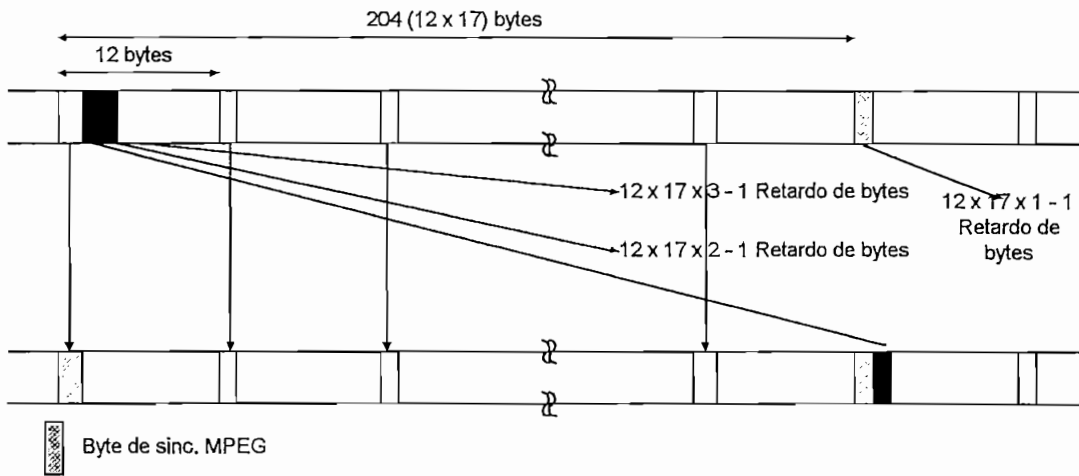
A4.4.3. INTERCALACIÓN CONVOLUCIONAL

Siguiendo el esquema de la Figura A4.3., se aplicará intercalación convolucional de profundidad $I = 12$ a los paquetes protegidos contra errores.

El intercalador puede estar compuesto de $I = 12$ ramales, cíclicamente conectados al flujo de bytes de entrada por el conmutador de entrada. Cada ramal será un registro de desplazamiento primero en entrar, primero en salir (FIFO), con células de profundidad (M_j) (donde $M = 17 = N/I$, $N = 204 =$ longitud de trama protegida contra errores, $I = 12 =$ profundidad de intercalación, $j =$ índice del ramal). Las células del FIFO contendrán 1 byte y los conmutadores de entrada y de salida estarán sincronizados.

Para fines de sincronización, los bytes de sincronismo y los bytes de sincronismo invertido se encaminarán siempre por el ramal "0" del intercalador (correspondiente a un retardo nulo).

El desintercalador es similar, en principio, al intercalador, pero los índices de ramal están invertidos (es decir, $j = 0$ corresponde al retardo máximo). La sincronización del desintercalador puede efectuarse encaminando el primer byte de sincronismo reconocido en el ramal "0".



Profundidad de intercalación	$l (= 12)$
Sincronización	Encaminamiento SW (Ciclo l)
Capacidad de memoria necesaria	$1/2 \times l \times L$

Timing diagram showing a sawtooth wave and horizontal lines, with $L (= 17 \times 11)$ indicated at the bottom.

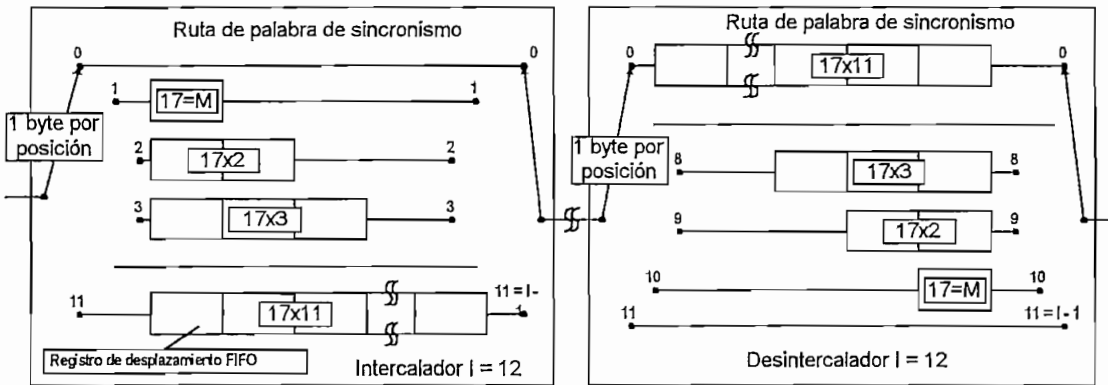


Figura A4.3. Configuración de la intercalación.

A4.5. MODULACIÓN

Para realizar la modulación se realizan los siguientes procesos:

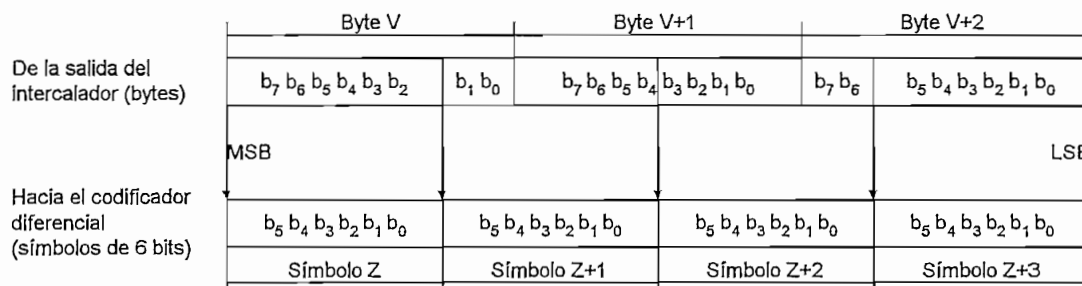
A4.5.1. CORRESPONDENCIA DE BYTES A SÍMBOLOS

Después de la intercalación convolucional, se efectuará una correspondencia exacta de bytes a símbolos. La correspondencia se basará en el uso de límites de bytes en el sistema de modulación.

En cada caso, el MSB del símbolo Z se tomará del MSB del byte V. Consecuentemente, el próximo bit significativo del símbolo se tomará del próximo bit significativo del byte. En el caso de la modulación 2^m QAM, el proceso efectuará una correspondencia de k bytes en n símbolos, de forma que:

$$8k = n \cdot m$$

El proceso se ilustra para el caso de 64 QAM (donde $m = 6$, $k = 3$ y $n = 4$) en la Figura A4.4.



NOTA 1: b_0 se entenderá como el byte menos significativo (LSB) de cada byte o m-tupla.

NOTA 2:: En esta conversión, cada byte produce más de una m-tupla designada Z, Z+1, etc, y Z se transmite antes de Z+1.

Figura A4.4. Conversión de bytes a m-tuplas para 64 QAM.

A4.5.2. CODIFICACIÓN DIFERENCIAL

A continuación, los dos MSB de cada símbolo se codificarán diferencialmente para obtener una constelación QAM invariante con la rotación $\pi/2$. La codificación diferencial de los dos MSB viene dada por la siguiente expresión:

$$I_k = \overline{(A_k \oplus B_k)} \cdot (A_k \oplus I_{k-1}) + (A_k \oplus B_k) \cdot (A_k \oplus Q_{k-1})$$

$$Q_k = \overline{(A_k \oplus B_k)} \cdot (B_k \oplus Q_{k-1}) + (A_k \oplus B_k) \cdot (B_k \oplus I_{k-1})$$

La Figura A4.5. da un ejemplo de aplicación de la conversión de byte a símbolo.

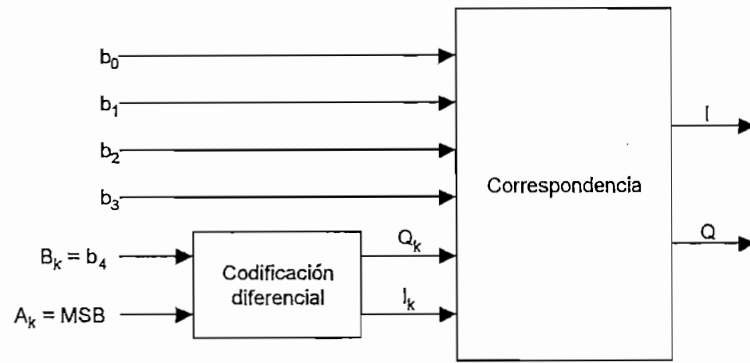


Figura A4.5. Ejemplo de aplicación de la conversión de byte a símbolo y de la codificación diferencial de los dos MSB.

A4.5.3. CONSTELACIÓN 64 QAM

La constelación 64 QAM mostrada en la Figura A4.6., debe cumplir el anexo C/J.83. Hay en estudio otros métodos de modulación para utilización a una gama de frecuencia superior a la considerada en el presente anexo.

El sistema se puede adaptar a un espaciamento de canal de 6 MHz. El esquema de byte a modulación descrito en esta subcláusula está directamente relacionado con el método de correspondencia de byte a símbolo descrito en A4.5.1.

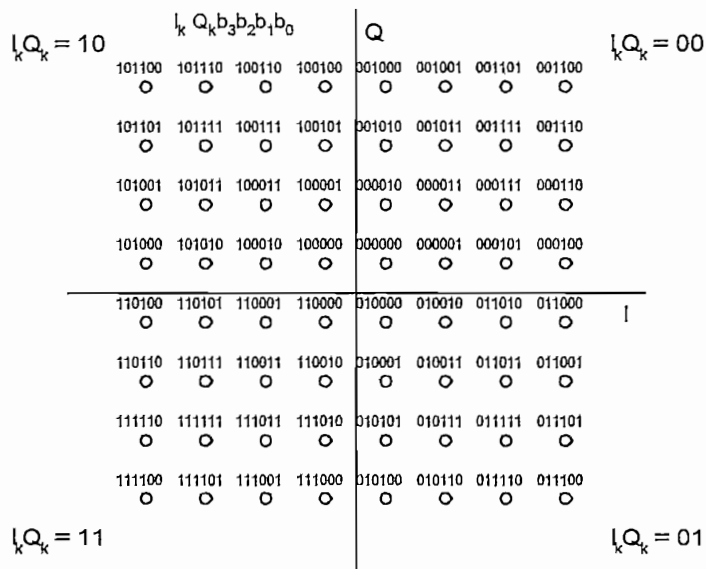


Figura A4.6. Diagrama de constelación para 64 QAM.

La modulación del sistema será modulación de amplitud en cuadratura (QAM) con 64 puntos en el diagrama de constelación.

A4.5.4. FACTOR DE ROLL-OFF

Antes de la modulación, las señales I y Q se filtrarán en raíz cuadrada de coseno alzado. El factor de roll-off será de 0,13. El filtro en raíz cuadrada de coseno alzado tendrá una función teórica definida por las expresiones siguientes:

$$H(f) = 1 \text{ para } |f| < f_N(1-\alpha)$$

$$H(f) = \left\{ \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \operatorname{sen} \frac{\pi}{2f_N} \left[\frac{f_N - |f|}{\alpha} \right] \right\}^{1/2} \text{ para } f_N(1-\alpha) \leq |f| \leq f_N(1+\alpha)$$

$$H(f) = 0 \text{ para } |f| > f_N(1+\alpha)$$

$$\text{donde: } f_N = \frac{1}{2T_s} = \frac{R_s}{2}$$

Las características del filtro de transmisión se ofrecen a continuación. El factor de roll-off se aplica cuando se produce interferencia de señales de canal adyacente (por ejemplo, de señales TV, etc.), con las características especificadas del filtro de banda base.

A4.5.5. CARACTERÍSTICAS DEL FILTRO DE BANDA BASE

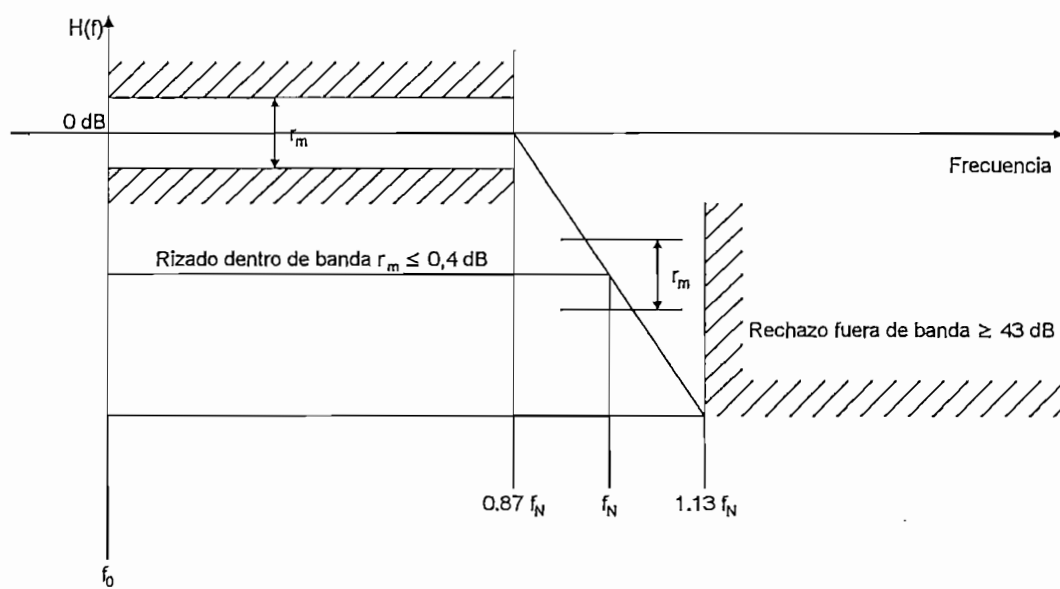
La plantilla representada en la Figura A4.7. se utilizará como un requisito mínimo para la implementación de soporte físico del filtro de Nyquist. Esta plantilla tiene en cuenta no sólo las limitaciones de diseño del filtro digital, sino también los artefactos derivados de los componentes de procesamiento analógico del sistema (por ejemplo, conversión de D/A, filtrado analógico, etc).

El valor del rizado dentro de banda r_m en la banda de paso hasta $(1 - \alpha) f_N$ será inferior a 0,4 dB. El rechazo fuera de banda será superior a 43 dB. El rizado r_N en la frecuencia de Nyquist f_N será inferior a 1,0 dB.

El filtro tendrá una respuesta lineal de fase con el rizado de retardo de grupo $\leq 1,0 T_s$ (ns) en la banda de paso hasta $(1 - \alpha) f_N$ y $\leq 2,0 T_s$ (ns) en f_N ,

$$\text{donde: } T_s = \frac{1}{R_s}$$

Los valores del rizado dentro de banda y del rechazo fuera de banda indicados en este anexo están sujetos a las condiciones de explotación de los sistemas MMDS y pueden necesitar más estudio.



f_N frecuencia de Nyquist

Figura A4.7. Características de amplitud del filtro de banda base semi Nyquist.

ANEXO 5

SISTEMA MMDS "D"

La función de establecimiento de correspondencia en este sistema corresponde al modo VSB elegido, como se describe a continuación. Por ejemplo, si se elige 8 VSB (no reticular) (procedimiento de modulación utilizado en pruebas en condiciones de explotación). La velocidad de datos de transporte correspondiente es 29.09 Mbps en un canal con una ancho de banda de 6 MHz, y el umbral de la relación portadora/ruido (CNR) en el receptor es 22 dB.

A5.1. VISIÓN GENERAL DE LOS MODOS VSB

El grupo de modos VSB forma una familia con un alto grado de procesos comunes. Cada modo de la familia utiliza la misma sincronización de velocidad de símbolos, la misma conformación del espectro y el mismo ancho de banda de canal. La diferencia entre los modos se debe a la variación de bits por símbolo y la consiguiente velocidad de datos de cabida útil que se puede acomodar. La Tabla A5.1. muestra las relaciones.

Modo VSB	Velocidad de datos de transporte	Tolerancia de ráfagas de ruido	Umbral CNR
2 VSB	9.7 Mbps	387 μ s	10 dB
4 VSB	19.39 Mbps	193 μ s	16 dB
8 VSB	29.09 Mbps	129 μ s	22 dB
16 VSB	38.79 Mbps	97 μ s	28 dB
8 VSB (retícula)	19.39 Mbps	193 μ s	15 dB

Tabla A5.1. Tabla de comparación de modos VSB

A continuación se tratan cada uno de los modos VSB.

A5.2. CAPA TRANSPORTE MPEG-2

La capa de transporte de datos MPEG-2 se compone de paquetes que tienen 188 bytes, con 1 byte para fines de sincronización, 3 bytes de encabezamiento que contienen identificación del servicio, aleatorización e información de control, seguidos por 184 bytes de MPEG-2 o datos auxiliares.

A5.3. ESTRUCTURA DE ALINEACIÓN DE TRAMA

La Figura A5.1. muestra los símbolos de datos, segmentos de datos y organización de campo de datos que es común a todos los modos VSB. La Tabla A5.2. muestra la relación entre paquetes MPEG-2 protegidos con FEC Reed Solomon y los segmentos de datos y modos VSB.

Modo VSB	Bits/símbolo	Bits/segmento	Paquetes/segmento MPEG protegidos con FEC
2	1	828	1/2
4	2	1656	1
8	3	2484	1 1/2
16	4	3312	2
8T	2	1656	1

Tabla A5.2. Tabla de comparación de trama de datos-paquete MPEG-modo VSB.

Cada trama de datos consta de dos campos de datos, cada uno de los cuales contienen 313 segmentos de datos. El primer segmento de datos de cada campo de datos es una señal de sincronización única (sincronismo de campo de datos) e incluye la secuencia de acondicionamiento utilizada por el ecualizador en el receptor. Los 312 segmentos de datos restantes transportan cada uno el equivalente de dos paquetes de transporte de 188 bytes más su tara FEC asociada. Los datos efectivos en cada segmento de datos proceden de varios paquetes de transporte debido a la intercalación de datos. Cada segmento de datos consta de 832 símbolos. Los 4 primeros símbolos se transmiten en forma binaria y proporcionan sincronización de segmentos. Esta señal de sincronización de segmentos de datos representa también el byte de sincronismo de cada uno de dos paquetes de transporte compatibles MPEG de 188 bytes. Los 828 símbolos restantes de cada segmento de datos transportan datos que representan dos grupos de 187 bytes de datos, cada uno seguido por 20 bytes Reed Solomon. Estos 828 símbolos se transmiten como señales de 16 niveles, por lo que transportan 4 bits por símbolo. De este modo, $828 \times 4 = 3312$ bits de datos son transportados en cada segmento de datos, lo cual concuerda exactamente con el requerimiento de enviar dos paquetes de transporte protegidos:

$$187 \text{ bytes de datos} + 20 \text{ bytes de paridad RS} = 207 \text{ bytes}$$

$$2 \times 207 \text{ bytes} \times 8 \text{ bits/byte} = 3312$$

La velocidad de símbolos exacta viene dada por la ecuación siguiente:

$$S_r \text{ (MHz)} = 4,5/286 \times 684 = 10,76 \dots \text{ MHz}$$

Este valor de parámetro así como el resto de parámetros tales como: espectro de transmisión y recepción son para un ancho de banda de canal de 6 MHz; el valor puede ajustarse para adaptarlo a otros anchos de banda de canal.

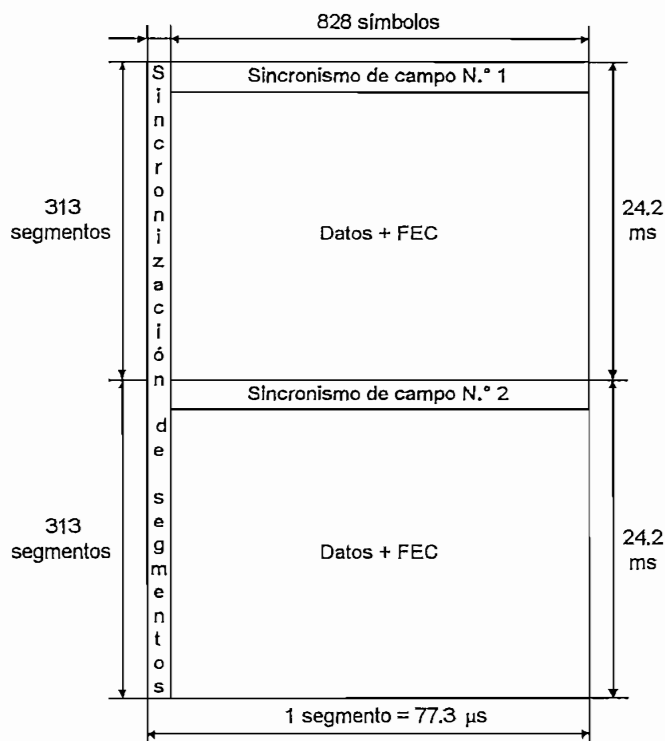


Figura A5.1. Trama de datos VSB.

Los símbolos de 16 niveles combinados con las señales de sincronización de segmentos de datos y de sincronización de campos de datos se utilizan para modular una única portadora en modo portadora suprimida. Sin embargo, antes de la transmisión se elimina la mayor parte de la banda lateral inferior. El espectro resultante es plano, salvo en los bordes de banda, en los que se produce una respuesta nominal en raíz cuadrada de coseno alzado en las regiones de transición de 620 kHz. El espectro de transmisión VSB nominal se muestra en la Figura A5.2.

En la frecuencia de portadora suprimida, 310 kHz desde el borde de banda inferior, se añade a la señal un pequeño piloto.

El sistema de cable puede también transportar señales de televisión normalizadas en otros canales como muestra la Figura A5.2. La potencia de señal VSB media nominal está 6 dB por debajo de la potencia de sincronismo de cresta de las señales de televisión normalizada transportadas en canales adyacentes.

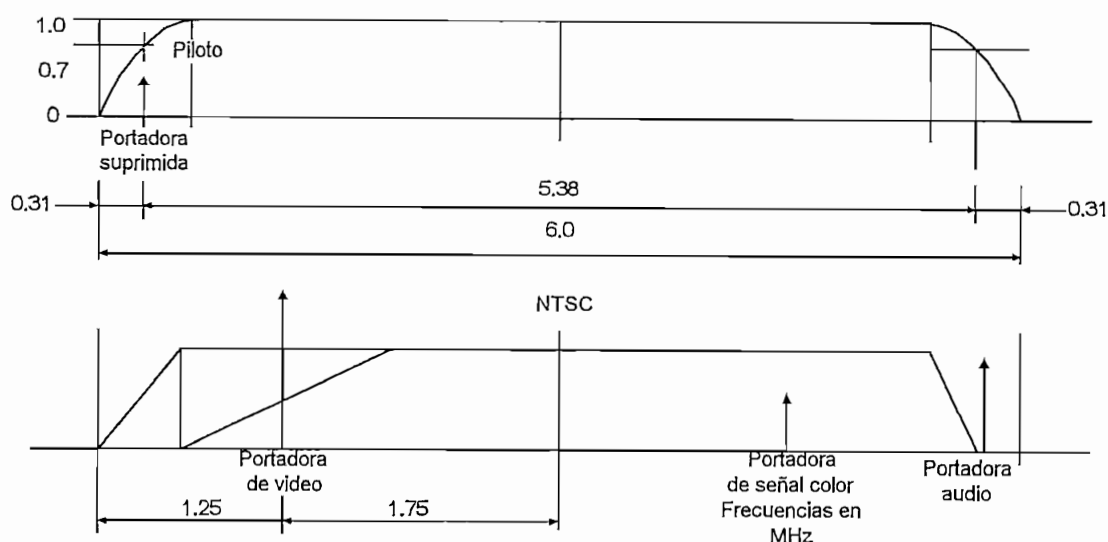


Figura A5.2. Ocupación de canales VSB y NTSC.

A5.4. CODIFICACIÓN DE CANAL

La codificación de canal se realiza con los siguientes procesos:

A5.4.1. ALEATORIZADOR DE DATOS

La aleatorización de datos para 2 VSB, 4 VSB, 8 VSB, 16 VSB y 8 VSB (retícula) se realiza como sigue. Se utiliza un aleatorizador de datos en todos los datos de entrada para aleatorizar la cabida útil de datos (sin incluir la sincronización de campos de datos ni la sincronización de segmentos de datos, ni los bytes de paridad RS). El aleatorizador de datos XOR-iza todos los bytes de datos entrantes con una secuencia binaria pseudoaleatoria (PRBS) de 16 bits de longitud máxima que es inicializada al comienzo del campo de datos. La PRBS es generada en un registro de desplazamiento de 16 bits que tiene 9 derivaciones de realimentación. Ocho salidas del registro de desplazamiento se seleccionan como el byte de aleatorización fijo, en el que cada bit de este byte se utiliza para XOR-izar individualmente el bit de datos de entrada correspondiente. Los bits de datos son XOR-izados de MSB a MSB ... LSB a LSB.

La inicialización (precarga) a F180 hex (carga a 1) se produce durante el intervalo de sincronismo de segmento de datos previo al primer segmento de datos.

El polinomio generador aleatorizador y la inicialización se muestran en la Figura A5.3.

Polinomio generador $G_{(16)} = x^{16} + x^{13} + x^{12} + x^{11} + x^7 + x^6 + x^3 + x + 1$
 La inicialización (precarga) se produce durante el intervalo de sincronismo de campo

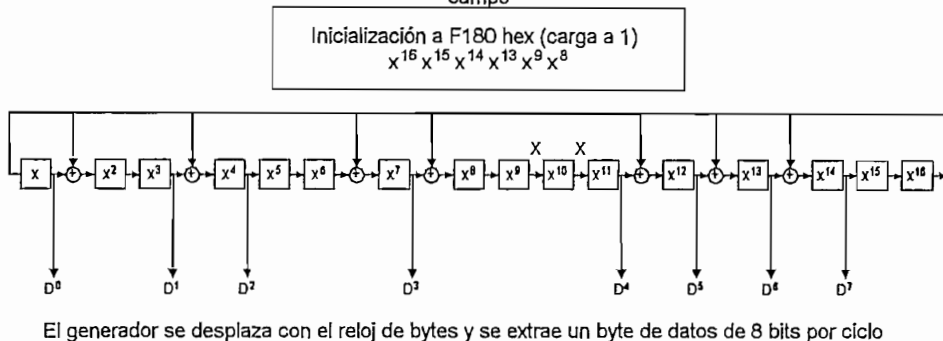


Figura A5.3. Polinomio aleatorizador.

A5.4.2. CODIFICADOR REED SOLOMON

El proceso FEC de RS para 2 VSB, 4 VSB, 8 VSB y 8 VSB (codificación reticular) se describe como sigue. El código RS utilizado en el subsistema de transmisión VSB es el código $t = 10$ (207, 187). El tamaño de bloque de datos es 187 bytes, con 20 bytes de paridad RS añadidos para corrección de errores. Se transmiten dos bloques RS de 207 bytes por segmento de datos.

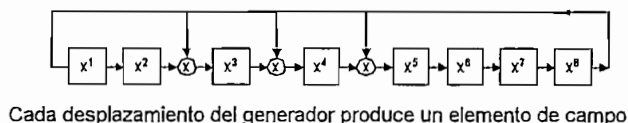
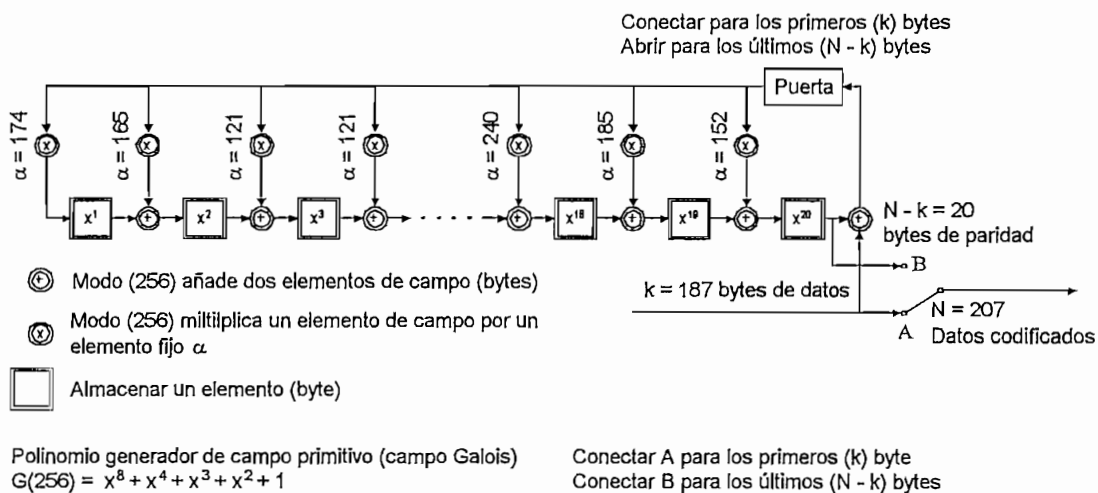


Figura A5.4. Polinomio generador de paridad para Reed Solomon (207, 187) con $t = 10$.

Los 20 bytes de paridad RS se envían al final de cada grupo respectivo de 187 bytes. El polinomio generador de paridad y el polinomio generador de campo primitivo se muestran en la Figura A5.4.

A5.4.3. INTERCALACIÓN

La intercalación para 2 VSB, 4 VSB, 8 VSB, y 8 VSB (codificación reticular) se describe a continuación. Como las velocidades binarias son diferentes para los distintos modos VSB, la característica con ráfagas de ruido varía como se muestra en la Tabla A5.1.

El intercalador empleado en el sistema de transmisión VSB es un intercalador de bytes convolucional de 26 segmentos de datos (entre segmentos). La intercalación se hace a una profundidad de alrededor de 1/12 de un campo de datos (profundidad 2 ms). Sólo se intercalan bytes de datos. El intercalador se sincroniza al primer byte de datos del campo de datos. El intercalador convolucional se representa en la Figura A5.5.

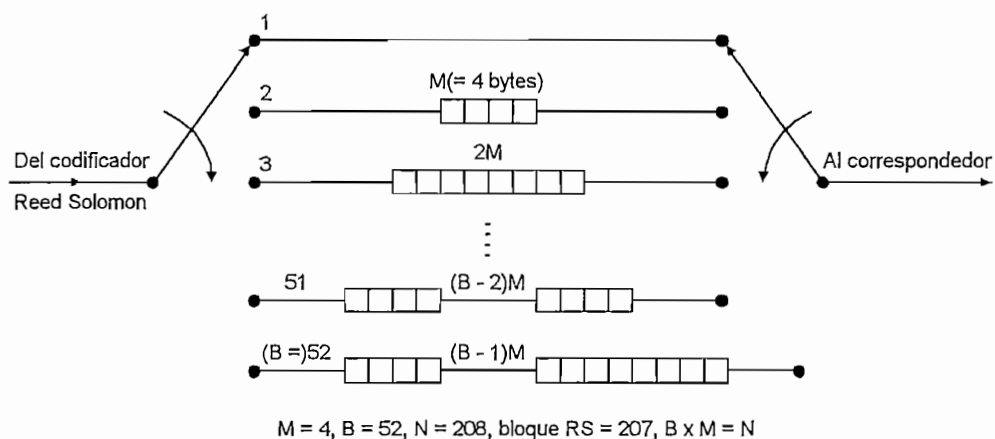


Figura A5.5. Intercalador convolucional.

A5.4.4. SINCRONISMO DE SEGMENTOS DE DATOS.

El sincronismo de segmentos de datos es común a todos los modos VSB. Los particulares del sincronismo de segmentos de datos se describen ea continuación, sin embargo, la incrustación del sincronismo en los datos de símbolos multinivel varía. Esto se muestra en las Figuras A5.6., A5.7., A5.8., A5.9, y A5.10. para 2 VSB, 4 VSB, 8 VSB, 16 VSB y 8 VSB (codificación reticular), respectivamente.

Los datos multinivel se transmiten a través de un multiplexor que inserta las diversas señales de sincronización (sincronismo de segmentos de datos y sincronismo de campos de datos).

Se inserta un sincronismo de segmentos de datos de 4 símbolos binivel (binario) en el flujo de datos digital de 16 niveles al comienzo de cada segmento de datos. (El byte de sincronismo MPEG se reemplaza por el sincronismo de segmentos de datos.) El sincronismo de segmentos de datos insertado en los datos aleatorios se muestra en la Figura A5.9.

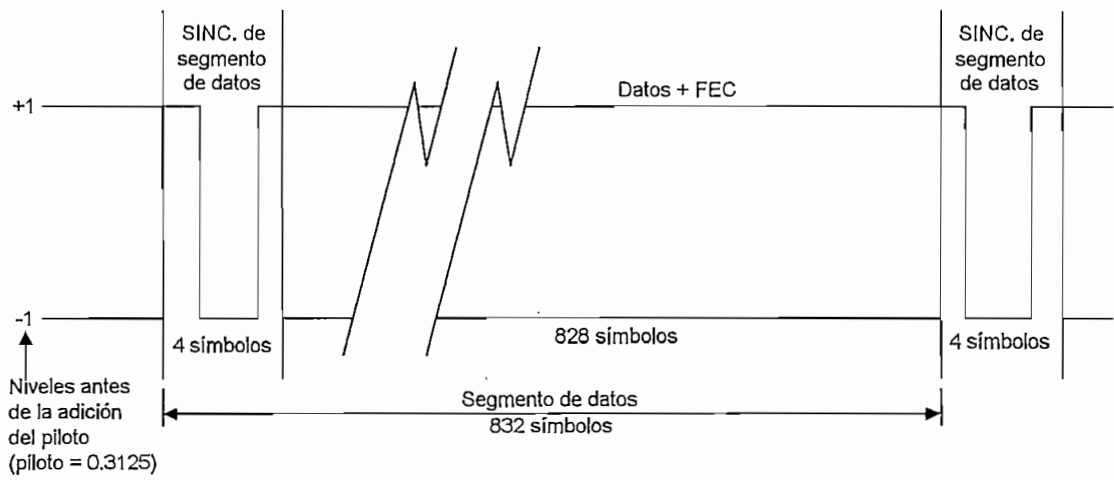


Figura A5.6. Segmento de datos 2 VSB.

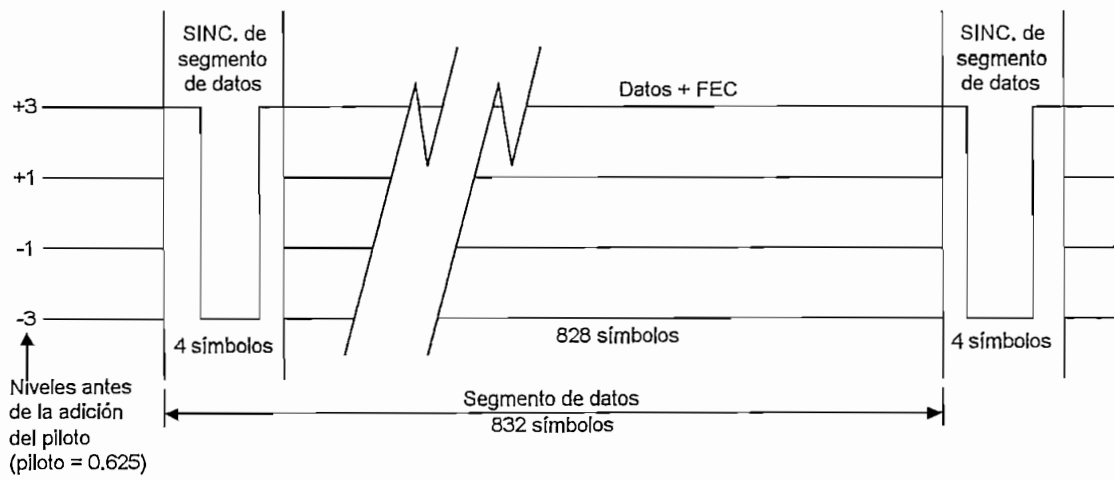


Figura A5.7. Segmento de datos 4 VSB.

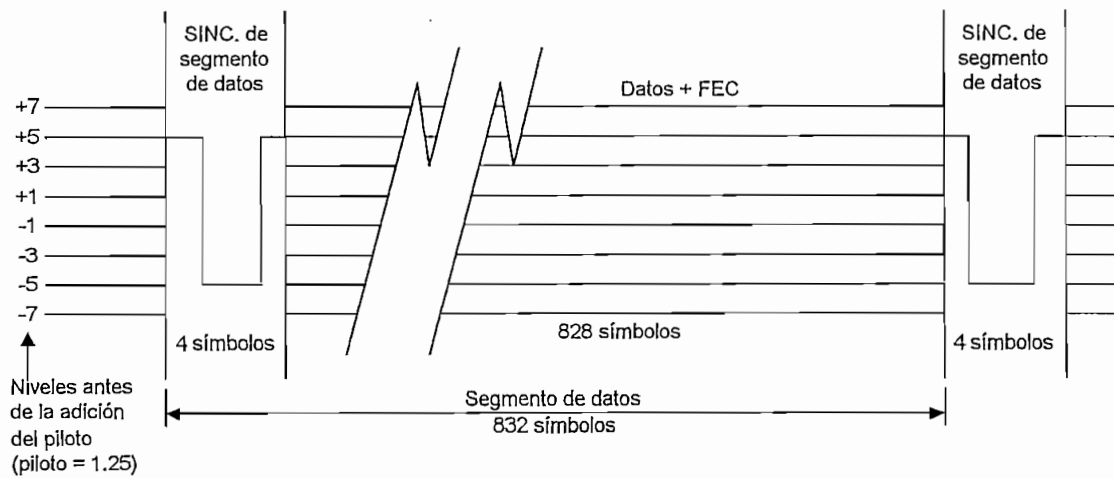


Figura A5.8. Segmento de datos 8 VSB.

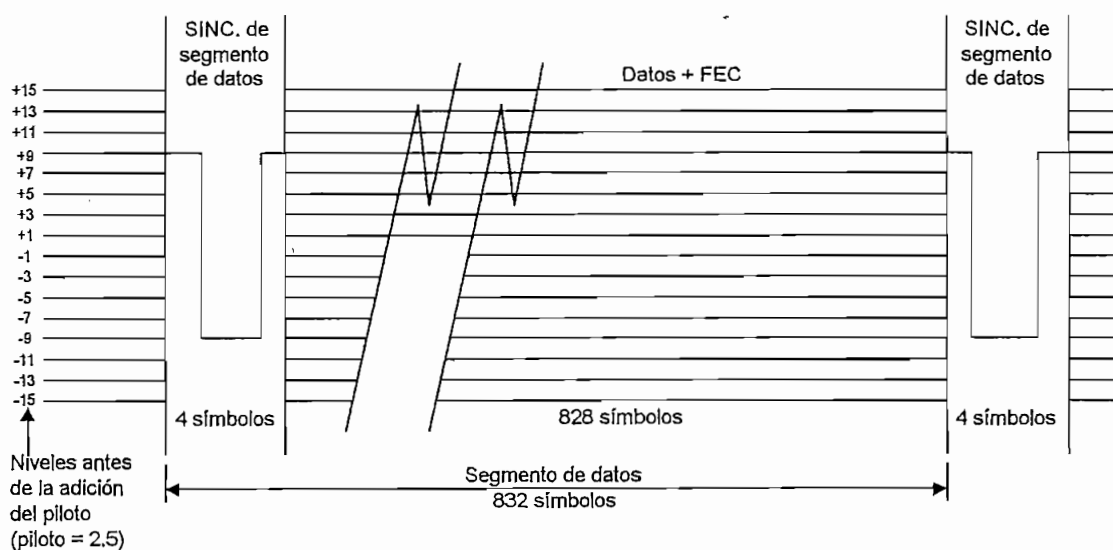


Figura A5.9. Segmento de datos 16 VSB.

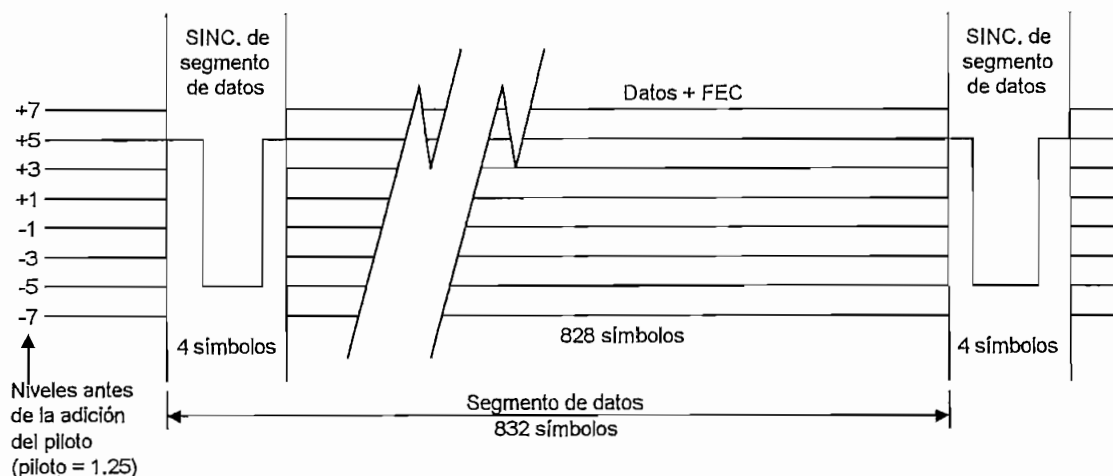


Figura A5.10. Segmento de datos 8 VSB (codificación reticular).

Un segmento completo consta de 832 símbolos: 4 símbolos para al sincronismo de segmentos de datos, y 828 símbolos de datos más paridad. El sincronismo de segmentos de datos es binario (2 niveles). El mismo patrón de sincronismo se produce regularmente a intervalos de 77,3 μ s, y es la única señal que se repite a esta velocidad. A diferencia de los datos, los 4 símbolos del sincronismo del segmento de datos no tienen codificación Reed Solomon, ni están intercalados. El patrón de sincronismo de segmento de datos es un patrón 1001, como se muestra en la Figura A5.9.

A5.4.5. SINCRONISMO DE CAMPO DE DATOS

El sincronismo de campo de datos es común a todos los modos VSB. Los particulares del sincronismo de campo de datos se describen a continuación, sin embargo, como en el caso del sincronismo de segmento, la incrustación del sincronismo de campo de datos en datos de

símbolos multinivel varía. Esto se muestra en las Figuras A5.12., A5.13., A5.14., A5.15., y A5.16. para 2 VSB, 4 VSB, 8 VSB, 16 VSB y 8 VSB (codificación reticular), respectivamente.

Los datos no sólo se dividen en segmentos de datos, sino también en campos de datos, cada uno compuesto por 313 segmentos. Cada campo de datos (24,2 ms) empieza por un segmento de datos completo del sincronismo de campo de datos, como muestra la Figura A5.15. Cada símbolo representa un bit de datos (2 niveles). Los 832 símbolos de este segmento se definen a continuación. Véase la Figura A5.15.

A5.4.5.1. SINCRONISMO.

Corresponde al sincronismo de segmento de datos, y se define como 1001.

A5.4.5.2. PN511.

Estas secuencias pseudo aleatorias se definen como $x^9 + x^7 + x^6 + x^4 + x^3 + x + 1$ con un valor de precarga de 010000000. El generador de la secuencia PN511 se muestra en la Figura A5.11.

A5.4.5.3. PN63.

Estas secuencias pseudoaleatorias se repiten tres veces. Se define como $x^6 + x + 1$ con un valor de precarga de 100111. La PN63 central se invierte cada dos sincronismos de campo de datos. El generador de la secuencia PN63 se muestra en la Figura A5.11.

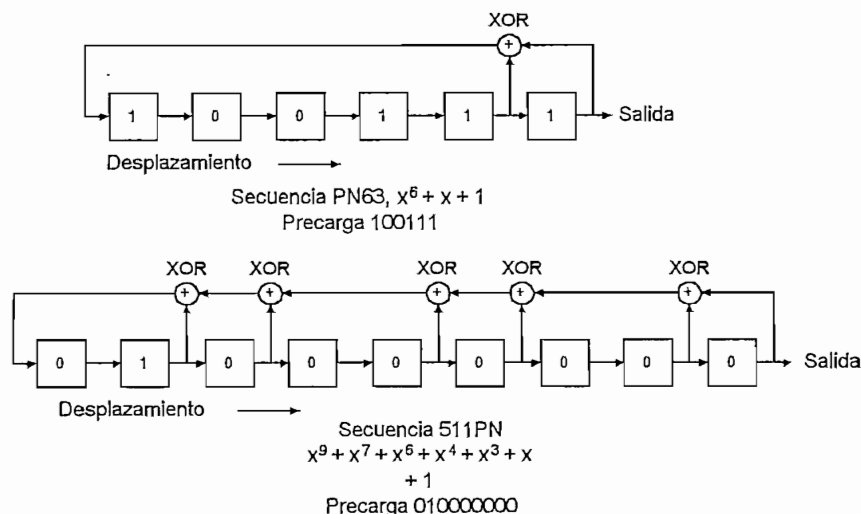


Figura A5.11. Generador de secuencia PN de sincronismo de campo.

A5.4.5.4. MODO VSB.

Estos 24 bits determinan el modo VSB para los datos de la trama. Los dos primeros bytes están reservados. El patrón de relleno sugerido es 0000111100001111. El byte siguiente se define como:

$$P \ A \ B \ C \ \overline{P \ A \ B \ C}$$

donde P es el bit de paridad par, el MSB del byte, y A, B, C son los bytes de modo efectivos.

P A B C	
0 0 0 0	2 VSB
1 0 0 1	4 VSB
1 0 1 0	8 VSB
0 0 1 1	Reservado
1 1 0 0	16 VSB cable
0 1 0 1	8 VSB terrenal (nota) (codificación reticular)
0 1 1 0	Reservado
1 1 1 1	Reservado

En el modo 8 VSB terrenal, los bits precedentes se definen como:

$$0 \ 0 \ 0 \ 0 \ \overline{P \ A \ B \ C} \ P \ A \ B \ C \ 1 \ 1 \ 1 \ 1$$

A5.4.5.5. RESERVADO.

Los últimos 104 bits son espacio reservado. Se sugiere que éste se rellene con una continuación de la secuencia PN63.

Todas las secuencias son precargadas antes del comienzo del sincronismo de campo de datos.

Al igual que el sincronismo de segmento de datos, el sincronismo de campo de datos no se codifica en Reed-Solomon, ni está intercalado.

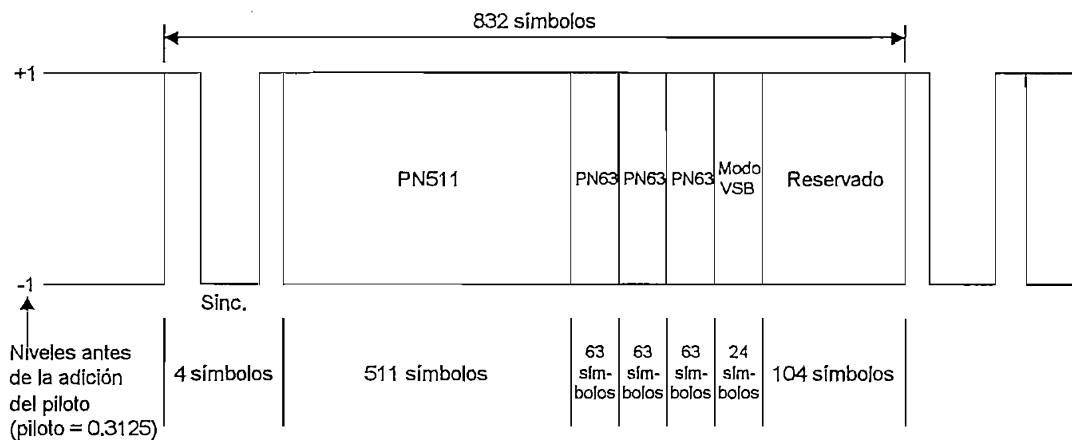


Figura A5.12. Sincronismo de campo de datos 2 VSB.

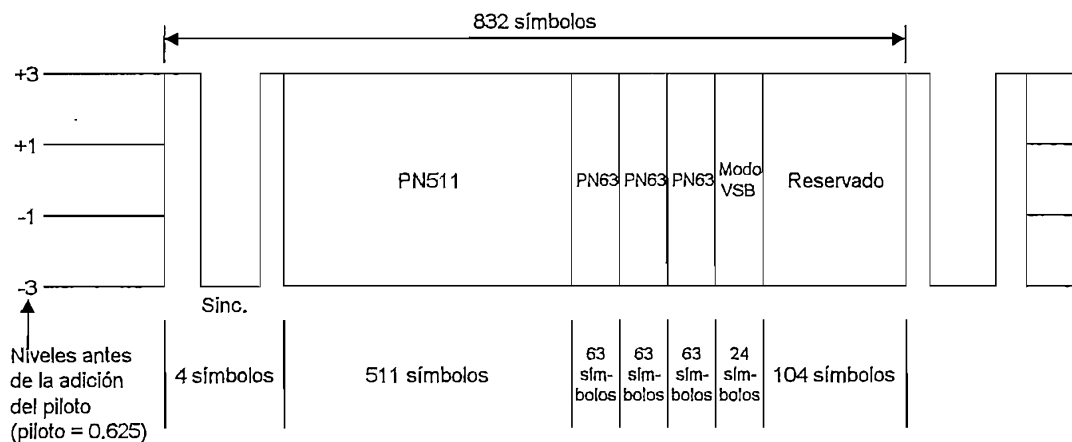


Figura A5.13. Sincronismo de campo de datos 4 VSB.

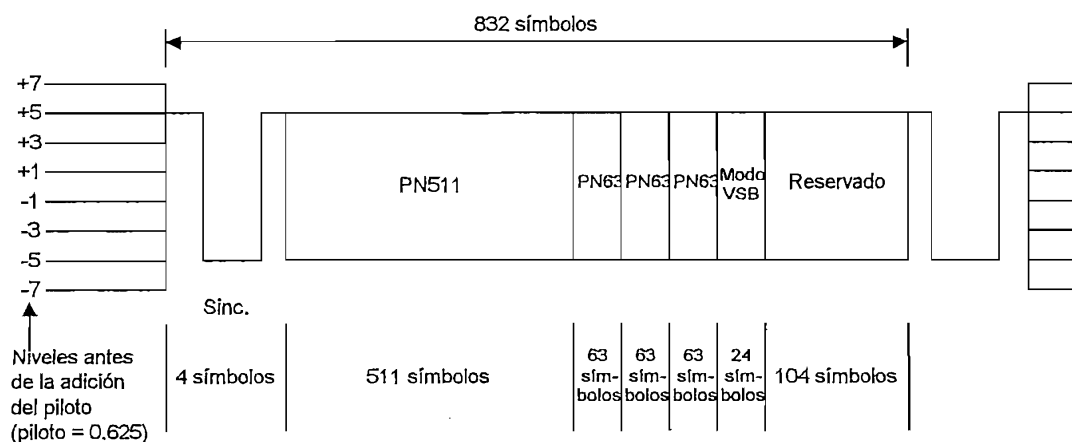


Figura A5.14. Sincronismo de campo de datos 8 VSB.

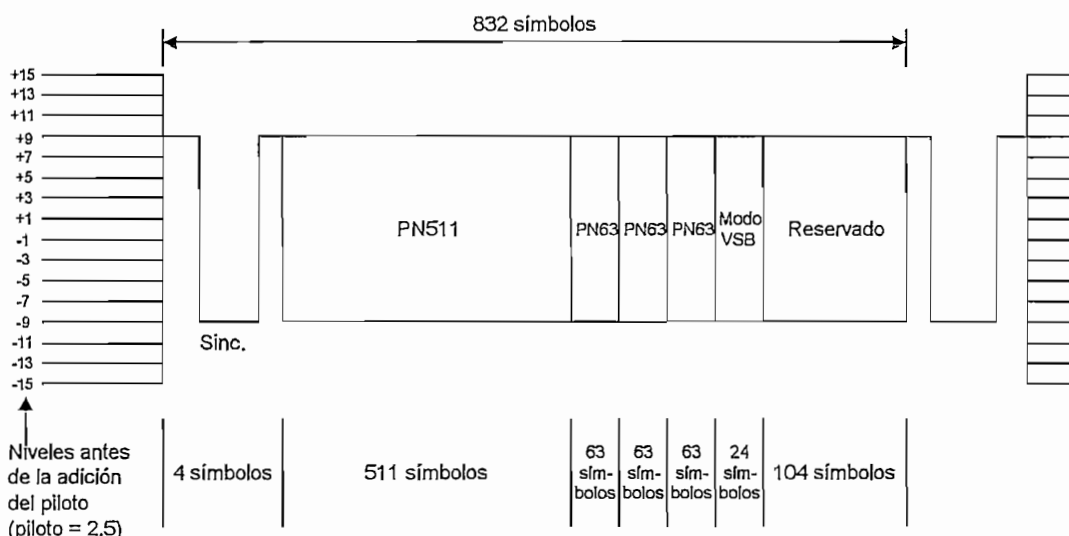
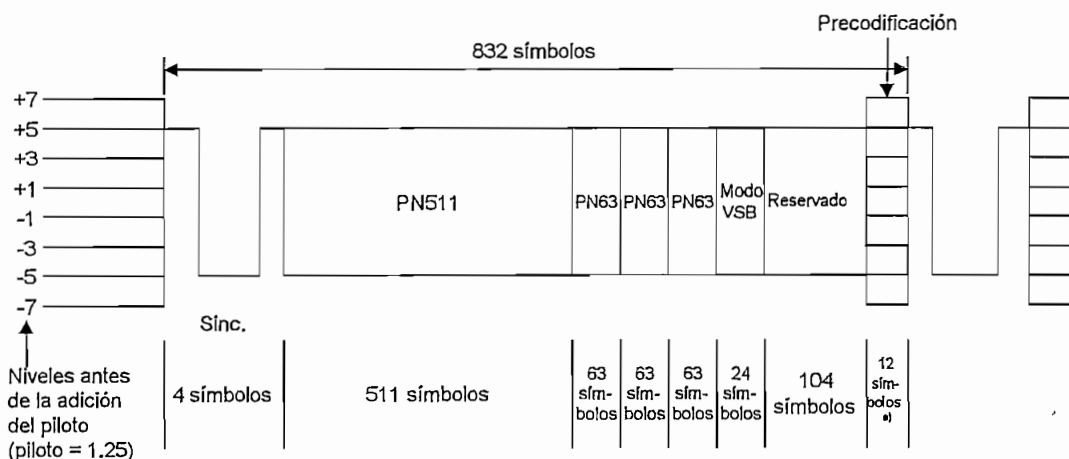


Figura A5.15. Sincronismo de campo de datos 16 VSB.



a) Para 8 VSB con codificación reticular, los últimos 12 símbolos del segmento anterior se duplican en los últimos 12 símbolos reservados del sincronismo de campo

Figura A5.16. Sincronismo de campo de datos 8 VSB (Codificación reticular).

A5.5. MODULACIÓN

Para realizar la modulación se realizan los siguientes procesos:

A5.5.1. CORRESPONDENCIA DE BITS A SÍMBOLOS

La correspondencia de bits y símbolos para 2 VSB, 4 VSB, 8 VSB, 16 VSB y 8 VSB (codificación reticular) se muestra en las Figuras A5.17., A5.18., A5.19., A5.20. y A5.21., respectivamente. Los niveles de símbolos de datos son ± 1 para 2 VSB, $\pm 1, \pm 3$ para 4 VSB y $\pm 1, \pm 3, \pm 5, \pm 7$ para 8 VSB y 8 VSB (codificación reticular) y $\pm 1, \pm 3, \pm 5, \pm 7, \pm 9, \pm 11, \pm 13, \pm 15$ para 16 VSB.

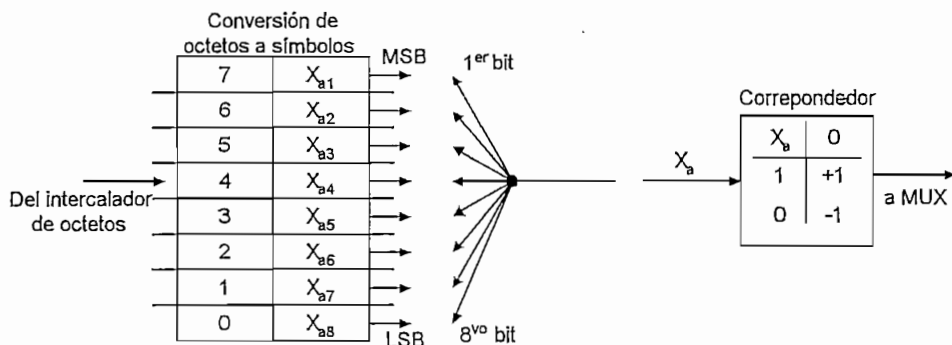


Figura A5.17. Correpondedor 2 VSB.

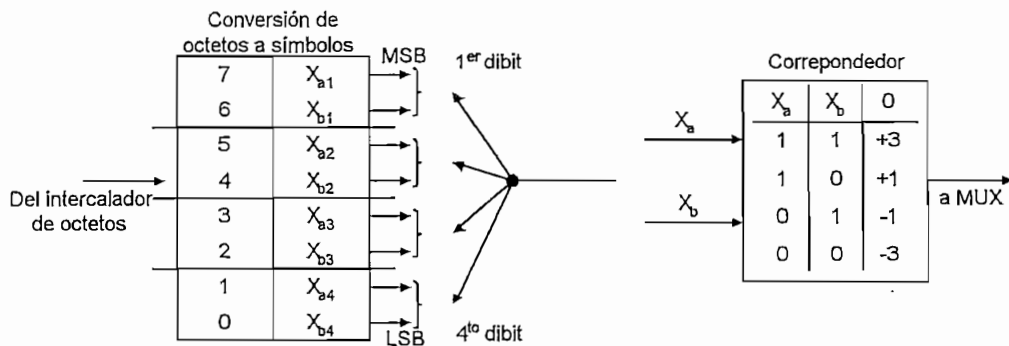


Figura A5.18. Correpondedor 4 VSB.

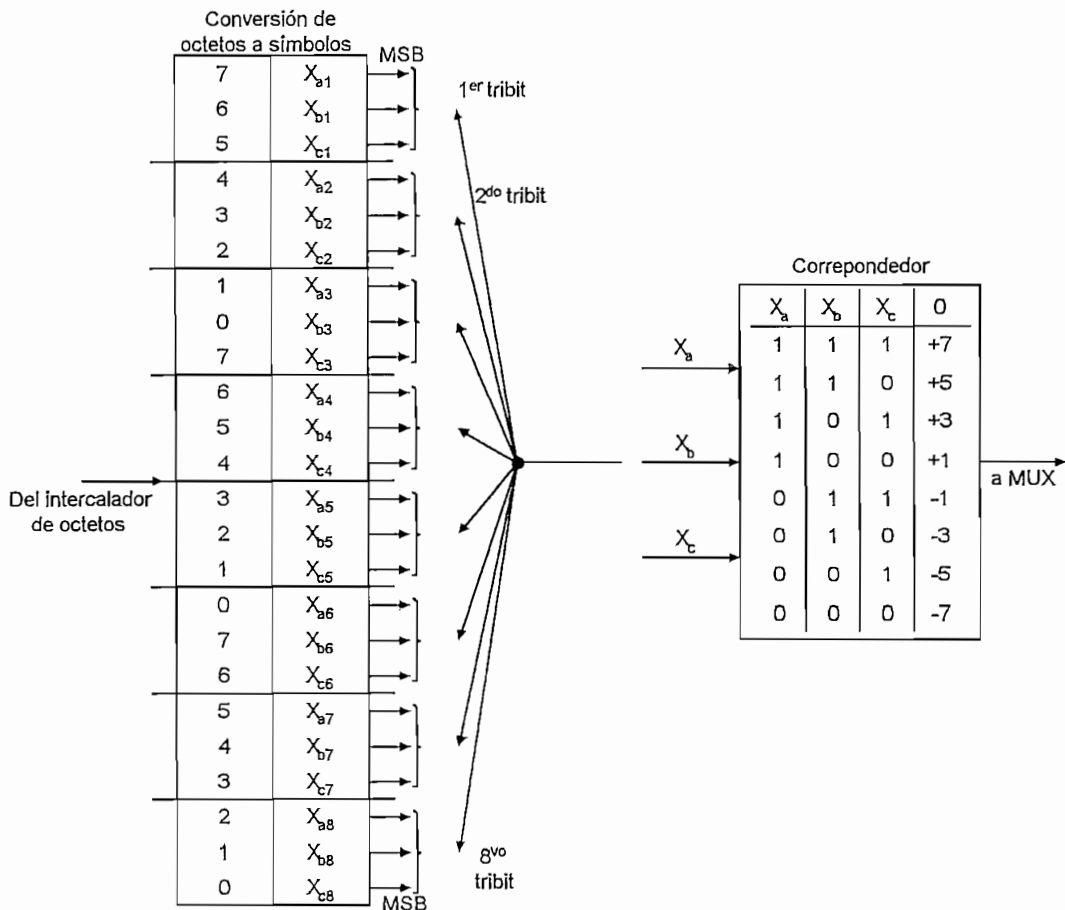


Figura A5.19. Correpondedor 8 VSB.

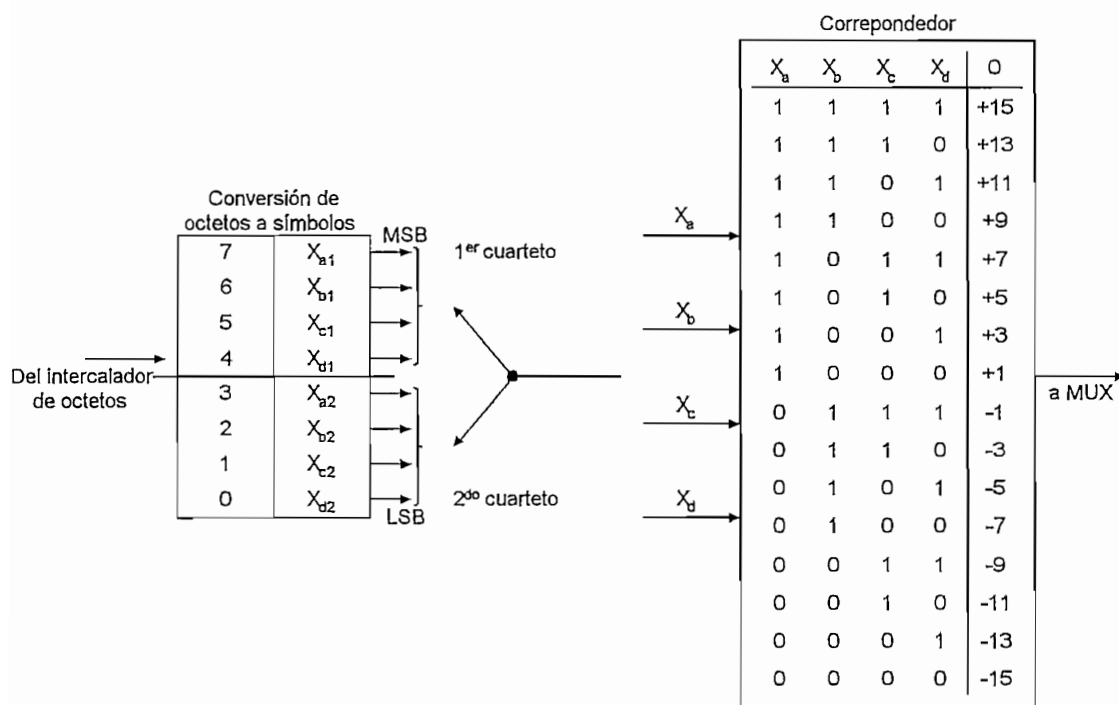


Figura A5.20. Correspondedor 16 VSB.

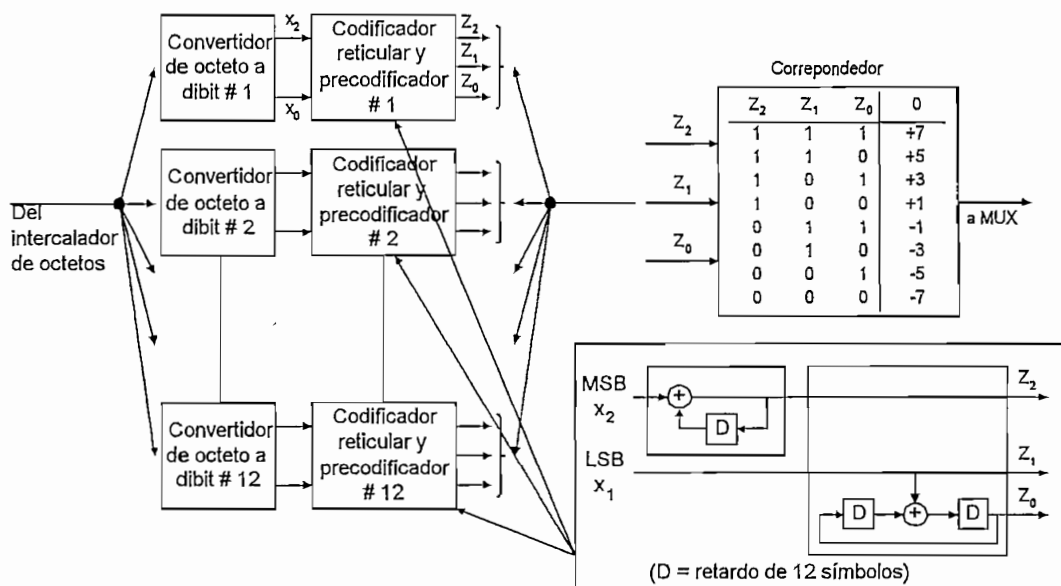


Figura A5.21. Correspondedor 8 VSB (precodificador, codificador reticular) velocidad = 2/3.

A5.5.2. ADICIÓN DE PILOTO

La adición de piloto se puede efectuar, añadiendo a la señal de datos un pequeño piloto en fase. La frecuencia del piloto es la misma que la frecuencia de portadora suprimida presentada en la Figura A5.2. Ésta puede generarse de la siguiente manera. Se añade un pequeño nivel DC a los símbolos de banda de base (datos y sincronismo). El valor del nivel DC es 0,3125 para 2 VSB, 0,625 para 4 VSB, 1,25 para 8 VSB y 8 VSB (codificación reticular) y 2.5 para 16

VSB. La potencia del piloto está a 11,3 dB por debajo de la potencia media de la señal de datos. Esto se muestra en las Figuras A5.6., A5.7., A5.8., A5.9. y A5.10. para 2 VSB, 4 VSB, 8 VSB, 16 VSB y 8 VSB (codificación reticular), respectivamente.

A5.5.3. MÉTODO DE MODULACIÓN VSB

El método de modulación para todos los sistemas VSB se aplica de la misma manera como se indica a continuación. La respuesta de frecuencia de canal global se conforma como se indica en la Figura A5.22.

El modulador VSB recibe la señal de datos compuesta de 16 niveles de 10,76 Msímbolos/s (incluidos piloto y sincronismos). La calidad de funcionamiento de un sistema digital multiprograma se basa en una respuesta de filtro Nyquist de coseno alzado de fase lineal en el transmisor y el receptor concatenados, como muestra la Figura A5.22. La respuesta de filtro del sistema es prácticamente plana en toda la banda, excepto en las regiones de transición de cada extremo de la banda. Nominalmente, la caída en el transmisor tiene la respuesta de un filtro en raíz cuadrada de coseno alzado de fase lineal. Las tolerancias dentro de banda y fuera de banda quedan en estudio.

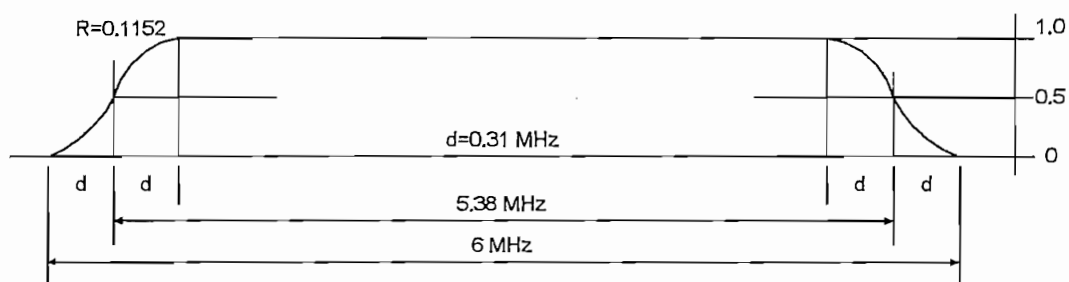


Figura A5.22. Respuesta nominal de un canal de sistema VSB (filtro Nyquist de coseno alzado de fase lineal).

A5.5.4. CONVERSIÓN ELEVACIÓN

El método de modulación se suele aplicar en una frecuencia intermedia IF. Se aplica la conversión-elevación a la frecuencia intermedia modulada hasta la frecuencia de canal final del sistema de transmisión RF.

A5.6. RECEPTOR VSB

El receptor VSB tiene todas las funciones inversas del transmisor. El modo de transmisión VSB se indica al receptor como se describe en A5.4.5.4. Las funciones del receptor se ajustan para

acomodar los distintos niveles de deslizamiento de datos requeridos y las diferentes velocidades binarias entrantes.

Todas las funciones inversas del transmisor se ejecutan en el receptor: conversión reducción (sintonizador), detección, sincronización y recuperación de temporización, desintercalación, corrección de errores en recepción Reed Solomon y desaliatorización de datos.

Además, un ecualizador elimina la interferencia entre símbolos haciendo uso del sincronismo de campo de datos como señal de referencia de reacondicionamiento, y un seguidor de fase reduce el efecto del ruido de fase del oscilador local del sintonizador. Después del seguidor de fase está el troceador (slicer) para recuperar los datos de los símbolos multinivel. La portadora demoduladora es recuperada del piloto y la sincronización y el reloj se recuperan del sincronismo de segmento.

El receptor puede ser alimentado con señales de modo cable desde el sistema de distribución por cable o, si el receptor es un receptor de radiodifusión terrenal, puede también ser alimentado por retransmisiones terrenales con codificación reticular 8 VSB, o a partir de fuentes de cable privadas (SMATV o MMDS, u otras). El receptor 16 VSB se muestra en la Figura A5.23.

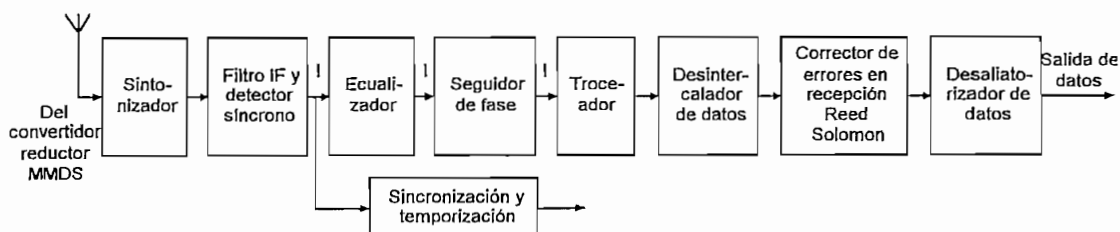


Figura A5.23. Receptor 16 VSB.

ANEXO 6

CÁLCULOS DE ENLACE Y COBERTURA

En este Anexo se presentará las herramientas utilizadas para los cálculos del enlace y cobertura para el Sistema de Televisión Inalámbrica para la ciudad de Quito. Además se incluye los perfiles topográficos utilizados para determinar si los diferentes enlaces cuentan con línea de vista.

Los cálculos radioeléctricos realizados para los diferentes sitios se presentan en tablas, como sigue:

Quito Norte	Tabla A6.2.
Quito Sur	Tabla A6.3.
Valle de los Chillos	Tabla A6.4.
Valle de Tumbaco	Tabla A6.5.

Estas tablas sirvieron para determinar el equipo de transmisión y repetición a utilizarse en el sistema. También se presenta la tabla de cálculos para el enlace AML utilizado (Tabla A6.6.).

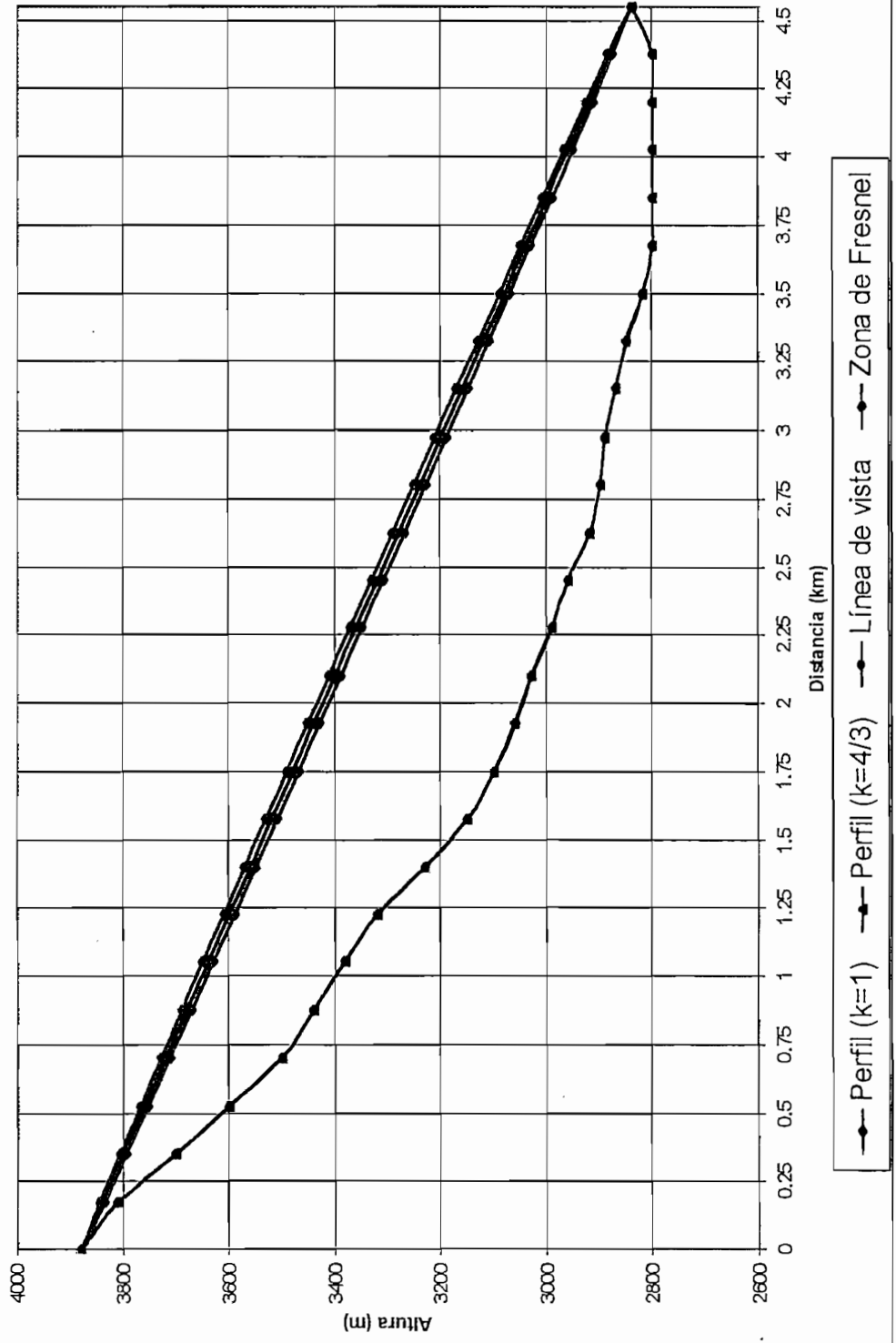
Con el equipo seleccionado calculamos la confiabilidad que se tendrá en los 3 sitios de repetición:

Atacazo	Tabla A6.7.
Puengasí	Tabla A6.8.
Guanguiltagua	Tabla A6.9.

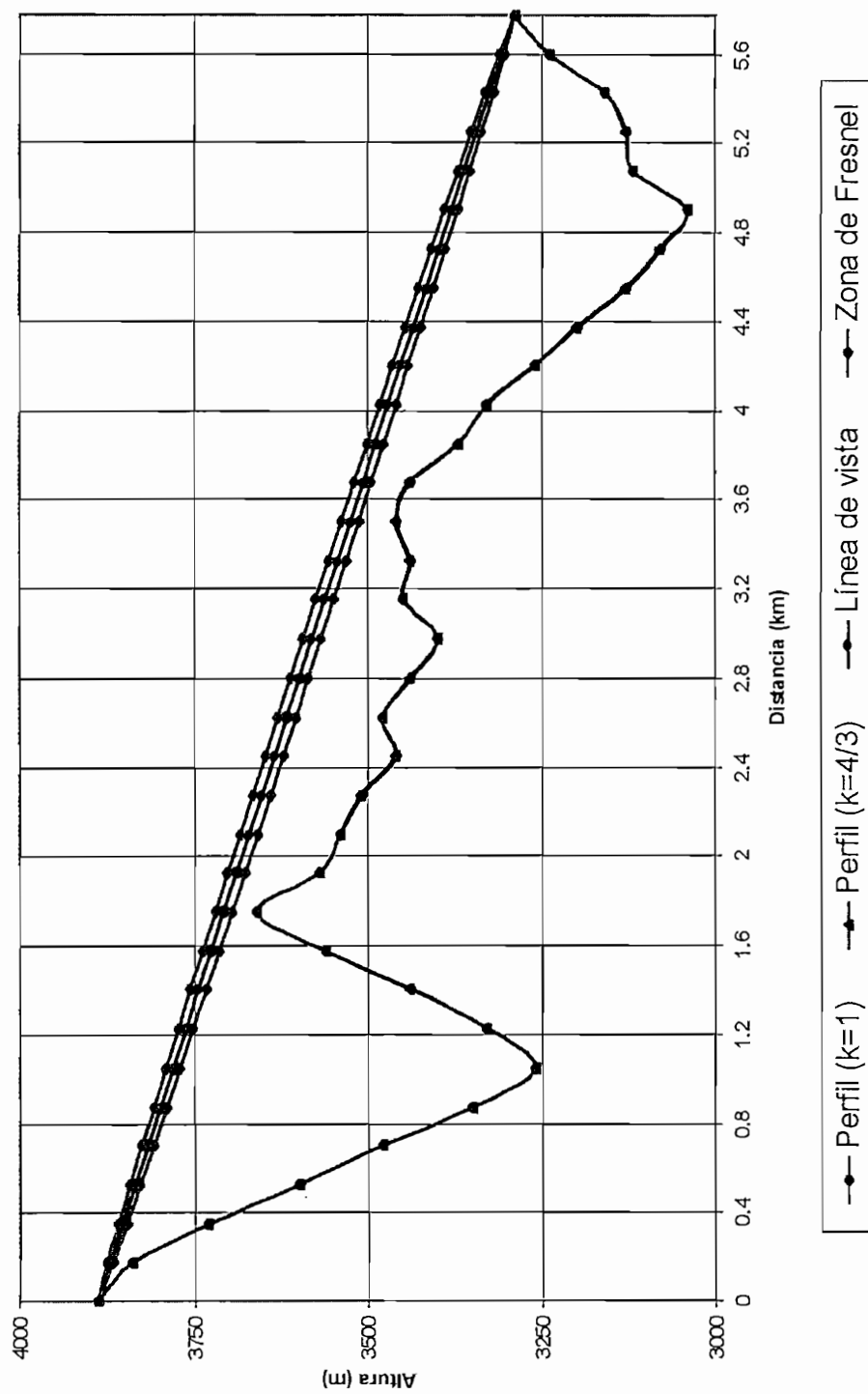
A = Factor de rugosidad	4 para terreno muy plano incluyendo sobre agua
	1 terreno normal con rugosidad promedio
	1/4 terreno montañoso con alta rugosidad
B = factor para convertir una Probabilidad del peor mes A una probabilidad anual	1/2 para áreas calientes y húmedas
	1/4 para áreas normales tierra adentro
	1/8 para áreas montañosas o muy secas

Tabla A6.1. Valores empíricos para las ecuaciones (5.6) y (5.10).

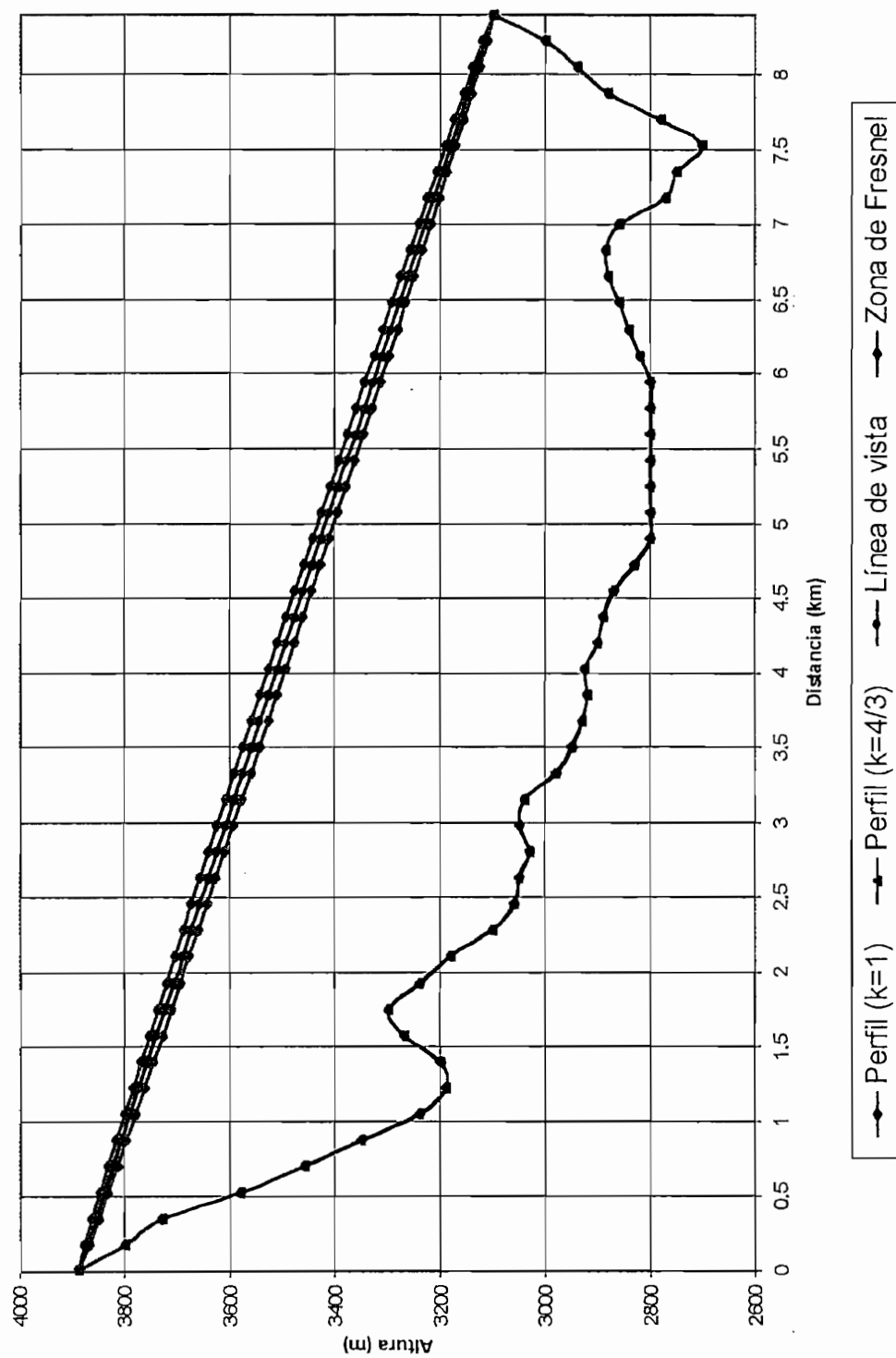
ENLACE LA CAROLINA-CONDORRUMI



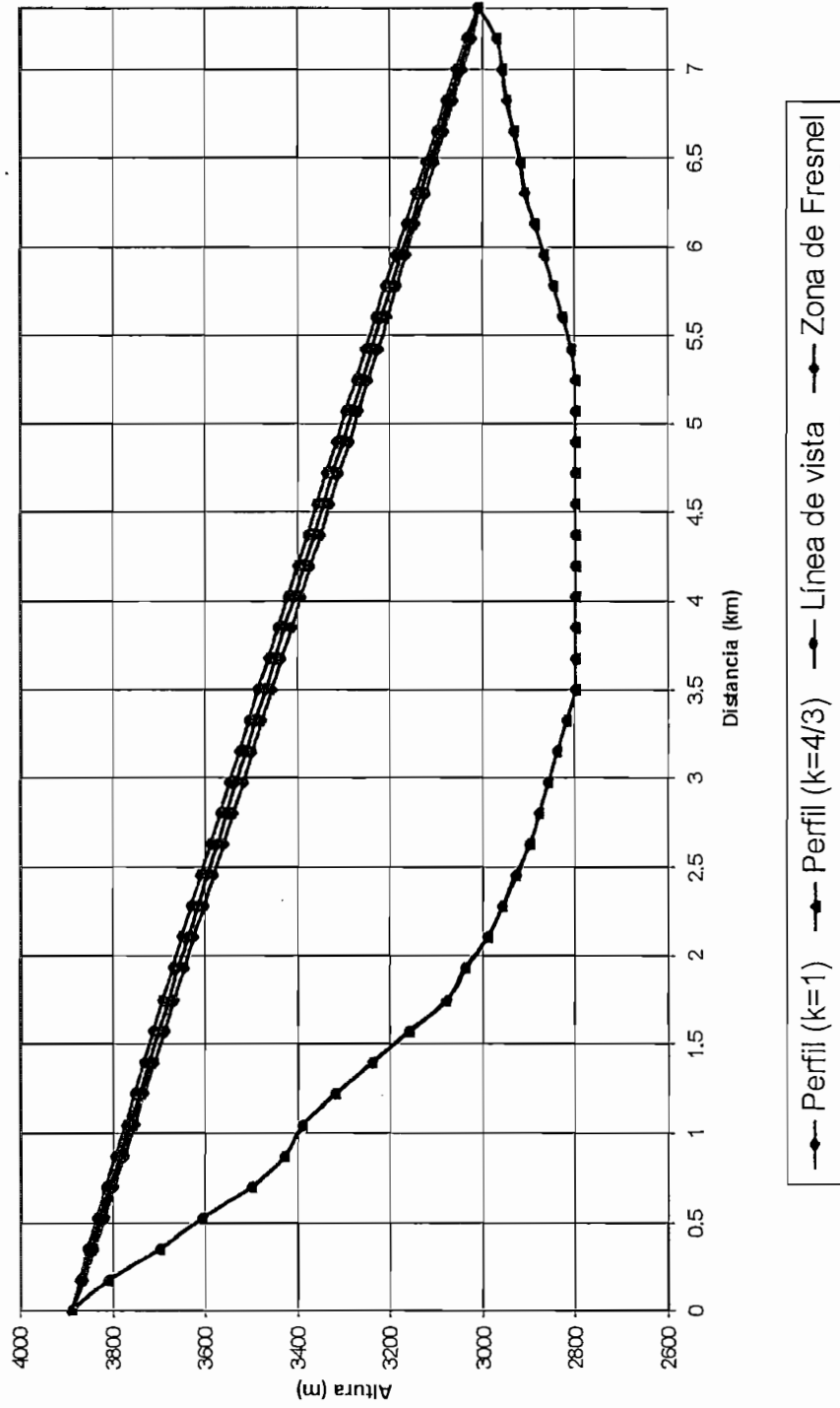
ENLACE CONDURRUMI-ATACAZO



ENLACE CONDORRUMI-PUENGASÍ



ENLACE CONDORRUMI-GUANGUILTAGUA



CÁLCULOS DE COBERTURA				
QUITO NORTE				
ESTACIÓN A: CONDORRUMI				
ESTACIÓN B: SAN CARLOS (Punto de cobertura más lejano)				
DATOS PARA EL ENLACE		UNIDADES	VALORES	
Distancia de cobertura		km	15	
Banda de frecuencia		MHz	2500-2686	
Capacidad		Mbps/canal	30	
Número de canales			16	
Confiabilidad		%	99.999	
Factor de rugosidad a			1/4	
Factor de conversión b			1/8	
DATOS DEL SISTEMA RADIANTE		UNIDADES	VALORES	
			ESTACION A	ESTACION B
Tipo de antena			Cardioide de 180°	Parabólica
Ganancia de la antena		dBi	16	16
Ganancia del downconverter		dB		32
Tipo de cable			EW20	Heliac 1/4"
Pérdidas del cable		dB/100m	1.45	23
Altura de la torre		m	30	
Longitud del cable		m	30	10
DATOS DEL EQUIPO		UNIDADES	VALORES	
Modulación			64 QAM	
Figura de ruido		dB	3	
CNR		dB	40	
CÁLCULOS		UNIDADES	VALORES	
Umbral		dBm	-63.2184875	
Pérdidas de espacio libre		dB	124.5039453	
Pérdidas del feeder en A		dB	0.435	
Pérdidas del feeder en B		dB	2.3	
Pérdidas del branching		dB	8	
Margen de desvanecimiento		dB	12.30381058	
Potencia recibida		dBm	-44.9146769	
TRANSMISOR				
Potencia de Tx		dBm/canal	20.32426843	

Tabla A6.2. Cobertura Quito Norte.

CÁLCULOS DE COBERTURA QUITO SUR				
ESTACIÓN A: ATACAZO				
ESTACIÓN B: GUAMANÍ (Punto de cobertura más lejano)				
DATOS PARA EL ENLACE		UNIDADES	VALORES	
Distancia de cobertura		km	14	
Banda de frecuencia		MHz	2500-2686	
Capacidad		Mbps/canal	30	
Número de canales			16	
Confiabilidad		%	99.999	
Factor de rugosidad a			1/4	
Factor de conversión b			1/8	
DATOS DEL SISTEMA RADIANTE		UNIDADES	VALORES	
			ESTACION A	ESTACION B
Tipo de antena			Cardioide de 90°	Parabólica
Ganancia de la antena		dBi	16	16
Ganancia del downconverter		dB		32
Tipo de cable			EW20	Heliax 1/4"
Pérdidas del cable		dB/100m	1.45	23
Altura de la torre		m	30	
Longitud del cable		m	30	10
DATOS DEL EQUIPO		UNIDADES	VALORES	
Modulación			64 QAM	
Figura de ruido		dB	3	
CNR		dB	40	
CÁLCULOS		UNIDADES	VALORES	
Umbral		dBm	-63.2184875	
Pérdidas de espacio libre		dB	123.9046809	
Pérdidas del feeder en A		dB	0.435	
Pérdidas del feeder en B		dB	2.3	
Pérdidas del branching		dB	8	
Margen de desvanecimiento		dB	11.40491387	
Potencia recibida		dBm	-45.8135736	
TRANSMISOR				
Potencia de Tx		dBm/canal	18.82610726	

Tabla A6.3. Cobertura Quito Sur.

CÁLCULOS DE COBERTURA VALLE DE LOS CHILLOS				
ESTACIÓN A: PUENGASÍ				
ESTACIÓN B: PÍNTAG (Punto de cobertura más lejano)				
DATOS PARA EL ENLACE		UNIDADES	VALORES	
Distancia de cobertura		km	20	
Banda de frecuencia		MHz	2500-2686	
Capacidad		Mbps/canal	30	
Número de canales			16	
Confiabilidad		%	99.999	
Factor de rugosidad a			1/4	
Factor de conversión b			1/8	
DATOS DEL SISTEMA RADIANTE		UNIDADES	VALORES	
			ESTACION A	ESTACION B
Tipo de antena			Cardioide de 90°	Parabólica
Ganancia de la antena		dBí	16	16
Ganancia del downconverter		dB		32
Tipo de cable			EW20	Helix 1/4"
Pérdidas del cable		dB/100m	1.45	23
Altura de la torre		m	30	
Longitud del cable		m	30	10
DATOS DEL EQUIPO		UNIDADES	VALORES	
Modulación			64 QAM	
Figura de ruido		dB	3	
CNR		dB	40	
CÁLCULOS		UNIDADES	VALORES	
Umbral		dBm	-63.2184875	
Pérdidas de espacio libre		dB	127.0027201	
Pérdidas del feeder en A		dB	0.435	
Pérdidas del feeder en B		dB	2.3	
Pérdidas del branching		dB	8	
Margen de desvanecimiento		dB	16.05197267	
Potencia recibida		dBm	-41.1665148	
TRANSMISOR		UNIDADES	VALORES	
Potencia de Tx		dBm/canal	26.57120526	

Tabla A6.4. Cobertura Valle de los Chillos.

CÁLCULOS DE COBERTURA			
VALLE DE TUMBACO			
ESTACIÓN A: GUANGUILTAGUA			
ESTACIÓN B: EL QUINCHE (Punto de cobertura más lejano)			
DATOS PARA EL ENLACE		UNIDADES	VALORES
Distancia de cobertura		km	20
Banda de frecuencia		MHz	2500-2686
Capacidad		Mbps/canal	30
Número de canales			16
Confiabilidad		%	99.999
Factor de rugosidad a			1/4
Factor de conversión b			1/8
DATOS DEL SISTEMA RADIANTE		UNIDADES	VALORES
			ESTACION A ESTACION B
Tipo de antena			Cardioide de 180° Parabólica
Ganancia de la antena		dBi	16 16
Ganancia del downconverter		dB	32
Tipo de cable			EW20 Heliax 1/4"
Pérdidas del cable		dB/100m	1.45 23
Altura de la torre		m	30
Longitud del cable		m	30 10
DATOS DEL EQUIPO		UNIDADES	VALORES
Modulación			64 QAM
Figura de ruido		dB	3
CNR		dB	40
CÁLCULOS		UNIDADES	VALORES
Umbral		dBm	-63.2184875
Pérdidas de espacio libre		dB	127.0027201
Pérdidas del feeder en A		dB	0.435
Pérdidas del feeder en B		dB	2.3
Pérdidas del branching		dB	8
Margen de desvanecimiento		dB	16.05197267
Potencia recibida		dBm	-41.1665148
TRANSMISOR		UNIDADES	VALORES
Potencia de Tx		dBm/canal	26.57120526

Tabla A6.5. Cobertura Valle de Tumbaco.

CÁLCULO DE ENLACE LA CAROLINA-CONDORRUMI				
ESTACIÓN A: LA CAROLINA.				
ESTACIÓN B: CONDORRUMI.				
DATOS PARA EL ENLACE		UNIDADES	VALORES	
Distancia de cobertura		km	5	
Banda de frecuencia		GHz	13	
Capacidad		Mbps/canal	30	
Número de canales			16	
Confiabilidad		%	99.999	
Factor de rugosidad a			1	
Factor de conversión b			1/8	
DATOS DEL SISTEMA RADIANTE		UNIDADES	VALORES	
			ESTACION A	ESTACION B
Tipo de antena			Parabólica	Parabólica
Ganancia de la antena		dBi	41.2	41.2
Tipo de cable			EWP127A	EWP127A
Pérdidas del cable		dB/100m	11.54	11.54
Altura de la torre		m	10	20
Longitud del cable		m	10	20
DATOS DEL EQUIPO		UNIDADES	VALORES	
Figura de ruido		dB	8	
Umbral		dBm	- 52.21	
CÁLCULOS		UNIDADES	VALORES	
Pérdidas de espacio libre		dB	128.66	
Pérdidas del feeder en A		dB	1.154	
Pérdidas del feeder en B		dB	2.308	
Pérdidas del branching		dB	8	
Margen de desvanecimiento		dB	10,86	
Potencia recibida		dBm	- 41.36	
TRANSMISOR				
Potencia de Tx		dBm/canal	16.36	

Tabla A6.6. Enlace AML.

CÁLCULOS DE CONFIABILIDAD DEL ENLACE CONDORRUMI-ATACAZO		
ESTACIÓN A: CONDORRUMI		
ESTACIÓN B: ATACAZO		
PARÁMETROS	UNIDADES	VALORES
Distancia	km	5.775
Frecuencia	GHz	2.7
Factor de rugosidad a		0.25
Factor de conversión b		0.125
Figura de ruido	dB	6
Altura de la torre de transmisión	m	30
Altura de la torre de recepción	m	20
Atenuación en el transmisor	dB/100m	1.45
Atenuación en el receptor	dB/100m	1.45
Ganancia de la antena de transmisión	dBi	16
Ganancia de la antena de recepción	dBi	18
Ganancia del preamplificador	dB	15
Otras pérdidas	dB	5
CÁLCULOS	UNIDADES	VALORES
Pérdidas de trayectoria por espacio libre	dB	116.2583151
Pérdidas del alimentador	dB	0.725
Umbral	dBm	-42.17728767
Potencia de transmisión	dBm	50
Potencia de recepción	dBm	-22.98331505
Margen de desvanecimiento	dB	19.19397262
Confiabilidad	%	99.99998826

Tabla A6.7. Confiabilidad del enlace Condorrumi.Atacazo.

CÁLCULOS DE CONFIABILIDAD DEL ENLACE CONDORRUMI-PUENGASÍ		
ESTACIÓN A: CONDORRUMI		
ESTACIÓN B: PUENGASÍ		
PARÁMETROS	UNIDADES	VALORES
Distancia	Km	8.4
Frecuencia	GHz	2.7
Factor de rugosidad a		1
Factor de conversión b		0.125
Figura de ruido	dB	6
Altura de la torre de transmisión	m	30
Altura de la torre de recepción	m	20
Atenuación en el transmisor	dB/100m	1.45
Atenuación en el receptor	dB/100m	1.45
Ganancia de la antena de transmisión	dBi	16
Ganancia de la antena de recepción	dBi	18
Ganancia del preamplificador	dB	15
Otras pérdidas	dB	5
CÁLCULOS	UNIDADES	VALORES
Pérdidas de trayectoria por espacio libre	dB	119.512861
Pérdidas del alimentador	dB	0.725
Umbral	dBm	-42.17728767
Potencia de transmisión	dBm	50
Potencia de recepción	dBm	-26.237861
Margen de desvanecimiento	dB	15.93942667
Confiabilidad	%	99.99969428

Tabla A6.8. Confiabilidad del enlace Condorrumi-Puengasí.

CÁLCULOS DE CONFIABILIDAD DEL ENLACE CONDORRUMI-GUANGUILTAGUA		
ESTACIÓN A: CONDORRUMI		
ESTACIÓN B: GUANGUILTAGUA		
PARÁMETROS	UNIDADES	VALORES
Distancia	Km	7.35
Frecuencia	GHz	2.7
Factor de rugosidad a		1
Factor de conversión b		0.125
Figura de ruido	dB	6
Altura de la torre de transmisión	m	30
Altura de la torre de recepción	m	20
Atenuación en el transmisor	dB/100m	1.45
Atenuación en el receptor	dB/100m	1.45
Ganancia de la antena de transmisión	dBi	16
Ganancia de la antena de recepción	dBi	18
Ganancia del preamplificador	dB	15
Otras pérdidas	dB	5
CÁLCULOS	UNIDADES	VALORES
Pérdidas de trayectoria por espacio libre	dB	118.3530221
Pérdidas del alimentador	dB	0.725
Umbral	dBm	-42.17728767
Potencia de transmisión	dBm	50
Potencia de recepción	dBm	-25.07802206
Margen de desvanecimiento	dB	17.0992656
Confiabilidad	%	99.99984319

Tabla A6.9. Confiabilidad del enlace Condorrumi-Guanguiltagua.

ANEXO 7

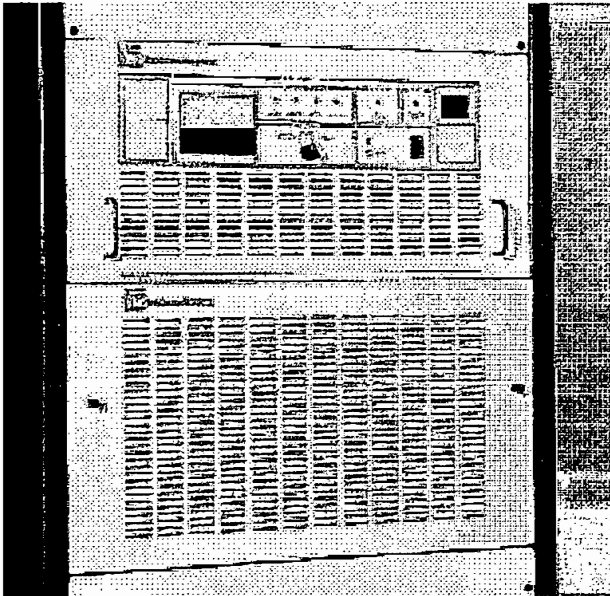
EQUIPO SELECCIONADO PARA EL DISEÑO

Para seleccionar el equipo que se utilizará en el diseño del sistema de TV inalámbrica se tomó en cuenta las bases propuestas en el Capítulo 5 para un concurso, en este mismo capítulo se encuentran las empresas favorecidas así como el equipo seleccionado. En este Anexo se presentan las características técnicas de dicho equipo, las cuales fueron obtenidas de las páginas Web de los diferentes proveedores. A continuación se presenta el equipo seleccionado como también las direcciones de Internet donde se pueden encontrar sus características técnicas.

Transmisor MMDS:	6455A	http://www.adc.com .	A7.2
Repetidor MMDS:	6474A	http://www.adc.com .	A7.6
Repetidor MMDS:	6475A	http://www.adc.com .	A7.6
Downconverter:	QD-5445	http://www.andrew.com .	A7.10
Caja set-top:	Explorer 3000	http://www.sciatl.com .	A7.16
Antenas Tx:	U8010	http://www.microwavefilter.com .	A7.18
Antena Grid:	18T-2127	http://www.andrew.com .	A7.20
Transmisor AML:	HIBT	http://www.amlwireless.com .	A7.23
Receptor AML:	CORE 1-294	http://www.amlwireless.com .	A7.25
Antena AML:	VHPX4A-130	http://www.andrew.com .	A7.27
Guía de onda	EW20	http://www.andrew.com .	A7.31
Conector	120E	http://www.andrew.com .	A7.31
Guía de onda	EWP127A	http://www.andrew.com .	A7.33
Conector	1127DCT	http://www.andrew.com .	A7.33
Heliax	LDF1-50	http://www.andrew.com .	A7.36
Conector	L1PNM-H	http://www.andrew.com .	A7.37

Broadband MMDS Transmitter

6450A Series
20-1300 Watts



- 2500-2686 MHz frequency range
- Compatible with digital and analog transmission systems
- ALC maintains constant output over varying input levels
- Feedforward amplifiers permit excellent BER performance
- Manufactured with reliable surface mount technology (SMT)

Broadband transmitter systems provide a cost effective solution to increasing your subscriber base and expanding your coverage area. The 6450A series accept VHF/UHF inputs and can be used with CATV modulators, fiber optic systems, or AML links for low power broadband applications. Operators can choose from seven models which provide from 20 to 1300 watts of peak power.

256 QAM or 16 VSB Compatible

6450A transmitters are compatible with any level of QAM modulation up to and including M=256 and any level of VSB modulation up to and including M=16.

Excellent BER Performance

Feedforward equalization techniques are employed to meet the proposed ATV out-of-band performance specifications while minimizing power consumption.

Turnkey Solutions and 24-Hour Support

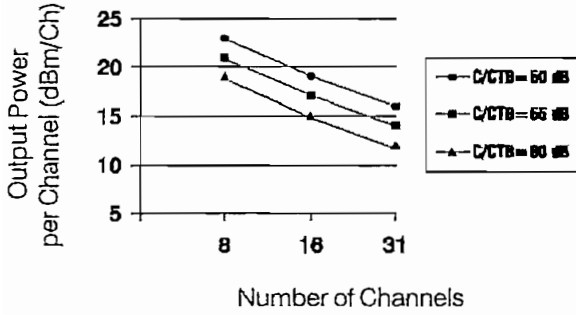
At ADC our transmitters, amplifiers, and channel combiners are manufactured and tested as a system to achieve the ultimate in performance and value. Our system integration group can document, install, and commission your entire digital MMDS transmitter system. ADC field engineers are available to oversee analog to digital system conversions and provide on-site training. We offer a comprehensive range of support services that are designed to keep your transmitter system producing revenue year after year. ■



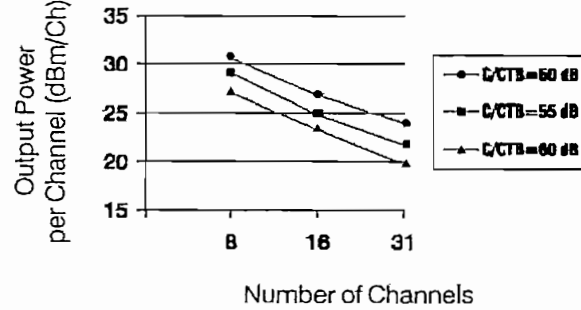
ADC Telecommunications

Microwave Systems Division

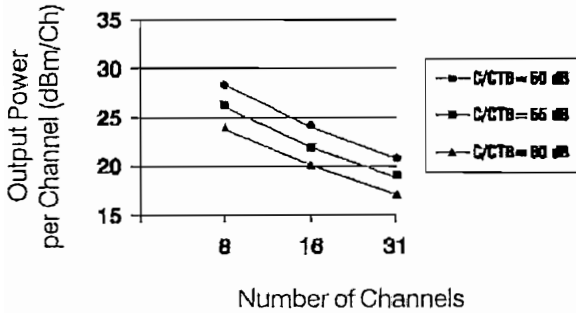
6452A Output Power Vs. Number of Channels
CW-Carriers



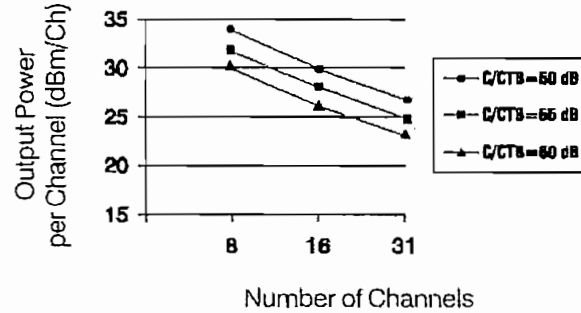
6455A Output Power Vs. Number of Channels
CW-Carriers



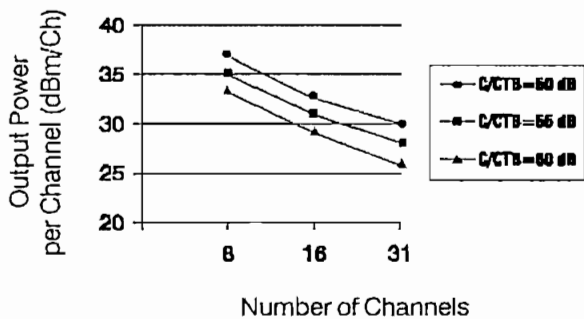
6453A Output Power Vs. Number of Channels
CW-Carriers



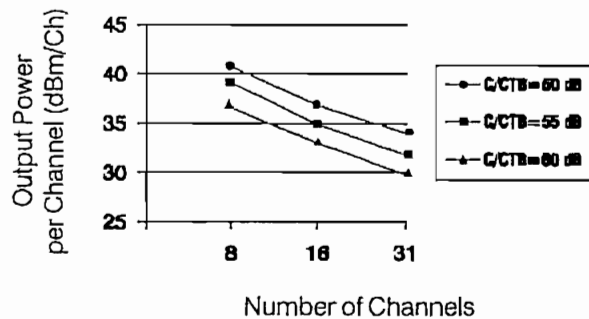
6456A Output Power Vs. Number of Channels
CW-Carriers



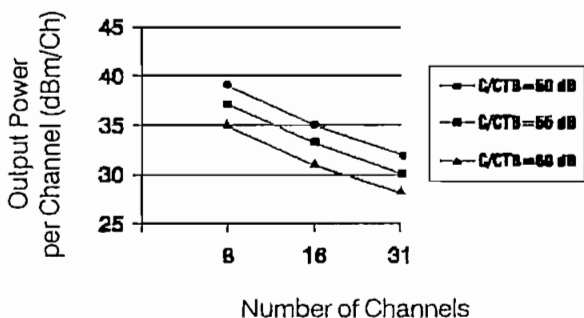
6457A Output Power Vs. Number of Channels
CW-Carriers



6459A Output Power Vs. Number of Channels
CW-Carriers



6458A Output Power Vs. Number of Channels
CW-Carriers



6450A Series

Broadband MMDS Transmitter

20-1300 Watts

Preliminary Specifications¹

(subject to change without notice)

	6452A	6453A	6455A	6456A	6457A	6458A	6459A
RF Performance							
RF Output Power (PEP Watts)	20	50	100	200	400	650	1300
RF Output Frequency	2500-2686 MHz						
RF Output Impedance	50 ohms						
Signal to Noise Ratio (6 MHz Bandwidth) ²	55 dB @ 25 dBmV/channel (CW carriers)						
Noise Figure (preamplifier)	6 dB typical						
Output Power Variation	±1.5 dB over 200 MHz bandwidth						
RF Input Frequency	138 to 324 MHz or 222 to 408 MHz						
RF Input Impedance	75 ohms						
RF-Input Level ²	15 to 30 dBmV/channel (CW carriers)						
ALC Range ²	15 dB						
Frequency Translation Accuracy	±500 Hz nominal, Precise Locking available						
Inputs / Connectors	RF Input/F; Control/D						
Outputs / Connectors	RF Output/N						
General							
Operational Temperature Range ³	0°C to 45°C						
Specified Temperature Range ³	0°C to 40°C						
Relative Humidity	0 to 95% non-condensing						
Dimensions (W x D x H)	19" x 21" x 8.75" (48.3 cm x 53.3 cm x 22.2 cm)	19" x 21" x 8.75" (48.3 cm x 53.3 cm x 22.2 cm)	19" x 21" x 19.25" (48.3 cm x 53.3 cm x 48.9 cm)	19" x 21" x 19.25" (48.3 cm x 53.3 cm x 48.9 cm)	19" x 21" x 19.25" (48.3 cm x 53.3 cm x 48.9 cm)	19" x 21" x 50.75" (48.3 cm x 53.3 cm x 129 cm)	19" x 21" x 70" (48.3 cm x 53.3 cm x 178 cm)
Line Voltage ⁴	117 VAC ±10%, 60 Hz or 208/240 VAC ±10%, 50/60 Hz						
Power Consumption (Watts)	435	650	1060	1770	3150	5650	11,145
Power Consumption (VA)	635	870	1315	2070	3590	6310	12,270
Weight	55 lbs. (25 kgs.)	55 lbs. (25 kgs.)	110 lbs. (50 kgs.)	135 lbs. (61 kgs)	175 lbs. (80 kgs.)	295 lbs. (134 kgs.)	590 lbs. (268 kgs.)
Monitoring							
Front Panel Meter	Displays forward power, reflected power						
Front Panel Indicators	Operate/standby mode status, temperature fault status, transmitter fault status						

1. These devices have not been approved by the Federal Communications Commission.

2. Typical specification for eight channel loading.

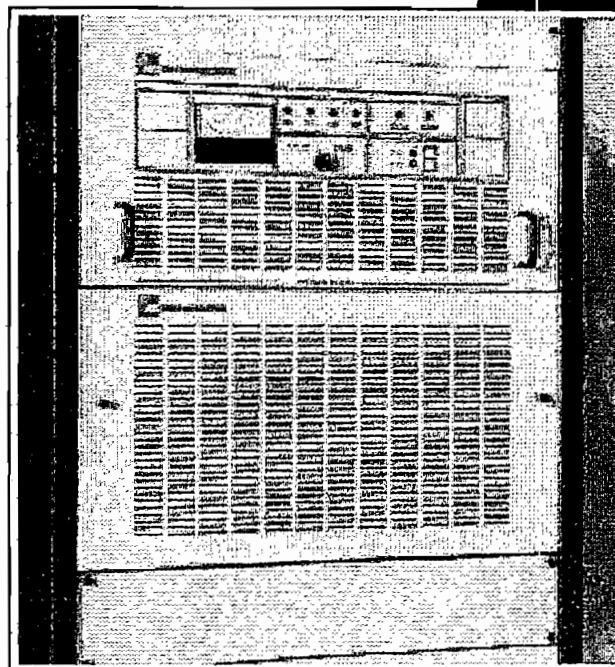
3. RF-performance specifications guaranteed over specified temperature range. Units will run reliably over operational temperature range but may deviate from specifications.

4. Models 6456A, 6457A, 6458A, and 6459A require 208/240 VAC ±10%, 50/60 Hz.

BROADBAND MMDS BOOSTER

6470A SERIES

20-1300 WATTS



- 2076-2686 MHz frequency range
- Compatible with digital and analog transmission systems
- ALC maintains constant output over varying input levels
- Feedforward amplifiers permit excellent BER performance
- SNMP Network Management
- Manufactured with reliable surface mount technology (SMT)



Broadband MMDS Booster

6470A

Wireless cable systems may have shadowed areas that cannot be serviced by the main transmitter site. Booster systems offer an economical solution to increase your subscriber base and expand your coverage area.

Broadband Booster

The 6470B series are rack mounted broadband amplifiers that provide multichannel retransmission of 2076-2686 MHz signals. Operators can choose from seven models which provide from 20 to 1300 watts of peak power.

256 QAM or 16 VSB Compatible

6470A boosters are compatible with any level of QAM modulation up to and including M=256 and any level of VSB modulation up to and including M=16.

Excellent BER Performance

Feedforward equalization techniques are employed to meet performance specifications while minimizing power consumption.

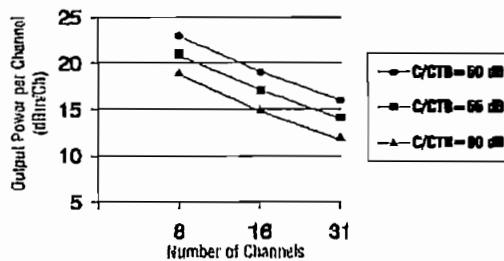
Anytime, Anywhere Communication and Backup

With the SCADA System, operators have real time remote and local control of the booster system and site. Graphic user interfaces simplify integration with Windows or Unix-based SNMP network management systems.

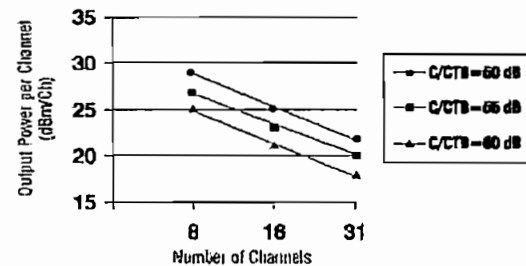
Turnkey Solutions and 24-Hour Support

At ADC, our transmitters, amplifiers, and channel combiners are manufactured and tested as a system to achieve the ultimate in performance and value. Our system integration group can document, install, and commission your entire digital MMDS transmitter system. ADC field engineers are available to oversee analog to digital system conversions and provide on-site training. We offer a comprehensive range of support services that are designed to keep your transmitter system producing revenue year after year.

6472A Output Power Vs. Number of Channels
*CW-Carriers**



6474A Output Power Vs. Number of Channels
*CW-Carriers**

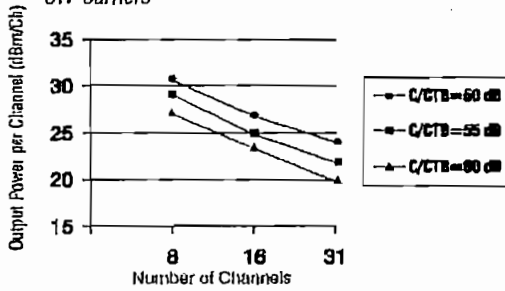




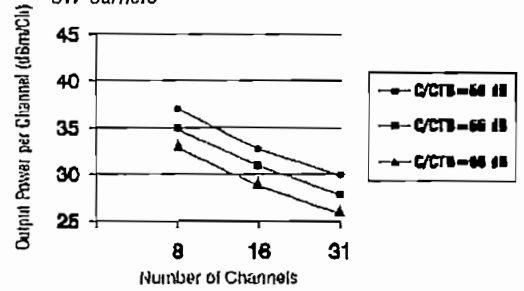
Broadband MMDS Booster

6470A

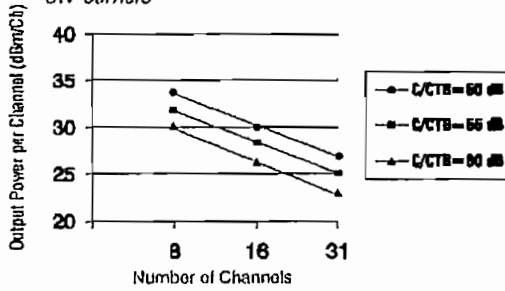
6475A Output Power Vs. Number of Channels
CW-Carriers*



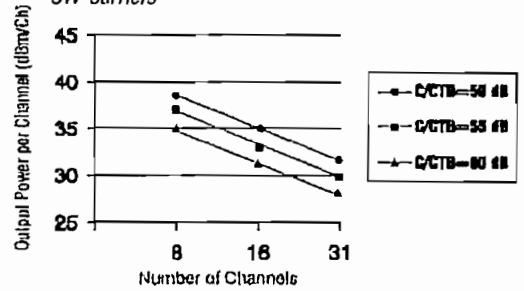
6477A Output Power Vs. Number of Channels
CW-Carriers*



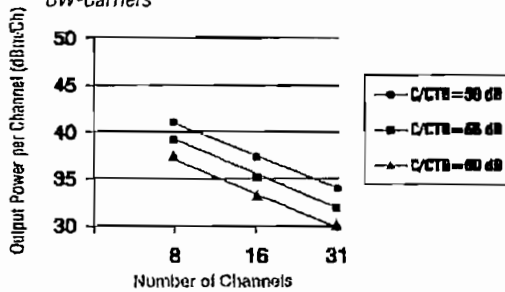
6476A Output Power Vs. Number of Channels
CW-Carriers*



6478A Output Power Vs. Number of Channels
CW-Carriers*



6479A Output Power Vs. Number of Channels
CW-Carriers*



* For modulated analog signals add 2dB. For 16 or 64 QAM modulated signals subtract 2dB.





Broadband MMDS Booster

6470A

	6472A	6474A	6475A	6476A	6477A	6478A	6479A
RF Performance							
RF Output Power (PEP Watts)	20	50	100	200	400	650	1300
RF Output Frequency	2076-2111, 2150-2162, 2300-2400, 2500-2686 MHz						
RF Output Impedance	50 ohms						
Signal to Noise Ratio (6 MHz Bandwidth) ¹	55 dB @ -45 dBmV/channel (CW carriers)						
Noise Figure (preamplifier)	6 dB typical						
Output Power Variation	±1.5 dB over 200 MHz bandwidth						
RF Input Frequency	2076-2111, 2150-2162, 2300-2400, 2500-2686 MHz						
RF Input Impedance	50 ohms						
RF Input Level ²	-60 to -30 dBmV/channel (CW carriers)						
ALC Range ²	30 dB						
Preamplifier Gain (selectable)	+15, +25 dB						
Inputs / Connectors	RF Input / N; Control / D; SCADA / RJ45 (2 connectors)						
Outputs / Connectors	RF Output / N; Preamp Power / F						
General							
Operational Temperature Range ²	0°C to 45°C						
Specified Temperature Range ²	0°C to 40°C						
Relative Humidity	0 to 95% non-condensing						
Dimensions (W x D x H)	19"x21" 8.75" (48.3 cm x 53.3 cm x 22.2 cm)	19"x21" 8.75" (48.3 cm x 53.3 cm x 22.2 cm)	19"x21" 22.75" (48.3 cm x 53.3 cm x 48.9 cm)	19"x21" 22.75" (48.3 cm x 53.3 cm x 48.9 cm)	19"x21" 22.75" (48.3 cm x 53.3 cm x 48.9 cm)	19"x21" 33.25" (48.3 cm x 53.3 cm x 129 cm)	19"x21" 64.75" (48.3 cm x 53.3 cm x 178 cm)
Line Voltage ³	117 VAC ±10%, 60 Hz or 208/240 VAC ±10%, 50/60 Hz			208/240 VAC ±10%, 50/60 Hz			
Power Consumption (Watts)	320	600	945	1400	1770	3100	5600
Power Consumption (VA)	520	820	1200	1680	2070	3540	6260
Weight	55 lbs. (25 kgs.)	55 lbs. (25 kgs.)	110 lbs. (50 kgs.)	135 lbs. (61 kgs.)	175 lbs. (80 kgs.)	245 lbs. (134 kgs.)	590 lbs. (270 kgs.)
Monitoring							
Front Panel Meter	Displays forward power, reflected power						
Front Panel Displays	Operate/standby mode status, temperature fault status, transmitter fault status						
SCADA	SNMP Network Management System for remote control and monitoring of output power, status, and operating mode via modem or LAN/WAN						

1. Typical specifications for eight channel loading.

2. RF performance specifications guaranteed over specific temperature range. Units will run reliably over operational temperature range but may deviate from specifications.

3. Models 6475A, 6477A, 6478A, and 6479A require 208/240 VAC ±10%, 50/60Hz.



Broadband Wireless Group

ADC Telecommunications, Inc.
Microwave Systems Division
102 Railway Road
McMurray, PA 15317-3349 USA
Phone: (724) 941-1500
FAX: (724) 941-4603
<http://www.adc.com/microwave>
microwave_info@adc.com



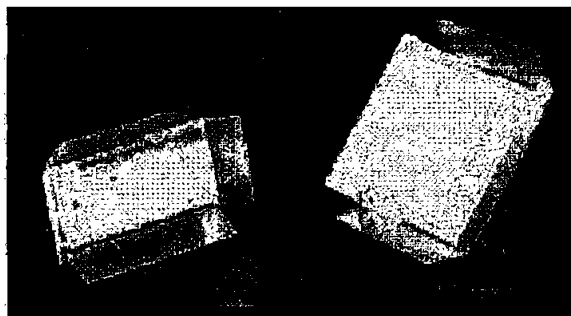
Specifications published here are current as of the date of publication of this document. Because we are continuously improving our products, ADC reserves the right to change specifications without prior notice. At any time, you may verify product specifications by contacting our offices in McMurray. ADC Telecommunications, Inc. views its patent portfolio as an important corporate asset and vigorously enforces its patents. Products or features contained herein may be covered by one or more U.S. or foreign patents.



[What's New](#) | [Products](#) | [Solution Center](#) | [Inside Andrew](#) | [Find](#)

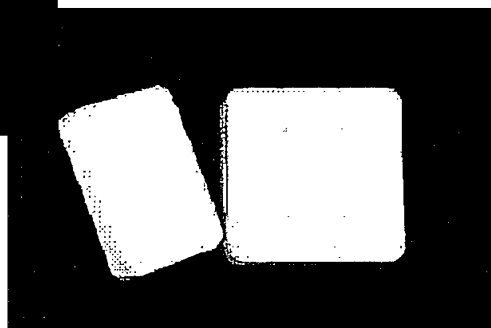
[Price List](#) | [Products](#) |

Microceptor Series Brickwall Integrated Antennas



Models DL & QD-
5445, 5446, and 5447

Brickwall Filtering



- ◆ Certified Reliability Brickwall
- ◆ Brickwall Filtering
- ◆ Smaller & Lightweight
- ◆ Non-Ferrous Materials
- ◆ Brand Recognition
- ◆ 5 Year Warranty
- ◆ Field Proven in Major MMDS Digital Systems
- ◆ New Millennium Guard Against Unwanted Signals
- ◆ Reduced Shipping Costs
- ◆ No Rust!
- ◆ Optional Cosmetic Cover with System Logo
- ◆ Dependable Customer Support

▶ [Features & Benefits](#)

▶ [Specifications](#)

▶ [Polarity Diagrams](#)

[Return To Top](#)

Trademarks & Copyright © 2000 Andrew Corporation, Orland Park, IL U.S.A.


[What's New](#)
[Products](#)
[Solution Center](#)
[Inside Andrew](#)
[Contact Us](#)
[Find](#)
[Price List](#)
[Products](#)
[ISM, MMDS, and UNII Band Products](#)

Features and Benefits

Now there is a *FILTER FIRST* approach that will provide brickwall protection for downconverters. As more and more new wireless services such as PCS, WCS, Radar and LAN emerge, the *FILTER FIRST* design is not just a luxury but becomes a requirement. As these and other services are added, the *PRE-LNA* bandpass filter protects the downconverter from out-of-band interfering carriers and overload. The better the *PRE-LNA rejection*, the less chance there is of overload or interference from out-of-band frequencies. This new filter is key to protecting a base of wireless cable MMDS installations well into the future.

FEATURES

BENEFITS

- | | |
|---|---|
| •>90 dB PRE-LNA PCS Rejection | •Analog and Digital Systems Protected Against PCS |
| •>60 dB PRE-LNA WCS Rejection | •Guaranteed protection against WCS |
| •Superior RF & IF Filtering | •Rejects Radar and Microwave Frequencies |
| •Low Insertion Loss Filter | •Optimizes C/N Ratio |
| •Quick Mount "U" Bracket | •Easy-To-Install |
| •Lightweight | •Saves on Shipping Costs and Warehouse Space |
| •Compact Design | •Low Profile for Zoning Issues |
| •Ultra Low Phase Noise | •Full 256 QAM Digital Compatibility |
| •Excellent Side Lobe and Cross Pole Performance | •Superior to Parabolics |
| •Dualband Performance Option | •Optimized for MMDS/ITFS and/or MDS |
| •Low Windloading | •Minimal Hardware Required per Installation |
| •5 Year Warranty | •Guaranteed Reliability |

[Return To Top](#)

Trademarks & Copyright © 2000 Andrew Corporation, Orland Park, IL U.S.A.



[What's New](#) |
 [Products](#) |
 [Solution Center](#) |
 [Inside Andrew](#) |
 [Contact Us](#) |
 [Find](#)

[Price List](#) |
 [Products](#) |
 Choose A Product Category

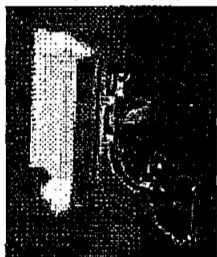
Specifications

SPECIFICATIONS	MODEL DL SERIES	MODEL QD SERIES
Gain	13 dBi	16 dBi
3 dB Beam Width (Typical)	38°	28°
Front to Back Ratio (Typical)	>40 dB	>40 dB
Cross Pole	>25 dB	>25 dB
1st Side Lobe	>16 dB	>18 dB
2nd Side Lobe	>25 dB	>27 dB
Size		
Inches	7 1/4 x 10 3/4	10 1/4 x 11 1/8
Centimeters	18.42 x 27.31	26.04 x 28.40
Weight		
Pounds with/without cover	2.0 / 2.3	2.4 / 3.0
Kilograms with/without cover	.91 / 1.04	1.09 / 1.36

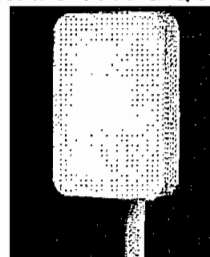
OPTIONAL UNIVERSAL MICRO-MOUNT TM *

OPTIONAL MICROCEPTOR COVER

Model UM-1200 Micro-Mount



Model DC-1000 & QC-1000



The Universal Micro-Mount permits installers to mount the Microceptor® *DL* and *QD* model antennas just about anywhere there is line-of-sight. Mount it to a wall, a vent, tree, roof, chimney and even most rain gutters. The low profile "Micro-Mount" will

Hide It! Disguise It!

Give the antenna a whole new appearance.

Covers are available for the *DL-54XX* and *QD-54XX* models.

make the antenna installation a snap! The Micro-Mount features all stainless steel and aluminum construction. Also available is the EX-1000 extension tube that adds another 10" of pipe to the end of the Microceptor Mount.

*Patent Pending

MICROCEPTOR®* SERIES

Specifications**	MODELS QD or DL- 5445/5446/5447 31 Channels	MODELS QD or DL- 5435/5436/5437 33 Channels
Input Frequency***	2500-2686 MHz	2150-2162 MHz 2500-2686 MHz
Downconverter Gain		
5445 / 5435	36dB \pm 2 dB	36 dB \pm 2 dB
5446 / 5436	32dB \pm 2 dB	32 dB \pm 2 dB
5447 / 5437	20dB \pm 2 dB	20 dB \pm 2 dB
Noise Figure		
MDS		4.0 dB
MMDS	3.0 dB	3.0 dB
L.O. Specifications		
Set Point Accuracy	2278.000 MHz \leq +10 KHz	2278.000 MHz \leq +10 KHz
Frequency Stability (-40°C to 60°C)	\pm 30 KHz	\pm 30 KHz
Phase Noise		
@ 100 Hz	>65 dBc/Hz	>65 dBc/Hz
@ 1 KHz	>85 dBc/Hz	>85 dBc/Hz
@ 10 KHz	>93 dBc/Hz	>93 dBc/Hz
@ 100 KHz	>107 dBc/Hz	>107 dBc/Hz
@ 1 MHz	>120 dBc/Hz	>120 dBc/Hz
Response Specifications		
Output Frequency***		
MDS		116 - 128 MHz
MMDS/ITFS	222 - 408 MHz	222 - 408 MHz
Flatness		
MDS		\pm 0.5 dB

MMDS/ITFS	+2 dB	+2 dB
Group Delay Distortion per 6 MHz Ch.	< ±10 ns	< ±10 ns
PCS Rejection 1930-1990 MHz PRE-LNA	>100 dB	>90 dB
WCS Rejection 2305-2360 MHz		
PRE-LNA	>60 dB	>60 dB
RF/IF Combined	>100 dB	>100 dB
IF Rejection	>80 dB	>80 dB
Radar Rejection - @ Output		
@ 427 MHz (2710 MHz Input)		
PRE-LNA	>10 dB	>10 dB
RF/IF Combined	>30 dB	>30 dB
@ 457 MHz (2735 MHz Input)		
PRE-LNA	>30 dB	>30 dB
RF/IF Combined	>45 dB	>45 dB
Microwave Oven Rejection - @ Output		
@ 174 MHz (2452 MHz Input)		
PRE-LNA	>25 dB	>25 dB
RF/IF Combined	>50 dB	>50 dB
@ 186 MHz (2464 MHz Input)		
PRE-LNA	>20 dB	>20 dB
RF/IF Combined	>45 dB	>45 dB
Output Impedance	75 Ohms	75 Ohms
Output Connector	“F” Female	“F” Female
Power Supply		
Voltage	+15 to 24 VDC	+15 to 24 VDC
Current	220 mA	250 mA

*Patents Pending

**Specifications subject to change without notice.

***Consult factory for different input/output frequency conversion options.

[Return To Top](#)

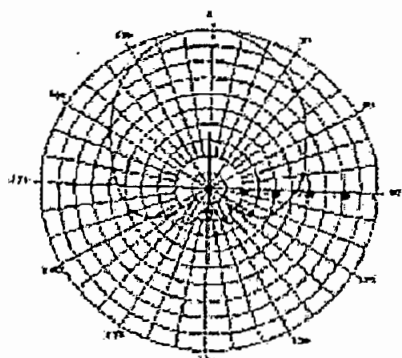
Trademarks & Copyright © 2000 [Andrew Corporation](#), Orland Park, IL U.S.A.



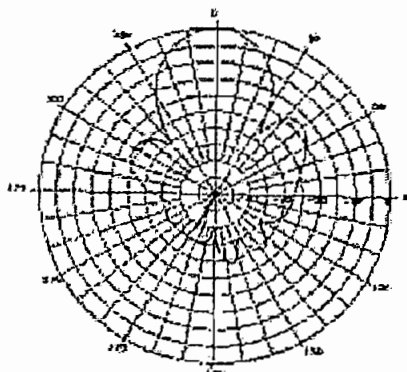
[What's New](#) [Products](#) [Solution Center](#) [Inside Andrew](#) [Contact Us](#)
[Find](#)

[Price List](#) [Products](#)

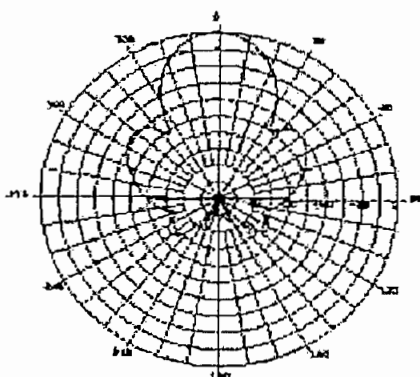
Polarity Diagrams



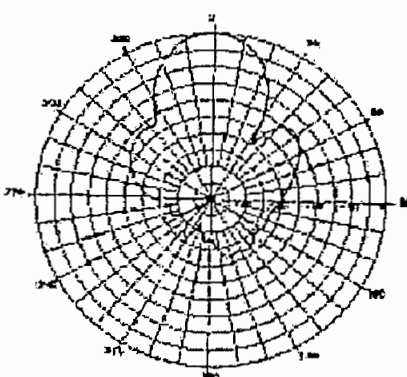
Typical DL Series • Vertical Polarity



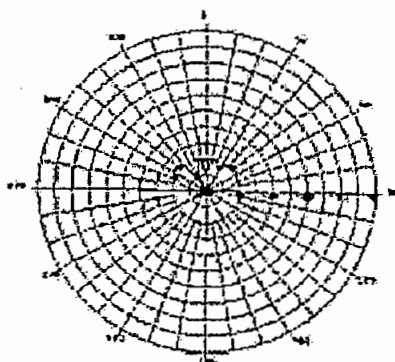
Typical DL Series • Horizontal Polarity



Typical QD Series • Vertical Polarity



Typical QD Series • Horizontal Polarity



Typical QD Series • Cross Pole

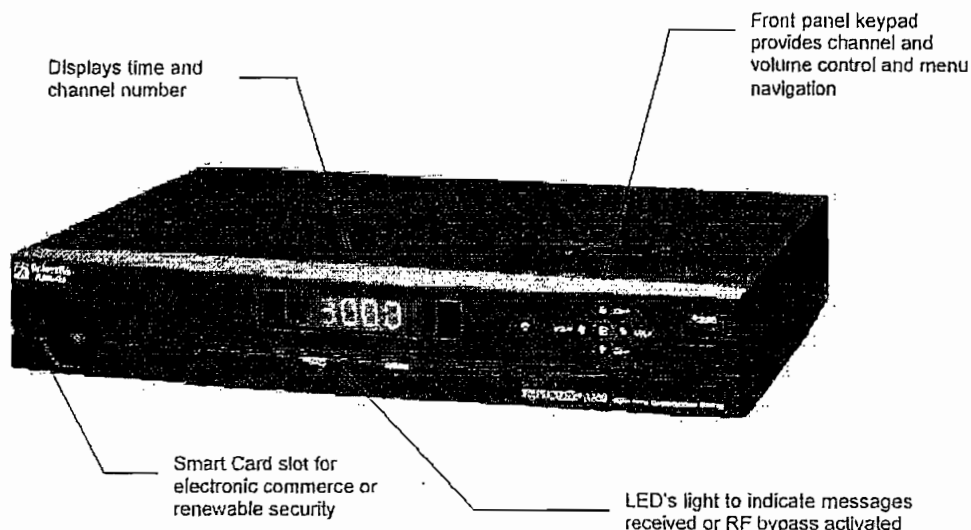
[Return To Top](#)

Trademarks & Copyright © 2000 Andrew Corporation, Orland Park, IL U.S.A.

Subscriber Networks



Explorer® 3000 Digital Home Communications Terminal



Description

The Scientific-Atlanta Explorer® 3000 Digital Home Communications Terminal (DHCT) provides support for digital services and traditional analog services delivered through a hybrid fiber/coax (HFC) network. The Explorer DHCT features a 32-bit, 108 MHz RISC microprocessor; an excess of 24 MB of memory; Internet Protocol-based, real-time reverse path DAVIC transmitter; and an out-of-band control channel that can support interactive or session-based services. This configuration makes the Explorer 3000 DHCT the ideal terminal to support services such as video-on-demand, e-mail, or Internet access, as well as other future applications. The Explorer 3000 DHCT also supports both digital broadcast services and applications. Finally, the Explorer 3000 DHCT includes international and industry standards support (OpenCable, DVB, CableLabs/SCTE, DAVIC), which makes this terminal ready for future applications and preserves its longevity.

Features

Reverse Path Data Transmitter

- Allows instantaneous, IP-based, "real-time" two-way communication between the DHCT and the headend
- Enables MSO's to offer two-way services such as internet browsing, video-on-demand, and e-mail
- Transmits at up to 1,544 Mbps

MPEG 2 MP@ML Digital Video Decompression

- Allows transport and compression of audio and video
- 4 MB of DRAM dedicated to MPEG decompression and graphics
- Video resolution up to 720 x 480 pixels

Dolby® AC3 and Musicam Digital Audio PowerKEY® Conditional Access System

- Supports these digital audio standards
- Secures digital services using an encryption algorithm, from RSA, that mathematically matches pairs of keys

Explorer 3000 Digital Home Communications Terminal

Features, continued

<p>PowerTV[®] Operating System with HTML Client Engine</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Provides Application Programming Interfaces (APIs) that enable client applications to utilize the resources managed by the OS for delivering broadcast and interactive services
<p>JavaScript and Personal Java Support Option</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Upgradeable using a network download • Provides application developers with additional programming and development capabilities
<p>Enhanced Graphics Engine and BUS</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Display up to 65,000 colors simultaneously • Enables high-resolution graphics (640 x 480 pixels) while simultaneously scaling MPEG 2 video • 108 MHz memory BUS for graphics intensive applications • 108 MHz clock speed to perform tasks and applications quickly
<p>Powerful 32-bit RISC Processor</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Support of open standard for QAM delivery and demodulation
<p>64 and 256 ITU Annex B QAM Support</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Allows both analog and MPEG 2 digital channels to be tuned and displayed
<p>Analog and Digital Service Tuner</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Provides an internal method for conditional access as well as an external ability to upgrade the security, if required
<p>Both Internal Security Microprocessor and Smartcard Slot</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Can support the capability for the MSO to restrict unauthorized subscribers from copying digital services such as pay-per-view and video-on-demand
<p>Macrovision Copy Protection</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Supports interconnection with home consumer devices such as printers
<p>Universal Serial Bus (USB) Interface</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Provides stereo sound on analog channels using the baseband left and right audio outputs
<p>BTSC/SAP Decoder</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Supports interconnection with Dolby Digital Receivers • Supports interconnection to other Ethernet-controlled devices such as personal computers
<p>S/PDIF Digital Audio Interface</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Supports the descrambling and audio demasking of scrambled analog channels allowing the Explorer DHCT to coexist in a network with analog terminals
<p>Optional Ethernet 10BaseT Interface</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Support for Scientific-Atlanta, Zenith, and selected Motorola analog scrambling technologies
<p>Optional Analog Descrambling Support</p>	

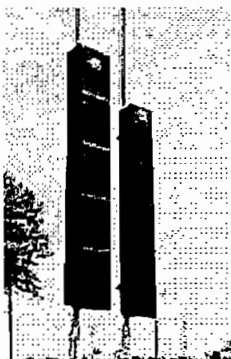


**Scientific
Atlanta**

Explorer, PowerKEY Scientific-Atlanta, and the Scientific-Atlanta logo are registered trademarks of Scientific-Atlanta, Inc. PowerTV is a trademark of PowerTV, Inc. Dolby and Dolby Digital are trademarks of Dolby Laboratories Licensing Corp. Specifications, features, and product availability are subject to change without notice. © 2000 Scientific-Atlanta, Inc. All rights reserved.

Scientific-Atlanta, Inc.
1-800-722-2009 or 770-903-6900
www.sciaatl.com

Part Number 736774 Rev. A
June 2000

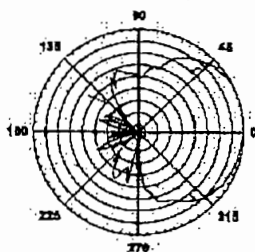
[Home](#)[Contents](#)[Next](#)[Back](#)

Models (U)8010(H) & (L)8010(H)

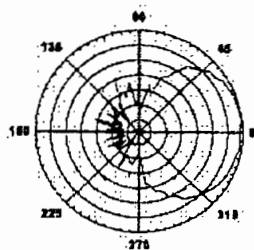
MMDS Relay Antenna

This antenna design provides coverage for the 2.0-2.4 GHz and 2.5-2.7 GHz bands. Available in Horizontal (H) or Vertical (V) polarizations, these antennas allow an operator to fill the nulls in the primary pattern. As primary transmit antennas, they permit economical coverage of smaller subscriber segments. Combined in a phased array, even wider patterns are possible. These antennas are particularly well suited for low power remote "null filling" applications. All units are 100 percent electrically tested, insuring beamwidth, gain, VSWR, front to back ratio and cross polarization specifications. All units can be custom configured for null fill, electronic beam tilt and extended bandwidths.

Specifications



Models (U)8010(H) azimuth beam pattern.



Models (L)8010(H) azimuth beam pattern.

Model #	Freq. Range GHz	Horiz./vert. Beam width	Polarization	Gain	Back to Front Ratio	Cross Polarization	VSWR
U4010	2.5-2.7	40/10	V & H	19	26	25	1.4:1
U4005	2.5-2.7	40/5	V & H	22	26	25	1.4:1
U8010	2.5-2.7	80/10	V & H	16	26	25	1.4:1
U8005	2.5-2.7	80/5	V & H	19	26	25	1.4:1
U11010	2.5-2.7	110/10	V & H	15	26	25	1.4:1
U11005	2.5-2.7	110/5	V & H	18	26	25	1.4:1
L8010	2.0-2.4	80/10	V & H	16	26	25	1.4:1
L8005	2.0-2.4	80/5	V & H	19	26	25	1.4:1
L11010	2.0-2.4	110/10	V & H	15	26	25	1.4:1
L11005	2.0-2.4	110/5	V & H	18	26	25	1.4:1

Mechanical Specifications

*(U)8010(H) Weight: 17 lbs.

*Dimensions: 9.4 x 6.5 x 57 inches

*Wind Load at 100 MPH: 115 lbs.

*(L)8010(H) Weight: 25 lbs.

*Dimensions: 12.2 x 6.3 x 66.3 inches

*Wind Load at 100 MPH: 174 lbs.

Construction: ABS plastic Radome, UV resistant
Connectors: N-Type female

*All units come complete, no assembly required, and includes stainless steel mounting hardware. These specs are for 5 degree beamwidth units only.

Ordering Information:

(**)model #(***)

** Frequency

U = Upper, L = Lower

*** Polarization

H = Horizontal, V = Vertical

i.e. (L)8010(H)

or other frequency bands, consult the factory directly.

Home

Contents

Next


Back



Microwave Filter Company, Inc.

6743 Kinne Street

East Syracuse, NY 13057

 **E-MAIL:** [mail to:mfcsales@microwavefilter.com](mailto:mfcsales@microwavefilter.com)

(315) 438-4700 **Toll Free:** 800-448-1666

Fax: (315) 463-1467 **Toll Free Fax:** 888-411-8860

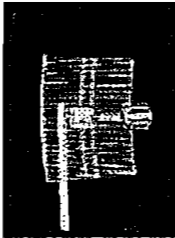
Copyright (c) 1997 Microwave Filter Company Inc. All rights reserved.

Rev. 11/99



Mag Grid Brickwall Series Receive Antennas

Features and Benefits



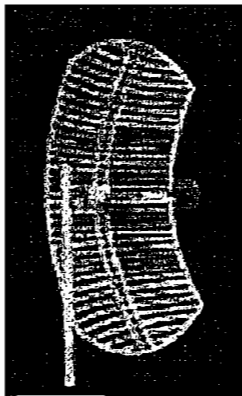
Model
18T-2127*

The antenna is the first piece of equipment to intercept the signal at the receive site. Therefore, antenna performance is critical in providing quality reception.

Years of experience have led to a state-of-the-art antenna design. The performance specifications have been verified by independent testing in an anechoic chamber. Using nonferrous materials, the antennas are well suited to environments worldwide.

Model 18 **Cast Magnesium Alloy**

Model 26 **Cast Magnesium Alloy**



Model
26T-2127*

*U.S. Patent 5,191,350

FEATURES

- Lightest weight and most durable grid antennas with low wind resistance.
- Die-cast 18 and 26 manufacturing processes provide unmatched uniformity resulting in consistently high performance from every antenna.
- Magnesium Alloy is superior to anodized aluminum and weighs 33% less.
- Antennas and mounting hardware are manufactured with nonferrous material which will not rust. Magnesium alloy and stainless steel.
- No need for mechanical adaptors to mount the feed -one feed fits both antennas.
- Antennas can be mounted in horizontal, vertical, or 45° polarity.
- Easy installation.
- Antenna elevation adjustment up to 60°.
- Compact packaging for shipment.
- Five Year Limited Warranty. Contact factory for details.

▶ [Performance Specifications](#)

▶ [Power Supply Options](#)

[Return To Top](#)

Trademarks & Copyright © 2000 [Andrew Corporation](#), Orland Park, IL U.S.A.



Performance Specifications

	MODEL 18T-2127	MODEL 26T-2127
Reflector Material	Cast Magnesium Alloy	Cast Magnesium Alloy
Mounting Hardware	Stainless Steel	Stainless Steel
Gain	18 dBi	24 dBi
Input Frequency**	2100 - 2700 MHz	2100 - 2700 MHz
-3 dB Beam Width	14°	7.5°
Cross Polarity Rejection	>23 dB	>26 dB
Front to Back Ratio	>23 dB	>31 dB
Impedance @ Output	50 OHMS	50 OHMS
Elevation Adjustment	60° in 10° Increments	Optional
VSWR (Average)	1.3:1 @ 2100-2700 MHz	1.3:1 @ 2100-2700 MHz
Overall Size (Inches)	16 x 20 x 15	23.5 x 39.25 x 15
	(40.64 x 50.80 x 38.10 cm)	(60.95 x 91.44 x 38.10 cm)
Weight	2.7 lbs.	5.4 lbs.
	(1.22 Kg)	(2.43 Kg)
Mounting	1" - 2" O.D. Mast	1" - 2" O.D. Mast
	(2.54 - 5.08 cm)	(2.54 - 5.08 cm)

*Specifications subject to change without notice.

**Consult factory for different input frequencies.

[Return To Top](#)

Trademarks & Copyright © 2000 Andrew Corporation, Orland Park, IL U.S.A.



Power Supply Options

PS-1341 / 120V & PS-2342 / 220V

These power supply/inserter units meet UL or TUV specifications and feature unique current limiting circuitry which will protect the power supply under any short circuit or overload conditions. If these conditions are present, the current limiter will shut down the power supply until the overload or short circuit is corrected and then automatically return it to normal operating status.

Each power inserter is sweep tested at RF frequencies to verify low VSWR and minimum insertion loss and each power supply is tested under fully loaded conditions to verify voltage and current capability.

A 120V and a 220V model are available depending on the operator's market requirements.

MODEL	INPUT	OUTPUT	
PS-1341	120VAC 60Hz 15W	24VDC 300mA	U.S. plug
PS-2342	220VAC 50/60Hz 10W	24VDC 300mA	European two-pin plug

[Return To Top](#)

Trademarks & Copyright © 2000 Andrew Corporation, Orland Park, IL U.S.A.

Products **13 GHz / CARS BAND | Indoor Broadband Transmitters**

Products

- 13GHz/CARSBAND
- Hits
- 18 GHz/SMATV
- MMDS
- LMDS

Markets

- Traffic
- Court Arraignment
- SMATV
- CATV

Info

- Microwave Info
- System Overview
- Glossary
- Technical Tips
- FAQ's

AML Wireless Systems Indoor Broadband Transmitters offer users unexcelled ability to provide signal trunking in virtually any environment, with the ease of installation and maintenance that AML Wireless Systems customers have come to expect. From high bandwidth requirements over modest distances to long distance supertrunking in excess of 25 miles, the range of indoor systems offer solutions that fit your needs.

The AML Wireless Systems indoor transmission systems operate by block upconverting VHF signals (54 - 550 MHz) to the microwave transmit frequency by simple heterodyne and transmitting them to multiple receive locations where they are downconverted back to the original VHF band.

Indoor solid state transmitters have the ability to equal the output power of a traditional channelized transmitter yet provide 80 analog channels or hundreds of digital compressed channels versus just one in the traditional gear.

All of our indoor transmitters use a unique feed forward technology to provide unmatched performance without sacrificing signal quality.

MODEL	LIBT			IBBT		
VHF INPUT	TYPE I F			TYPE E F		
CONNECTOR	No. of Ch.	PO (dB) Ch.	C/N (dB)	No. of Ch.	PO (dB) Ch.	C/N (dB)
OUTPUT LEVEL FOR 85dB C/CTB	12	+12	66	12	+15	66
	21	+10	64	21	+13	64
	35	+7	61	35	+10	61
	60	+4	58	60	+7	58
	80	+2	56	80	+5	56
GAIN (dB)	27			30		
POWER REQUIRED (WATTS)	270			330		
WEIGHT (LBS)	190			200		

MODEL	HIBT			SIBT		
VHF INPUT	TYPE R			TYPE ENG. 79 CHMS		
CONNECTOR	No. of Ch.	PO (dB) Ch.	C/N (dB)	No. of Ch.	PO (dB) Ch.	C/N (dB)
OUTPUT LEVEL FOR 85dB C/CTB	12	+20	66	12	+24	66
	21	+17.5	64	21	+22	64
	35	+15	61	35	+19	61
	60	+12.5	58	60	+16	58
	80	+11	57	80	+15	57
GAIN (dB)	35			39		
POWER REQUIRED (WATTS)	380			600		
WEIGHT (LBS)	220			300		

MODEL	SIB-T		
VHF INPUT	TEMPERATURE: 70±0.1HMS		
CONNECTOR	No. of Ch	PO (dB) /Ch	C/N (dB)
OUTPUT LEVEL FOR 85dB C/CTB	12	+28.0	67.0
	21	+25.5	64.0
	35	+23.0	61.0
	60	+20.5	59.0
	80	+19.0	57.0
GAIN (dB)	33		
POWER REQUIRED (WATTS)	600		
WEIGHT (LBS)	300		

General Specifications

Input Frequency	54 to 550 MHz
Output Frequency	12.7 - 13.2 GHz
Gain Flatness	±1 dB
Frequency Stability	0.0005%
Output Connector	WR 75 Waveguide
Temperature Range	-40°F to 100°F
Humidity	To 95%
Dimensions	20.5" wide x 72" high open rack
Power	120 VAC

Features

Patented super high power microwave circuitry using FET amplifiers.
 Utilizes a pilot tone for system phase locking.
 Single rack space required.
 Low operating costs.
 Greatly reduced maintenance needs.
 Built in self test features.
 Transmit monitor for monitoring and maintenance.

Options

Auto Redundancy switch for use with multiple transmitters automatically transfers the signal delivery from one unit to another in the event of a disruption or degradation in signal quality.

230 VAC powering

Custom waveguide designs are available to meet every customers unique installation and application needs.

Output frequency
 12.1 - 12.5 GHz
 12.4 - 12.7 GHz



Products 13GHz / CARS BAND | Compact Outdoor Receivers

Products

13GHz/CARSBAND

Hits

18 GHz/SMATV

MMDS

LMDS

Markets

Traffic

Court Arraignment

SMATV

CATV

Info

Microwave Info

System Overview

Glossary

Technical Tips

FAQ's

The AML Wireless Systems receivers convert microwave signals to VHF levels and serve as a complete multi-channel headend when used in conjunction with the AML transmitter.

The entire receiver is packaged in a rugged compact outdoor housing suitable for pole, tower or roof mounting. It is capable of operating in temperature ranges of -40°F to +120°F at 100% humidity.

MODEL	BANDWIDTH (MHz)	NOISE FIGURE (dB)	RF GAIN (dB)	NOMINAL OUTPUT IN AGC (dBmV)	RF GAIN (dB)
CORE 1-294	550	8	29	21	77
CORE 2-295	550	5	37	23	78.5
CORE 3-299	550	6	36	26	82.9
CORE 0-293	550	14.5	22	18	77.9

General Specifications

Input Frequency	12.7 to 13.2 GHz
Output Frequency	54 to 550 MHz
Gain Flatness	±1.5 dB
Frequency Stability	Locked to transmitter
Output Connector	5/8 - 24 Cable Entry
Input Connector	WR 75 Cover Flange
Temperature Range	-40°F to +120°F
Humidity	to 100%
Dimensions	13.5" wide x 19.5" high x 10.1" deep
Weight	46 lbs
Power	60 VAC

Features

Suitable for all climates
 Microwave and VHF AGC
 80 channel capability
 RM-6A Test box port
 Pole mounting kit

Options

RM-6A Test box

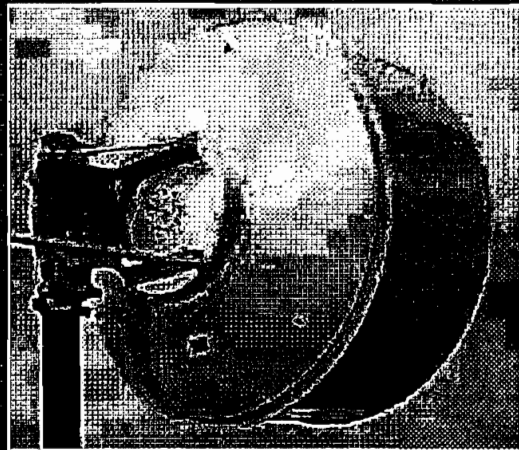
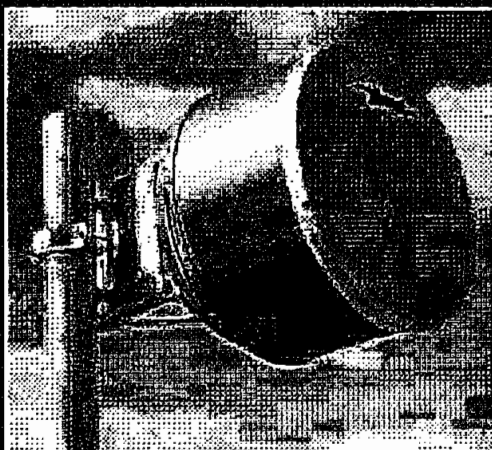
Input frequency
 12.1 - 12.5 GHz
 12.4 - 12.7 GHz



back to
top



Microwave Antennas



ValuLine® Antennas

A cost-effective solution for contemporary terrestrial microwave communications

Fast, easy installation

ValuLine antennas provide a cost-effective solution for contemporary terrestrial microwave communication systems operating in the 7 to 50GHz frequency bands. Available in standard unshielded (VP Series), high performance shielded (VHP Series), and dual polarized (VHPX Series) versions, ValuLine antennas range in diameter from 1 ft (0.3 m) to 6 ft (1.8 m).

Andrew developed ValuLine antennas to economically satisfy the performance needs of cellular, PCS/PCN, broadcast, and private user microwave applications while still delivering the superior electrical performance and overall quality traditionally expected of Andrew. ValuLine antennas meet the widely accepted EIA 195C and 222E standards for electrical, mechanical, and structural characteristics and are backed by a three year warranty.

Fast, easy installation is made possible by the simple pole mount which can be attached to pipes with diameters ranging from 1.9 in (48 mm) to 4.5 in (115 mm), depending on the antenna type. The antennas have a watertight pressurizable feed system or can be integrated directly to radio systems, providing solutions for many of the world's major radio manufacturers. Both antenna and radome are paintable to match local surroundings.

In order to reduce shipping costs to sites worldwide, ValuLine antennas are available from Andrew locations in Lochgelly, Scotland, Melbourne, Australia, Denton, Texas, and Sorocaba, Brazil. Standard Andrew design ensures product consistency and quality throughout the world.




Customer Service Center - Call toll-free from:
• Republic of Ireland 1-800-535358


• U.S.A., Canada and Mexico 1-800-255-1479 • U.K. 0800-250055
• Australia 1800-803 219 • New Zealand 0800-441-747

Refer to Page 103 for Elliptical Waveguide Ordering Information


12.75 - 13.25 GHz

	Type Number	Diameter ft (m)	Input Flanges	Regulatory Compliance	Gain, dBi		Beamwidth Degrees	Cross Pol. Disc., dB	F/B Ratio dB	VSWR max. (F.L., dB)	
					Bottom	Mid-Band Top					
HP HPX  High Performance Antennas – Hypalon (4 ft is TEGLAR®) Radome Included											
Single Polarized	HP4-130	4 (1.2)	PDR120	*	40.9	41.0	41.1	1.3	20	68	1.10 (26.4)
	HP6-130A	6 (1.8)	or WR75	*	45.1	45.2	45.3	0.9	28	70	1.08 (28.3)
	HP8-130	8 (2.4)	cover/gasket	*	47.6	47.7	47.8	0.7	20	71	1.08 (28.3)
Dual Polarized	HPX4-130	4 (1.2)	PDR120	*	40.9	41.0	41.1	1.3	28	66	1.10 (26.4)
	HPX6-130A	6 (1.8)	or WR75	*	45.0	45.1	45.2	0.9	28	68	1.10 (26.4)
	HPX8-130	8 (2.4)	cover/gasket	*	47.6	47.7	47.8	0.7	32	74	1.10 (26.4)


NEW!

HSX  High Performance Antennas – Super High Cross Polarization Discrimination											
Dual	HSX4-130	4 (1.2)	PDR120	*	41.4	41.6	41.8	1.6	40	68	1.10 (26.4)
Polarized	HSX6-130	6 (1.8)		*	44.9	45.1	45.3	0.9	40	75	1.10 (26.4)
High XPD	HSX8-130	8 (2.4)		*	47.4	47.6	47.8	0.7	40	76	1.10 (26.4)
	HSX10-130	10 (3.0)		*	48.7	48.8	49.0	0.6	40	76	1.10 (26.4)

NEW!

VHP  ValuLine® Antennas – High Performance											
Single Polarized	VHP2-130	2 (0.6)	†††	*	35.1	35.3	35.5	2.8	32	61	1.20 (20.8)††
	VHP2.5-130	2.5 (0.8)		††	37.7	37.9	38.1	2.1	32	63	1.20 (20.8)†
	VHP4-130	4 (1.2)		††	41.2	41.4	41.6	1.3	32	67	1.20 (20.8)†
	VHP6-130	6 (1.8)		††	44.8	45.0	45.1	0.9	32	70	1.20 (20.8)†
Single Polarized	VHP4A-130	4 (1.2)		**	41.2	41.4	41.6	1.3	32	63	1.20 (20.8)†
	VHP6A-130	6 (1.8)		†	44.8	45.0	45.1	0.9	32	66	1.20 (20.8)†
Dual Polarized	VHPX2-130	2 (0.6)		*	34.5	34.7	34.9	2.8	32	61	1.25 (19.2)††
	VHPX2.5-130	2.5 (0.8)		††	37.2	37.5	37.7	2.1	32	63	1.25 (19.2)††
	VHPX4-130	4 (1.2)		††	41.0	41.2	41.3	1.3	32	67	1.25 (19.2)††
	VHPX6-130	6 (1.8)		††	44.6	44.8	44.9	0.9	32	70	1.25 (19.2)††
Dual Polarized	VHPX4A-130	4 (1.2)		†	41.0	41.2	41.3	1.3	32	63	1.25 (19.2)††
	VHPX6A-130	6 (1.8)		†	44.6	44.8	44.9	0.9	32	66	1.25 (19.2)††

NEW!

VP  ValuLine® Antennas – Standard Performance											
Single	VP2A-130	2 (0.6)	†††	–	35.3	35.5	35.7	2.8	32	45	1.20 (20.8)†
Polarized	VP4A-130	4 (1.2)		**	41.4	41.6	41.8	1.3	32	52	1.20 (20.8)†
	VP6A-130	6 (1.8)		†	45.0	45.2	45.3	0.9	32	58	1.20 (20.8)†

* MPT 1403, Part 3, Figure 3.2.

** FCC Parts 74, 78 and 94 Category B

† FCC Parts 74, 78 and 94 Category A

†† FCC Parts 74, 78 and 94 Category A. RA MPT 1403, Part 3. HP

††† IEC and EIA flanges are available for all ValuLine antennas. Contact Andrew for more information.

† 1.15 (23.1) available on request

†† 1.2 (20.8) available on request

Radiation Pattern Envelope

Antenna Type Number VHPX4A-130

4 Foot Antenna 12.7 - 13.25 GHz Dual Polarized

Gain: 41.2 dBi at 12.975 GHz

— Envelope for a Horizontally Polarized Antenna (HH,HV)

- - - - Envelope for a Vertically Polarized Antenna (VV,VH)

For further information, ask for Andrew Bulletin 1032, "Radiation Pattern Envelopes."
ANDREW CORPORATION

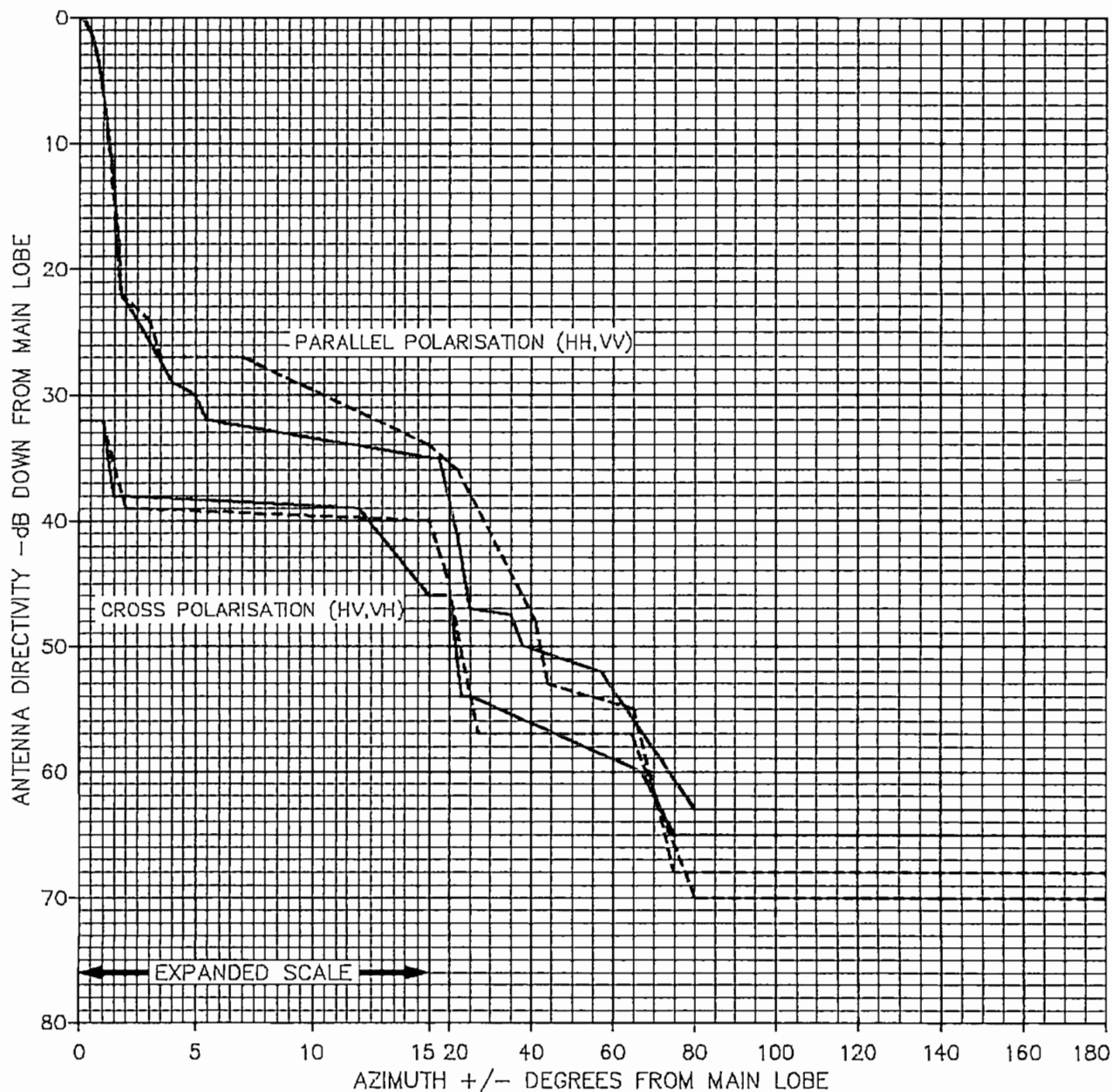


RPE 4197

D. JOHN COLE

Approved

23 MARCH 99



Return to Index

RPE 4197

ANTENNA TYPE VHPX4A-130

23 MARCH 99

TABLE OF BREAKPOINTS DEFINING THE RPE (SEE NOTE)

ANGLE (DEG)	HH (dB)	ANGLE (DEG)	HH (dB)	ANGLE (DEG)	HV (dB)	ANGLE (DEG)	HV (dB)	ANGLE (DEG)	VV (dB)	ANGLE (DEG)	VV (dB)	ANGLE (DEG)	VH (dB)	ANGLE (DEG)	VH (dB)
0.00	0.00			0.00	32.00			0.00	0.00			0.00	32.00		
0.10	0.00			1.00	32.00			0.10	0.10			1.00	32.00		
0.20	0.10			1.50	38.00			0.20	0.20			2.00	39.00		
0.30	0.40			12.00	39.00			0.30	0.60			15.00	40.00		
0.40	0.90			15.00	46.00			0.50	1.10			19.00	44.00		
0.50	1.40			20.00	46.00			0.60	1.80			27.00	57.00		
0.70	2.50			23.00	54.00			0.70	2.60			64.50	57.00		
0.80	3.40			25.00	54.00			0.80	3.40			80.10	70.00		
0.90	4.40			67.00	60.00			0.90	4.50			180.00	70.00		
1.00	5.80			75.00	65.00			1.00	5.40						
1.10	6.90			180.00	65.00			1.10	6.90						
1.20	8.40							1.20	8.10						
1.30	9.90							1.20	9.30						
1.40	11.40							1.30	10.50						
1.50	13.30							1.40	11.80						
1.60	15.50							1.40	13.10						
1.70	18.00							1.50	14.60						
1.80	22.00							1.50	15.90						
2.50	24.00							1.60	18.30						
4.00	29.00							1.80	22.00						
5.00	30.00							3.00	24.00						
5.50	32.00							3.50	27.00						
15.00	35.00							7.00	27.00						
17.50	35.00							15.00	34.00						
22.50	42.00							22.00	36.00						
25.00	47.00							41.00	48.00						
35.00	47.50							44.00	53.00						
38.00	50.00							65.00	55.00						
57.00	52.00							75.00	68.00						
80.00	63.00							180.00	68.00						
180.00	63.00														

NOTE: THE RPE IS DEFINED BY CONNECTING THESE POINTS WITH STRAIGHT LINES AS GRAPHICALLY DISPLAYED ON REVERSE SIDE.

PARALLEL POLARISATION:

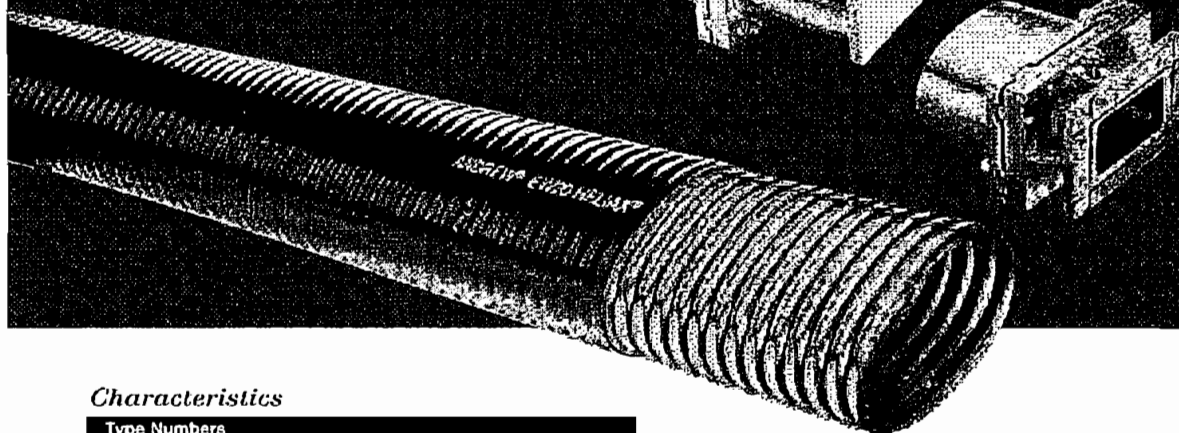
HH - HORIZONTAL PORT RESPONSE TO A HORIZONTAL SIGNAL
 VV - VERTICAL PORT RESPONSE TO A VERTICAL SIGNAL

CROSS POLARISATION:

HV - HORIZONTAL PORT RESPONSE TO A VERTICAL SIGNAL
 VH - VERTICAL PORT RESPONSE TO A HORIZONTAL SIGNAL



Microwave Transmission Lines



Characteristics

Type Numbers	
Standard Waveguide	EW20
Electrical	
Max. Frequency Range, GHz*	1.9-2.7
μ TE ₁₁ Mode Cutoff Frequency, GHz	1.57
Group Delay at 2.6 GHz, ns/100 ft (ns/100m)	127 (418)
Peak Power Rating at 2.6 GHz, kW	
with 120E Connectors	663
with E20MB-014 and E20MP-014 Connectors	90
Mechanical	
Minimum Bending Radii, without rebending, in (mm)	
E Plane	18 (460)
H Plane	50 (1270)
Minimum Bending Radii, with rebending, in (mm)	
E Plane	26 (660)
H Plane	71 (1800)
Maximum Twist, degrees/ft (degrees/m)	0.25 (0.75)
Dimension over Jacket, in (mm)	5.02 x 2.83 (127.5 x 71.9)
Weight, lb/ft (kg/m)	1.85 (2.76)

* Actual usable range is limited by the connecting rectangular waveguide.

Attenuation, Average Power, Group Velocity

Frequency GHz	Attenuation dB/100 ft (dB/100 m)	Average Power Rating, kW	Group Velocity of Propagation, %
1.9	0.61 (2.01)	24.06	56.3
2.0	0.55 (1.81)	26.65	61.9
2.1	0.51 (1.69)	28.64	66.4
2.2	0.49 (1.60)	30.22	70.0
2.3	0.47 (1.53)	31.50	73.0
2.4	0.45 (1.48)	32.56	75.6
2.5	0.44 (1.45)	33.44	77.8
2.6	0.43 (1.41)	34.19	79.7
2.7	0.42 (1.39)	34.82	81.4

Attenuation values based on VSWR 1.0, ambient temperature 24°C (75°F) and are guaranteed within ±5%. Average power ratings based on VSWR 1.0 and 42°C (76°F) temperature rise over -10°C (104°F) ambient.

Type EW20

Connectors - Flange dimensions on pages 235-236.

Type No.	L in (mm)	W in (mm)	A in (mm)	Weight lb (kg)
120E Figure 1	5.8 (147)	6.2 (157)	1.8 (46)	3.5 (1.6)
E20MB-014, E20MP-014 Figure 2	9.0 (229)	4.4 (111)	4.4 (111)	4.8 (2.2)



Connector Material: Nickel Plated Aluminum

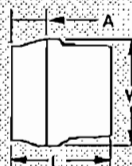


Figure 1

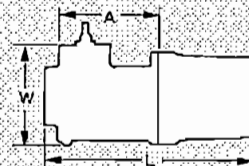


Figure 2



Customer Service Center - Call toll-free from: • U.S.A., Canada and Mexico 1-800-255-1479 • U.K. 0800-250055
• Republic of Ireland 1-800-535358 • Australia 1800-803 219 • New Zealand 0800-441-747



Microwave Transmission Lines

Ordering Information for Waveguide Assemblies

Frequency*, GHz	Waveguide Type	Flange Type††	Connector	Pressure Window	VSWR, max.** (R.L., dB) Up to 300 ft (90 m)
2.5-2.7	EW20-25	mates with CPR340G	120E	55001-340	1.15 (23.0)
2.5-2.7	EW20-25	7/8" EIA (with gas barrier)	E20MB-014	***	1.15 (23.0)
		7/8" EIA (without gas barrier)	E20MP-014	—	1.15 (23.0)
2.1-2.7	EW20-21W	7/8" EIA (with gas barrier)	E20MB-014	***	1.15 (23.0)
		7/8" EIA (without gas barrier)	E20MP-014	—	1.15 (23.0)

* Contact Andrew for information on other frequency bands.

** VSWR, max. (R.L., dB) Up to 300 ft (90 m). The indicated maximum characteristics are guaranteed for factory assemblies and are typical for field assemblies.

*** Not applicable

†† For detailed information on mating flanges, refer to pages 234-237.

Accessories – Photos and detailed descriptions on pages 212-218.

Description	Type No.
Hangers and Adapters	
Hanger Kit of 10. Recommended maximum spacing for outdoor installation is 5.5 ft (1.68 m)*	31765A-10
Hardware Kit of 10. 3/8" bolts, lock washers and nuts	
3/4" (19 mm) long	31769-5
1" (25 mm) long	31769-1
Angle Adapter Kit of 10. Stainless steel	31768A
Round Member Adapter Kit of 10. Two kits are required with each EW20 hanger kit. Stainless steel	
Member Diameter, in (mm)	
1-2 (25-50)	31670-1
2-3 (50-75)	31670-2
3-4 (75-100)	31670-3
4-5 (100-125)	31670-4
5-6 (125-150)	31670-5
45° Adapter Kit of 10. Galvanized steel	42334
Threaded Rod Support, 3/8" rod, nuts, washers, ceiling bracket	
12 in (305 mm) long, kit of 1	31771
12 in (305 mm) long, kit of 5	31771-4
24 in (610 mm) long, kit of 1	31771-9
24 in (610 mm) long, kit of 5	31771-6
Tower Standoff Kit of 10. 1 in (25 mm) standoff	
Member Diameter, in (mm)	
0.75-1.5 (20-40)	30848-5
1.5-3.0 (40-50)	30848-4
3-4 (75-100)	30848-1
4-5 (100-125)	30848-2
5-6 (125-150)	30848-3
Tower Standoff Kit of 10. 2.5 in (60 mm) standoff	
Member Diameter, in (mm)	
3-4 (75-100)	41108A-1
4-5 (100-125)	41108A-2
5-6 (125-150)	41108A-3

* Standard conditions: 125 mph (200 km/h) survival wind velocity, 0.5 in (13 mm) radial ice. For other conditions see page 214.

Description	Type No.
Other Accessories	
Splice	120Z
Grounding Kit with factory attached lug	204989-6
Grounding Kit with field attachable crimp-on lug	204989-26
Grounding Kit with field attachable screw-on lug	204989-36
Crimping Tool to field attach lug to Grounding Kit	207270
Wall/Roof Feed-Thru	35849A-9
Holsting Grip	34759
Bending Tool Kit. One each E and H Plane tool	33586-4
Connector Reattachment Kit	33544-11

How to Order

To Order:

- A sample order is shown on page 438.
- Specify complete waveguide Type Number, including frequency band code, where listed, and length in feet or meters. See "Waveguide Assemblies" table.
- Specify connector Type Numbers and "attached" or "unattached". See "Waveguide Assemblies" table. When attached connectors on an assembly are different, specify which is "first off" the reel.

Further Information:

- For general information on HELIAX elliptical waveguide, see pages 174-177.



Customer Service Center - Call toll-free from:

• Republic of Ireland 1-800-553358

• U.S.A., Canada and Mexico 1-800-255-1479

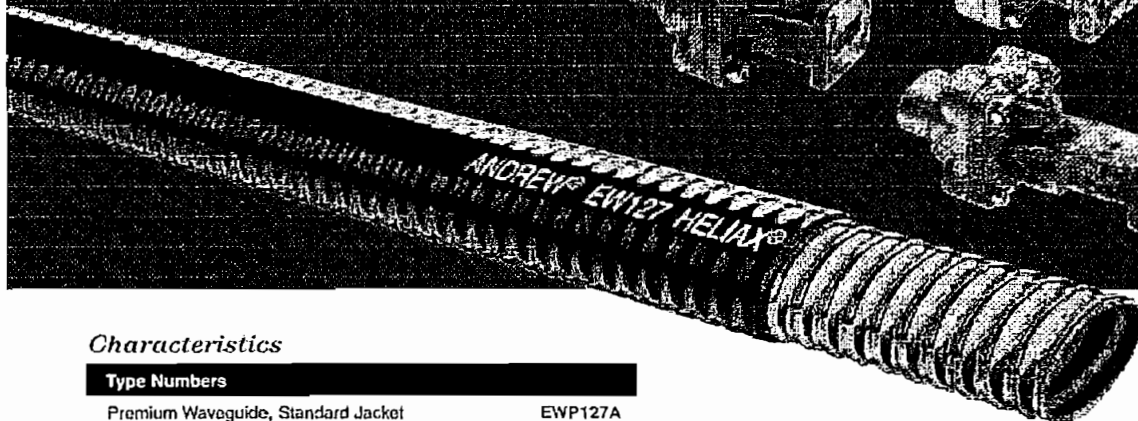
• Australia 1800-803 219

• U.K. 0900-250055

• New Zealand 0800-411-747



Microwave Transmission Lines



Characteristics

Type Numbers

Premium Waveguide, Standard Jacket	EWP127A
Standard Waveguide, Standard Jacket	EW127A
Premium Waveguide Type CATVP	222040-4
Standard Waveguide, Fire Retardant, Non-Halogenated Jacket	35409-15*

Electrical

Max. Frequency Range, GHz	10.0-13.25
$f_{TE_{11}}$ Mode Cutoff Frequency, GHz	7.67
Group Delay at 12.7 GHz, ns/100 ft (ns/100 m)	126 (414)
Peak Power Rating at 12.7 GHz, kW	34

Mechanical

Minimum Bonding Radii, without rebonding, inches (mm)	
E Plane	5 (130)
H Plane	11 (280)
Minimum Bonding Radii, with rebonding, inches (mm)	
E Plane	6 (150)
H Plane	15 (380)
Maximum Twist, degrees/foot (m)	2 (6)
Dimensions over Jacket, in (mm)	1.11 x 0.67 (28.2 x 17.1)
Weight, pounds per foot (kg/m)	0.29 (0.43)

* UL* Listed Type CATVP.

Attenuation, Average Power, Group Velocity

Frequency GHz	Attenuation dB/100 ft (dB/100 m)	Average Power Rating, kW	Group Velocity of Propagation, %
10.0	4.46 (14.60)	1.00	64.2
10.5	4.16 (13.60)	1.07	68.3
11.0	4.95 (13.00)	1.13	71.7
11.5	3.79 (12.40)	1.18	64.5
11.7	3.74 (12.28)	1.20	75.5
11.9	3.69 (12.12)	1.21	76.5
12.1	3.65 (11.98)	1.23	77.3
12.3	3.61 (11.88)	1.24	78.2
12.5	3.58 (11.74)	1.25	79.0
12.7	3.55 (11.64)	1.26	79.7
12.9	3.52 (11.54)	1.27	80.4
13.1	3.49 (11.45)	1.28	81.1
13.25	3.47 (11.38)	1.29	81.5

Attenuation values based on VSWR 1.0, ambient temperature 24°C (76°F) and are guaranteed within ±5%. Average power ratings based on VSWR 1.0 and 42°C (76°F) temperature rise over 40°C (104°F) ambient.

Types EWP127A and EW127A

Connectors — Flange dimensions on pages 235-236.

Type No.	L (mm)	W (mm)	A (mm)	Weight (lb)
----------	--------	--------	--------	-------------

1127DC,
1127DCT,
1127DCP,
1127DCM,
1127DCMT,
1127DCMP
(Figure 1)



3.8 (97)	2.3 (58)	1.9 (48)	1.8 (0.8)
-------------	-------------	-------------	--------------

1127DEM,
1127DEMT,
1127DEMP
(Figure 1)



3.8 (97)	2.3 (58)	1.9 (48)	1.8 (0.8)
-------------	-------------	-------------	--------------

1127DK,
1127DKT
(Figure 2)



5.0 (127)	2.3 (58)	3.1 (79)	1.8 (0.8)
--------------	-------------	-------------	--------------

Connector Material: Brass

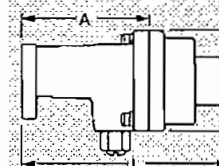


Figure 1

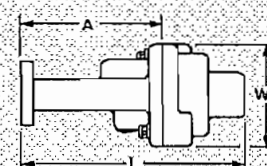


Figure 2



Customer Service Center - Call toll-free from:
• Republic of Ireland 1-800-535368

• U.S.A., Canada and Mexico 1-800-255-1479 • U.K. 0800-250055
• Australia 1800-803 210 • New Zealand 0800-441-747

Ordering Information for Waveguide Assemblies

Frequency* GHz	Waveguide Type	Flange Type††	Connector† Tunable	Pre-Tuned	Pressure Window	Flex-Twist 2 ft (0.6 m)
Premium Waveguide Assemblies						VSWR 1.08 (26.2)
11.7-12.2	EWP127A-117	WR75††† PBR120 PDR120 Pressurizable Contact Flange	1127DCT		55000A-75	F075PA0240BS
			1127DCMT		110088	F075MK0600KS
			1127DEMT		223306-120	F075MH0600HS
			1127DKT	
12.2-12.7	EWP127A-122	WR75††† PBR120 PDR120	1127DCT		55000A-75	F075PA0240BS
			1127DCMT		110088	F075MK0600KS
			1127DEMT		223306-120	F075MH0600HS
12.7-13.25	EWP127A-127	WR75††† PBR120 PDR120	1127DCT	1127DCP-3	55000A-75	F075PA0240BS
			1127DCMT	1127DCMP-3	110088	F075MK0600KS
			1127DEMT	1127DEMP-3	223306-120	F075MH0600HS
Standard Waveguide Assemblies			Non-Tunable		VSWR 1.15 (23.1)**	
11.7-13.25	EW127A	WR75††† PBR120 PDR120 Pressurizable Contact Flange	1127DC		55000A-75	F075PA0240BS
			1127DCM		110088	F075MK0600KS
			1127DEM		223306-120	F075MH0600HS
			1127DK	

* Contact Andrew for information on other frequency bands.

** VSWR max., (R.L., dB). Up to 300 ft (90 m). The indicated maximum VSWR characteristics are guaranteed for factory assemblies and are typical for field assemblies.

... Not Available

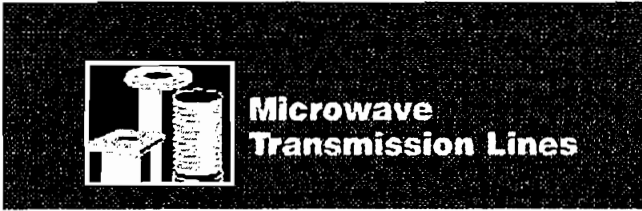
† "Pre-tuned" connectors are for field attachment only. "Tunable" connectors ordered with factory assemblies are factory tuned.

†† For detailed information on mating flanges, refer to pages 234-237.

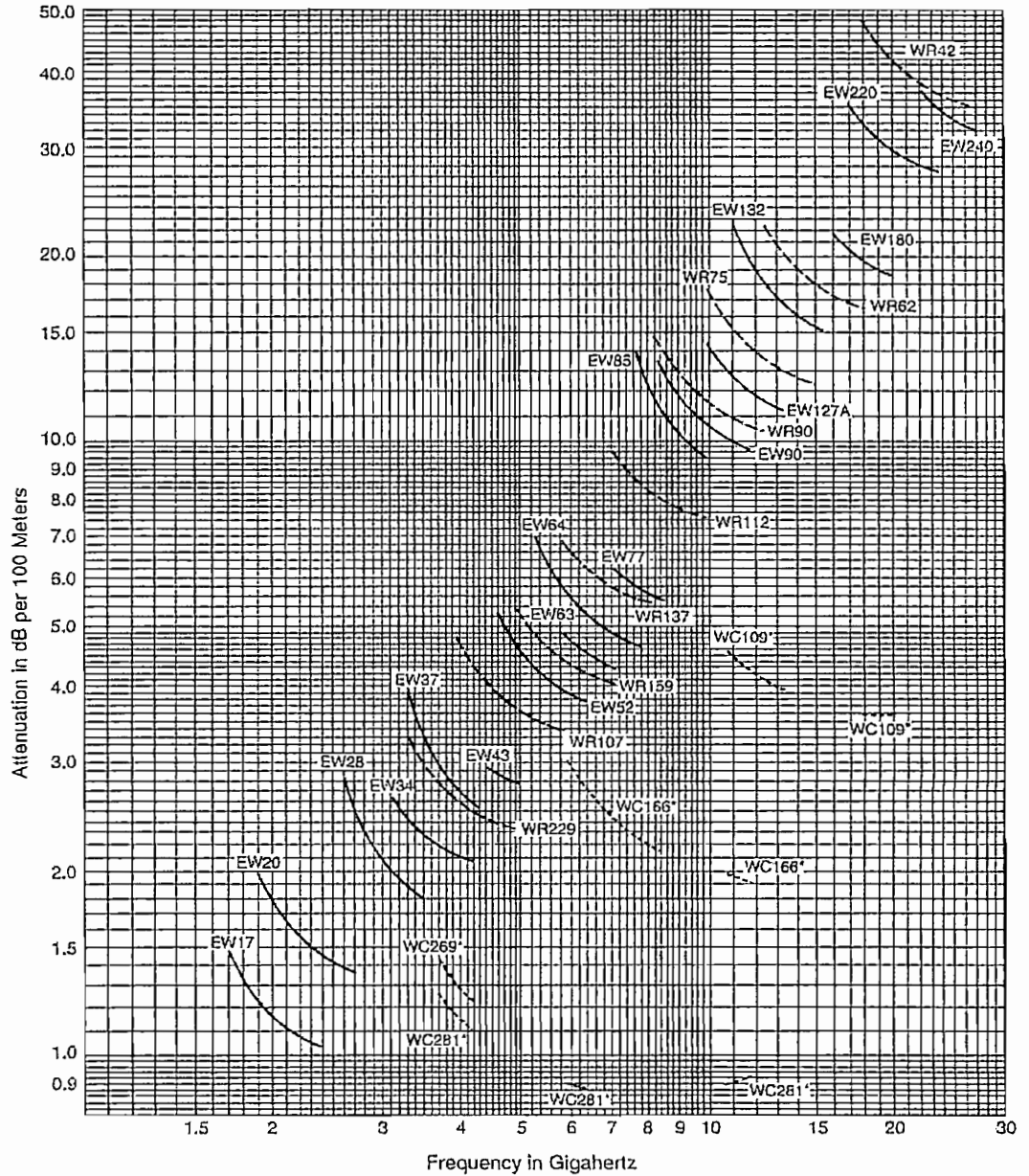
††† Pressurizable Cover Flange

Accessories – Photos and detailed descriptions on pages 212-218.

Description	Type No.	Description	Type No.	
Hangers and Adapters		Other Accessories		
Hanger Kit of 10. Recommended maximum spacing for outdoor installation is 3 ft (0.91 m)*	42396A-9	Flaring Tool for Connector Attachment	204960	
Hardware Kit of 10. 3/8" bolts, lock washers, nuts		Splice	1127DZ	
3/4" (19 mm) long	31769-5	Grounding Kit with factory attached, one-hole lug	204989-2	
1" (25 mm) long	31769-1	Grounding Kit with factory attached, two-hole lug	241088-2	
Angle Adapter Kit of 10. Stainless steel	31768A	Grounding Kit with field attachable crimp-on, one-hole lug	204989-22	
Angle Adapter Kit of 10. Galvanized		Grounding Kit with field attachable crimp-on, two-hole lug	241088-7	
3/8" Hardware	242774	Grounding Kit with field attachable screw-on lug	204989-32	
Metric Hardware	242774-M	Crimping Tool to field attach lug to Grounding Kit	207270	
Round Member Adapter Kit of 10. Stainless steel		Hoisting Grip	29958	
Member Diameter, in (mm)		Bending Tool Kit. One each E and H Plane tool	33586-1	
1-2 (25-50)	31670-1	Connector Reattachment Kit	33544-41	
2-3 (50-75)	31670-2	Wall-Roof Feed Thru	35849A-1	
3-4 (75-100)	31670-3	Waveguide Boot for Plates (below),		
4-5 (100-125)	31670-4	4 in (102 mm) dia	204679-127	
5-6 (125-150)	31670-5	5 in (127 mm) dia	48939-122	
45° Adapter Kit of 10. Galvanized steel	42334	Feed-Thru Plate for Boots (above)		
Threaded Rod Support, 3/8" rod, nuts, washers, ceiling bracket		Openings	For 4 in Boots	For 5 in Boots
12 in (305 mm) long, kit of 1	31771	1	204673-1	48940-1
12 in (305 mm) long, kit of 5	31771-4	1	204673-2	—
24 in (610 mm) long, kit of 1	31771-9	2	—	48940-2
24 in (610 mm) long, kit of 5	31771-6	3	—	48940-3
Tower Standoff Kit of 10. 1 in (25 mm) standoff		4	204673-4	48940-4
Member Diameter, in (mm)		6	—	48940-6
0.75-1.5 (20-40)	30848-5	8	204673-8	—
1.5-3.0 (40-75)	30848-4	* Standard conditions: 125 mph (200 km/h) survival wind velocity, 0.5 in (13 mm) radial ice. For other conditions see page 214.		
3-4 (75-100)	30848-1			
4-5 (100-125)	30848-2			
5-6 (125-150)	30848-3			
Tower Standoff Kit of 10. 2.5 in (60 mm) standoff				
Member Diameter, in (mm)				
3-4 (75-100)	41108A-1			
4-5 (100-125)	41108A-2			
5-6 (125-150)	41108A-3			



Waveguide Attenuation (Metric Units)



Attenuation curves based on:
 VSWR 1.0
 Ambient Temperature 24° C (75° F)
 High Conductivity Copper

The above attenuation curves
 are guaranteed within ±5%

*Does not include transition or network losses. See page 238.

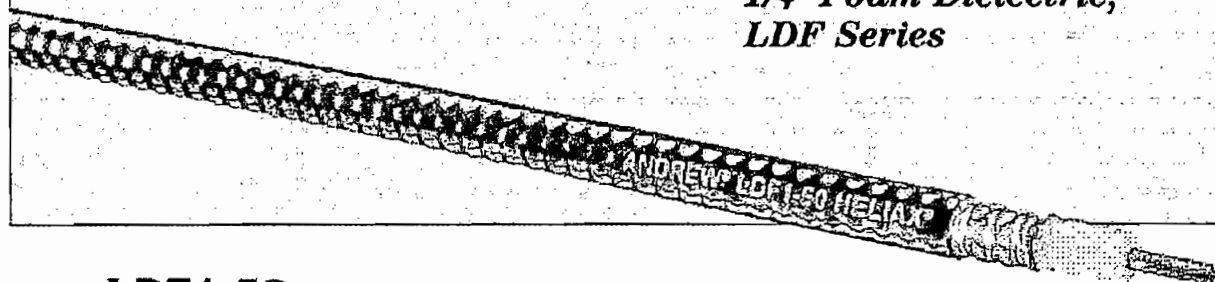


Customer Service Center - Call toll-free from: • U.S.A., Canada and Mexico 1-800-255-1479 • U.K. 0800-250055
 • Republic of Ireland 1-800-535358 • Australia 1800-803 219 • New Zealand 0800-411-747



HELIAX[®] Coaxial Cables

50-ohm 1/4" Foam Dielectric, LDF Series



LDF1-50

Cable Ordering Information

Description	Type No
Standard Cable	
1/4" Standard Cable, Standard Jacket	LDF1-50
Fire Retardant Cables	
1/4" Fire Retardant Jacket (CATVX)	LDF1RN-50
1/4" Fire Retardant Jacket (CATVR)	LDF1RN-50

Characteristics

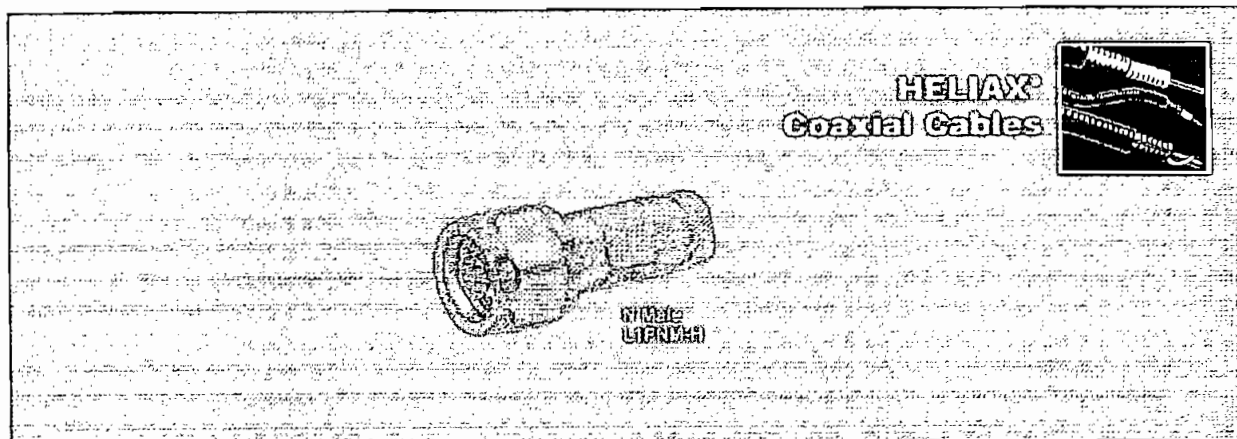
Electrical	
Impedance, ohms	50 ± 1
Maximum Frequency, GHz	15.8
Velocity, percent	86
Peak Power Rating, kW	12.1
dc Resistance, ohms/1000 ft (1000 m)	
Inner	1.57 (5.15)
Outer	1.02 (3.33)
dc Breakdown, volts	2200
Jacket Spark, volts RMS	5000
Capacitance, pF/ft (m)	23.4 (76.8)
Inductance, µH/ft (m)	0.059 (0.19)
Mechanical	
Outer Conductor	Copper
Inner Conductor	Copper-Clad Aluminum
Diameter over Jacket, in (mm)	0.345 (8.8)
Diameter over Copper Outer Conductor, in (mm)	0.31 (7.7)
Diameter Inner Conductor, in (mm)	0.102 (2.6)
Minimum Bending Radius, in (mm)	3.0 (76)
Number of Bends, minimum (typical)	15 (30)
Bending Moment, lb-ft (N·m)	0.98 (1.33)
Cable Weight, lb/ft (kg/m)	0.06 (0.09)
Tensile Strength, lb (kg)	200 (91)
Flat Plate Crush Strength, lb/in (kg/mm)	80 (1.4)

Attenuation and Average Power

Frequency MHz	Attenuation dB/100 ft	Attenuation dB/100m	Average Power kW
0.5	0.085	0.280	12.1
1	0.121	0.397	12.1
1.5	0.148	0.487	12.1
2	0.171	0.562	12.1
10	0.385	1.26	5.79
20	0.547	1.79	4.08
30	0.672	2.20	3.32
50	0.872	2.86	2.56
88	1.16	3.82	1.92
100	1.24	4.08	1.79
108	1.29	4.24	1.72
150	1.53	5.03	1.45
174	1.66	5.43	1.35
300	2.20	7.22	1.01
400	2.56	8.40	0.871
450	2.73	8.95	0.818
500	2.88	9.46	0.773
512	2.92	9.58	0.764
600	3.18	10.4	0.702
700	3.45	11.3	0.646
800	3.71	12.2	0.601
824	3.77	12.4	0.592
894	3.94	12.9	0.568
960	4.09	13.4	0.545
1000	4.19	13.7	0.533
1250	4.73	15.5	0.471
1500	5.23	17.2	0.426
1700	5.61	18.4	0.398
2000	6.14	20.1	0.363
2300	6.64	21.8	0.336
3000	7.72	25.3	0.289
4000	9.12	29.9	0.245
5000	10.4	34.1	0.215
6000	11.6	38.0	0.193
8000	13.8	45.2	0.162
10000	15.8	51.8	0.141
12000	17.7	58.0	0.128
14000	19.5	63.9	0.114
15000	20.4	66.8	0.110
15800	21.0	69.0	0.106

Standard Conditions:

For Attenuation, VSWR 1.0 ambient temperature 24°C (75°F).
For Average Power, VSWR 1.0, ambient temperature 40°C (104°F), inner conductor temperature 100°C (212°F), no solar loading.



Connectors

Interface	Description	Type Number	Previous Type Number	Inner Contact Attachment	Outer Contact Attachment	Plating Code	Max. Length in (mm)	Max. Dia in (mm)
N Male	Hex Head	L1PNM-H†		Solder	Self-Flare	SG	1.9 (49)	0.94 (23.9)
N Male	Right Angle	L1PNA-HC		Captivated	Self-Flare	SG	2.3/1.3 (58.3/32.7)	0.91 (23.1)
N Female		L1PNF		Solder	Self-Flare	SG	2.1 (52)	0.82 (15.7)
N Female	Bulkhead	L1PNF-BH		Solder	Self-Flare	SG	2.1 (52)	0.88 (22.4)

† See page 570 for bulk packs.

Plating Codes: SG - Silver Plated Body and Gold Plated Pin

Accessories -

Photos and descriptions on pages 544-572

Description	Type No.
Hangers and Adapters - for more hangers and adapters see pages 547-557.	
Insulated Hangers and Adapters	
Insulated Hanger, single, for insulated towers. Standard tower configuration spacing is 3-4 feet (1-1.2 m). Recommended maximum spacing for outdoor installation is 2.5 ft (0.76 m) at 125 mph (200 km/h) wind, 1/2" (13 mm) radial ice. For different wind and ice loading spacing recommendations, refer to Cable Hanger Spacing, page 547.	11662-3
Angle Adapter, for insulated hanger	40430-1
Stainless Steel Wraplock, for round tower members	12395-1
Nylon Cable Tie Kit of 50. Recommended maximum spacing for outdoor installations is 3 ft (1 m)	40417
Nylon Cable Tie Kit in Plastic Box. 100 each, 4, 5.5, and 7.5 inch (101, 140, and 190 mm) ties. Recommended maximum spacing for outdoor installations is 3 ft (1 m)	CT-K350
Velcro Cable Ties. Black, 8 inch. For indoor use only	
Kit of 10	VCT8-10
Kit of 50	VCT8-50

Description	Type No.
Grounding and Surge Protection - for more information, see pages 559-564.	
Grounding Kit - factory attached, one-hole lug, 24 in (610 mm) lead	223158
Arrestor Plus® T-Series Lightning Surge Protector. Connectors on each end (universal version). Non-directional	APT-#-*
#, * Interface and frequency band information. See page 563 for details.	
Gas Tube Surge Arrestor. Connectors on each end (universal version). Directional, dc pass capability	SA-#-*
#, * Interface and frequency band information. See page 564 for details.	
Weatherproofing - for more information, see page 565.	
Connector/Splice Weatherproofing Kit	221213
Tools - for more tools see page 569.	
Installer Pax™. Bulk packs are available for some hangers, adapters, grounding kits and cold shrink weatherproofing kits. See page 570.	

GLOSARIO

G.1. TÉRMINOS Y DEFINICIONES.

En esta Tesis se definen los términos siguientes.

Acceso múltiple; Multiple access: Técnica que permite que cierto número de terminales compartan la capacidad de transmisión de un enlace en una forma predeterminada o conforme a la demanda de tráfico.

Acceso Multipunto: Acceso de usuario en el que una sola terminación de red soporta más de un equipo terminal.

ACK: Acuse de recibo del Protocolo de Internet, la señal acknowledgment corresponde a un paquete recibido.

Ancho de banda; Bandwidth: Valor de la diferencia entre dos frecuencias límite de una banda de frecuencias.

ARP, Address Resolution Protocol; Protocolo de Resolución de Direcciones: Protocolo del IETF para convertir direcciones de red en direcciones Ethernet de 48 bits.

ATM, Asynchronous Transfer Mode; Modo de Transferencia Asíncronico: Protocolo para la transmisión de una diversidad de señales digitales que utilizan células uniformes de 53 bytes.

Backbone: Trayectoria o ruta principal en una red de comunicaciones.

Backhaul: Enlace terrestre que conecta una estación terrena a su centro de conmutación local o centro de distribución.

Backoff: Relación de la potencia de saturación a la potencia de operación.

Banda base; Baseband: Banda de frecuencias ocupada por una señal, o por varias señales multiplexadas, destinada(s) a encaminarse por un sistema de transmisión radioeléctrico o por un sistema de transmisión por línea.

Banda de frecuencias; Frequency band: Conjunto continuo de frecuencias comprendidas entre dos frecuencias límite especificadas.

BAT, Bouquet Association Table: Tabla que describe un set de programas ofrecidos por un radiodifusor

Baudio; baud (Bd): Unidad de velocidad de modulación en telegrafía, en comunicación de datos y en transmisión digital; la velocidad de modulación de una señal, expresada mediante esta unidad, es igual a la inversa de la duración en segundos del elemento de señal más corto, o del intervalo unitario en una señal digital compuesta de elementos de señal de duración constante.

BER, Bit Error Rate; Tasa de Bits Errados: Tasa de error de una señal digital normalmente expresada en una forma tal como 3×10^{-8}

CMTS, Cable Modem Termination System; Sistema de Terminación de Cable Módem: Sistema de terminación, ubicado en la cabecera o centro de distribución de un sistema de televisión por cable, que proporciona una funcionalidad complementaria a los módems de cable para hacer posible la conectividad de datos en una red de área extensa.

Código de Gray: Código numérico para representar valores de 0 a 99.

Código Reed Solomon: Código de corrección de errores en recepción situado antes de la intercalación que permite la corrección de errores inducidos por ruido en ráfagas.

Coeficiente DC: El coeficiente DCT para el cual la frecuencia es cero en ambas dimensiones.

Combinador; Combiner: dispositivo que combina señales de televisión o señales de televisión y datos.

Comunicación punto a multipunto; Point-to-multipoint communication: Comunicación proporcionada por enlaces entre un punto fijo especificado y varios puntos fijos especificados.

Comunicación punto a punto; Point-to-point communication: Comunicación proporcionada por un enlace entre dos puntos fijos especificados.

Conexión multipunto: Conexión entre más de dos terminaciones de red de datos.

Conmutación; Switching: Proceso que consiste en asociar temporalmente equipos funcionales, canales de transmisión o circuitos de telecomunicación para prestar un servicio deseado de telecomunicación.

CPE, Customer Premises Equipment; Equipo en las Instalaciones del Cliente: Equipo en las instalaciones del suscriptor; puede ser suministrado por el suscriptor o por el proveedor de servicio.

dBc: Decibelios con respecto a la portadora.

dB_i: Ganancia de la antena en dB relativa a una fuente isotrópica.

dBm: Potencia en dB relativa a un milivatio.

dBmV: Decibelios relativos a 1 milivoltio

Demultiplexación; Demultiplexing: Proceso aplicado a una señal compuesta formada por multiplexación para recuperar las señales independientes originales o grupos de esas señales.

Desplazamiento de frecuencia; Frequency shift: Cambio o variación intencional de una frecuencia producido por una modulación o cambio no intencional debido a un fenómeno natural.

Diplexer: dispositivo que combina múltiples señales; en un contexto MMDS, este es una guía de onda.

Disponibilidad: En sistemas de televisión por cable, disponibilidad es la relación a largo plazo entre el tiempo efectivo de funcionamiento del canal de RF y el tiempo programado de

funcionamiento del canal de RF (expresado como valor porcentual) y se basa en un supuesto con respecto a la tasa de errores en los bits (BER).

Distribución por cable; Cabled distribution: Forma de telecomunicación para la distribución de programas de televisión o radiofónicos a ciertos usuarios utilizando redes de cables.

División en el tiempo; Time division: Técnica por la cual se emplean distintos intervalos de tiempo recurrentes para constituir canales de transmisión separados, por ejemplo, en el multiplexaje, la conmutación o el acceso múltiple.

División en frecuencia; Frequency division: Técnica por la cual se emplean bandas de frecuencia distintas para constituir canales de transmisión separados, por ejemplo, en el multiplexaje, la conmutación o el acceso múltiple.

División por código; Code division: Técnica por la cual se utilizan señales con codificación ortogonal para constituir canales de transmisión separados, por ejemplo, en el multiplexaje, la conmutación o el acceso múltiple; estas señales pueden distinguirse unas de otras, incluso si ocupan la misma banda de frecuencias y los mismos intervalos de tiempo.

División por espacio; Space division: Técnica por la cual se utilizan distintos trayectos de transmisión para constituir canales de transmisión separados, por ejemplo, en el multiplexaje, la conmutación o el acceso múltiple.

Downconverter: dispositivo que recibe una señal tal como una señal MMDS y la convierte a una frecuencia más baja adecuada para un cable módem.

Downstream; Sentido descendente, sentido hacia delante: En televisión por cable, sentido de transmisión de la cabecera al abonado.

Dúplex; Duplex, full duplex: Designa o pertenece a un modo de explotación en el que la información se puede transmitir simultáneamente en los dos sentidos entre dos puntos.

Duplexer: dispositivo para combinar señales transmitidas y recibidas en un cable

Ecuador adaptivo: Dispositivo que permite ajustar automáticamente las características de ganancia y retardo.

EGP, Electronic Programme Guide; Guía Electrónica de Programas: Una base de datos multimedia estructurada, destinada a proporcionar información sobre programas que se han de difundir o distribuir por cable.

EIA, Electronic Industries Association; Asociación de Industrias Electrónicas: Organización de participación voluntaria de fabricantes que, entre otras actividades, prepara y publica normas.

EIT, Event Information Table: Guía de TV.

Enlace de contribución; Contribution link: Enlace para transmitir señales de radiodifusión sonora o televisión hacia un centro de producción de programas.

Enlace de distribución; Distribution link: Enlace para la transmisión de programas de radiodifusión sonora o televisión hacia los usuarios, generalmente procedentes de un centro de

producción de programas, cuando no se prevé ningún tratamiento ulterior para elaborar el programa definitivo.

ERP, Effective Radiated Power: Potencia de salida de un transmisor, incluida la ganancia de la antena.

ES, Elementary Stream: Flujo de datos para video, audio, o datos, fase preliminar al Flujo Elemental Empaquetado (PES)

Espurio: Componente de frecuencia no deseada de una señal.

Factor de roll-off: Factor de exceso de ancho de banda.

FEC, Forward Error Correction; Corrección de Errores Directa: codifica una señal transmitida para permitir al receptor corregir datos erróneos

Filtro; filter: dispositivo que combina las salidas de los transmisores a diferentes frecuencias en una guía de onda, cable o antena.

FTP, File Transfer Protocol; Protocolo de Transferencia de Archivos: protocolo usado para transferir archivos en Internet.

Ganancia de la antena; antenna gain: La medida de la ganancia efectiva o área de una antena relativa a una antena omnidireccional; la unidad de medida es dBi. En los cálculos, el concepto es muy similar a la ganancia de un amplificador.

Headend; Centro de distribución: Sitio en una red de televisión que efectúa las funciones de cabecera para los clientes de su área inmediata, y que recibe parte o la totalidad de su material de programas de televisión de una cabecera principal ubicada en la misma área metropolitana o regional.

HF, High Frequency; Alta frecuencia: Se refiere a la banda de subdivisión entera (5-30 MHz) y de subdivisión ampliada (5-42 MHz) utilizadas en comunicaciones por canal de retorno en la red de televisión por cable.

I, Q: Componente en fase y componente en cuadratura de la señal modulada.

ICMP, Internet Control Message Protocol; Protocolo de Mensajes de Control de Internet: Protocolo de capa de red de internet.

IETF, Internet Engineering Task Force; Grupo de Tareas Especiales de Ingeniería en Internet: Organismo responsable, entre otras cosas, de la elaboración de las normas utilizadas en Internet. Véase también RFC.

IF, Intermediate Frequency: a menudo 44 MHz, en equipos de cable inalámbrico.

IGMP, Internet Group Management Protocol: Protocolo de gestión de grupo de Internet: Protocolo de capa red para envíos multicasting.

Intercalación: Método de corrección de errores que permite la corrección de errores inducidos por ruido en ráfagas.

Interfaz; Interface: Límite entre dos sistemas o entre dos partes de un mismo sistema, que se define por la especificación de características apropiadas, usualmente con el propósito de asegurar la compatibilidad de formatos, de funciones, de señales y de interconexión en el límite.

IP, Internet Protocol; Protocolo Internet: Protocolo de capa de red de Internet, definido por el IETF.

Isotrópico; Isotropic: Los mismos valores cuando son medidos en todas las direcciones; en el caso de la antena, esta debería radiar la misma señal sobre una superficie esférica alrededor de la antena.

LAN, Local Area Network; Red de Área Local: Red de datos no pública en la que se utiliza transmisión en serie para comunicaciones de datos directa entre estaciones de datos ubicadas en las instalaciones del usuario.

Latencia: Tiempo, expresado en cantidad de símbolos, que requiere un elemento de señal para pasar a través de un dispositivo.

MCNS, Multimedia Cable Network System: Consorcio integrado por Comcast Cable Communications, Inc., Cox Communications, Tele-Communications, Inc., y Time Warner Cable, interesados en instalar sistemas de comunicaciones de datos de alta velocidad en sistemas de televisión por cable.

Microrreflexiones: Ecos en el trayecto de transmisión directo debidos a las desviaciones con respecto a las características ideales de amplitud y fase.

Miniranura (Minislot) de tiempo: una miniranura de tiempo es un múltiplo entero de incrementos de 6,25 microsegundos.

Modulación cruzada: Forma de distorsión de la señal de televisión en la que la modulación de uno o más canales de televisión afecta a otro u otros canales de televisión.

Modulación; Modulation: Proceso por el que una magnitud característica de una oscilación u onda, sigue las variaciones de una señal o de otra oscilación u onda.

MPEG, Moving Picture Experts Group; Grupo de Expertos en Imágenes en Movimiento: Organización de participación voluntaria que elabora normas sobre imágenes en movimiento digitales comprimidas y el audio asociado.

Multiplexación; Multiplexing: Proceso reversible destinado a reunir señales de varias fuentes distintas dando una señal compuesta única, para la transmisión por un canal de transmisión común; este proceso equivale a dividir el canal común en distintos canales para transmitir señales independientes en el mismo sentido.

NIT, Network Information Table: Información sobre órbita, transponder, etc.

NTSC, National Television Systems Committee: Comité que definió la norma analógica de radiodifusión de la televisión en color en Estados Unidos de América.

OSI, Open Systems Interconnection; Interconexión de Sistemas Abiertos: Marco de normas ISO para la comunicación entre sistemas diferentes fabricados por proveedores

diferentes, en donde el proceso de comunicación se organiza en siete categorías situadas en una secuencia por capas basadas en su relación con el usuario. Cada capa utiliza la capa que se encuentra inmediatamente por debajo de ella y proporciona un servicio a la capa inmediatamente superior.

PAL, Phase Alternation by Line: Sistema de codificación de TV color diseñado en Alemania.

PAT, Program Association Table: (PID=0 x 0000), lista de todos los programas contenidos en un multiplex TS con referencia al PID de la Tabla de Correspondencia de Programa (PMT)

PCR, Program Check Reference: Referencia para la regeneración del reloj de 27 MHz, transmitido a menos de 0.1 s.

PES, Packetized Elementary Stream: Paquetes de datos de vídeo y audio y datos auxiliares de longitud indefinida

PID, Packet IDentification: Identificación de programas en el flujo de transporte.

PID, Packet IDentifier; Identificador de Paquete: Valor entero único utilizado para identificar flujos elementales de un programa en un flujo MPEG-2 uniprograma o multiprograma.

PMT, Program Map Table: Referencia de paquetes con PCR, nombre de programas, derechos reservados, referencia de los flujos de datos con PIDs pertenecientes al programa relevante.

Polarización; Polarization: Propiedad por la cual una onda electromagnética muestra una dirección de vibración o sentido de rotación.

PoP, Point of Presence: El PoP híbrido es el enlace entre Internet y el sistema de cable.

Portadora; Carrier: Oscilación u onda, usualmente periódica, alguna de cuyas características es obligada por modulación a seguir las variaciones de una señal o de otra oscilación.

PRBS, Pseudo Random Binary Sequence: secuencia de prueba estándar para prueba de BER.

Protocolo: Conjunto de reglas y formatos que determina el comportamiento de la comunicación de las entidades de capa en la actuación de las funciones de capa.

PS, Flujo de Programas: En el MPEG-2, un multiplex de paquetes digitales de vídeo y audio de longitud variable procedentes de una o más fuentes de programas que tengan una base de tiempo común.

PSI, Program Specific Information: datos transmitidos en el flujo de transporte para el demultiplexer en el receptor (por ejemplo, PAT, PMT, CAT)

PSI, Program Specific Information; Información Específica de Programas: En MPEG-2, datos normativos necesarios para la demultiplexación de flujos de transporte y la regeneración satisfactoria de programas.

PTS, Presentation Time Stamp: sello de tiempo para vídeo y sonido, transmitidos en menos de 0.7 s, integrados dentro del PES.

Puerto (de una red); Port (of a network): Punto por el que pueden entrar las señales en una red o salir de ella.

QAM, Quadrature Amplitude Modulation; Modulación de Amplitud en Cuadratura: Método de modulación de señales digitales sobre una señal portadora de radiofrecuencia que entraña la codificación en amplitud y en fase.

QPSK, Quaternary Phase-Shift Keying; Modulación por Desplazamiento de Fase Cuaternaria: Método de modulación de señales digitales sobre una señal portadora de radiofrecuencia que utiliza cuatro estados de fase para codificar dos bits digitales.

Radiodifusión de televisión; Television broadcasting service: Radiodifusión de programas visuales con las señales de sonido asociadas.

RARP, Reverse Address Resolution Protocol; Protocolo de Resolución de Direcciones Reverso: Protocolo para convertir direcciones Ethernet en direcciones de red.

Red de telecomunicación; Telecommunication network: Conjunto de medios para proporcionar servicios de telecomunicación entre cierto número de ubicaciones donde el equipo proporciona acceso a esos servicios.

Relación portadora/ruido; C/N o CNR, carrier-to-noise ratio: Cuadrado de la relación entre el valor eficaz de la tensión de la portadora de RF con modulación digital y el valor eficaz de la tensión de ruido aleatorio continuo en la anchura de banda de medición definida. (Si no se especifica explícitamente, la anchura de banda de medición es la velocidad de símbolos de la modulación digital).

Retardo de grupo: Diferencia en tiempo de transmisión entre la más alta y la más baja de varias frecuencias a través de un aparato, circuito o sistema.

RF, radio frequency; Radiofrecuencia: En sistemas de televisión por cable, se refiere a señales electromagnéticas generalmente en la gama 5 a 1000 MHz.

RFC, Request For Comments; Petición de Comentarios: Documento de carácter técnico del IETF; se puede acceder a estos documentos en el sitio <http://ds.internic.net/ds/rfcindex.html> de la World Wide Web.

RIP, Routing Information Protocol: Protocolo simple que divulga redes entre routers.

Roll-off; Caída: Coeficiente de la función caída de coseno que determina las características de frecuencia del filtro.

Ruido de fase; Phase noise: Cambios espurios en la fase de una salida del sintetizador de frecuencia que produce otras frecuencias a más de la deseada.

Ruido impulsivo: Ruido caracterizado por perturbaciones transitorias no superpuestas.

Ruteador; Router: máquina asociada a una red que direcciona o enruta paquetes de datos a un destino deseado.

SECAM, Sequence Couleur a Memoire: Sistema de codificación de TV color diseñado en Francia.

Separación de frecuencia; Frequency offset: Modificación intencional y de reducido valor de una frecuencia, por motivos distintos de la modulación. Una separación de la frecuencia puede efectuarse por ejemplo para evitar o reducir una interferencia.

Servicio interactivo; interactive service: Servicio en el cual el usuario final navega a través del contenido disponible del programa que se le entrega mediante el envío de mensajes al punto de origen del servicio.

Servicio multimedia; multimedia service: Servicio en el cual la información radiofónica es de más de un tipo (como texto, gráficos, sonido, imagen y vídeo) y está organizada para proporcionar más de una forma de acceso (acceso por árbol de decisión).

Servidor; Server: Computador en una red que comparte recursos con otros usuarios de la red

Símplex, semidúplex; Simplex, half duplex: Designa o pertenece a un método de funcionamiento en el que la información se puede transmitir en cualquiera de los dos sentidos aunque no simultáneamente, entre dos puntos.

Sistema de transmisión: Interfaz y medio de transmisión a través del cual las entidades de capa física pares transfieren bits.

Sistema SMATV; SMATV system: Sistema destinado a la distribución sin atención humana de señales de televisión, sonido y datos recibidas directamente de uno o más satélites, posiblemente en múltiplex por división de frecuencia con señales terrenales similares, a hogares situados en un mismo edificio o en edificios adyacentes; se caracteriza por el empleo exclusivo de equipo de consumo. Se conoce también por el nombre de «instalación de antena colectiva» o «red de televisión por cable a los hogares».

SNMP, Simple Network Management Protocol; Protocolo Simple de Administración de Redes: Protocolo de gestión de red del IETF.

STL, Studio Transmitter Link: Enlace inalámbrico modulado en frecuencia originalmente utilizado como una forma simple de enlazar un estudio de televisión con un transmisor.

Subcapa de control de acceso a los medios (MAC): Parte de la capa de enlace de datos que admite funciones dependientes de la topología y utiliza los servicios de la capa física para proporcionar servicios a la subcapa de control de enlace lógico (LLC).

Subcapa de convergencia de transmisión: Subcapa de la capa física que proporciona una interfaz entre la capa de enlace de datos y la subcapa PMD.

Subcapa Dependiente de los Medios Físicos; PMD, Physical Media Dependent: Subcapa de la capa física que está relacionada con la transmisión de bits o grupos de bits por tipos particulares de enlaces de transmisión entre sistemas abiertos y sistemas que implican procedimientos eléctricos, mecánicos y de toma de contacto.

Subcapa: División de una capa en el modelo de referencia de interconexión de sistemas abiertos (OSI).

Subred: Las subredes se forman físicamente por la conexión de nodos adyacentes con enlaces de transmisión.

Subsistema: Elemento en una división jerárquica de un sistema abierto que interactúa directamente con elementos en la división más alta siguiente o la siguiente división más baja de ese sistema abierto.

Suscriptor: Persona, organización o sistema de telecomunicaciones que tiene acceso a la red para comunicarse a través de los servicios prestados por ésta.

SYNC byte: byte de sincronización en la cabecera del flujo de transporte.

TCP, Transmission Control Protocol; Protocolo de Control de Transmisión: Protocolo Internet de capa de transporte que asegura la entrega satisfactoria de extremo a extremo de paquetes de datos sin error, como lo define el IETF.

TDI, Time and Date Table: UTC (Tiempo Universal, por ejemplo, Tiempo del Meridiano de Greenwich, tiempo y fecha)

Telecontrol; Telecontrol: Control de equipo operacional a distancia utilizando una combinación de teledadida y telemando.

Teledifusión; Broadcasting: Forma de telecomunicación unidireccional, destinada a un gran número de usuarios que dispongan de instalaciones de recepción apropiadas, efectuada por medios radioeléctricos o redes de cables.

Telefonía; Telephony: Forma de telecomunicación destinada principalmente al intercambio de información por medio de la palabra.

Telemetría; Telemetry: Proceso en que las mediciones se realizan en algún lugar distante y los resultados se transmiten por telecomunicación.

Telesupervisión; Telemonitoring: Observación a distancia por telecomunicación de procesos industriales, equipos de explotación, fenómenos naturales o individuos.

Tiempo de resguardo: Tiempo mínimo atribuido entre ráfagas en sentido ascendente, referenciado desde el centro del símbolo del último símbolo de una ráfaga hasta el centro del símbolo del primer símbolo de la ráfaga siguiente.

TOT, Time Offset Table: Tiempo y fecha UTC con indicación de desplazamiento del tiempo local.

Transverter: una combinación de downconverter y upconverter; este puede tener un oscilador común y puede tener también antenas integradas

Trayectoria de transmisión; Transmission path: Trayecto que sigue una señal en su transmisión entre dos puntos.

TS, Flujo de Transporte: En el MPEG-2, método, basado en paquetes, de multiplexación de uno o más flujos digitales de vídeo y audio que tienen una o varias bases de tiempo independientes en un solo flujo.

Unidireccional, unilateral; Unidirectional, one way: Perteneciente a un enlace en el que la transferencia de información de usuarios es posible en un sentido solamente, fijado previamente.

Upconverter: convierte la salida de un cable módem o modulador a la frecuencia del transmisor; en efecto, este es un transmisor de baja potencia y puede incluir una antena.

Upstream; Sentido ascendente, sentido hacia a tras: Sentido de transmisión de la posición de abonado hacia la cabecera.

URL, Uniform Resource Locator: dirección para un fragmento de información en Internet.

Velocidad binaria; binary digit rate, bit rate: Cociente entre el número de dígitos binarios transmitidos durante un intervalo de tiempo y la duración de dicho intervalo. La velocidad binaria se expresa en bits por segundo (bps) y en múltiplos de esta unidad.

Videoconferencia; Videoconference: Teleconferencia en la cual los participantes están conectados por circuitos de televisión que permiten la transmisión de imágenes animadas además de la transmisión de la palabra y de documentos gráficos.

VSB, Vestigial SideBand; Banda Lateral Vestigial: Método de modulación con cierto parecido a QAM, pero sin incluir información en la fase solo en la amplitud.

REFERENCIAS

Los siguientes textos, folletos, Recomendaciones de la UIT-T, artículos de Internet y otras referencias contienen disposiciones que mediante su referencia en este texto, constituyen material de apoyo de la presente Tesis. Al efectuar este trabajo, estaban en vigor las ediciones indicadas de las recomendaciones respectivas. Entre estas referencias tenemos:

- [1] A Primer on MMDS Technology. Fung Paul J. Abril 1998.
<http://www.csdmag.com/main/9804fe4.htm>.
- [2] Access Networks; Ali Shahzad. Mayo 1998.
<http://www.ee.udel.edu/~sali/eleg666/hw2/html/node5.html>.
- [3] Advances in Two-Way Data Transmission Using MMDS Spectrum. Peragine Thomas L., Ryan Donna J. 1998. http://www.spke.com/html/body_an_alternative_technology.html.
- [4] Aplications Broadband MMDS Systems. Diaz M.V. Rabina J.M. 1999.
<http://www.cableaml.com/BBMMDS.html>.
- [5] Architecture of a Wireless Downstream System. Wireless Broadband Modems Tutorial. Hybrid. Octubre 1999. http://www.webproforum.com/wire_broad/topic03.html.
- [6] Asymmetrical/Very High Speed Digital Subscriber Line (ADSL/VDSL). Ali Shahzad. Mayo 1998. <http://www.ee.udel.edu/~sali/eleg666/hw2/html/node7.html>.
- [7] Axity Capacity Package A Rev 2-0-1. Brad J. Ruth. ADC Telecommunications. Abril 2000.
<http://www.adc.com/bwg>.
- [8] Basics of Cable Modem System and Cable Modem. Wireless Broadband Modems Tutorial. Hybrid. Octubre 1999. http://www.webproforum.com/wire_broad/topic02.html.
- [9] Berlekamp's iterative algorithm for finding the error-locator polynomial. Matache Adina. Octubre 1996. http://apolo.cs.pub.ro/~sie/ex_s3/RS/node8.html.
- [10] Broadband Wireless Cell Planning and Network Design. Newbridge. Junio 1999.
http://www.newbridge.com/doctypes/technewbridgenote/pdf/wirelesscell_nn.pdf.
- [11] Construction of Galois field $GF(2^m)$. Matache Adina. Octubre 1996.
http://apolo.cs.pub.ro/~sie/ex_s3/RS/node4.html.

- [12] Data over MDS Cable Modems with Fixed 2 GHz Radio Link. Urban David.
<http://www.adc.com/Corp/BWG/MSD/cmodems.html>.
- [13] Decoding Reed Solomon Codes. Matache Adina. Octubre 1996.
http://apolo.cs.pub.ro/~sie/ex_s3/RS/node7.html.
- [14] Definition and Overview. Testing Digital Video Tutorial. Hewlett Packard. Octubre 1999.
http://www.webproforum.com/test_dv/index.html.
- [15] Descripción del estándar MPEG-2. Hernández Oliver. Universidad Central de Venezuela.
<http://neutron.ing.ucv.ve/revista-e/No1/Mpeg2.htm>.
- [16] Digital Communications. Proakis J. McGraw Hill. New York. 1989.
- [17] Digital MMDS as an Asymmetric Wireless Communication System for Video-on-demand applications. Ivanov Tatiana. Abril 1997. <http://www.ccc-can/data03.html>.
- [18] DVB MMDS. http://www.dvb.org/dvb_standards/dvb_dvbmmds.html.
- [19] El Sistema MPEG-2. Montaner Constantino. Octubre 1998.
http://www.cinevideo20.com/1_Revista/1.4_articulos/elsistema.htm.
- [20] Erasure decoding. Matache Adina. Octubre 1996.
http://apolo.cs.pub.ro/~sie/ex_s3/RS/node10.html.
- [21] Estudio teórico-práctico de los códigos no binarios de Reed Solomon para la detección y corrección múltiple de errores utilizando el método matricial. Acosta Arias Rodrigo. EPN. Quito. 1994.
- [22] Everything you always wanted to know about wireless cable...But were afraid to ask. Rini Bob, Coran Steve, Lancellota Steve. Washington D.C. 1995.
- [23] Fiber To The Curb (FTTC); Ali Shahzad. Mayo 1998.
<http://www.ee.udel.edu/~sali/eleg666/hw2/html/node6.html>.
- [24] Folleto de Comunicaciones Satelitales. Egas Carlos. EPN. Quito. 1996.
- [25] Frequency Bands and Limitations. Wireless Broadband Modems Tutorial. Hybrid. Octubre 1999. http://www.webproforum.com/wire_broad/topic04.html.

- [26] Frequency Reuse and Capacity in Two-way MMDS; Roman Vincentzio I.
<http://www.adc.com/Corp/BWG/MSD/2waymmds.html>.
- [27] Frequently Asked Questions. Spike Technologies Inc. 1998.
http://www.spke.com/html/body_faqs.html.
- [28] Funcionalidades Operacionales para la entrega de servicios digitales multiprograma de televisión, sonido y datos a través de Sistemas de Distribución Multipunto Multicanal. Recomendación UIT-T J.150. Marzo 1998.
- [29] Galois Field Arithmetic. Matache Adina. Octubre 1996.
http://apollo.cs.pub.ro/~sie/ex_s3/RS/node2.html.
- [30] Getting the Signal to the Broadcast Wireless Transmitter. Wireless Broadband Modems Tutorial. Hybrid. Octubre 1999. http://www.webproforum.com/wire_broad/topic06.html.
- [31] Global Solutions for MMDS. ADC Telecommunications. 1998.
<http://www.adc.com/Corp/BWG/MSD/mmdsbrch.pdf>.
- [32] Hybrid Fiber Coax (HFC); Ali Shahzad. Mayo 1998.
<http://www.ee.udel.edu/~sali/eleg666/hw2/html/node8.html>.
- [33] Hypercable. M/D/S/ International. <http://www.hypercable.net/hypercable.pdf>.
- [34] Internet Transmission Basics. Wireless Broadband Modems Tutorial. Hybrid. Octubre 1999. http://www.webproforum.com/wire_broad/topic01.html.
- [35] Market drivers. Cisco Systems Inc. 1998.
<http://www.cisco.com/cpress/cc/td/cpress/design/rbb/ch01.htm>.
- [36] MMDS Tests of Digital Transmission in 64 QAM Format; Waltrich J.B.. Wireless Cable Technical Symposium, Febrero 1996.
- [37] MMDS Transmitter for High Data Rate Digital Video Delivery; Urban David.
<http://www.adc.com/Corp/BWG/MSD/mmdsxmtr.html>.
- [38] MMDS/WCS Transmitter Systems for Internet Access. Wireless Broadband Modems Tutorial. Hybrid. Octubre 1999. http://www.webproforum.com/wire_broad/topic10.html.

- [39] MPEG2 Testing. Testing Digital Video Tutorial. Hewlett Packard. Octubre 1999.
http://www.webproforum.com/test_dv/topic01.html.
- [40] Multipoint/Local Multichannel Distribution System (MMDS/LMDS); Ali Shahzad. Mayo 1998. <http://www.ee.udel.edu/~sali/eleg666/hw2/html/node5.html>.
- [41] Nonbinary BCH Codes and Reed-Solomon Codes. Matache Adina. Octubre 1996.
http://apolo.cs.pub.ro/~sie/ex_s3/RS/node5.html.
- [42] NPRM on two way transmission in the MDS/MMDS/ITFS spectrum bands. Fcc97-360. Federal Communications Commission. Washington D.C. Enero 1998.
http://www.fcc.gov/Bureaus/Mass_Media/Notices/1997/fcc97360.txt.
- [43] Performance of a QAM MMDS Transmission System in the Presence of Linear and Nonlinear Cascaded Distortions, AWGN, and Multipath. Urban David. Junio 1997.
<http://www.adc.com/Corp/BWG/MSD/qammmds.html>.
- [44] Polynomials over Galois fields. Matache Adina. Octubre 1996.
http://apolo.cs.pub.ro/~sie/ex_s3/RS/node3.html.
- [45] Prontuario de las especificaciones y normas del DVB. Sesaña Navarro Julian.
<http://www.iies.es/teleco/bit/bit101/jsesena.html>.
- [46] Receiving the Signal at the Subscriber. Wireless Broadband Modems Tutorial. Hybrid. Octubre 1999. http://www.webproforum.com/wire_broad/topic05.html.
- [47] Redes de Computadoras. Tanenbaum Andrew. Prentice Hall, 3° edición. México. 1997.
- [48] Reed-Solomon Encoder/Decoder IP Core. Riley Laura J. Marzo 1999.
http://www.4i2i.com/reed_solomon_ip_cores.html.
- [49] Reed-Solomon Encoder/Decoder Software. Riley Laura J. Marzo 1999.
http://www.4i2i.com/reed_solomon_software.html.
- [50] Satellite And terrestrial Distribution; Ali Shahzad. Mayo 1998.
<http://www.ee.udel.edu/~sali/eleg666/hw2/html/node9.html>.
- [51] Sistemas de Comunicaciones Electrónicas. Tomasi Wayne. Prentice Hall, 1° edición. México. 1996.