

UNIVERSIDAD DON BOSCO

FACULTAD DE INGENIERIA



TRABAJO DE GRADUACION

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE COMUNICACION DIGITAL
DE VIDEOCONFERENCIA PARA FINES DE ENSEÑANZA DE
ASIGNATURAS PRACTICAS EN EL AREA DE MEDICINA.**

PRESENTADO POR:

**ANA CRISTINA MARTINEZ VALLADARES.
LETICIA MARGARITA REYES RODRIGUEZ.**

PREVIA OPCION AL TITULO DE:

INGENIERO EN ELECTRONICA.

JULIO DE 1993.

SAN SALVADOR, EL SALVADOR, CENTRO AMERICA

JURADO CALIFICADOR

CUMPLIENDO CON LOS PRECEPTOS QUE LA UNIVERSIDAD DON BOSCO ESTABLECE, SE PRESENTA A VUESTRA CONSIDERACION Y APROVACION, PREVIO A OPTAR AL TITULO DE **INGENIERO EN ELECTRONICA**, EL TRABAJO DE GRADUACION TITULADO:

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE COMUNICACION DIGITAL
DE VIDEOCONFERENCIA PARA FINES DE ENSEÑANZA DE
ASIGNATURAS PRACTICAS EN EL AREA DE MEDICINA**

TEMA QUE FUE AUTORIZADO POR LA DIRECCION DEL CENTRO DE INVESTIGACIONES Y TRANSFERENCIA DE TECNOLOGIA DE LA UNIVERSIDAD DON BOSCO.

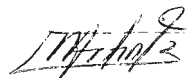
IMPRIMASE



ING. WILLIAM FLORES BLANDON
ASESOR PROPIETARIO



ING. HUMBERTO SHUL FLORES
JURADO EVALUADOR



ING. MARIO MARTINEZ ULLOA
JURADO EVALUADOR

AUTORIDADES ACADEMICAS UNIVERSIDAD DON BOSCO

1993

Pbro. Heriberto Herrera, sdb

PRESIDENTE

Ing. Federico Miguel Huguet Rivera

RECTOR

Ing. José Roberto Guzmán

VICE-DECANO FACULTAD DE INGENIERIA

Pbro. y Lic. Pierre Muyshondt

SECRETARIO GENERAL DE LA UNIVERSIDAD DON BOSCO.

"Quiero darte gracias, Señor, Rey, y alabarte,
a tu nombre doy gracias, pues auxilio has sido
para mí".

(Eclesiástico 51,1-2)

Agradezco a Dios todopoderoso y a su
santísima madre María Auxiliadora por
proporcionarme las fuerzas necesarias
para salir adelante a pesar de todos los
problemas presentados durante el
desarrollo de mi trabajo.

A mis padres, hermanos, abuelos y
familiares, por brindarme apoyo moral y
material en el transcurso de toda mi
carrera universitaria y especialmente en
la culminación de ésta.

A mis amigos, gracias por sus palabras
de apoyo y por su ayuda en los momentos
precisos, así mismo por animar aquellos
momentos difíciles, algunos con su
presencia física, otros con sus palabras
acortando grandes distancias.

Mis palabras son pocas, pero mi
sentir grande, así también mi
agradecimiento.

Todo mi esfuerzo y trabajo realizado lo
dedico a Dios y María Auxiliadora, a mis
padres, y abuelos, especialmente a mi
abuelo Moises quien cerró sus ojos a
este mundo y extendió sus brazos al
creador. Sé que desde donde él se
encuentre comparte conmigo la felicidad
que hoy siento por seguir siempre
adelante.

Gracias a todos

LETICIA

A DIOS TODOPODEROSO :

Por tu infinito amor, por tu infinita misericordia por haberme regalado alcanzar esta meta, por darme la fortaleza necesaria para seguir adelante en los momentos difíciles, por regalarme el confiar en Ti y perdonar todas mis faltas. A Ti Señor que eres mi auxilio y mi fortaleza quiero agradecerte desde lo más profundo de mi ser.

"Todo lo puedo en El Señor".

A mi familia :

A mis padres por su esfuerzo, sacrificio y todo el amor que me han brindado en todo momento, gracias!.

A mis hermanos: por su apoyo y sobretodo por la paciencia que me han tenido que me ha permitido ver ese amor que nos une.

Los amo a todos!

A mis amigos :

Por todo el apoyo que me han brindado, por el cariño que me han demostrado, por esa amistad sincera que les digo en realidad aprecio. Porque El Señor me los ha regalado y ha permitido que a través de ustedes haya sido posible el realizar este trabajo. **Gracias por todo!**

En especial quiero agradecer a:

Jaime Morales, por su desinteresada y oportuna ayuda, por su fineza y verdadero apoyo.

Jaime Flores y familia, por su incomparable ayuda, por todo el cariño que me han dado, por aceptar toda esas molestias que les he causado, mil, mil gracias!

Nuestro asesor Ing. William Flores, gracias por todo su apoyo tanto material a través de sus textos como el brindado a través de su tremenda calidad humana.

Cristina.

INDICE

Lista de tablas.....	x
Lista de figuras.....	xii
Prólogo.....	xv
Acónimos.....	xvii

CAPITULO I

1.0 Introducci3n.....	1
-----------------------	---

CAPITULO II

2.0 Principios b3sicos de televisi3n.....	5
2.1 Transmisi3n de televisi3n a color.....	5
2.1.1 C3maras de TV.....	7
2.1.2 Codificaci3n del color.....	11
2.2 Se1al de video compuesta.....	12
2.2.1 Se1al de luminancia.....	16
2.2.2 Se1al de crominancia.....	17
2.2.3 Pulsos de sincronizaci3n.....	17
2.2.4 Pulsos de eliminaci3n del trazo.....	18
2.3 R3faga de color.....	19
2.4 Forma de la se1al compuesta.....	20
2.4.1 Frecuencias de exploraci3n para transmisi3n a color....	24
2.5 Est3ndares de transmisi3n de TV a color.....	25
2.6 Transmisi3n de la se1al compuesta de video	
2.6.1 Transmisi3n punto a punto.....	28
2.6.2 Transmisi3n multipunto.....	29
2.7 Recepci3n de TV a color.....	29
2.7.1 Secci3n de RF.....	31
2.7.2 Secci3n de FI.....	31
2.7.3 Secci3n de video.....	31
2.7.4 Secci3n de deflexi3n horizontal y vertical.....	33
2.7.5 Decodificaci3n de color.....	33
2.8 Par3metros cr3ticos de la transmisi3n de video.....	33

CAPITULO III

3.0 Fundamentos de televisi3n digital.....	39
3.1 Digitalizadores.....	40
3.2 Procesamiento de imagen. Fundamentos de imagen digital...	42
3.2.1 Muestreo y cuantizaci3n	
3.2.1.1 Muestreo y cuantizaci3n uniforme.....	43
3.2.1.2 Muestreo y cuantizaci3n no uniforme.....	46
3.3 Video digitalizado.....	47

3.3.1 Muestreo.....	48
3.3.2 Número de bits por muestra.....	50
3.3.3 Cuantización.....	50
3.4 Codificación de video digital.....	50
3.4.1 Fuentes y receptores estáticos.....	50
3.4.2 Características de la señal de video.....	51
3.4.2.1 Espectro de potencia.....	52
3.4.2.2 Función autocorrelación.....	52
3.4.2.3 Función estadística de densidad.....	53
3.4.3 Codificación intratrama.....	53
3.4.3.1 Modulación por código de pulsos.....	54
3.4.3.2 Codificación de video compuesto.....	57
3.4.3.3 Codificación de las componentes de video.....	57
3.4.3.4 PCM diferencial.....	60
3.4.3.5 Codificación ruido-retroalimentado.....	63
3.4.3.6 Técnica de codificación en el dominio del tiempo.....	64
3.4.4 Codificación intertrama.....	66
3.4.4.1 Técnicas de repetición de trama.....	67
3.4.4.2 Codificación diferencial de trama.....	68
3.4.4.3 Compensación de movimiento.....	69
3.4.4.4 Submuestreo en áreas móviles.....	70
3.4.4.5 Rellenado condicional.....	72
3.4.4.6 Segmentado de imágenes.....	74
3.4.4.7 Segmentado de los errores de transmisión.....	74
3.5 Métodos de transmisión para señales digitales.....	76
3.5.1 Códigos de línea.....	77
3.5.1.1 Consideraciones iniciales.....	78
3.5.1.2 Código de inversión de marca alternada.....	79
3.5.1.3 Código binario de sustitución de 'n' ceros (BnZS).....	80
3.5.1.4 Código bipolar de alta densidad (HDBn).....	81
3.5.1.5 Código Manchester o bifásico.....	82
3.5.1.6 Código CMI.....	83
3.6 Técnicas de modulación digital.....	83
3.6.1 Conceptos básicos.....	84
3.6.2 Modulación en amplitud.....	84
3.6.3 Modulación en frecuencia.....	87
3.6.4 Modulación en fase.....	90
3.6.5 Modulación QAM.....	92
3.6.6 Comparación entre las diversas técnicas de modulación.....	93
3.7 Medios de transmisión digital.....	97

CAPITULO IV

4.0 Transmisión por ondas milimétricas.....	99
4.1 Radiofrecuencia.....	102

4.2 Línea vista.....	102
4.3 Propagación.....	102
4.3.1 Pérdidas en el espacio libre.....	102
4.3.2 Atenuación debida a las propiedades de la atmósfera	
4.3.2.1 Absorción atmosférica.....	104
4.3.2.2 Atenuación por la lluvia.....	104
4.3.3 Desviación de la onda de radio de la propagación de línea recta.....	106
4.3.4 Consideraciones de la curvatura de la tierra y condiciones de refractividad.....	107
4.3.5 Zona de Fresnel.....	108
4.4 Perfil de trayectoria.....	110
4.5 Calidad de un radioenlace.....	111
4.6 Margen de desvanecimiento.....	112
4.6.1 Potencia de umbral o sensibilidad del receptor.....	114
4.6.2 Potencia de recepción calculada.....	114
4.7 Disponibilidad.....	118
4.8 Determinación de distorsiones.....	119
4.9 Interferencia.....	121
4.10 Plan de frecuencias.....	125
4.11 Antenas.....	126
4.11.1 Operación básica de antenas.....	126
4.11.2 Parámetros y definiciones	
4.11.2.1 Patrón de radiación.....	128
4.11.2.2 Resistencia de radiación y eficiencia de radiación..	128
4.11.2.3 Directividad y ganancia de antenas.....	129
4.11.2.4 Area efectiva.....	130
4.11.2.5 Potencia isotrópica efectiva radiada.....	130
4.11.2.6 Polarización de antenas.....	130
4.11.2.7 Ancho de banda.....	131
4.11.2.8 Antenas para ondas centimétricas y milimétricas.....	131

CAPITULO V

5.0 Diseño del sistema.....	136
5.1 Selección de los sitios que conforman la red.....	136
5.2 Selección de la banda de frecuencia para la transmisión..	141
5.3 Plan de frecuencias para los enlaces.....	141
5.4 Desarrollo de perfiles y cálculos para la trayectoria	
5.4.1 Desarrollo de perfiles.....	143
5.4.2 Cálculos de perfiles.....	160
5.4.3 Cálculos para la trayectoria.....	162
5.5 Selección del equipo de radio.....	164
5.6 Opciones de configuración del sistema.....	168
5.7 Especificaciones del equipo seleccionado.....	178
5.7.1 Equipo de transmisión.....	178

5.7.1.1 Radiotranseptores y antenas.....	179
5.7.1.2 Multiplexores fraccionales.....	180
5.7.1.3 Modems y unidades de servicio de canal (CSU).....	183
5.7.2 Equipo terminal de video.....	184
5.7.2.1 Unidad multipunto.....	184
5.7.2.2 Módulo terminal de videoconferencia.....	186
5.8 Configuración del equipo por sitio.....	189
5.8.1 Sitio de control: Hospital Benjamín Bloom.....	189
5.8.2 Sitio con redistribución: Hospital Militar.....	195
5.8.2.1 Instalación y capacidad del sitio.....	197
5.8.3 Sitio de usuario futuro con redistribución: Instituto Salvadorense del Seguro Social-Hospital Rosales.....	200
5.8.3.1 Instalación y capacidad del sitio.....	202
5.8.4 Sitios de usuarios remotos: Universidad de El Salvador, Universidad Evangélica de El Salvador, Universidad Salvadoreña Alberto Masferrer.....	206
5.8.4.1 Instalación y capacidades de los sitios.....	208
5.9 Inversión económica.....	212
5.9.1 Primera opción: Uso de equipo multiplexor fraccional con CSU y cable coaxial RG-59 o cable 4 hilos.....	213
5.9.2 Segunda opción: Uso de equipo multiplexor y cable coaxial o cable 4 hilos.....	218
5.9.3 Recomendaciones.....	219
5.10 Plan de mantenimiento.....	220
5.10.1 Recomendaciones para la realización efectiva del mantenimiento.....	222
5.10.2 Plan de mantenimiento preventivo.....	224
5.10.3 Soporte del mantenimiento.....	227
5.10.4 Organización y funciones.....	228

APENDICES

Apendice A.....	229
Apendice B.....	233
Glosario.....	234
Bibliografía.....	239

LISTA DE TABLAS

Calidad de video para diferentes velocidades de compresión...	4
Características de los principales tipos de cámara de tubo...	10
Proporciones de las señales de video R, G y B para la formación de Y, I y Q.....	16
Anchos de banda de transmisión y recepción para las señales Y, I y Q.....	17
Niveles de brillantez en unidades IEEE.....	22
Características de los estándares de transmisión.....	26
Características de los estándares del formato de HDTV.....	27
Características de transmisión positiva y negativa.....	30
Grado de calidad de la imagen de acuerdo a la RSR.....	34
Número de bits almacenados para varios valores de N y m.....	44
Número de bytes almacenados para varios valores de N y m.....	44
Resumen de métodos de codificación.....	75
Coeficiente de señales I y Q para modulación 4PSK.....	92
Técnicas de modulación según el CCIR.....	95
Parámetros prácticos de las técnicas de modulación digital.....	96
Medios de transmisión digital (comparación).....	97
Disposición para sistemas de radio en la banda de frecuencias para ondas milimétricas.....	101
Valores de K para diferentes condiciones de propagación.....	108
Factor del terreno.....	113
Factor de condiciones del clima.....	114
Características importantes de antenas.....	133
Ganancia-pérdida para reflectores parabólicos.....	135
Enlace Hospital Militar- Universidad Evangelica de El Salvador.....	145
Enlace Hospital Benjamín Bloom- Instituto Salvadoreño del Seguro Social.....	148
Enlace Hospital Benjamín Bloom-Universidad de El Salvador.....	151
Enlace Hospital Benjamín Bloom-Universidad Salvadoreña Alberto Masferrer.....	154
Enlace Hospital Militar-Hospital Benjamín Bloom.....	157
Potencia de transmisión y recepción umbral para diferentes frecuencias.....	160
Potencia de transmisión y recepción umbral para diferentes frecuencias.....	164
Eficiencia espectral y desempeño ante errores.....	165
Complejidad relativa de esquemas de modulación.....	166
Capacidades de transmisión primaria.....	168

Características de las opciones de configuración para el Hospital Militar.....	175
Especificaciones del equipo radiotransceptor.....	179
Especificaciones de antena.....	180
Especificaciones del multiplexor fraccional.....	182
Especificaciones de MODEM.....	183
Especificaciones de CSU.....	184
Especificaciones de la unidad multipunto.....	185
Especificaciones del módulo de videoconferencia.....	188
Equipo a utilizar en Hospital Benjamín Bloom.....	190
Equipo a utilizar en Hospital Militar.....	195
Distribución del equipo por piso en Hospital Militar.....	197
Equipo a utilizar en ISSS-HR.....	200
Detalle del equipo a utilizar en universidades.....	208
Costos con fraccionales y MODEM para el HBB.....	213
Costos con fraccional y CSU para el HBB.....	214
Costos primera opción, multiplexor fraccional y modem para el Hospital Militar.....	215
Costos segunda opción, multiplexor fraccional con CSU para el Hospital Militar.....	215
Costos con multiplexor fraccional para Hospital Rosales-Instituto Salvadoreño del Seguro Social.....	216
Costos con multiplexor fraccional para Universidad de El Salvador.....	216
Costos con multiplexor fraccional para Universidad Evangelica de El Salvador.....	217
Costos con multiplexor fraccional para Universidad Salvadoreña Alberto Masferrer.....	217
Costos con multiplexor T1 para todo el sistema.....	218
Comparación de las alternativas del personal para realizar el mantenimiento.....	220
Instituciones posibles a cargo del mantenimiento.....	221
Tipos de mantenimiento.....	223

LISTA DE FIGURAS

Diagrama a bloques de transmisor de TV a color.....	6
Diagrama simplificado de una cámara de TV con tubo.....	8
Arreglo de espejos utilizado en cámara de TV a color.....	9
Sensibilidad a la luz de las cámaras vidicon, plumbicon y orthicon.....	11
Diagrama a bloque de codificador a color.....	12
Secuencia de exploración intercalada en TV.....	14
Exploración horizontal, vertical e intercalada.....	15
Diagrama representativo de la relación de fases de las diferentes señales que componen la transmisión estándar de televisión.....	18
Intervalo de eliminación de trazo horizontal y ráfaga de color.....	19
Espectro de frecuencia de RF compuesto para transmisión de TV a color (NTSC).....	20
Señal de video para una línea de trazo y sincronismo horizontal.....	21
Señal de video compuesta para el primer campo.....	23
Pulso de eliminación del trazo vertical.....	24
Formato de la composición de la información de TV según la NTSC.....	27
Configuración punto a punto para transmisión en un sólo sentido.....	28
Señal de video de transmisión negativa en AM.....	29
Diagrama a bloques de un receptor de TV a color.....	32
Convertidor análogo/digital básico.....	40
Tipos comunes de muestreo de rejilla.....	49
Espectro de potencia típico de la señal de video.....	52
Función autocorrelación.....	53
Representación del teorema del muestreo en el dominio del tiempo y frecuencia.....	55
Sistema de codificación PCM.....	56
Principio de operación de codificación por componente.....	59
Principio de operación DPCM intratrama.....	61
Escala de cuantización a 8 niveles no lineal.....	61
Distorsión por sobrecarga de pendiente.....	62
Codificador por ruido retroalimentado.....	63
Codificador por retroalimentación de ruido.....	64
Codificación Delta lineal y de alta información.....	66
Transmisión de entrelazado puntual.....	68
Codificador PCM diferencial de trama a trama.....	69

Comparación entre compensación de movimiento y predicción diferencial de trama.....	70
Ilustración del muestreo entrelazado.....	71
Reducción de la resolución temporal en partes estacionarias de una imagen.....	72
Principio de rellenado condicional.....	73
Esquema de un sistema de comunicación por radiotransmisión digital.....	77
Códigos de línea unipolares.....	78
Conversión de código NRZ a código AMI.....	79
Codificación B6ZS. Señales de codificación.....	80
Codificación B6ZS. Regla de sustitución.....	81
Codificación HDB3. Señales de codificación.....	81
Codificación HDB3. Regla de sustitución.....	82
Codificación Manchester.....	82
Codificación CMI.....	83
Modulación lineal. AM, DBLPS, BLUPS, BLRPS.....	85
Modulación ASK.....	86
Modulación FSK binaria.....	87
Espectro de modulación ASK.....	89
Espectro de modulación FSK.....	89
Modulación por corrimiento de fase.....	91
Comparación entre espectros QAM y QPSK.....	93
Técnicas binarias.....	94
FSK multinivel.....	94
PSK multinivel.....	94
QAM.....	94
Espectro de frecuencias.....	99
Enlace de línea vista.....	104
Valores calculados para la atenuación debida a las propiedades de la atmósfera para diferentes precipitaciones lluviosas.....	105
Atenuación por lluvia.....	106
Atenuación versus espacio libre sobre obstáculos.....	109
Primera zona de Fresnel.....	110
Probabilidad de error en función de portadora/ruido normalizada.....	112
Distribución típica del desvanecimiento en el peor mes.....	116
Diagrama de ojo ideal.....	120
Diagrama de ojo real.....	121
Tipos de interferencia.....	122
Interferencia cocanal y de canal adyacente.....	124
Arreglo de canales.....	125
Patrón de onda estacionaria.....	127
Tipos de polarización.....	131
Ganancia de un reflector parabólico.....	132

Antena Piramidal.....	134
Antena Cónica.....	134
Topología de la red.....	139
Diagrama de interconexión.....	140
Plan de frecuencias.....	142
Perfil de HM-UEES.....	147
Perfil de HBB-ISSS.....	150
Perfil de HBB-UES.....	153
Perfil de HBB-USAM.....	156
Perfil de HM-HBB.....	159
Configuración de la red de multiplexores.....	172
Configuración de la red de multiplexores fraccionales.....	173
Configuración con multiplexores fraccionales y modems.....	175
Configuración sencilla con fraccionales y CSU para el HM.....	176
Configuración con fraccionales y CSU para el HBB.....	176
Configuración para el ISSS, incluyendo la unidad modular.....	177
Presentación gráfica de un enlace con multiplexor fraccional.....	181
Diagrama a bloques del módulo terminal de video.....	186
Configuración de HBB con multiplexor fraccional.....	193
Configuración de HBB con MODEM.....	193
Cableado de HBB.....	194
Diagrama de interconexión en HM.....	196
Vista de planta del HM.....	198
Cableado en HM.....	199
Diagrama de interconexión ISSS-HR.....	201
Vista de planta del HR.....	203
Cableado de HR (externo).....	204
Cableado de HR (quirófanos).....	205
Interconexión de equipo en UES.....	206
Interconexión de equipo en USAM.....	207
Interconexión de equipo en UEES.....	207
Cableado de UEES.....	209
Cableado de USAM.....	210
Cableado de UES.....	211
Lazos de prueba en el sistema.....	227

PROLOGO

La educación en nuestro país se encuentra actualmente en una etapa de desarrollo, esto exige un mayor esfuerzo de diversos sectores de servicios. Se hace necesario entonces el aprovechamiento de todos los recursos tecnológicos que se encuentran disponibles en el mercado y la ingeniería para aplicarlos en dicha Área. Es así como nace la idea de este trabajo para proveer los medios que soporten la enseñanza de asignaturas prácticas, especialmente en la rama de la medicina.

Con el fin de crear la infraestructura para el desarrollo de profesionales en diversos campos, y especialmente la medicina, se propone un sistema de videoconferencia que interconectará las principales universidades de nuestro país con los principales hospitales nacionales.

En este trabajo se presenta el diseño de un sistema modelo y los principios teóricos necesarios para el mismo. De esta forma, el resultado de esta investigación conserva la flexibilidad y definición necesarios.

En primer lugar el estudio inicia con la teoría básica de televisión blanco-negro y a color, y los fundamentos para la digitalización del video, incluyendo la discusión de las técnicas de codificación y compresión involucradas. Así mismo, se dan a conocer las distintas técnicas de transmisión actualmente utilizadas y se incluye un análisis comparativo entre éstas para la selección de la más adecuada; se realiza un estudio más profundo sobre la transmisión vía ondas milimétricas.

Además de estos estudios, la investigación de campo incluye la visita a las instalaciones de las universidades y hospitales involucrados para obtener datos del diseño de la trayectoria y la instalación del equipo. Así mismo se realizaron entrevistas con personal que se desempeña en el campo de la medicina, tanto en la enseñanza como en la instalación de equipo en Áreas hospitalarias. Para la selección de equipos se estableció comunicación con empresas suministrantes en el exterior, verificándose factibilidades y existencias.

Este documento finaliza con el diseño del sistema en sí, donde se conjugan la teoría estudiada y el resultado de la investigación de campo realizada. Se detallan los cálculos para

el diseño de los enlaces de ondas milimétricas y las especificaciones de los parámetros más importantes que deben presentar cada uno de los equipos que conforman el sistema. Se detallan listados de equipos, especificaciones de los mismos y configuraciones alternativas; se establecen comparaciones entre equipos alternativos para la selección de éstos. También se realiza un análisis de costos, y se describe la organización sugerida para el mantenimiento del sistema.

En la realización de esta investigación existieron algunas limitantes debido a las políticas de algunas instituciones involucradas, motivo por el cual no se cuenta con la diversificación esperada, y en algunos casos la información no ofreció el detalle deseado. Sin embargo, esto no impidió el desarrollo de un trabajo completo y explicativo respecto a la aplicación de la videoconferencia en nuestro medio.

ACRONIMOS

AM	: Modulación en amplitud.
AMI	: Código de inversión de marca alternada.
ASK	: Modulación digital por corrimiento de amplitud.
ATSC	: Advanced Television Systems Committee.
BER	: Bit Error Rate.
BLRPS	: Modulación en amplitud: banda lateral residual portadora suprimida.
BLUPS	: Modulación en amplitud: banda lateral única portadora suprimida.
BNZS	: Código binario de sustitución de N ceros.
BPS	: Bits por segundo.
CCIR	: Comité Consultivo Internacional para Radio.
CCITT	: Comité Consultivo Internacional para Telegrafía y Telefonía.
CMI	: Código de inversión de marca.
CRT	: Tubo de rayos catódicos.
CSU	: Customer Service Unit.
DBL	: Modulación en amplitud: doble banda lateral.
DBLPS	: Modulación en amplitud: doble banda lateral portadora suprimida.
DPCM	: Modulación por código de pulsos diferencial.
FM	: Modulación en frecuencia.
FSK	: Modulación digital por corrimiento de frecuencia.
HBB	: Hospital Benjamín Bloom.
HDBn	: Código bipolar de alta densidad.
HDTV	: High Density Television.
HM	: Hospital Militar.
HR	: Hospital Rosales.
ISSS	: Instituto Salvadoreño del Seguro Social.
MSK	: Conmutación de mínimo corrimiento.
MTBF	: Mean time between failure.
MTTR	: Mean time to repair.
MUSE	: Multiple Sub-Nyquist Sampling Encoding.
NHK	: Japanese Broadcasting Corporation.
NRZ	: Código sin retorno a cero.
NTSC	: National Television System Committee.
OOK	: Modulación por encendido y apagado.
OQPSK	: Offset QPSK, QPSK de conmutación compensada.
PAL	: Phase Alternation Line.

PCM : Modulación por código de pulsos.
PSK : Modulación digital por corrimiento de fase.
QAM : Modulación de amplitud en cuadratura.
QPRS : Modulación de respuesta parcial en cuadratura.
QPSK : Modulación por desplazamiento de fase en cuadratura.
RZ : Código retorno a cero.
SECAM : Sequential Color and Memory.
UEES : Universidad Evangélica de El Salvador.
UES : Universidad de El Salvador.
UM : Unidad Modular (o Médico Quirúrgico).
USAM : Universidad Salvadoreña Alberto Masferrer.

CAPITULO I

INTRODUCCION

Nuestro país se encuentra actualmente en una etapa de cambios estructurales, tanto en el ámbito social como técnico-intelectual, para lo cual se hace necesario el aprovechamiento de todos los recursos tecnológicos disponibles en el mercado y la ingeniería para aplicarlos en las áreas específicas.

En los últimos 10 años, las técnicas de comunicación digital han tenido un gran desarrollo, abriendo así nuevos campos de aplicación o mejorando los ya existentes que trabajan bajo las técnicas analógicas. De esta forma, han podido desarrollarse sistemas de comunicación interactiva de audio y video con técnicas de compresión de video que permiten la reducción del ancho de banda de la señal.

Los sistemas interactivos de audio y video denominados sistemas de videoconferencia (SVC) tienen actualmente una amplia gama de aplicaciones que crecen a medida que surgen nuevas necesidades. Entre estas aplicaciones pueden mencionarse las siguientes:

Puede ser usado como un complemento didáctico en los métodos de enseñanza o capacitación. En nuestro medio ese complemento puede ser aplicado en centros penales para rehabilitación de presos a un nivel superior, en universidades y para educación básica para complementar la formación e impartir conferencias o charlas de interés según el medio; además uno de los alcances en esta rama es llegar a establecer comunicaciones entre universidades del interior siendo un alcance máximo establecer enlaces con universidades de todo el mundo para intercambio de conocimientos.

Así mismo, el SVC puede ser aplicado en sistemas administrativos de empresas. También puede ser ocupado para comunicaciones estratégicas militares, o como un servicio, estableciendo enlaces directos a nivel mundial para acuerdos o tomas de decisiones dedicadas por ejemplo a aspectos políticos.

En la rama de medicina que constituye el objetivo principal de aplicación de este trabajo, el SVC permitiría a los estudiantes conocer desde las técnicas y usos de equipos más simples hasta

los más complicados, ayudando de esta manera a su actualización. Entre las prácticas posibles a presenciar por ellos, se tendrían:

- En cirugía mayor:
 - * Operaciones de corazón abierto.
 - * Cirugía de cataratas.
 - * Cesareas.
 - * Laparatomía exploratorias.
- Cirugías menores.
- Posibilitaría el conocimiento de equipos de radiología.
- El conocimiento de técnicas como:
 - * Reconstrucciones arteriales.
 - * Tratamientos para el cáncer, etc.

y proyectándose al futuro, podría interconectarse el SVC con equipos de diagnóstico y de terapia como:

- * Ultrasonografía.
- * Endoscopia, etc.

Aun así como se dijo anteriormente, estas aplicaciones son pocas comparado con todo lo que ofrecen estos sistemas.

Entre las ventajas que ofrecen se tienen:

- Ahorro de tiempo.
- Disminución de gastos por viaje.
- Interacción.
- Comunicación de eventos en vivo.
- Reproducción de eventos pasados.
- Verificación objetiva.
- Actualización de conocimientos.
- Para enfocar y discutir problemas en forma más clara y efectiva que la que se obtiene actualmente con sólo analizar un documento o gráfico transmitido por fax o telex.

Este trabajo consiste en el diseño de un sistema de comunicación digital de videoconferencia por radio de ondas milimétricas para establecer comunicación entre las principales universidades y hospitales de San Salvador, realizándose la distribución interna por cable coaxial, fibra óptica o par trenzado. Su aplicación se

orienta a la enseñanza de asignaturas prácticas en medicina. Será un trabajo disponible para las facultades de medicina de la Universidad Salvadoreña Alberto Masferrer (USAM), Universidad Evangélica de El Salvador (UEES) y Universidad de El Salvador (UES); y para el Hospital Benjamín Bloom (HBB), Hospital Militar (HM) y Hospital Rosales (HR).

El desarrollo de este trabajo comienza con el estudio de la teoría básica de TV (Cap. 2); luego TV digital (Cap. 3) y técnicas de radioenlace y antenas (Cap. 4). Todo esto para formar los criterios necesarios para el diseño del sistema (Cap. 5), que será la finalización del trabajo; esta etapa será dividida en dos partes primero se realizará los cálculos necesarios en el diseño, haciendo uso de hojas electrónicas, finalizando con la selección de equipos, costos y recomendaciones para la instalación y mantenimiento de los mismos.

Para tomar la decisión sobre la realización de este sistema, se han realizado anticipadamente visitas de campo y entrevistas hechas a personas involucradas en el campo de la medicina y que al mismo tiempo se desempeñan en el área pedagógica, obteniendo opiniones satisfactorias al respecto. De igual forma, se pidió asesoría técnica con organizaciones internacionales especializadas en el diseño de sistemas de videoconferencia, las cuales afirman que es factible realizar el proyecto que se pretende, y que sus compañías disponen del equipo idóneo para esta aplicación.

Por conveniencia los servicios de comunicaciones están divididos en 3 categorías de acuerdo a la velocidad de datos:

- Banda angosta (normalmente 64 Kbps):

Esta requiere de manera exagerada la compresión de datos, dando como resultado un imagen bastante degradada.

- Banda media (normalmente 1.5 ó 2.0 Mbps):

Puede usar compresión de video pero no extremadamente, aún así, la calidad de la imagen es baja.

- Banda ancha (normalmente 45 Mbps o más):

Puede producir alta calidad de video sin necesidad de compresión.

En la Tabla 1-1 se muestra el tipo de calidad que podría obtenerse a distintas velocidades de compresión de datos.

Actualmente, la mayoría de los sistemas de videoconferencia usan banda media para redes de comunicación privada.

Tabla 1-1. Calidad de video para diferentes velocidades de compresión.

VELOCIDAD DE DATOS COMPRIMIDOS	CALIDAD
100 - 150 Mbps	Calidad de radiodifusión para HDTV.
10 - 45 Mbps	Calidad de radiodifusión para NTSC.
1.5 - 2.0 Mbps	Distorsión de movimiento notable, pero aceptable para conferencia. Excelente audio. Aproximación + calidad VCR + video.
384 - 768 Mbps	En este nivel, la calidad de la señal es sacrificado a cambio de la reducción en los costos de comunicación.
56 - 128 Mbps	Es un cuarto del nivel de resolución de la NTSC. Existe gran distorsión en el movimiento. Se produce parpadeo con los movimientos rápidos. Inteligible para una buena calidad de audio.
13 - 22 Mbps	Es un cuarto del nivel de resolución de la NTSC. Movimientos violentos. Calidad de audio inteligible.

CAPITULO II

PRINCIPIOS BASICOS DE TELEVISION

Este capítulo presenta los principios básicos de la televisión a color, incluye como se capta la imagen, como se forma la señal de video compuesta a transmitir, los componentes del transmisor y receptor de video, los parámetros estándar de transmisión de video, se hace una breve comparación entre los diferentes formatos: NTSC (National Television System Committee), PAL (Phase Alternation Line), SECAM (Sequential Color and Memory) y HDTV (High Definition Television); pero para el estudio se tomará como base el formato de la NTSC usado en Norte América (a menos que se especifique el uso de otro formato), se incluye además los métodos de transmisión: transmisión punto a punto y multipunto (ej. la radiodifusión). punto a punto.

2.1 TRANSMISION DE TELEVISION A COLOR

En la televisión a color se involucra la transmisión de dos señales totalmente separadas: señal de audio (sonido) y señal de video (imagen). Para la transmisión de audio se utiliza modulación en frecuencia (FM) y para video modulación en amplitud (AM) para radiodifusión, pero video en FM en enlaces punto a punto en transmisión analógica. La Figura 2-1 muestra un ejemplo de un diagrama a bloques simplificado de un transmisor de TV para radiodifusión a color, que es el mismo que se usa para TV monocromática, ya que en esencia un transmisor a color es idéntico a uno blanco y negro (B\N) excepto que en el primero se utiliza una cámara a color y una etapa de codificación del color. La Figura 2-1 muestra los dos transmisores totalmente separados. El de FM (para sonido) y el de AM (para video) cuyas salidas son combinadas en un puente diplexer y alimentadas a una misma antena. El puente diplexer es una red que se usa para combinar las salida de dos transmisores operando a diferentes frecuencias que usan la misma antena. La información de video se origina de una cámara (para transmisiones en vivo); existen varios tipos de cámaras, las de tubo y las que no utilizan tubo, entre las principales cámaras de tubo se tiene: la cámara Orthicon, cámara Plumbicon, cámara vidicon, etc. como ejemplo de las cámaras que no usan tubo se tiene el sensor de imagen de estado sólido; estas cámaras se explican con mayor detalle en la

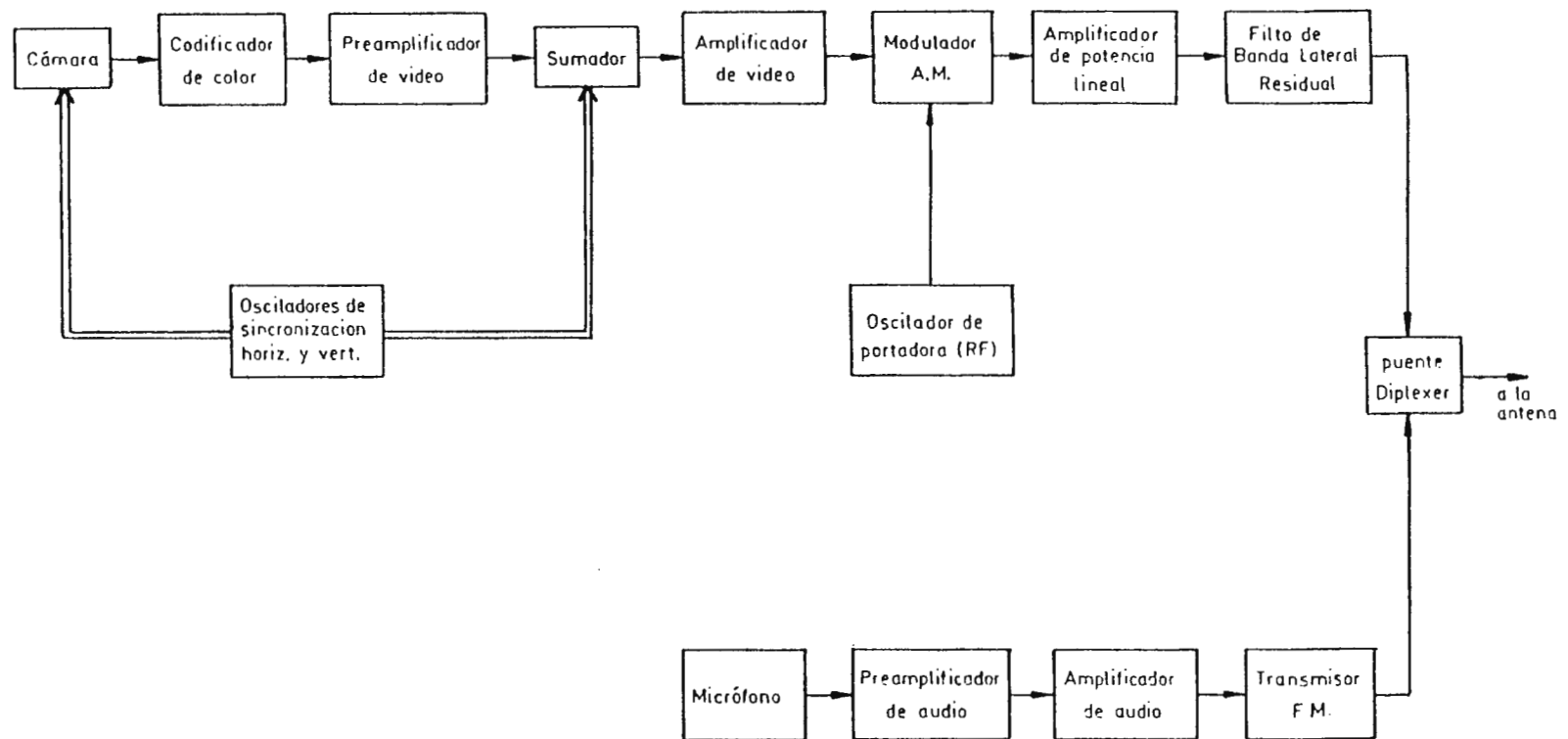


Figura 2-1

Diagrama a bloques de un transmisor de televisión a color para radiodifusión.

Sección 2.1.1. La información de audio se origina de un micrófono (cuando son transmisiones en vivo), luego la información de la cámara entra a la etapa de codificación de color, donde se producen las señales de información de "Luminancia" (brillantez) y "Crominancia" (color) las cuales modulan en amplitud la portadora de RF. La Figura 2-1 también muestra las señales de sincronización horizontal y vertical, las cuales se combinan con la información de imagen antes de la modulación. Estas señales se usan para sincronizar en los receptores las velocidades de exploración horizontal y vertical.

2.1.1 CAMARAS DE TV

La operación de captar la luz reflejada de la imagen y convertirla en señales eléctricas que correspondan a la información de la imagen, se realiza igualmente en una cámara monocromática que en una a color (aquí se explicará el procedimiento que se sigue para la cámara vidicon de tubo), sólo que en transmisión a color todos los colores se producen mezclando diferentes cantidades de los tres colores primarios: rojo, azul y verde, por tanto una cámara a color es equivalente a tres cámaras en una, cada una con una salida de video separada, en donde:

- La cámara roja produce la señal de video R,
- La cámara azul produce la señal de video B y
- La cámara verde produce la señal de video G.

La Figura 2-2 muestra un diagrama del tubo de una cámara vidicon. La luz es reflejada de una imagen a través de un lente óptico sobre la superficie de un material fotosensitivo. Este material se divide en pequeños segmentos discretos llamados "elementos de imagen" (pixeles). Cuando son excitados por un rayo de electrones cada pixel proporciona una señal que es proporcional a la intensidad de la luz que lo golpea (de la imagen).

Para separar la luz incidente en los lentes de las cámaras a color en los tres colores primarios se hace uso de prismas DICROICOS o espejos DICROICOS. La Figura 2-3 muestra una configuración de espejos que realizan esta función; Los espejos ACROMATICOS reflejan luz de todos los colores. Los espejos Dicroicos están cubiertos de manera que sólo pueden reflejar luz de una sola frecuencia (color) y permiten el paso de todos los

otros colores. La luz reflejada de la imagen pasa a través de un lente de una cámara, luego es reflejada por los dos espejos Acromáticos, y pasa a través del lente relay. Los espejos Dicroicos A y B están montados sobre ángulos de 45° opuestos. El

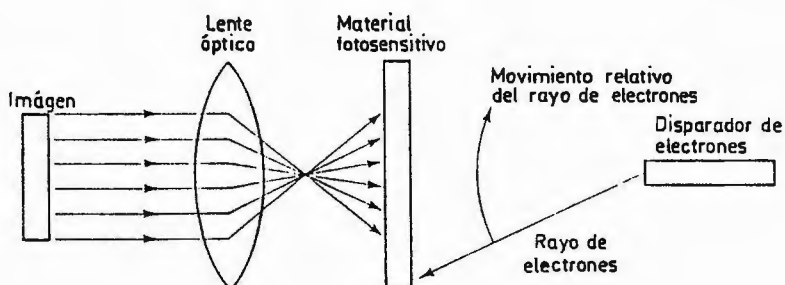


Figura 2-2

Diagrama simplificado de una cámara de TV con tubo.

espejo A refleja la luz roja, mientras que la luz azul y la verde lo atraviesan y llegan al espejo B. El espejo B refleja la luz azul y permite que la luz verde lo atraviese. Consecuentemente, todos los colores de la imagen se separan en luces de frecuencias rojo, verde y azul. Una vez separadas, las tres señales de frecuencia de color modulan su respectivo tubo de cámara y producen las señales de video "R", "G" y "B".

Los principales tipos de cámara de tubo (tanto B/N como de color) son de orthicon, vidicon y plumbicon, las características de éstas se muestran en la Tabla 2-1. La Figura 2-4 muestra una comparación de la sensibilidad de la luz de diferentes longitudes de onda para las cámaras de tubo antes mencionadas. Otros módulos de adquisición de imagen además de las cámaras antes mencionadas son: Los sensores de imagen de estado sólido, los analizadores de imagen, los arreglos de estado sólido, etc. El primero se tratará en esta sección los otros son dispositivos de adquisición de imagen y digitalizadores a la vez y se explican en el capítulo 3.

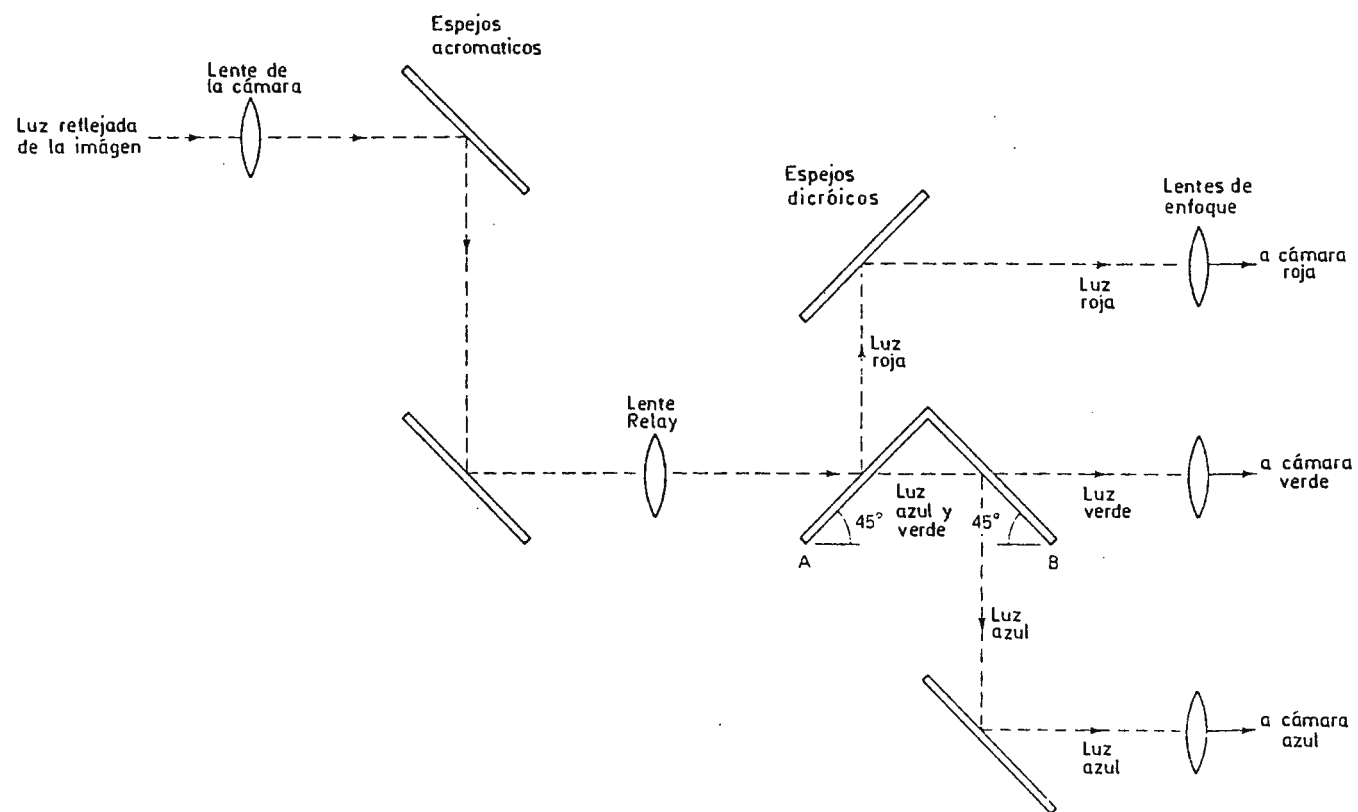


Figura 2-3

Arreglo de espejos utilizada en cámara de TV a color para separar las señales de video R, G y B.

SENSOR DE IMAGEN DE ESTADO SOLIDO:

Este dispositivo consiste en un chip de Silicon con un arreglo de electrodos de metal. Este no necesita un rayo explorador, ni alto voltaje como una cámara de tubo. El chip de Silicon es oxidizado en uno de sus lados con un arreglo lineal de electrodos depositado sobre su superficie. Los electrodos operan en grupos de tres, con cada tercer electrodo conectado a un conductor común. El espacio bajo el centro de cada trío sirve como un elemento sensible a la luz, la imagen es enfocada sobre el chip y la luz causa electrones, entre más luz se generan más

Tabla 2-1. Características de los principales tipos de cámaras de tubo.

TIPO	TAMAÑO (pulgadas)	PLACA	SEÑAL TIPICA DE CORRIENTE (A)		NOTAS	VIDA (hr)
			NIVEL OSCURO	NIVEL CLARO		
Orthicon	Largo 15-20 Diámetro 3-4	Fotocátodo	30	6	Alta calidad; alta sensibilidad; señal de corriente máxima para nivel oscuro.	1500-6000
Vidicon	Largo 5-8 Diámetro 0.5 a 1.6	Placa fotocon- ductiva cu- bierta de Selenio	0.02	0.4	De construcción simple; usados para recoger fotos; tiene caídas de fotoconducción para los niveles bajos de luz. Es barata. Si se digitaliza la imagen ésta puede verse en un monitor de TV.	5000-20000
Vidicon con arreglo de diodo de Silicon	Largo 3 Diámetro 1	Diodo de Silicón.	0.01	0.6	La caída de la fotoconducción es baja; sensibilidad al rojo y a la luz infrarroja.	2000-3000
Plumbicon	Largo 3 Diámetro 1.2	Fotocon- ductor de PbO.	0.004	0.3	De construcción simple; caída de fotoconducción baja; sensibilidad baja para el color rojo.	2000-3000

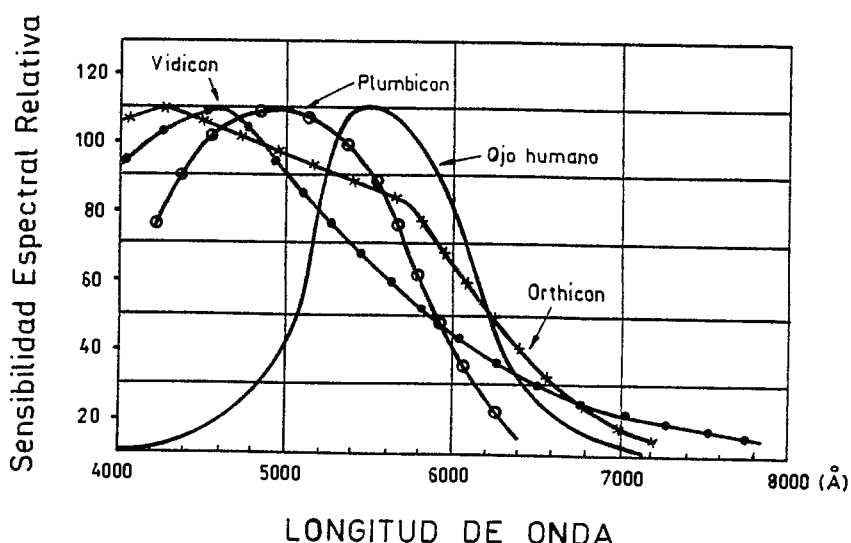


Figura 2-4

Sensibilidad a la luz de las cámaras Vidicon, Plumbicon y Orthicon y sensibilidad del ojo humano.

cargas. En cada trió el electrodo del centro es el más positivo. La carga de un elemento es transferida a lo largo de la superficie del chip aplicando un voltaje más positivo al electrodo adyacente, mientras se reduce el voltaje en el electrodo donde está la carga. El cambio se aplica por pulsos de voltaje en orden sucesivo a todos los elementos. Cuando la carga alcanza el electrodo de salida, se colectan en la forma de una señal de corriente. El potencial que se requiere para mover las cargas es sólo 5 a 10 V.

2.1.2 CODIFICACION DEL COLOR

La Figura 2-5 muestra un diagrama de bloques simplificado de la etapa de codificación del color. Las señales de video "R", "G" y "B" se combinan en proporciones específicas en la MATRIZ DE COLOR para producir la luminancia (brillantez) o señal de video "Y" y las señales de crominancia (color) "I" y "Q", estas dos últimas señales modulan en amplitud una subportadora de color de 3.58 MHz para producir la señal de color total, "C". La señal "I" modula la subportadora directamente en el modulador balanceado I, mientras la señal "Q" modula en cuadratura

(90° fuera de fase) la subportadora en el modulador balanceado Q. Las señales moduladas "I" y "Q" se combinan linealmente para producir una modulación de amplitud en cuadratura (QAM), señal "C", la cual es una combinación de modulación en amplitud y en fase. La señal "C" se combina con la señal "Y" para producir una señal compuesta de video "T".

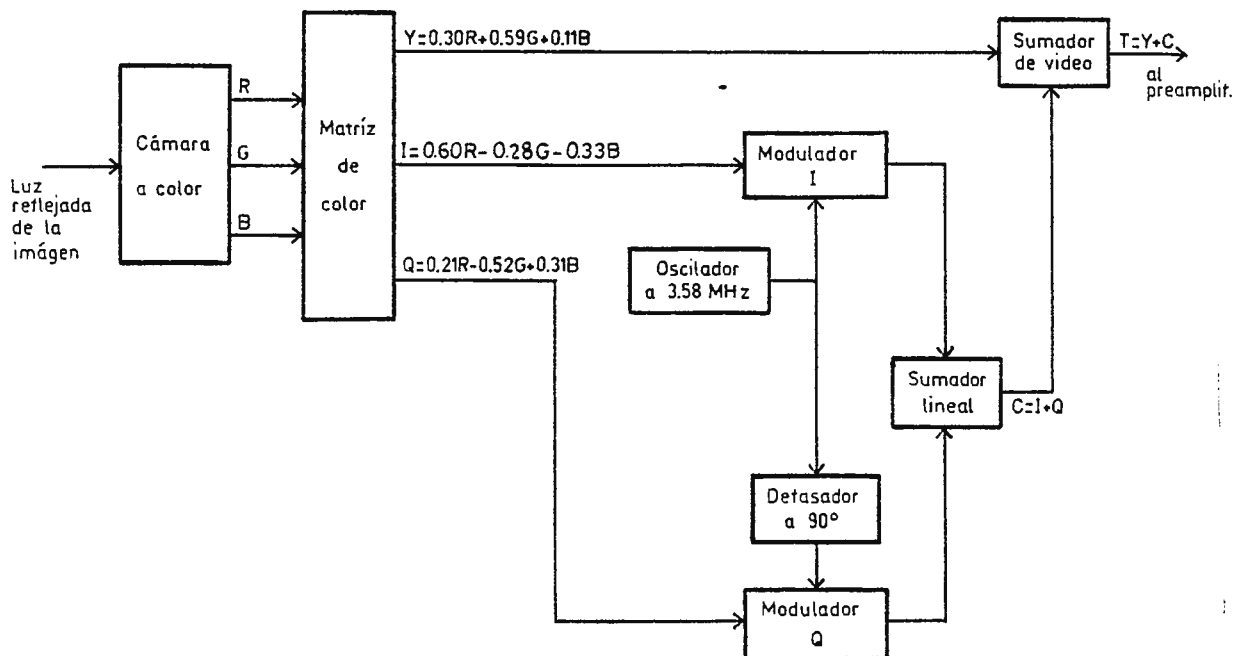


Figura 2-5.

Diagrama de un codificador de color.

2.2 SEÑAL DE VIDEO COMPUESTA

Compuesta significa hecha de diferentes partes. La señal de video compuesta consta de las siguientes partes separadas:

- Señal de luminancia
- Señal de crominancia
- Pulsos de sincronización
- Pulsos de eliminación del trazo.

Las cuatro partes se combinan de una manera tal que forman la señal compuesta de la TV a color, mientras que la señal compuesta de la TV monocromática no contiene la señal de crominancia (I y $Q = 0$).

El proceso de integración de la información de imagen (Luminancia y Crominancia) a la señal compuesta se lleva cabo por exploración. La Figura 2.6a muestra una secuencia de exploración, en ésta la imagen se explora en series secuenciales de líneas horizontales, una bajo la otra. Cuando el rayo de electrones golpea la parte de atrás del pixel, se produce una señal cuya amplitud es proporcional a la intensidad de la luz que choca con en la parte frontal del pixel.

La Figura 2-6a muestra el rayo explorador comenzando la porción activa de la exploración en la esquina superior izquierda y moviéndose diagonalmente hacia la derecha (línea A-B), éste es el tiempo en el que la imagen es convertida a señales eléctricas (llamado porción activa). Una vez que el rayo ha alcanzado el lado derecho de la superficie fotosensitiva, éste inmediatamente regresa o "retraza" al lado izquierdo (punto c). El tiempo de retorno es llamado "tiempo de retrazo". Cuando el rayo de electrones ha alcanzado la porción derecha más baja de la superficie fotosensitiva (punto z), el rayo regresa arriba a la izquierda (punto a) y la secuencia se repite. El tiempo de retorno es llamado "tiempo de retrazo vertical". (y dura entre 833 y 1333 μ s). Las porciones activa y de retrazo constituyen una línea horizontal. El número de estas líneas depende del detalle que se desea. (en la Tabla 2-5 se ve el número de líneas estándar para cada formato).

En los Estados Unidos (según el formato de la NTSC), una imagen o cuadro se constituye de 525 líneas horizontales. Este cuadro se divide en 2 campos de 262.5 líneas horizontales cada uno. Esta técnica es llamada "exploración intercalada" y con ella se logra tener una mayor razón de exploración y así evitar producir una notable fluctuación en la imagen.

Los siguientes son algunos parámetros correspondientes a la señal de video compuesta:

a) El período necesario para explorar un campo es de 1/60 s, es decir cada campo se explora verticalmente a una razón de 60Hz.

b) La segunda exploración cubre las líneas que no se exploran en el primer período (ver Figura 2-6b).

c) Se requiere de 1/30 s para explorar todas las líneas de una imagen completa (una razón de 30Hz).

d) Para explorar 525 líneas horizontales en 1/30 s se requiere de una frecuencia FH = 15,750 Hz ($30 \times 525 = 15750$ Hz) por

tanto el tiempo de exploración de cada línea es $1/15,750 = 63 \mu s$. Para transmisión a color no es exactamente 15,750 Hz sino 15,734.26 Hz.

e) Es de considerarse que alrededor del 16% de los $63.5 \mu s$ se consumen en el retrazo y la sincronización. Por tanto sólo cerca de $53,3 \mu s$ se dejan por línea de imagen para transmitir información.

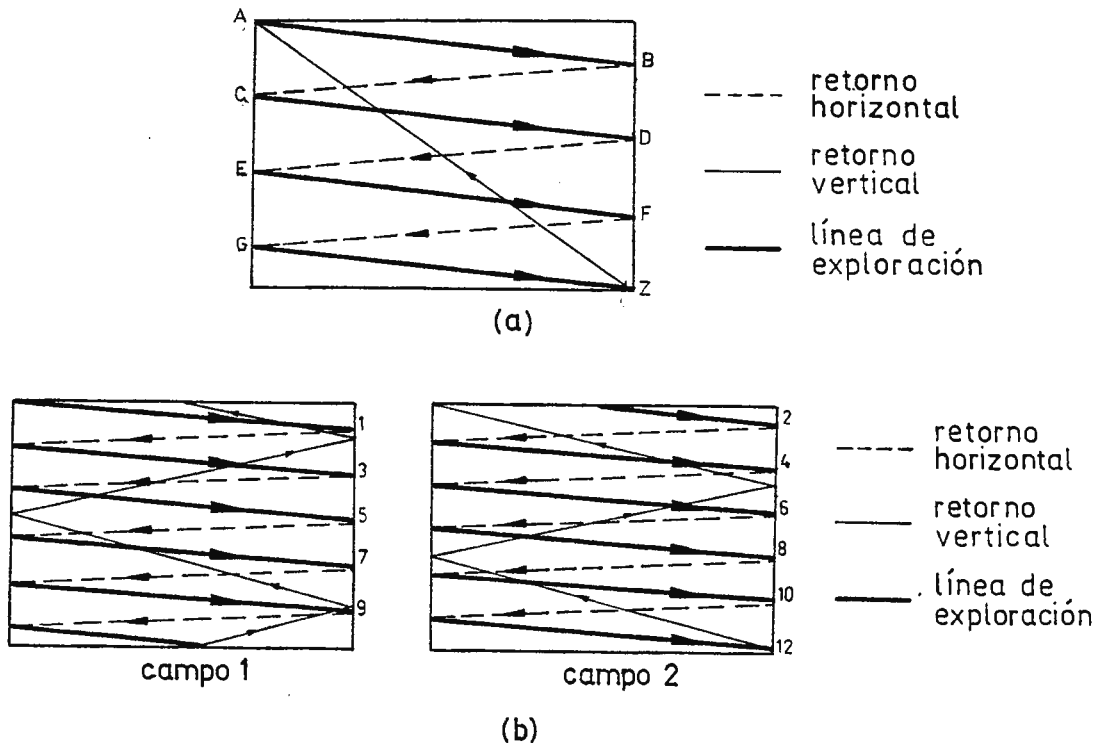


Figura 2-6

a) Secuencia de exploración; b) Exploración intercalada.

La Figura 2-7a muestra una forma de onda ideal de corriente de una exploración horizontal.

La pendiente positiva de la diente de sierra mueve el rayo de izquierda a derecha. la pendiente negativa de la onda produce un campo magnético con polaridad opuesta ; así éste hala el rayo de regreso hacia el lado izquierdo. Este es el tiempo de retrazo.

la Figura 2-7b muestra la forma de onda de la exploración vertical. Cada ciclo vertical corresponde a una exploración vertical completa y al tiempo de retraso vertical, de esta manera la frecuencia de la diente de sierra vertical es 60Hz (para NTSC). La Figura 2-7c muestra los patrones de exploración intercalados del primero y segundo campo de el sistema patrón de Norte América. Las formas de onda de exploración vertical se muestran también superimpuestas sobre las formas de onda horizontal.

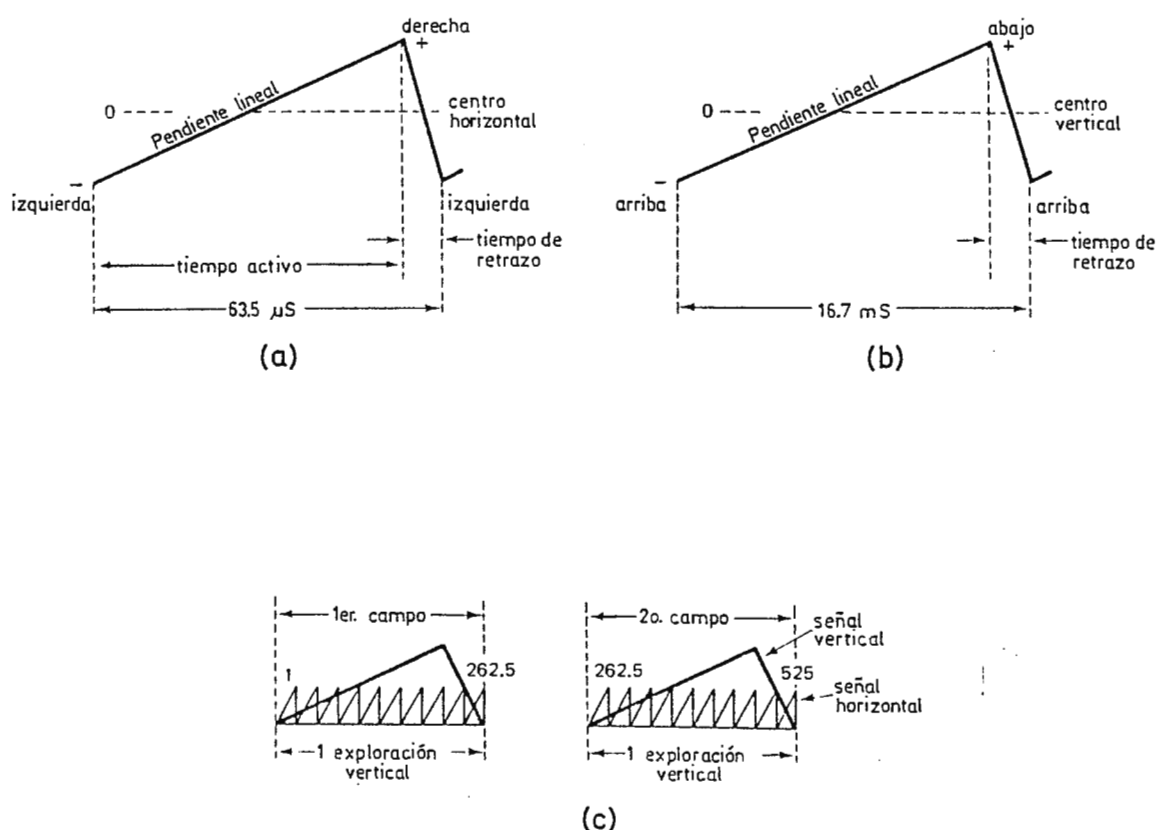


Figura 2-7

Señal de exploración: a) Horizontal. b) Vertical.
c) Intercalada.

2.2.1 SEÑAL DE LUMINANCIA

La señal de luminancia es la información de imagen o señal de video. Esta señal se origina en la cámara y su amplitud varía proporcionalmente a la intensidad (brillantez) de la imagen. Existe transmisión negativa y positiva, en la primera las amplitudes más bajas corresponden a las partes más blancas de la imagen y las amplitudes altas corresponden a las más oscuras; lo contrario sucede en la transmisión positiva.

En la TV a color la señal de luminancia se obtiene de la combinación en proporciones específicas de las señales de video "R", "G" y "B" y corresponde a la señal de luminancia monocromática. En la Tabla 2-2 se muestran las proporciones de estas señales de video para la formación de "Y". Se muestra también la expresión matemática para "Y".

Los porcentajes mostrados en la Ec. 2.1 corresponden a la brillantez relativa de los tres colores primarios. Consecuentemente una escena reproducida en blanco y negro por la señal "Y" tiene exactamente la misma brillantez como la imagen original.

Tabla 2-2. Proporciones de las señales de video R, G y B para la formación de Y, I y Q y su expresión matemática.

	R	G	B	De donde matemáticamente se expresa:	Nº de Ec.
Y	30%	59%	11%	$Y = 0.30R + 0.59G + 0.11B$	2.1
I	50%	29% (señal invertida)	32% (señal invertida)	$I = 0.50R - 0.29G - 0.32B$	2.2
Q	21%	52% (señal invertida)	31%	$Q = 0.21R - 0.52G + 0.31B$	2.3

La Tabla 2-3a muestra el valor de los anchos de banda de transmisión para las señales "Y", "I" y "Q". La mayoría de los receptores limitan la banda de "Y" para minimizar la interferencia con la señal de color 3.58 MHz y también limitan las bandas de "I" y "Q" a los valores que se muestran en la Tabla 2-3b.

Tabla 2-3. a) Anchos de banda de transmisión de las señales Y, I y Q.
b) Anchos de banda de Y, I y Q limitados en el receptor.

	Y	I	Q
(a)	0-4 MHz	1.5MHz	0.5MHz
(b)	3.2MHz	0.5MHz	0.5MHz

2.2.2 SEÑAL DE CROMINANCIA

La crominancia o señal "C" es una combinación de las señales de color "I" y "Q". La "I" o señal de color en fase se produce por la combinación de las señales de video "R", "G" y "B" en las proporciones mostradas en la Tabla 2-2, las proporciones para la formación de la señal "Q" o señal de color en cuadratura también se muestran en la misma tabla.

Las señales "I" y "Q" se combinan para producir la señal "C", y ya que "I" y "Q" están desfasadas 90° , la señal "C" es el fasor suma de los dos ($C = \text{SQR}(I^2 + Q^2)$), de esta manera la amplitud y fase de la señal "C" depende de las amplitudes de las señales "I" y "Q", las cuales a la vez son proporcionales a "R", "G" y "B". La Figura 2-8 muestra la rueda de color para la transmisión de televisión. Las señales (R - Y) y (B - Y) se usan en la mayoría de los receptores para demodular las señales de video "R", "G" y "B"; la señal "C" reproduce los colores proporcionalmente a las amplitudes de las señales "I" y "Q". El tinte (tono del color) es determinado por la fase de la señal "C", y la intensidad o saturación es proporcional a la magnitud. La orilla del círculo corresponde a un valor relativo de 1.

2.2.3 PULSOS DE SINCRONIZACION

Para lograr reproducir la imagen original, las velocidades de exploración horizontal y vertical en el receptor deben ser

iguales a las de la cámara. Además el tiempo con el que empiezan y terminan las líneas de exploración en la cámara debe sincronizarse con el receptor. Por esta razón es que se añade a la señal de información en el transmisor, un pulso de sincronización horizontal de 15,750 Hz y uno de sincronización vertical de 60 Hz. Con estos pulsos se sincronizan los circuitos de exploración de el receptor.

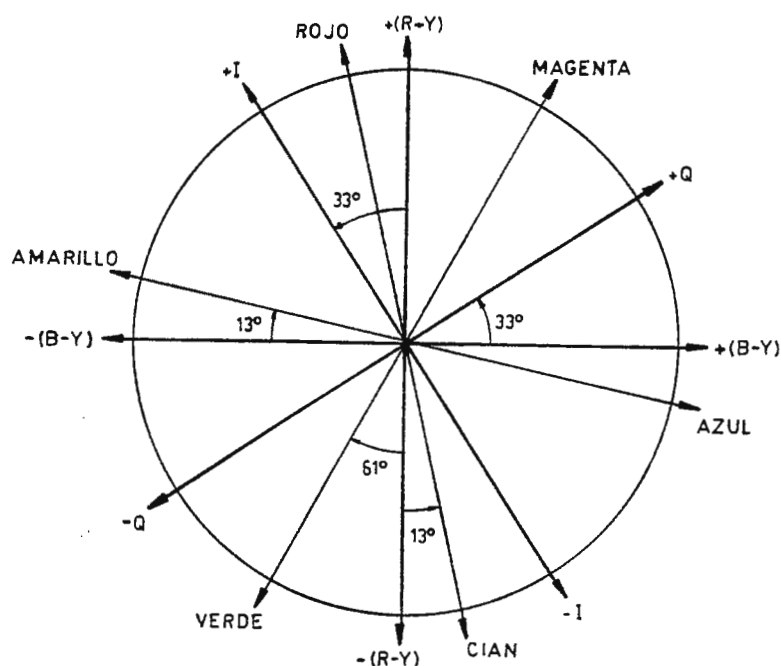


Figura 2-8.

Diagrama representativo de la relación de fases de las diferentes señales que componen la transmisión estándar de la televisión.

2.2.4 PULSOS DE ELIMINACION DEL TRAZO

Los pulsos de eliminación del trazo son señales de video con amplitud determinada que se añaden a la luminancia, crominancia y pulsos de sincronización para asegurar que el receptor esté

sin trazos (el rayo de electrones apagado) durante los tiempos de retrazo vertical y horizontal la Figura 2-9 muestra el intervalo de eliminación del trazo horizontal (o blanqueo horizontal). Los pulsos de eliminación del trazo son señales de video con amplitudes que no producen ninguna luminancia (brillantez) en el TRC (tubo de rayos catódicos).

2.3 RAFAGA DE COLOR

La fase de la subportadora de color de 3.58 MHz es la fase de referencia para la demodulación a color. Por tanto, la subportadora de color debe transmitirse junto con la señal compuesta de video de manera que un receptor puede reconstruir la subportadora con la misma frecuencia y referencia de fase y así detectar las señales "Q" e "I" de la señal recibida. Ocho o diez ciclos de la subportadora se insertan en el portal trasero de cada uno de los pulsos de eliminación del trazo horizontal. Esto es conocido como "ráfaga de color". En el receptor la ráfaga o subportadora de color se extrae y se usa para sincronizar un oscilador local a 3.58 MHz. La ráfaga de color se muestra en la Figura 2-9. La Figura 2-10 muestra el espectro de frecuencia de RF compuesto para la transmisión de televisión a color (NTSC).

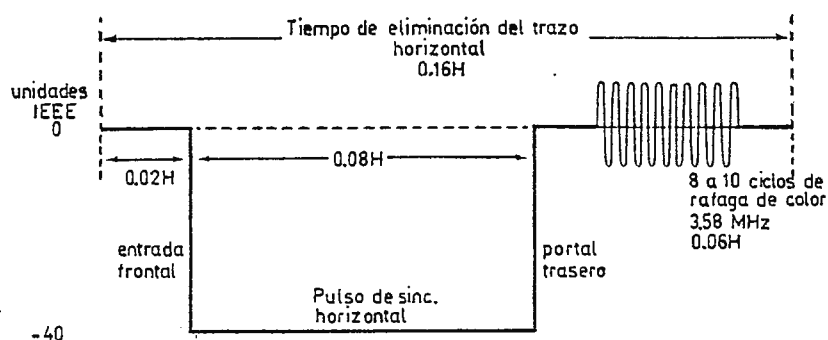


Figura 2-9.

Intervalo de eliminación del trazo horizontal y Ráfaga de color.

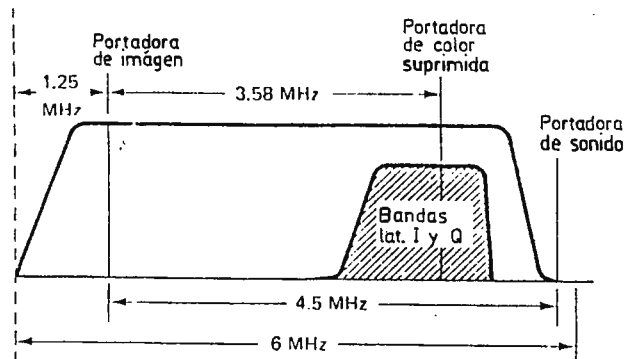


Figura 2-10.

Espectro de frecuencia de RF compuesta para transmisión de televisión a color (NTSC).

2.4 FORMA DE LA SEÑAL COMPUESTA

La Figura 2-11 muestra la señal de video compuesta para una línea horizontal de exploración, (63.5 μ s). (se muestra una señal con transmisión positiva).

El rango patrón de brillantez para la transmisión de TV es 160 IEEE unidades pico a pico. Las 160 unidades IEEE están generalmente normalizadas a 1 Vpp. El valor exacto de una unidad IEEE no es importante; lo que interesa es que el valor relativo de una señal de video en unidades IEEE determina su brillantez. Como se observa en la Tabla 2-4.

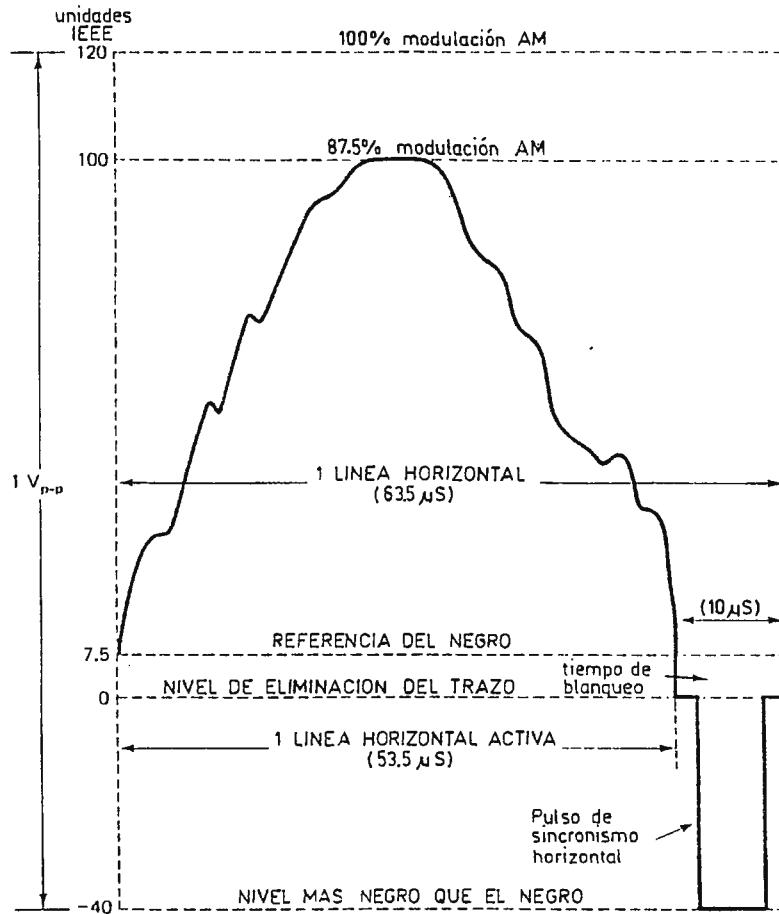


Figura 2-11

Señal de video para una línea de trazo y sincronismo horizontal.

La Figura 2-12 muestra la señal compuesta para el primer campo, donde se tiene que:

- $1V = 1/60s$ ó $16.7ms$ es el tiempo aproximado para explorar 262.5 líneas horizontales.

- El ancho del pulso de eliminación del trazo vertical tiene una duración entre 833 y $1333\mu s$ es decir, ocupa el tiempo de 13 a 21 líneas horizontales.

- Por tanto la parte activa en realidad explora de 241.5 a 249.5 líneas horizontales.

Tabla 2-4. Niveles de brillantez en unidades IEEE.

Nivel de brillantez.	Unidades IEEE
Máxima brillantez (blanco puro).	120
Nivel de referencia del negro (comienzo de la no brillantez).	7.5
Nivel de pulsos de eliminación del trazo (no produce brillantez, se encuentra abajo del nivel del negro).	0
Pulso de sincronía (no produce brillantez, se encuentra abajo del nivel del negro).	0 - (-40)

La Figura 2-9 muestra el tiempo de eliminación del trazo (blanqueo) para una línea horizontal de exploración, donde se tiene que:

- El tiempo total para eliminación del trazo es aproximadamente $0.16H$ (donde $1H = 1/15,750 = 63.5\mu s$) ó de 9.5 a $11.5\mu s$.

- Por tanto el tiempo activo (visible) para una línea horizontal es aproximadamente $0.84H$ ó de 52 a 54 s.

- Al tiempo entre el principio del pulso de eliminación del trazo y el primer extremo del pulso de sincronía se le llama "entrada frontal" y es de aproximadamente $0.02H$.

- El tiempo entre el extremo final del pulso de sincronía y el final del tiempo de eliminación del trazo se le llama "portal trasero" y es de aproximadamente $0.06H$.

La Figura 2-13 muestra el pulso de eliminación del trazo vertical para una señal con transmisión negativa. cada pulso de eliminación del trazo vertical comienza con seis pulsos de uniformación, un pulso de sincronía vertical y seis pulsos más de uniformación. Los pulsos de uniformación aseguran una

transición suave y sincronizada entre el primero y segundo campo. La frecuencia de éstos es 31.5 KHz (2×15.750 Hz).

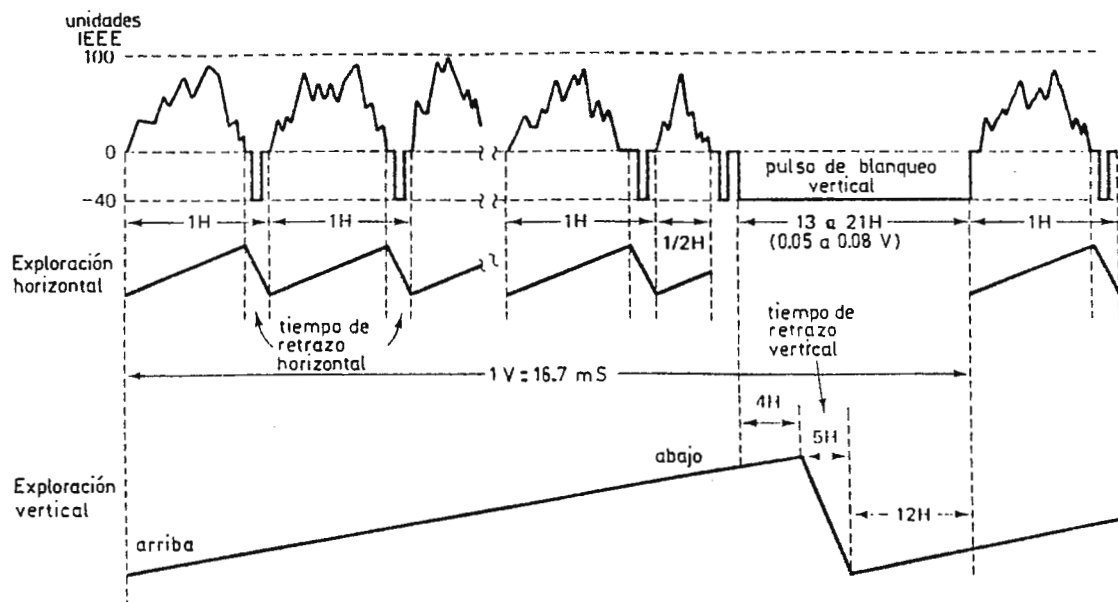


Figura 2-12.

Señal de video compuesta para el primer campo.

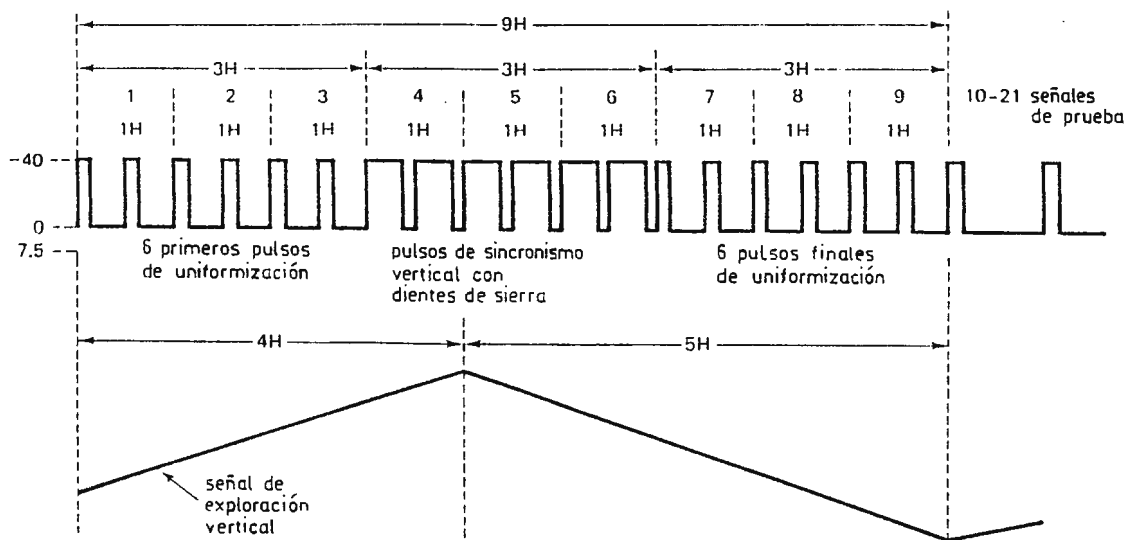


Figura 2-13

Pulso de eliminación del trazo vertical.

2.4.1 FRECUENCIAS DE EXPLORACION PARA TRANSMISION A COLOR

La frecuencia de exploración horizontal para los receptores a color no es exactamente 15,750 Hz sino es 15,734.26 Hz. El valor exacto de la razón de exploración vertical (F_v) es:

$$F_v = \frac{15,734.26}{2625} = 5994 \text{ Hz} \quad (\text{Ec.2.4})$$

La frecuencia de la subportadora de color (S_c) se ha escogido como la 455ava armónica de la mitad de la nueva frecuencia (15,734.26). Por tanto se tiene:

$$S_c = \frac{15,734.26}{2} \times 455 = 3579545 \text{ MHz} \quad (\text{Ec.2.5})$$

Con esta frecuencia 3.579545 MHz (en lugar de 3.58 MHz) se logra la inserción de la información de crominancia entre los espacios

que deja la información de luminancia (que se aglomera alrededor de los armónicos de la señal de exploración horizontal) (15,734 KHz).

2.5 ESTANDARES DE TRANSMISION DE TV A COLOR

En la transmisión a color existen tres estándares:

- NTSC National Television System Committee (América y Japón).
- PAL Phase Alternation Line (Europa).
- SECAM Sequential Color and Memory (Europa y otros países).

En la Tabla 2-5 se muestra las características de estos sistemas. Estos sistemas son similares en que ellos separan la información de luminancia y crominancia y transmiten la información de crominancia en la forma de dos señales de diferencia de color, las cuales modulan una subportadora de color transmitida dentro de la banda de la señal de luminancia. Los sistemas varían en el procesamiento de la información de crominancia. La Figura 2-14 muestra el formato de la composición de la información de TV según la NTSC.

Los esfuerzos para incrementar la calidad de la imagen están enfocados principalmente para que exista compatibilidad con los estándares de transmisión ya existentes. Uno de los formatos utilizados para el mejoramiento de la calidad de la imagen es el formato de televisión de alta definición (HDTV), el cual involucra incremento de resolución vertical, una razón de aspecto de imagen (la relación aspecto imagen significa las unidades de ancho por cada unidad de alto que tiene la imagen) ancha y sonido stereo.

En la Tabla 2-6 se muestra las características para varios estándares de este formato.

Tabla 2-5. Características de los estándares de los TV a color.

	NTSC	PAL	SECAM
Ancho de banda de transmisión (MHz).	6	7 u 8	8
Ancho de banda de video (MHz).	4.2	entre 5 y 6	6
Localización de:			
- La portadora de imagen.	1.25 MHz arriba del límite inferior del canal (30 Hz).	1.25 MHz arriba del límite inferior del canal	
- Subportadora de color (MHz).	3.58	4.43	4.43
Modulación:			
- Imagen.	Modulación AM para señal compuesta de video con transmisión de banda lateral residual.	En amplitud, con supresión de una banda lateral superior.	En amplitud se transmite sólo la banda lateral superior.
- Audio.	Modulación de FM con desviación de 25 KHz.	FM con desviación de 50KHz	FM con desviación de 50KHz AM (Francia).
Número de líneas de barrido:			
- Por cuadro.	525	625	625
- Entrelazado	2 : 1	2 : 1	2 : 1
Frecuencia de barrido horizontal (FH)	15750 Hz para monocrómico ó ((2/455)*subportadora cromática igual a 15734.264 para transmisión a color.	15625 Hz	15625 Hz
Frecuencia de barrido vertical (FV)	60 Hz para monocrómica ó 2/525*FH=59.94 Hz	50 Hz	50 Hz
Polaridad de transmisión.	NEGATIVA: Un decremento en la intensidad de la luz produce un incremento en la potencia radiada.	NEGATIVA	NEGATIVA Y POSITIVA (Francia).
Separación de frecuencia portadora de imagen y de sintonido.	Portadora de imagen inferior en 4.5 MHz a la portadora de sintonido.	Portadora de imagen inferior en 5.5 MHz a la portadora de sintonido.	Portadora de imagen inferior en 5.5 MHz a la portadora de sintonido.
Relación de aspecto de imagen. (ancho : alto)	4 : 3	4 : 3	4 : 3

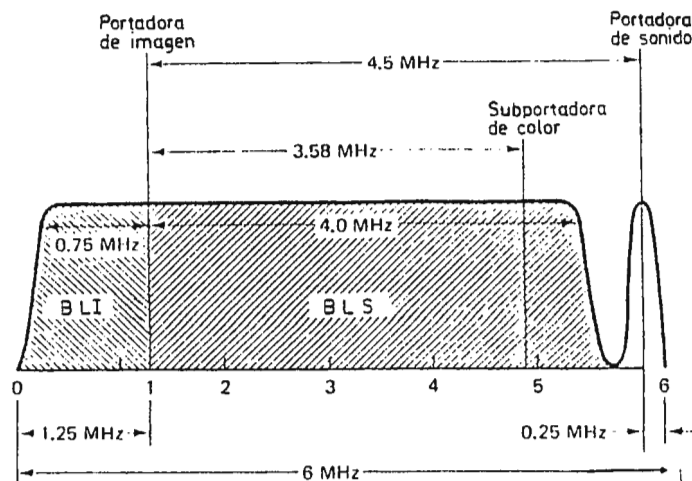


Figura 2-14

Formato de la composición de la información de TV según la NTSC.

Tabla 2-6. Características de algunos estándares del formato de HDTV.

CARACTERÍSTICAS	ATSC (U.S.)	NHK (Japón)	MUSE Desarrollado por la NHK.	Sistema semicompatible al HDTV de U.S.
Ancho de banda de video.	-	$\gamma = 20\text{MHz}$.	$\gamma = 8.1\text{MHz}$.	$\gamma = 15.1\text{MHz}$.
Nº de líneas de barrido horizontal.	1125	525 a 625	1125	1051
Relación de aspecto de imagen.	5.33:3	3:3	16:9	4.7:3
Entrelazado.	2:1		2:1	2:1
Frecuencia de barrido vertical.	60HZ		60HZ	

ATSC: Advanced Television Systems Committee.

NHK: Japanese Broadcasting Corporation.

MUSE: Multiple Sub-Nyquist Sampling Encoding.

2.6 TRANSMISION DE LA SEÑAL COMPUESTA DE VIDEO

2.6.1 TRANSMISION PUNTO A PUNTO

Un sistema punto a punto requiere como mínimo un transmisor en un extremo y un receptor en el otro. Cada uno debe tener sus propios transductores de señales: cámara, micrófono, pantalla y parlante. La Figura 2-15 muestra un ejemplo de este sistema (esta configuración es válida para la transmisión en un solo sentido como el caso de la transmisión comercial).

Para la transmisión analógica de video y audio en enlaces punto a punto se utiliza modulación en frecuencia (FM) para el video y modulación en amplitud (AM) o en frecuencia (FM) para el audio.

a) AM-FM: en este método, una subportadora de sonido es modulada en amplitud por una señal de sonido y es añadida a la señal de video. La subportadora de sonido es suficientemente mayor que la frecuencia de la señal de video, con este método, la señal de sonido es afectada seriamente por el ruido de interferencia de la señal de video.

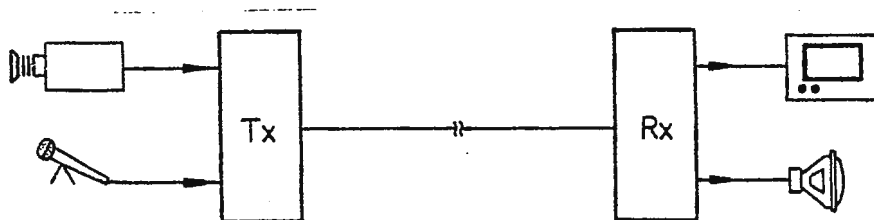


Figura 2-15

Configuración punto a punto para transmisión en un sólo sentido.

Si el sonido o nivel de la subportadora se aumenta para mejorar la relación señal ruido (RSR) del canal de sonido, el ruido de intermodulación deteriora la calidad de la imagen presentando líneas en ella.

b) FM-FM: en éste se usa en lugar de AM, FM para modular la subportadora de sonido. Con este método se mejora la RSR de la banda. El uso de doble FM es favorable para reducir el ruido de interferencia y el ruido termico en el canal de sonido.

2.6.2 TRANSMISION MULTIPUNTO

La radiodifusión es un ejemplo típico de transmisión multipunto, en ésta el video se modula en AM y el sonido en FM.

La portadora de imagen AM transmitida se muestra en la Figura 2-16 para modulación con polaridad negativa. La Figura tiene la forma de la señal de video compuesta, luminancia con crominancia, eliminación del trazo y señales de sincronía pueden identificarse fácilmente. La Tabla 2-7 muestra una comparación entre la transmisión con polaridad negativa y la positiva.

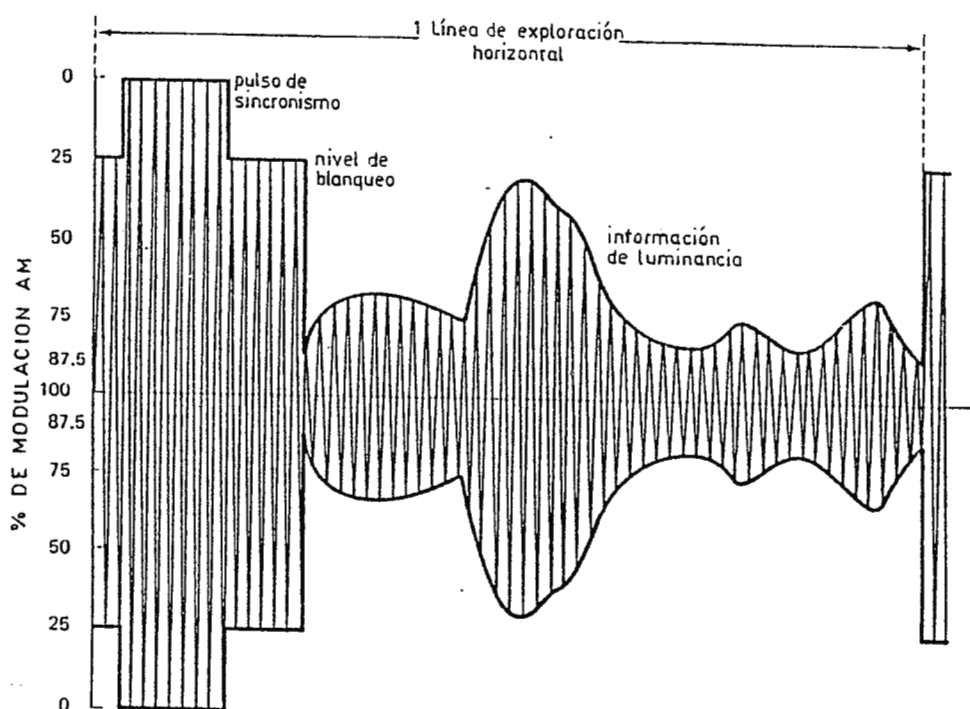


Figura 2-16

Señal de video de transmisión negativa en AM.

2.7 RECEPCION DE TV A COLOR

Un receptor de TV a color es en esencia el mismo receptor blanco y negro excepto por el tubo de imagen y los circuitos decodificadores adicionales. La Figura 2-17 muestra un diagrama

Tabla 2-7. Características de transmisión positiva y negativa.

CARACTERISTICAS	TRANSMISION POSITIVA	TRANSMISION NEGATIVA
Los pulsos de ruido en la portadora de RF incrementan la portadora.	Hacia el blanco	Hacia el negro
Efectos del ruido para la persona que ve la imagen.	El ruido es más molesto.	El ruido es menos molesto.
Ocurrencia de las imágenes brillantes respecto a las oscuras.	Mayor	Mayor
Potencia de transmisión	Usa más potencia	Usa menos potencia.

de bloques de un receptor de TV. El receptor puede separarse en 6 secciones principales: RF, FI, video, deflexión vertical y horizontal, sonido y decodificación de color.

2.7.1 SECCION DE RF

Los propósitos de la sección de radiofrecuencia (RF) son la selección de el canal (sintonización), el rechazo de la frecuencia imagen, aislar el oscilador de la antena (protegiendo la señal del oscilador local de la radiación), convertir las señales de RF a señales de FI, la amplificación y el acoplamiento de antena.

2.7.2 SECCION DE FI

La sección de frecuencia intermedia (FI) en un receptor de TV provee la mayor selectividad del receptor y la mayor ganancia. Esta sección consta generalmente de varios amplificadores sintonizados de alta ganancia en cascada. En receptores modernos, la sección de FI procesa ambas, la señal de FI de imagen y la de sonido. Tales receptores son llamados "receptores de interportadora". Los patrones de FIs usados en receptores de TV comercial son 45.75 MHz para la imagen y 41.25 MHz para el sonido las portadoras de FI están separadas por 4.5 MHz lo mismo que las portadoras de RF. Los amplificadores de FI usan filtros pasabanda sintonizados que limitan el ancho de banda de la señal y previenen la interferencia del canal adyacente y la interferencia de la propia señal de sonido del receptor.

2.7.3 SECCION DE VIDEO

La sección de video incluye un detector de video y una serie de amplificadores de video. El detector convierte las señales de FI de imagen a frecuencias de video y la primera FI de sonido a una segunda FI de sonido (las señales de FI de imagen y sonido .pn32 se mezclan en el detector de video y produce una señal diferente de 4.5 MHz, la cual es la segunda FI de sonido) La segunda frecuencia de sonido es alimentada a el receptor de FM, en donde se extrae la información de sonido y luego se alimenta a los audio amplificadores. La salida del detector de video es la señal compuesta la cual se alimenta a los amplificadores y luego

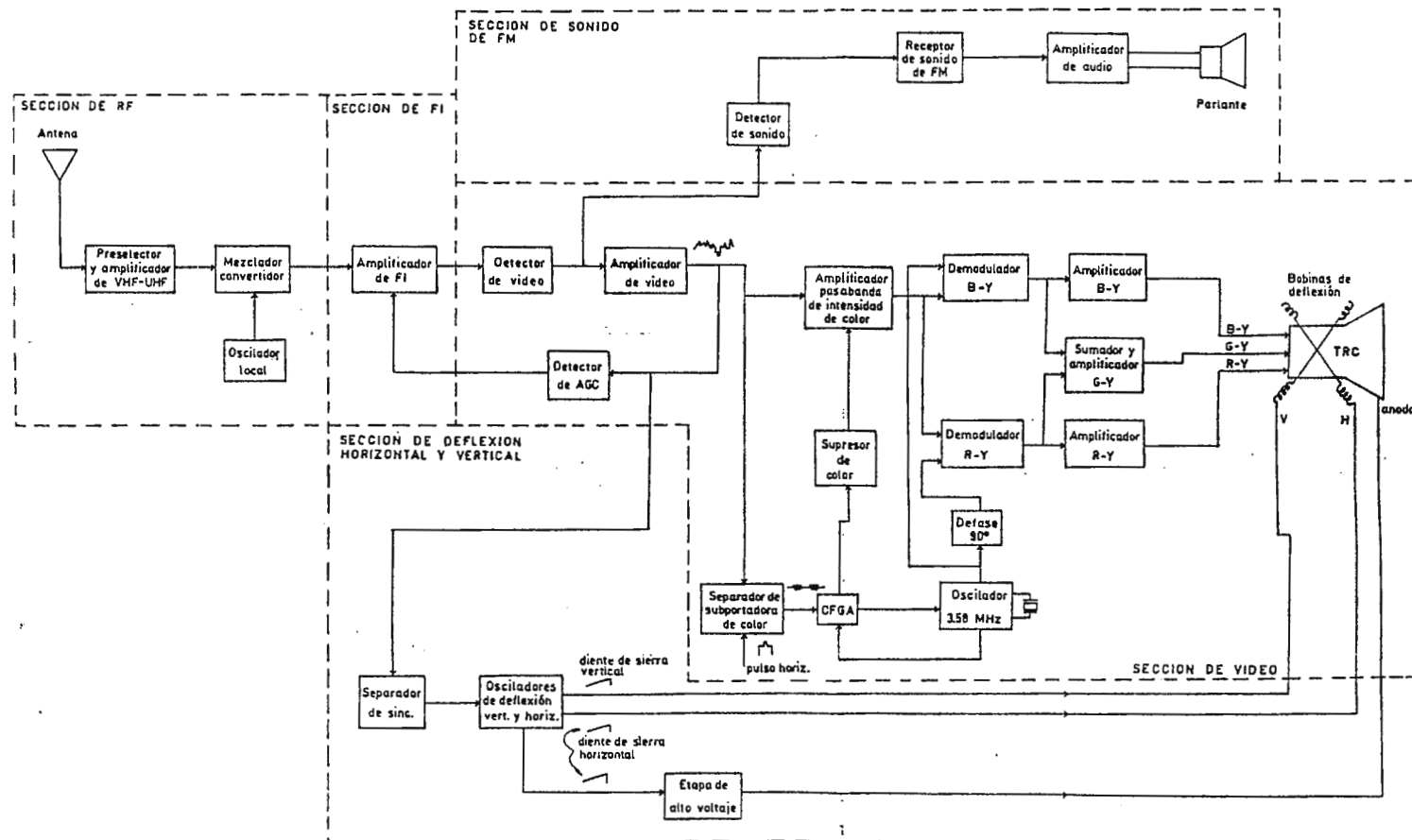


Figura 2-17

Diagrama a bloques de un receptor de TV a color.

al circuito decodificador de color donde la señal llega al amplificador pasabanda.

2.7.4 SECCION DE DEFLEXION HORIZONTAL Y VERTICAL

La sección de deflexión incluye un separador de pulsos de sincronía, osciladores de deflexión vertical y horizontal y una etapa de alto voltaje.

2.7.5 DECODIFICACION DE COLOR.

La señal de video compuesta es alimentada al amplificador pasabanda de intensidad de color, el cual es sintonizado a la subportadora 3.58 MHz y tiene un ancho de banda de 0.5 MHz. de esta manera solo la señal C se amplifica y pasa a los demoduladores (B-Y) y (R-Y). La ráfaga de color es separada del pulso de eliminación del trazo horizontal y haciendo uso del circuito de control de frecuencia y fase automático (CFGA) se reproduce la frecuencia y fase del oscilador de 3.58 MHz. El supresor de color cierra el amplificador de intensidad de color durante la recepción monocromática (para evitar la interferencia que resultarían si estas señales pasan a través de los circuitos pasabanda y demodulador de color). La señal "C" se demodula en los demoduladores (B-Y) y (R-Y) mezclándolos con la fase coherente de la subportadora de 3.58 MHz. Las señales (B-Y) y (R-Y) producen las señales de video "R" y "B" al combinarlas con la señal "Y" de la siguiente manera:

$$(B - Y) + Y = B$$

$$(R - Y) + Y = R$$

La señal de video "G" se reproduce combinando las señales (B-Y) y (R-Y) con sus propias proporciones.

2.8 PARAMETROS CRITICOS DE LA TRANSMISION DE VIDEO.

La transmisión de la banda base de video requiere excelente respuesta en frecuencia, particularmente de dc a 15 KHz y extendiéndose a 4.2 MHz para los sistemas de Norte América y 5 MHz para los sistemas europeos. Para evitar el deterioro de las

componentes de baja frecuencia los circuitos de cable para transmisión de video han recurrido al uso de técnicas de portadora e inversión de frecuencia usando modulación de banda lateral residual (VSB). Sin embargo, si se transmite la banda de base pura de video debe tenerse cuidado de preservar sus componentes de dc. Entre los parámetros críticos de video se tiene:

a) Nivel Estándar de Transmisión.

Los niveles estándar de potencia se han desarrollado de manera tal que sea estrictamente considerado el nivel de entrada a un receptor de televisión para tener una imagen libre de ruido.

La relación señal ruido para la transmisión de video normalmente se expresa como sigue:

$$\left[\frac{S}{N} \right]_{dB} = (S)_{dBmV} - (N)_{dBmV}$$

S = señal pico
N = ruido rms
(Ec.2.6)

La relación del grado o calidad de la imagen de acuerdo a la relación señal ruido se muestra en la Tabla 2-8.

Tabla 2-8. Grado de calidad de la imagen de acuerdo a la RSR.

CALIDAD	RSR (dB)
1- Excelente (hormigueo no perceptible)	45
2- Buena (hormigueo poco perceptible)	35
3- Aceptable (hormigueo definitivamente perceptible pero no objetable).	29
4- Marginal (hormigueo totalmente objetable).	25

b) Otros Parámetros

Para los sistemas de video existen cuatro parámetros de transmisión críticos:

1. Respuesta en amplitud/frecuencia.
2. Distorsión de fase.
3. Respuesta a transientes.
4. Ruido (térmico, de intermodulación, diafonía (crosstalk) e impulsivo).

La transmisión a color requiere la consideración de dos parámetros adicionales:

5. Ganancia diferencial.
6. Fase diferencial.

1. Respuesta en Amplitud/Frecuencia.

Este es otro de los parámetros críticos para la transmisión de video ya que su calidad se encuentra fuertemente influenciada por las características de respuesta en frecuencia del canal involucrado. La respuesta de amplitud/frecuencia es la variación con la frecuencia de la ganancia o pérdida de el canal o conductor. En video se requiere de una curva de respuesta plana, pues esto permite que la ganancia (o pérdida) relativa sea la misma para todas las frecuencias desde 30 Hz a 4 MHz y así evitar introducir distorsión en frecuencia; usualmente es necesario proveer buena transmisión para las frecuencias bajas alrededor de 100 Hz para abajo, pues no se tiene buena respuesta en frecuencia en esta zona, lo mismo sucede para las frecuencias altas desde 1 MHz hacia arriba. La respuesta en frecuencia en el video en el rango central es normalmente plana y no requiere compensación.

Los efectos que se tienen en la señal de video con la pérdida de las señales de alta o baja frecuencia como resultado de no tener una curva de respuesta plana son:

a) En la escena de TV, la pérdida de la información de alta frecuencia es evidente al reducirse el detalle. La imagen no aparece bien delineada y clara. Los pequeños detalles de la información, tales como el cabello, las pestañas y detalles del ojo de las personas no son reproducidos.

b) Las frecuencias bajas de video desde aproximadamente 100 Hz hacia abajo a 30 Hz representan las principales partes de la información de la imagen, pues representan la luminancia de la

escena, sin éstas las imágenes no se ven sólidas sino débiles, se ven opacas u oscuras (contraste pobre).

2. Distorsión de Fase.

Consiste en retardos de fase en la señal de video. Estos retardos resultan de las características no lineales de entrada/salida de los canales donde es transmitido. El efecto de la distorsión de fase es retardo de tiempo (a la señal le toma un tiempo finito pasar a través del medio de transmisión). Este tiempo (retención) es función de la velocidad de propagación y la velocidad de propagación tiende a variar con la frecuencia. La distorsión de fase es importante a las frecuencias bajas de video, porque un pequeño "retardo de fase" es equivalente a un gran "tiempo de retardo" y si existe un gran retardo la señal de video puede tener el efecto de desplazamiento de la información de la imagen en la pantalla lo cual provoca manchas en la pantalla. Para las frecuencias altas de video, los efectos de la distorsión de fase no son evidentes en la pantalla (si se dispone de una etapa amplificadora con respuesta en frecuencia plana para las altas frecuencias).

3. Respuesta a Transientes.

La respuesta a transientes es la habilidad de un sistema de seguir repentinamente los cambios impulsivos de la forma de onda de una señal. Usualmente se dice que si las características de respuesta en amplitud-frecuencia y distorsión de fase se mantienen dentro de los límites de diseño, la respuesta a transientes será buena.

4. Ruido.

El ruido en su más amplia definición, consiste de cualquier señal no deseada en un circuito de comunicación. El ruido es el factor más limitante en un sistema de comunicación. El ruido puede dividirse en cuatro categorías:

- a) Ruido térmico (ruido Johnson).
- b) Ruido de intermodulación.
- c) Diafonía (crosstalk).
- d) Ruido impulsivo.

a) Ruido Térmico.

El ruido térmico es el que se da en todo medio de transmisión y todo equipo de comunicación como resultado de el movimiento aleatorio de electrones.

El ruido térmico es el factor que fija el límite más bajo para la sensibilidad en un sistema de recepción. Este ruido es directamente proporcional al ancho de banda y a la temperatura.

La cantidad de ruido para un sistema de banda limitada puede determinarse por la siguiente expresión:

$$P_n = -228.6 \text{ dBW} + 10 \log T + 10 \log B \quad (\text{Ec.2.7})$$

P_n = ruido térmico.

T = temperatura absoluta (°K) del ruido térmico.

B = ancho de banda.

Cuando el ruido tiene suficiente amplitud, puede aparecer en la imagen como finos puntos en rápido movimiento aleatorio, esto generalmente se conoce como "hormigueo". Este ruido es más molesto a frecuencias bajas que a las altas.

b) Ruido de Intermodulación.

El ruido de intermodulación es el resultado de la presencia de frecuencias erróneas que pueden derivarse de los armónicos de las señales en cuestión así como también de productos entre los armónicos. La principal causa de el ruido de intermodulación es el funcionamiento no lineal de un equipo (debido a un nivel de entrada demasiado alto, mal funcionamiento que produzca la no linealidad, etc.). Este es otro tipo de ruido aleatorio por lo que los efectos que causa este ruido son similares a los del ruido térmico.

c) Diafonía (crosstalk).

La interferencia entre canales se refiere al acoplamiento no deseado entre dos señales (de un canal de comunicación o circuito causado por las señales presentes en otros canales), las causas de esta interferencia son:

- Conexión eléctrica entre los medios de transmisión.
- Poco control de la respuesta en frecuencia.
- La no linealidad en los sistemas de multiplexación analógicos.

La señal que interfiere puede superponerse sobre la imagen deseada. El efecto más notable es una barra vertical producida por la eliminación del trazo horizontal. Esta se mueve de un lado a otro debido a la pequeña diferencia entre la fase horizontal de las dos señales. Este efecto es conocido como "wind shield- wiper".

d) Ruido impulsivo.

Este tipo de ruido no es continuo, consiste de pulsos irregulares de picos de ruido de corta duración y relativamente alta amplitud. A menudo a estos picos se les llama "hits". El ruido impulsivo puede afectar los pulsos de Sinc, provocando pérdida de sincronización.

5) Ganancia Diferencial.

La ganancia diferencial es la variación en la ganancia de un sistema de transmisión a medida que el nivel de la señal de video varía (ej. como cuando se va del negro al blanco).

Los efectos de una excesiva ganancia diferencial en un sistema de transmisión a color es que causa variaciones indeseables en la saturación de los colores reproducidos. Las variaciones son función de la amplitud de la señal de luminancia.

El parámetro para la ganancia diferencial el cual puede producir cambios indeseables en la saturación del color es 1.4dB.

6) Fase Diferencial.

Es cualquier variación en fase de la subportadora de color como resultado de un cambio en el nivel de luminancia. Idealmente esto no debe suceder. Esto también produce modulación cruzada, a menudo se da una modulación de el canal de sonido por algún elemento del canal de imagen.

El parámetro para la fase diferencial el cual puede producir cambios en el tinte es 5°.

CAPITULO III

FUNDAMENTOS DE TELEVISION DIGITAL

Las dos formas de señales digitales comunmente utilizadas en electrónica son señales analógicas y digitales, las primeras son señales continuas en espacio y/o tiempo, y la segunda, usualmente es una secuencia binaria. Las señales de entrada y salida de los sistemas de video (en la cámara y el receptor) son inherentemente analógicas. Así, la pregunta porque digital? para video, puede ser contestada en una forma bastante breve con las siguientes consideraciones técnicas:

- Mientras degradaciones en la señal analógica (como razón señal-ruido, diafonía, distorsión) son acumulativas y difíciles de distinguir de la señal de video (difícil de eliminar) la habilidad para regenerar un tren de pulsos digitales exactamente, hace que la señal digital sea teóricamente inmune a defectos causados en el procesamiento o transmisión de señales.
- Varias corrientes de bits digital pueden ser manejados internamente; por ejemplo: multiplexadas en el tiempo. Este proceso podría permitir la transmisión, almacenamiento o procesamiento de señales subordinadas asociadas al video.
- Almacenar, demorar o manipular señales es más fácil en sistemas digitales que analógicos.
- La integración de una computadora digital al ambiente de la TV como un importante controlador es más fácil en el formato digital.
- Canales caracterizados por el ancho de banda y ruido pueden ser más efectivamente utilizados si se suprimen los pixeles redundantes y este proceso de compresión es más efectivo en el dominio digital.

En este capítulo se hará una descripción de cada una de las etapas básicas en el proceso de digitalización de las señales de video (muestreo, cuantización, codificación), observese en la

Figura 3-1 un diagrama a bloques básico del proceso de digitalización o conversión analógica/digital.

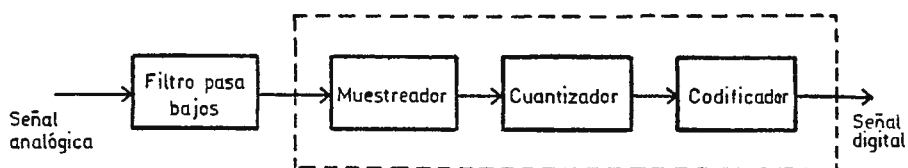


Figura 3-1

Convertidor analógico/digital básico.

Inicialmente nos introduciremos de manera general a un breve estudio de los tipos de digitalizadores utilizados, revisando luego el procesamiento o digitalización de una imagen para visualizar mejor las técnicas de video, finalizando con los métodos de transmisión digital.

3.1 DIGITALIZADORES

Estos son generalmente los dispositivos de entrada en un sistema de procesamiento digital de imágenes, su función es convertir una imagen en una representación numérica que sea apropiada, para luego ser manipulada por una computadora digital.

Entre los dispositivos más comúnmente usados están:

- Los microdensitómetros.
- Los flying spot scanners.
- Disectores de imagen.
- Cámaras vidicon.
- Arreglos de estado sólido fotosensitivos.

Los primeros dos dispositivos requieren que la imagen sea digitalizada en forma de transparencia o fotografía.

En el caso de los microdensitómetros la transparencia o fotografía es montada sobre una placa. La exploración es llevada

a cabo enfocando un rayo de luz en la imagen y trasladando la placa en relación al rayo. En el caso de transparencias el rayo pasa a través del film, en fotografías es reflejado de la superficie de la imagen. En ambos casos el rayo es enfocado sobre un fotodetector y los niveles de luminancia en cualquier punto de la imagen son posteriormente registrados, basados en la intensidad del rayo.

Los "flying spot scanners" también operan con el principio de enfocar una fuente de luz sobre dispositivos fotodetectores. La diferencia en este caso es que no es la imagen la que se mueve para ser explorada, sino, el rayo de luz, siguiendo el principio de un TRC (tubo de rayos catódicos).

En los disectores de imagen y cámaras vidicon la imagen es enfocada directamente sobre la superficie de un tubo fotosensitivo cuya respuesta es igual al patrón de luz incidente. La operación de los disectores está basada en el principio de emisión electrónica, donde la imagen incidente sobre la superficie produce un rayo de electrones, que al atravesarla toma exactamente la forma geométrica de la superficie del tubo; esto es debido a que dicho rayo es deflectado por los electromagnetos recolectando finalmente la imagen.

La operación de las cámaras vidicon esta basada en el principio de la fotoconductividad. La imagen es enfocada en la superficie del tubo produciendo una variación en la conductividad del mismo, provocando la distribución de los niveles de brillantez. Finalmente el rayo de electrones enfocado explora el fondo de la superficie fotoconductiva, y por neutralización de carga, este rayo crea diferencias de potencial que producen sobre un colector una señal proporcional a la entrada de brillantez. Una imagen digital es obtenida por cuantización de esta señal, según sea la posición correspondiente del rayo explorador.

Los arreglos de estado sólido estan compuesto por elementos de imagen discretos de silicon llamados fotositos, los cuales tienen un voltaje de salida proporcional a la intensidad de luz incidente. Existen dos tipos de arreglos para estos elementos:

- a) Sensores de exploración lineal.
- b) Sensores de área.

El primero consiste en una fila de fotositos y produce una imagen bidimensional obtenida del movimiento relativo entre el paisaje y el detector. El segundo esta compuesto de una matriz de fotositos y es capaz de capturar una imagen en la misma forma que el tubo vidicon.

3.2 PROCESAMIENTO DE IMAGEN. FUNDAMENTOS DE IMAGEN DIGITAL

Antes de introducirse al tema de video digital, es necesario hacer un pequeño estudio previo sobre lo que es una imagen digital, su muestreo y su cuantización uniforme y no uniforme.

Inicialmente es necesario aclarar que el término imagen se refiere a una función bidimensional de intensidad de luz, denotada por $f(x,y)$ donde el valor de amplitud de "f" en coordenadas espaciales da la intensidad (brillantez) de la imagen en un punto; esta función no debe tomar el valor de cero y además debe ser finita:

$$0 < f(x,y) < \infty \quad (\text{Ec. 3.1})$$

Las imágenes percibidas normalmente son de luz reflejada de los objetos. La naturaleza básica de la función "f" está caracterizada por dos componentes, una es la cantidad de luz incidente sobre la escena, mientras la otra la cantidad de luz reflejada por el objeto en la escena. Estas componentes son llamadas: componentes de iluminación y reflexión (o coeficiente de reflexión) y son representados por $i(x,y)$ y $r(x,y)$ respectivamente. Ambas funciones combinadas como un producto forman la función $f(x,y)$:

$$(\text{Ec. 3.2})$$

$$\begin{aligned} \text{donde:} \quad & f(x,y) = i(x,y) r(x,y) \\ & 0 < i(x,y) < \infty \\ & 0 < r(x,y) < 1 \end{aligned}$$

Por tanto, para el factor reflexión se tiene que "0" es absorción total y "1" es reflexión total. Quiere decir, que la naturaleza de $i(x,y)$ es determinada por la fuente de luz, mientras $r(x,y)$ es determinada por las características de los objetos en escena.

A través de este estudio, la intensidad de una imagen monocromática "f" en coordenadas (x,y) será llamada nivel de gris (l) de la imagen en ese punto; el intervalo de valores de "l" es:

El intervalo [Lmin,Lmax] es llamado la escala de gris. En la práctica es común desplazar numéricamente este intervalo al intervalo [0,L], donde l=0 es considerado negro y l=L es considerado blanco. Todos los valores son formas de variaciones continuas de gris, desde negro y blanco.

3.2.1 MUESTREO Y CUANTIZACION

3.2.1.1 MUESTREO Y CUANTIZACION UNIFORME

El proceso de digitalización de una imagen como otro tipo de señales, esta formada por dos etapas ya conocidas, muestreo y cuantización. Dicho proceso de digitalización de la imagen f(x,y) se realiza en el espacio y en la amplitud. La etapa de digitalización de coordenadas espaciales será llamada etapa de muestreo, mientras que la digitalización en la amplitud es la etapa de cuantización de niveles de gris.

El muestreo uniforme se realiza tomando las muestras de una imagen a espacios aproximadamente iguales, matemáticamente esto es comparado con un arreglo matricial cuadrado NxN como se muestra en la siguiente ecuación donde cada elemento del arreglo es una cantidad discreta:

$$f(x, y) \approx \begin{bmatrix} f(0,0) & f(0,1) & \cdots & f(0,N-1) \\ f(1,0) & f(1,1) & \cdots & f(1,N-1) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ f(N-1,0) & f(N-1,1) & \cdots & f(N-1,N-1) \end{bmatrix} \quad (\text{Ec. 3.3})$$

y es llamado "elemento de imagen o pixel"; desde el punto de vista práctico esto es visto como una matriz de puntos.

Para el proceso de digitalización es necesario dar valores a N dando en realidad un valor discreto de nivel de gris para cada pixel. Estos valores son potencias enteras de dos:

$$N = 2^n \quad (\text{Ec. 3.4})$$

$$y \quad G = 2^m \quad (\text{Ec. 3.5})$$

donde G es el número de niveles de gris.

Haciendo de las dos ecuaciones anteriores el número "b" de bits requeridos para digitalizar una imagen es dada por:

$$b = N \times N \times m \quad (\text{Ec. 3.6})$$

Por ejemplo una imagen de 128×128 ($N = 128$) con 64 niveles de gris ($m = 6$) requiere de 98304 bits de almacenamiento.

En la Tabla 3-1 se muestran los valores de "b" para varios rangos típicos de N y m , mientras la Tabla 3-2 muestra el número mínimo correspondiente de 8 bits (1 byte) para almacenar un pixel.

Tabla 3-1. Número de bits almacenados para varios valores de N y m .

N	m	1	2	3	4	5	6	7	8
32		1,024	2,048	3,072	4,096	5,120	6,144	7,168	8,192
64		4,096	8,192	12,288	16,384	20,480	24,576	28,672	32,768
128		16,384	32,768	49,152	65,536	81,920	98,304	114,688	131,072
256		65,536	131,072	196,608	262,144	327,680	393,216	458,752	524,288
512		262,144	524,288	786,432	1,048,576	1,310,720	1,572,864	1,835,008	2,097,152

Tabla 3-2. Número de 8 bits (bytes) almacenados para varios valores de N y m .

N	m	1	2	3	4	5	6	7	8
32		128	256	512	512	1,024	1,024	1,024	1,024
64		512	1,024	2,048	2,048	4,096	4,096	4,096	4,096
128		2,048	4,096	8,192	8,192	16,384	16,384	16,384	16,384
256		8,192	16,384	32,768	32,768	65,536	65,536	65,536	65,536
512		32,768	65,536	131,072	131,072	262,144	262,144	262,144	262,144

Es aquí donde surge la pregunta -¿Cuántas muestras y niveles de gris son requeridos para una buena aproximación de la imagen?; esto se refiere a la resolución que debe tener una imagen (el grado de distinción de los detalles). Por tanto la resolución de una imagen depende de ambos parámetros N y m . Generalmente estos parámetros son incrementados tanto como sea necesario para aproximarse a la imagen original. Por tanto, es de interés considerar los efectos que tienen las variaciones de N y m en la calidad de la imagen.

Los valores normalizados de N y m para el muestreo y cuantización de imagen son los siguientes:

- Para aplicaciones normales que requieren el procesamiento de imágenes se utilizan 256×256 píxeles y la escala de gris contiene 64 niveles.
- Para señales de video monocromático (TV B/N) se utilizan 512×512 píxeles y la escala de gris contiene 128 niveles distintos.

Definitivamente la resolución y la calidad de la imagen digitalizada depende tanto del muestreo como de la cuantización.

Se obtiene una mayor resolución a medida que se incrementa el muestreo y por consiguiente la cuantización. Experimentalmente se ha llegado a formular 3 criterios:

- a) La calidad de la imagen digitalizada es función directa de la cantidad de bits que se destinen al muestreo y cuantización de la misma. Quiere decir que si el número de píxeles es mínimo la imagen será de baja resolución y de menor continuidad.
- b) A medida que una imagen esta compuesta por más detalles, se requieren menos niveles de gris para su cuantización.
- c) La calidad alcanzada con un cierto valor de " b " (cantidad de bits para la digitalización de la imagen) no implica la intercambiabilidad entre N y m para lograr la misma calidad de imagen.

Es necesario aclarar que el tipo de muestreo y cuantización

uniforme casi sólo es útil para el tipo particular de imágenes que no presenten muchos detalles que en algún momento sean de suma importancia para la identificación de la figura, por ejemplo con el rostro de una persona con un fondo uniforme, este tipo de muestreo podría ocasionar pérdidas en los contornos del rostro y no definiría correctamente a la persona.



La solución para aquellas imágenes cuyos detalles pueden ser críticos en algún momento, y en otros ser muy pobres es necesario hacer uso de el muestreo y cuantización no uniforme.

3.2.1.2 MUESTREO Y CUANTIZACION NO UNIFORME

Este tipo de muestreo busca distribuir el número de píxeles de acuerdo a las características de cada región de la imagen, esto lo logra manteniendo constante el total de píxeles utilizados aunque los detalles varíen. Quiere decir, las muestras no serán tomadas exactamente en espacios iguales, deberá existir un muestreo fino, y será necesario aumentar el número de estas donde la imagen posee más detalles, y se utilizará un muestreo regular donde la imagen carezca de muchos detalles. A este tipo de muestreo se le denomina adaptativo.

Con esta técnica se vuelve necesario concentrar el muestreo alrededor de las transientes frecuentes del nivel de gris entre un píxel y su vecino, esto es debido a que para esta técnica se requiere la detección de contornos de las imágenes. El uso de esta técnica sólo se justifica si la imagen esta constituida por regiones uniformes y regiones con detalles.

También puede ser utilizada la cuantización no uniforme para aquellas imágenes que presentan variación de detalles en diferentes regiones. Dicha cuantización adaptada a las características de las imágenes puede desarrollarse en dos formas distintas:

- a) Ya que el ojo humano posee una respuesta muy pobre ante los cambios abruptos en la intensidad luminosa pueden ser destinados pocos niveles de gris cerca de los contornos de las imágenes; mientras se utilizan más niveles de gris en las regiones uniformes para evitar los falsos contornos. Debido a que los niveles de gris determinan la cantidad de bits para cuantizar cada pixel; si en general se han destinado 3 bits a cada pixel (8 niveles de gris) y se usan sólo 2 bits para los pixeles cercanos a los contornos (4 niveles de gris), quiere decir que pueden utilizarse 4 bits para los pixeles de las regiones uniformes (16 niveles de gris) y aún así mantenerse constante la cantidad total de bits para toda la imagen.
- b) Los niveles de gris pueden ser divididos en una escala no uniforme, es decir, para G niveles de gris y una intensidad máxima I , el tamaño de cada nivel no corresponde a I/G . La determinación del tamaño de cada nivel es definida por la detección de la frecuencia con la que ocurren todos los niveles posibles; si cierto rango de niveles ocurre muy frecuentemente, entonces a estos niveles que ocurren raramente se les cuantifica en forma gruesa.

3.3 VIDEO DIGITALIZADO

Ya que se ha estudiado los teoremas del muestreo y cuantización de imágenes (figuras sin movimiento) se puede proceder al estudio del video que no es nada más que una secuencia de imágenes en completo movimiento.

Es importante tener presente que una de las consecuencias de la naturaleza estructurada de la señal de TV es que son altamente redundantes, y un buen porcentaje de la señal podría ser derivada de otra parte, debido a ello se facilita el uso de la reducción de la razón de bit, eso si los parámetros de muestreo son elegidos cuidadosamente.

Los sistemas de TV analógica contienen un gran número de subsistemas digitales. Las señales utilizadas por estos son representaciones digitalizadas de la señal compuesta, normalizadas ya sea por la NTSC, PAL o SECAM y son referidas a video digitalizado.

Así como para la digitalización de una imagen, también para el video es necesario considerar tres factores básicos indispensables para el proceso de codificación digital, estos son:

- Muestreo
- Número de bits por muestra
- Cuantización

3.3.1 MUESTREO

El propósito de los sistemas de TV es comunicar una función tridimensional: una imagen variando en el tiempo. Esto quiere decir que se estaría cometiendo un error si el espectro de la señal de video es muestreado como una función unidimensional como generalmente se hace por ejemplo con la señal de audio.

Al muestrear la señal de video para obtener la señal digital, resulta una muestra tridimensional cuya forma es de una rejilla o cuadrícula. Para un muestreo eficiente el número de puntos a muestrear por unidad de volumen podría ser tan bajo como sea posible sin introducir error de pseudointerferencia.

El muestreo de rejilla tridimensional que interesa puede ser construido por superposición de cada rejilla o cuadrícula. Esto implica que la frecuencia de muestreo horizontal es un múltiplo de la subportadora de color puesto que tanto la velocidad de línea y la velocidad de campo son derivadas de esta frecuencia. Los tipos de muestreo de rejilla más comunes son los siguientes:

a) Campo Alineado:

Este esquema consiste en un muestreo de rejilla con proyección rectangular en ambas direcciones, la espacial y la temporal-horizontal como se muestra en la Figura 3-2(a). En este caso, para la NTSC la frecuencia de muestreo debe exceder los 8.4MHz para evitar ruido de pseudointerferencia. Comúnmente el múltiplo más bajo de la

"fs" que cumple con estos requisitos es 3.

b) Campo Desplazado:

Este patrón es mostrado en la Figura 3-2(b). Este esquema es más eficiente desde el punto de vista de un espectro de densidad, y por lo tanto para la NTSC 2fs puede ser aceptable.

c) Tabla de Verificación:

Este tipo de muestreo de rejilla es obtenido desplazando el patrón muestreado de las líneas pares, es decir, las líneas pertenecientes al otro campo. Esto se muestra en la Figura 3-2(c).

d) Tabla de Doble Verificación:

Este patrón tiene buenas propiedades espectrales; y es recomendado por la NTSC para 2fs. Obsérvese la Figura 3-2(d).

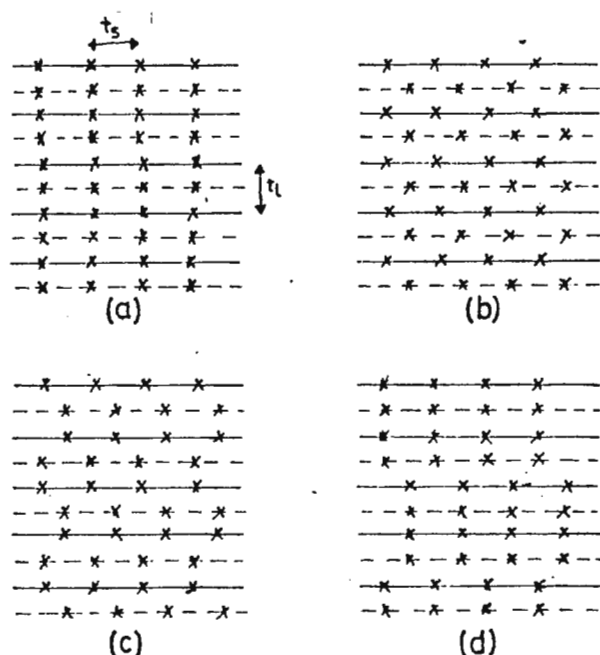


Figura 3-2

Tipos comunes de muestreo de rejilla: a) Campo alineado, b) Campo desplazado, c) Tabla de verificación, d) Tabla de doble

verificación.

3.3.2 NUMERO DE BITS POR MUESTRA

Varios estudios subjetivos indican que 8 bits por muestra son adecuados para producir una calidad aceptable en la señal de video.

3.3.3 CUANTIZACION

Para las técnicas de reducción de ancho de banda, los cuantizadores empleados pueden ser no uniformes, para la codificación digital primaria la cuantización uniformemente espaciada o niveles de decisión son preferidos. La señal resultante es referida como PCM uniformemente cuantizado. Sin embargo, este esquema de cuantización no es el más eficiente, simplemente es el más usado por su simplicidad de implementación y la facilidad de procesamiento de las señales resultantes.

3.4 CODIFICACION DE VIDEO DIGITAL

La codificación del video digital es importante para la transmisión de la señal y poder reproducir a distancia una imagen a color de buena calidad. Pero también, es especialmente importante debido a la capacidad de canal requerido para dicha transmisión. Además se hace necesario lograr entender el funcionamiento de la fuente y receptores, junto con las propiedades estáticas de las señales de video. Esta sección incluye también las dos mejores categorías de codificación de video, estas son: codificación intratrama y la codificación intertrama, la primera dedicada exclusivamente a la reducción de bits, la segunda además de dicha reducción también vela por la calidad de la imagen.

3.4.1 FUENTES Y RECEPTORES ESTATICOS

Una codificación eficiente se logra con un número mínimo de bits/pixel. Por ejemplo, en una imagen que contiene un gran tramo de niveles de brillantez iguales puede ser codificada con un conjunto de bits destinados unicamente a representar dichos niveles más una indicación de inicio y final de dicha alineación.

Con esto se quiere decir, si una línea horizontal o un área dentro de una imagen consta solamente de un nivel constante de luminancia, el valor de éste puede ser transmitido a lo largo con las direcciones de inicio y final del tramo o alineación. Esta técnica tiene el potencial para una cantidad de compresión considerable en el promedio de número de bits/pixel que podría ser transmitido. No obstante, el resultado es un codificador no uniforme el cual puede requerir una cantidad considerable de memoria transitoria si va a utilizar un canal de velocidad constante.

Los receptores estáticos también afectan el número de bits/pixel requeridos para la codificación de una imagen. Por ejemplo si el receptor es una persona, la codificación va a depender de la sensibilidad diferencial del ojo. Esto incluye:

1) Variaciones sensitivas independientes de la figura:

En este caso el umbral de detección de ruido incrementa conforme aumenta también la frecuencia del ruido. Quiere decir, que un granulado fino de ruido no es tan notable como lo sería un granulado bastante grueso en la luminosidad.

2) Variación de sensibilidad dependiente de la figura:

En esta segunda forma el umbral de detección de ruido incrementa tanto como incrementan los detalles de la figura, y también, incrementan con el aumento de la luminancia. De tales propiedades del sistema visual humano, ciertos niveles de detalles pueden ser omitidos de una figura sin que estas omisiones sean notadas.

3.4.2 CARACTERISTICAS DE LA SEÑAL DE VIDEO

Una señal de video puede ser caracterizada por sus espectros de potencia, función autocorrelación y sus funciones probabilísticas de densidad.

3.4.2.1 ESPECTRO DE POTENCIA

La Figura 3-3 muestra el espectro de potencia de una señal de video típica. Notese que a 4MHz de potencia relativa es casi -50dB relativo a los niveles de más baja frecuencia, y que la envolvente es cercanamente plana hacia afuera alrededor de el doble de la velocidad de línea (31kHz para la NTSC en video); más alla el espectro sufre una caída en aproximadamente 6dB por octava. Por tanto se puede decir que las bajas frecuencias proveen una gran área de niveles de brillantez mientras las altas frecuencias son totalmente opuestas ya que apenas proveen un borde de la escena.

A pesar de su bajo nivel, estas frecuencias son muy importantes. Estas pequeñas franjas de la figura pueden ser reproducidas fina y exactamente, pero constituyen sólo una mínima porción de área de la figura. Por esta razón su nivel de potencia es bajo.

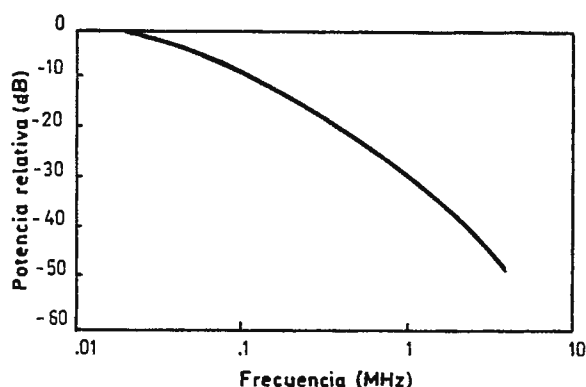


Figura 3-3

Espectro de potencia típico de la señal de video.

3.4.2.2 FUNCION AUTOCORRELACION

Una función de autocorrelación horizontal típica de una figura es mostrada en la Figura 3-4. La autocorrelación vertical tiene una función similar a ésta.

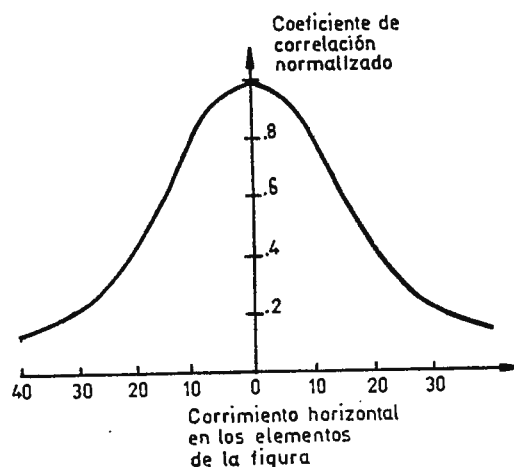


Figura 3-4

Función autocorrelación.

En este caso la correlación indica la cantidad de información redundante presente en la señal. Al detectarse esta redundancia se hace posible una reducción en el número de bits/pixel.

En general la correlación entre píxeles decae exponencialmente con la distancia en cualquier dirección.

3.4.2.3 FUNCION ESTADISTICA DE DENSIDAD

La densidad de amplitud o densidad de brillantez no es uniforme en una imagen dada, pero si es uniforme de una imagen a la siguiente. Es decir que la diferencia de densidad de brillantez de un pixel de una imagen a su correspondiente en la siguiente imagen es cercana a cero. Este hecho ayuda a reducir el número de bits requeridos para transmitir una señal.

3.4.3 CODIFICACION INTRATRAMA

Numerosas técnicas de codificación intratrama de video han sido desarrolladas. Dentro de este tema se estudian las técnicas PCM

y PCM diferencial o DPCM y otras técnicas también usadas para la reducción del número de bits/pixel.

3.4.3.1 MODULACION POR CODIGO DE PULSOS (PCM)

Esta técnica es comunmente usada para convertir una forma de onda analógica a una secuencia de bits. Para lograr ésto, varios pasos son requeridos; primero, la forma de onda es de banda limitada a una frecuencia máxima específica. Para el caso, según la NTSC, este máximo es de 4.2MHz. Esta limitación de banda permite entonces la aplicación del teorema de muestreo de Nyquist, en el cual estados de esa forma de onda de ancho de banda W puede ser reconstruida completamente si es muestreada en intervalos regulares en una velocidad de al menos $2W$. Las amplitudes de los pulsos son iguales a la amplitud de la forma de onda original en el instante muestreado. Este proceso se obtiene del producto entre la función $f(t)$ de la señal de banda limitada con la función $\delta_T(t)$ que corresponde a la función de impulso, obteniéndose así una secuencia de impulsos localizados en intervalos regulares de T segundos y con amplitudes iguales a los valores de $f(t)$ en el instante correspondiente. En la Figura 3-5 puede observarse el proceso tanto en el dominio del tiempo como en la frecuencia.

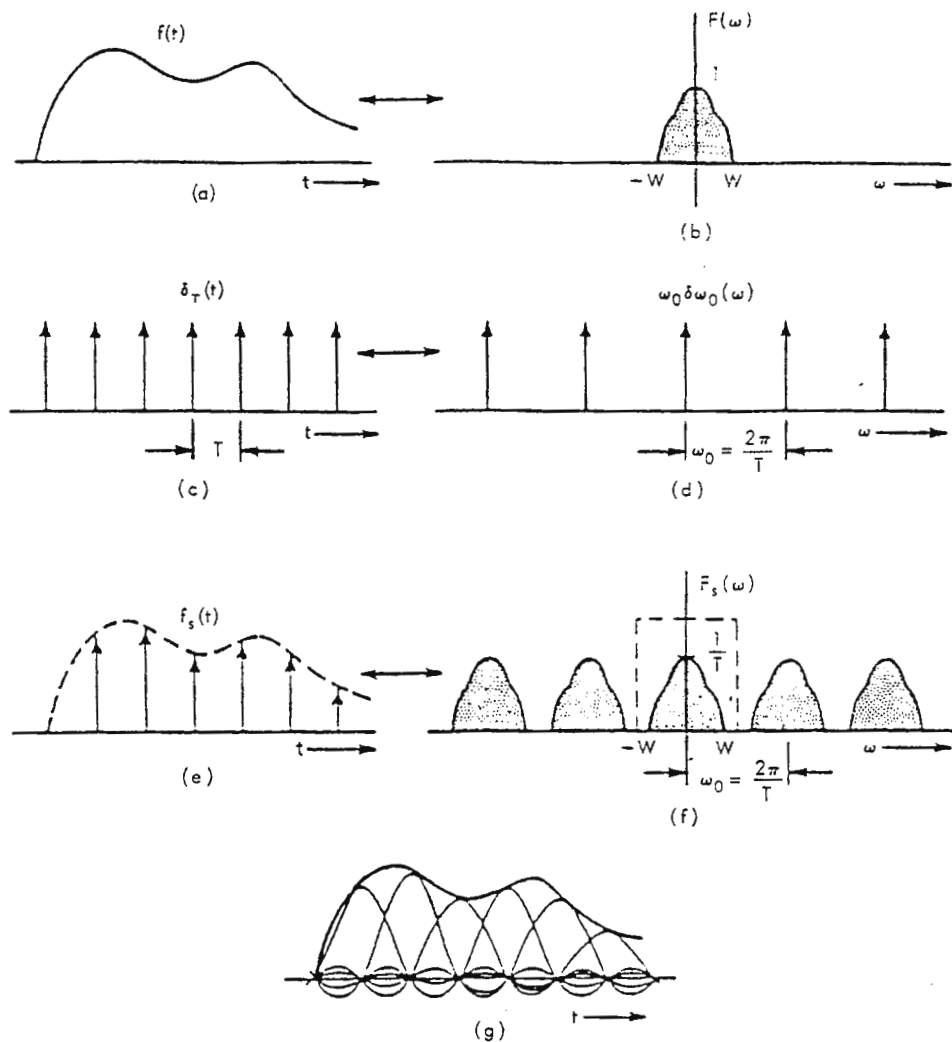


Figura 3-5

Representación del teorema del muestreo en el dominio del tiempo y frecuencia. a) Función $f(t)$ de señal banda base. b) Función impulso $\delta(t)$. c) Producto del muestreo.

Para el caso, en términos analíticos la función muestreada estaría representada por:

$$f_s(t) = f(t) \delta(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} f(nT) \delta(t - nT) \quad (\text{Ec. 3.7})$$

Dado que $F(w)$ es el espectro de la función $f(t)$. La transformada de Fourier de $f(t) \delta_T(t)$ de acuerdo al teorema de la convolución está dado por:

$$2\pi f_s(t) \longleftrightarrow F(w) * w_0 \delta_{w_0}(w) \quad (\text{Ec. 3.8})$$

Dado que $w_0 = 2\pi/T$:

$$f_s(t) \longleftrightarrow (1/T)F(w) * \delta_{w_0}(w) \quad (\text{Ec. 3.9})$$

Esta convolución es mostrada en la Figura 3-5(f).

Los pasos a seguir para producir PCM son mostrados en la Figura 3-6.

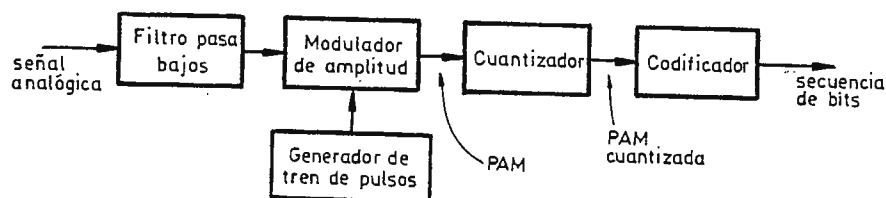


Figura 3-6

Sistema de codificación PCM.

El proceso de muestreo es realizado por un generador de tren de pulsos en la entrada del modulador de amplitud quien produce a la salida una secuencia PAM (modulación por amplitud de pulsos).

El cuantizador lo único que hace es asignar un número binario; este número es el que más cercanamente se aproxima a la amplitud de entrada en el instante que se realiza el muestreo.

Un total de 2^m niveles de gris puede ser implementado por cada valor muestreado por una secuencia de "m" bits. Si se utiliza un número insuficiente de bits se producirán uno o ambos de los dos tipos de distorsión siguientes: El primero llamado de "Contorno" que es notable especialmente en áreas grandes de variaciones lentas de brillantez, y el segundo es "ruido de cuantización" que con pocos niveles de cuantización se producen errores en la luminancia.

Estos dos tipos de errores se producen debido al uso de 4 bits por muestra. Por tanto el uso de 8 bits por muestra ha sido establecido como el número requerido para obtener una representación satisfactoria de la imagen.

El último paso para producir PCM es asignar un grupo particular de dígitos binarios para un nivel de luminancia particular.

3.4.3.2 CODIFICACION DE VIDEO COMPUESTO

En la codificación de la señal compuesta, la forma de onda compuesta (NTSC, PAL o SECAM) es codificada como tal con la subportadora de color y los pulsos de sincronismo. A menudo, la subportadora de color es muestreada con una frecuencia 3 veces mayor a la que le corresponde (3.58MHz), es decir en 10.74MHz en el caso de la NTSC. Esta velocidad de muestreo es casi 2.5 veces los 4.2MHz de ancho de banda.

Si el muestreo se hace a 8 bits/pixel la velocidad de bit resultante para la NTSC es 85.92Mbps la cual puede ser transmitida a una velocidad aproximadamente de 90Mbps.

Es necesario aclarar que a pesar de todas las ventajas que este tipo de codificación presente, la codificación de la señal compuesta de video no es la mejor para tareas de procesamiento de señal digital, tales como efectos especiales e imágenes expandidas y además está sujeta a problemas en la fase de la subportadora.

3.4.3.3 CODIFICACION DE LAS COMPONENTES DE VIDEO

Este tipo de codificación se refiere a la codificación individual de las componentes RGB. A menudo es usada en la

distribución de imágenes digitales, teniendo interfaces de entrada y salida digital. Se utiliza una matriz, la cual convierte la salida RGB de la cámara en una señal de luminancia (Y) y dos señales diferencia (de color), R-Y y B-Y (ver sección 2.1.2). Las tres componentes son entonces digitalizadas individualmente por convertidores PCM.

Con esta técnica de codificación, los anchos de banda de las señales de luminancia y crominancia no son restringidos por los estándar de la señal compuesta. Un resultado de ello es, que efectos especiales y expansión de imágenes puede ser manejada sin degradación. Una componente de la señal codificada puede aún ser transmitida con velocidad de 90Mbps si es requerido. Una disposición para hacer ésto, usa un arreglo de rejilla de 512 pixeles horizontales por 480 verticales que son codificados con 8 bits y muestreados en 30 cuadros por segundo. La señal de luminancia resultante requiere de 59Mbps; agregando cada componente de color resulta ser de $59\text{Mbps} \times 3 = 177\text{Mbps}$. Reduciendo la señal de muestreo a 15 cuadros por segundo permite la transmisión en aproximadamente 90Mbps pero requiere una secuencia de muestreo especial para evitar la apariencia de parpadeo, una especie de discontinuidad.

Las disposiciones para la codificación de componentes puede ser descrita por una gran familia de códigos digitales, los cuales usan una simple razón para relacionar las frecuencias de muestreo de luminancia y las señales de diferencia. Tres dígitos a:b:c son usados, en el cual "a" es el símbolo para la frecuencia de muestreo de la señal "Y", "b" representa la frecuencia para R-Y y "c" la frecuencia para B-Y.

Generalmente esta relación entre las frecuencias de luminancia y las señales de diferencia de color esta dada por la razón 4:2:2, siendo las frecuencias actuales multiplos de 2.25MHz, el mínimo común multiplo de las frecuencias de línea de los sistemas 525/60 y 625/50.

La frecuencia de muestreo recomendada para la señal de luminancia es 13.5MHz y la frecuencia de muestreo para cada señal de diferencia de color es de 6.75MHz, estos parámetros son recomendados por el CCIR.

En realidad, esta técnica es aplicable para distribución e intercambio en estudios de TV o video.

Una representación de esta técnica a nivel de bloque se muestra en la Figura 3-7.

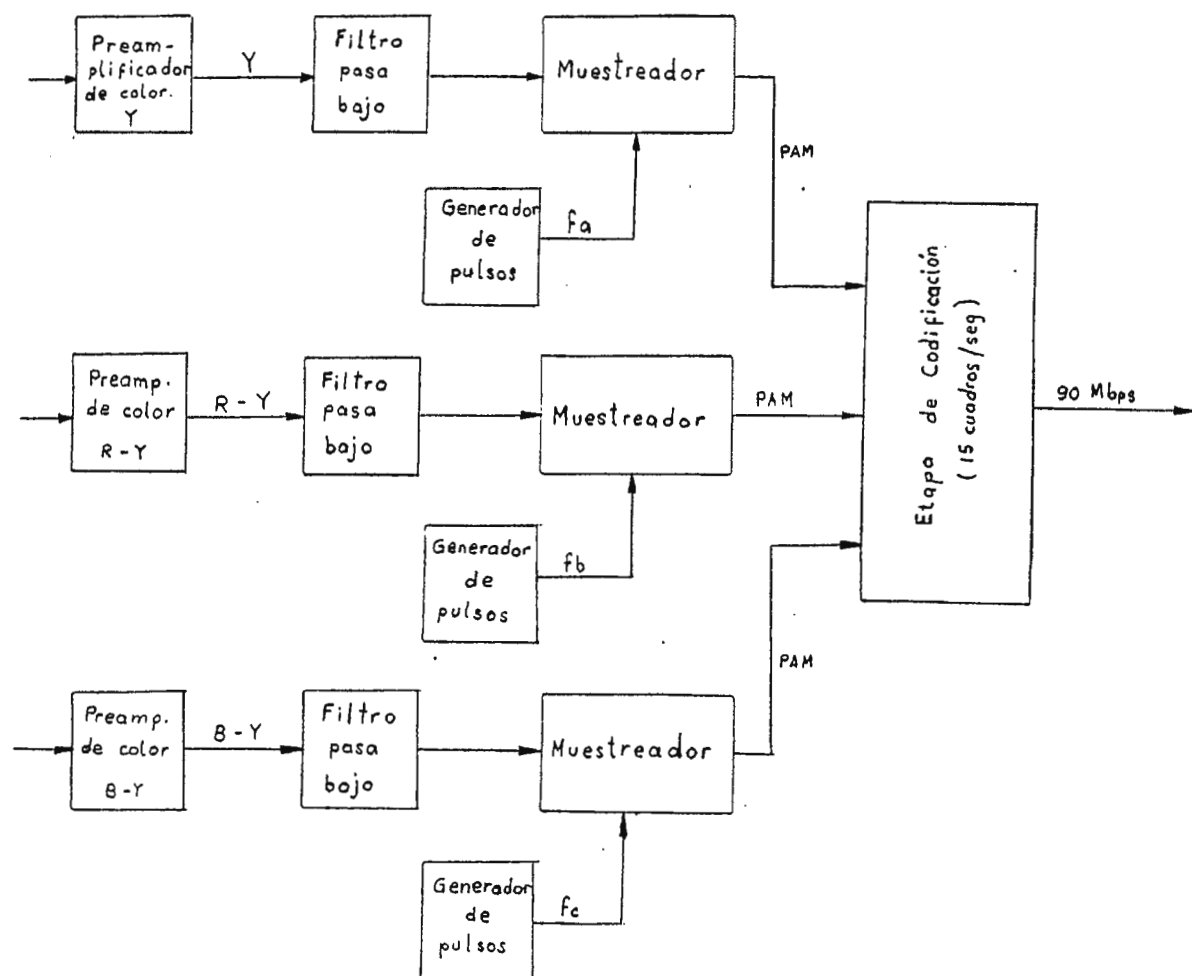


Figura 3-7

Principio de operación de codificación por componente.

3.4.3.4 PCM DIFERENCIAL (DPCM)

Esta técnica es usada en varias aplicaciones de telecomunicaciones en la cual una señal analógica debe ser codificada a baja velocidad, lo que puede lograrse con aproximaciones burdas de PCM.

DPCM está basado en enviar diferencias en lugar de valores de entrada total. La diferencia enviada es obtenida restando a la entrada un valor predictivo de ésta. El término codificación predictiva a menudo es usado para describir las técnicas que trabajan con una base diferencial. Es necesario aclarar que esa diferencia no se toma entre el valor de entrada presente y el valor previo porque esta aproximación puede dejar una acumulación en error de cuantización en el receptor y a consecuencia líneas gruesas en la imagen recibida.

El surgimiento de errores en el canal puede producir un efecto de líneas en la transmisión de video DPCM como un resultado de la retroalimentación.

En la Figura 3-8 se muestra el principio de operación de la técnica intratrama DPCM usando la aproximación conocida como diferenciación analógica e integración. El integrador obtiene una suma ponderada de todas las diferencias pasadas y usa esto como una predicción del valor muestreado decodificado.

Como se muestra en la Figura 3-8(a) la diferencia entre la entrada y la predicción es cuantizada dentro de los 2 niveles y un código de "m" bits es transmitido indicando cual de los niveles ha ocurrido. Si $m=1$, el resultado es llamado codificación delta.

Una escala especial puede ser usada para asegurar que grandes diferencias son cuantizadas más gruesamente que las diferencias pequeñas. En la Figura 3-9 se muestra la escala especial de cuantización.

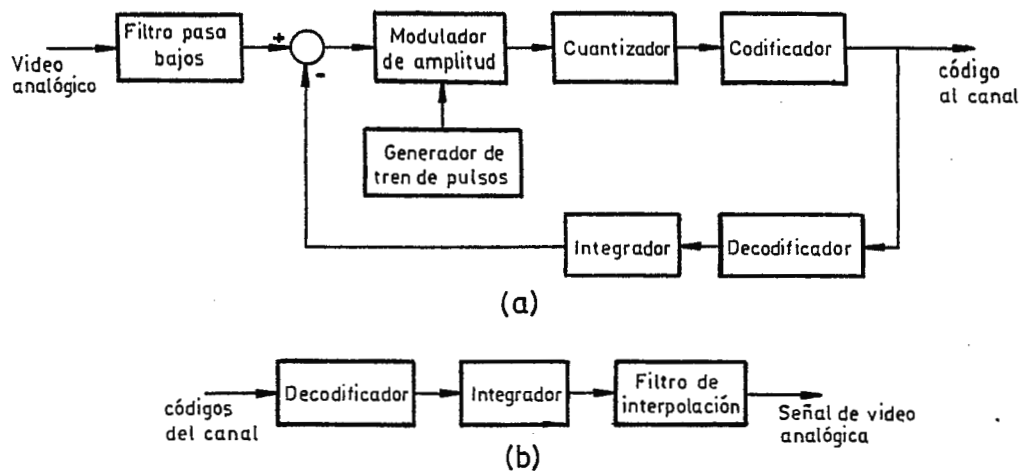


Figura 3-8

Principio de operación de DPCM intratrama. a) Transmisor. b) Receptor.

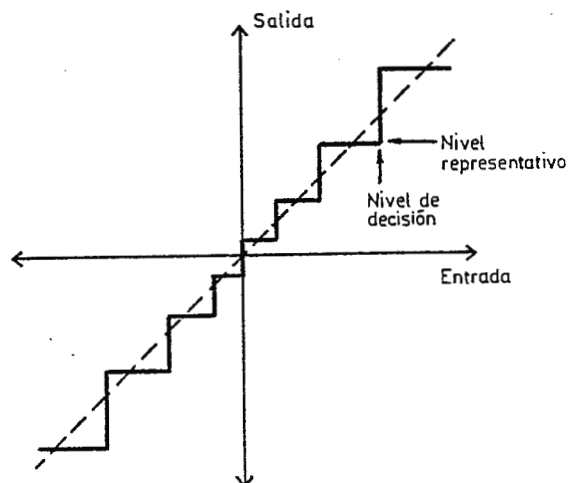


Figura 3-9.

Escala de cuantización a 8 niveles no lineal.

La ventaja de DPCM para codificación intratrama es que puede explotar las propiedades de la señal fuente (imagen) usando algoritmos de predicción lineal o no lineal apropiadas; y puede explotar las propiedades del receptor (ojo humano) por una apropiada selección de la escala de cuantización. Sin embargo, DPCM está sujeto a varias imperfecciones. Para el caso se tiene por ejemplo la sobrecarga de la pendiente, es un defecto en el cual un repentino cambio en la luminosidad a lo largo de una línea barrida puede no ser representada por los diferenciales tal como es el cambio. La Figura 3-10 muestra este defecto.

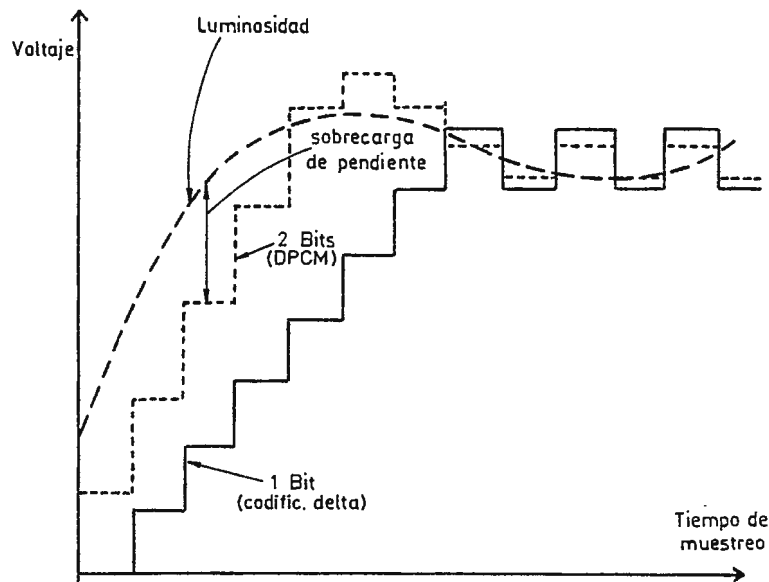


Figura 3-10

Distorsión por sobrecarga de pendiente.

Un problema relacionado con esto es el ruido granular que resulta del restringimiento del tamaño finito de los pasos del cuantizador. Para reducir la sobrecarga de la pendiente es necesario usar pasos de cuantización grandes, eso sería lo mejor pero eso trae a consecuencia el incremento en el ruido granular; a pesar de ello existen técnicas para reducir estas imperfecciones.

3.4.3.5 CODIFICACION RUIDO-RETROALIMENTADO

El principio de ruido-retroalimentado es utilizado para reducir el ruido de cuantización, el cual es detectado por sustracción de la entrada a la salida del cuantizador. Esto puede ser utilizado para video DPCM sobre cada una de sus componentes o su señal compuesta. El ruido es entonces filtrado para resaltar sus componentes de alta frecuencia y entonces es restado de la señal de entrada como se muestra en la Figura 3-11.

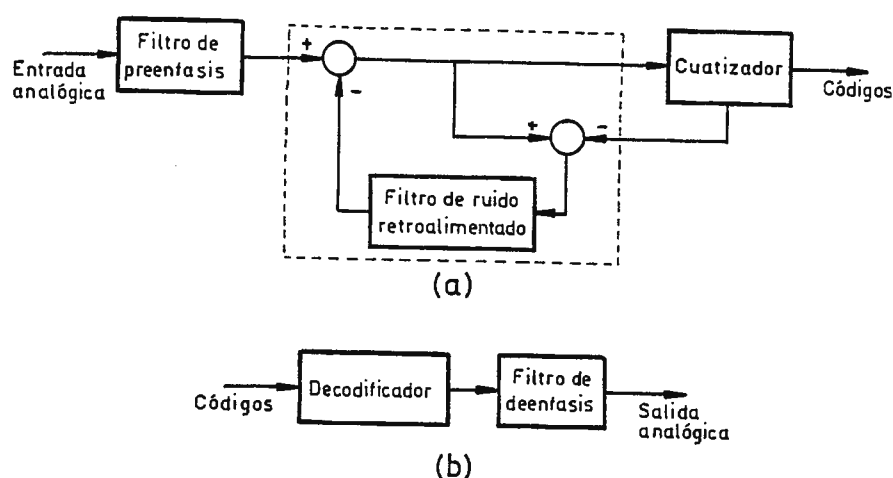


Figura 3-11

Codificador por ruido retroalimentado.

En operación, el ruido causa que el cuantizador oscile entre niveles, ocasionando así problemas en la luminancia.

Existe un método para lograr reducir el ruido granular, y es añadir el efecto de DITHER antes de la cuantización, el cual consiste en agregar cierta cantidad de ruido igual al tamaño del paso del cuantizador, eliminando en cierto porcentaje las variaciones de la señal de luminancia percibida.

En la Figura 3-12 puede observarse de una forma más clara el efecto que produce el DITHER en la señal de salida. En realidad el uso de más DITHER hace que la señal reconstruida sea más real, más aproximada a la señal de entrada.

El agregar esa especie de ruido, hace que la luminancia percibida sea practicamente identica a la señal de entrada, se ve así ya que el filtro visual humano atenúa al final dichos errores (ruido), viendose casi como una rampa.

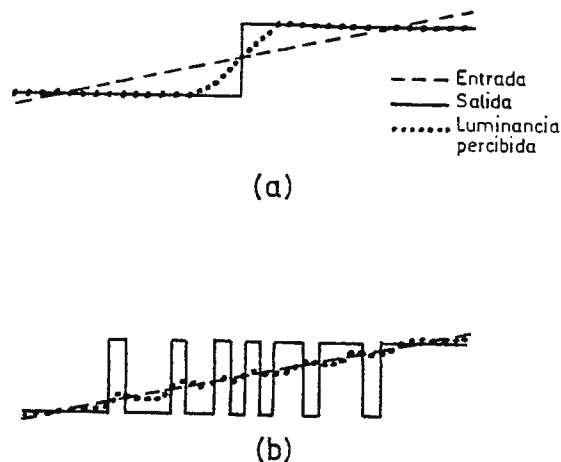


Figura 3-12

Desempeño del codificador por retroalimentación de ruido. a) Salida del cuantizador y luminancia percibida sin DITHER. b) Salida y luminancia percibida con DITHER.

3.4.3.6 TECNICA DE CODIFICACION EN EL DOMINIO DEL TIEMPO

Esta técnica es hecha asumiendo que la imagen de video, por componentes o compuesta, consiste de un arreglo de pixeles separados, los cuales son obtenidos muestreando la forma de onda del video a/o sobre la velocidad de Nyquist. En regiones planas (áreas sin detalle), la amplitud, podría ser codificada exactamente, mientras que en los bordes, cierta distorsión de amplitud es permitida, con tal que, la posición de los bordes sea reproducida exactamente. Un ejemplo básico de esta técnica es el codificador DPCM con una escala de cuantización no lineal.

Los codificadores de video en el dominio del tiempo pueden ser de formato fijo o de borde adaptativo.

a) Codificadores de formato fijo:

Estos codificadores usan predicción lineal para tomar ventaja de redundancias estadísticas en la fuente, y usan cuantización no uniforme de la predicción de error para explotar la sensibilidad cambiante de la visión.

b) Codificador de borde adaptativo:

Esos codificadores se adaptan a bases instantáneas para mejorar la traducción de los cambios de las señales en el borde de una imagen.

Este principio ha sido aplicado exitosamente para el mejoramiento de la respuesta de codificadores delta. La codificación delta es la versión DPCM de un bit en el cual el codificador de salida en cada tiempo de muestreo es un bit que representa sus pasos uno positivo o uno negativo. Comparados con codificadores diferenciales multibit, los codificadores delta requieren una alta velocidad de muestreo para incrementar la correlación entre muestras sucesivas.

El tamaño o la cantidad de pasos es hecho dependiendo de la pendiente de la forma de onda del video, tal como se ve en la Figura 3-13(a) que muestra la entrada y salida de un codificador lineal delta. También muestra que los niveles de ruido de cuantización en las áreas planas han sido balanceados contra el ruido de sobrecarga de la pendiente en los bordes verticales. El código de salida puede ser usado para destacar la presencia de un borde (series de 1s en la figura); el tamaño del paso puede ser hecho dependiente sobre la cantidad previa de unos y ceros. Esto es conocido como modulación delta de alta información (HIDM) y se muestra en la Figura 3-13(b).

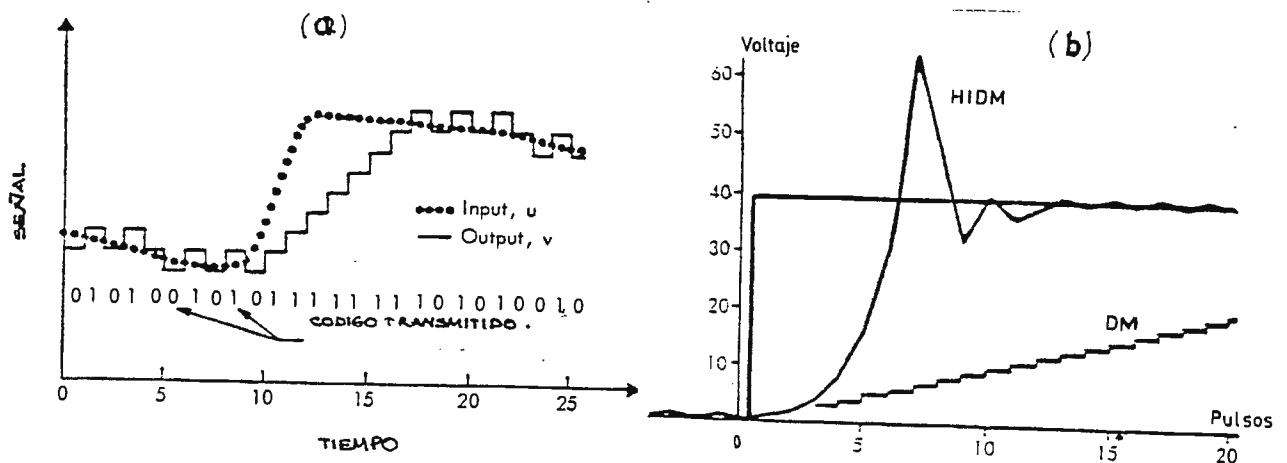


Figura 3-13

Codificador Delta. a) Entrada y salida del codificador delta lineal. b) Salida del modulador delta de alta información.

3.4.4 CODIFICACION INTERTRAMA

La codificación intertrama encierra las técnicas para la reducción de redundancia que hacen uso de la similitud entre tramas sucesivas de una señal de video así como los diferentes requerimientos de resolución en la visualización de objetos estacionarios y en movimiento. La relación entre señales de tramas sucesivas depende del número de tramas exploradas por segundo, el cual es determinado por los requerimientos de parpadeo o fluctuaciones. Para la visualización de movimiento, 30 imágenes/segundo (la mitad de la frecuencia de la línea de alimentación) es adecuada. Por tanto para la mayoría de imágenes no existe la necesidad de transmitir información fresca para cada imagen visualizada. Las fluctuaciones pueden ser eliminadas almacenando imágenes en el receptor y visualizando más de una vez.

El objetivo de este tipo de codificación es reducir el número de bits/píxel eliminando la redundancia en una trama dada.

La codificación intertrama requiere de almacenamiento de

imágenes para permitir la comparación entre la imagen actual y las imágenes previas para determinar que áreas de la imagen han cambiado. Solamente estas áreas necesitan ser transmitidas. Además, el codificador generalmente está diseñado para aprovechar la diferente resolución que requieren las imágenes cambiantes y estacionarias. La alta resolución es necesaria para imágenes estacionarias, mientras que una baja resolución es tolerable para imágenes cambiantes.

3.4.4.1 TECNICAS DE REPETICION DE TRAMA

Esta técnica es útil para escenas que contienen pocos o muy lentos movimientos. Un ejemplo común de repetición de trama es el entrelazado de líneas, tal como se usa en las normas de TV NTSC y las Europeas. Cada una de las líneas de la trama (imagen) es enviada en un intervalo de $1/60$ segundos (NTSC) o $1/50$ segundos (Europeo). Este método descansa en la propiedad de retención de imágenes del ojo.

Entrelazado puntual, o rellenado selectivo, lleva el principio de entrelazado un paso más allá. La Figura 3-13, muestra una transmisión 4 a 1 de entrelazado puntual. Usando esto, solamente un cuarto de los elementos de la trama son enviados cada $1/60$ segundos. En el lado receptor cada elemento es visualizado cada $1/15$ segundos. Una línea digital de retardo es utilizada para almacenamiento, los elementos son enviados en la secuencia indicada. En el monitor receptor los elementos no transmitidos de cada cuadro son obtenidos del cuadro anterior, el cual se ha almacenado previamente.

El entrelazado puntual provee buena calidad de imagen durante instantes de poco o ningún movimiento. Durante el movimiento rápido, los contornos de las imágenes tienden a ser degradados, por ejemplo, el patrón de muestreo se vuelve visible.

En el entrelazado puntual con filtrado de trama, un promedio ponderado de la brillantez para cada pixel en las tramas sucesivas es formado. Durante cada periodo de la trama, un subconjunto de estos valores promedios son seleccionados para la transmisión. Interpolación trama a trama entre los valores recibidos es utilizada para reducir la distorsión. Este procedimiento es equivalente a la limitación de banda, luego el muestreo, y luego el filtrado en el receptor para reconstruir la

señal original. Las imágenes estacionarias no son afectadas; las imágenes en movimiento son oscurecidas en cierta cantidad dependiendo del movimiento y el número de veces que la imagen es repetida.

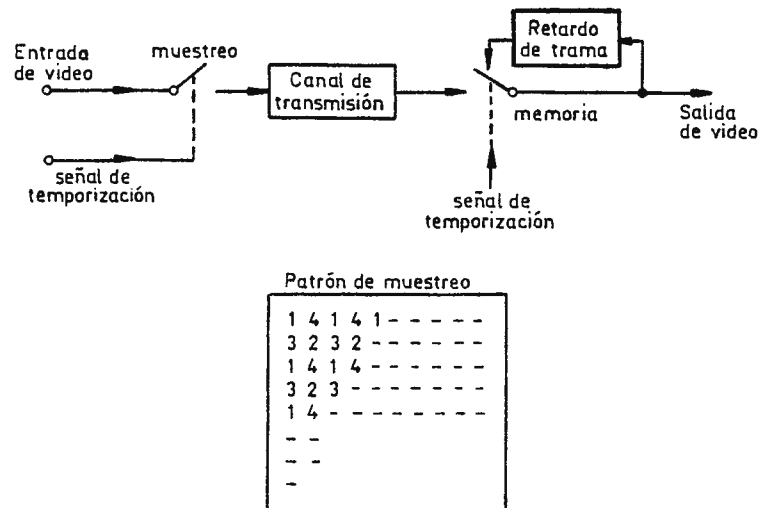


Figura 3-14

Transmisión de entrelazado puntual 4 a 1.

3.4.4.2 CODIFICACION DIFERENCIAL DE TRAMA

El principio para DPCM no sólo es útil para la codificación intratrama, sino también en la codificación de las diferencias entre tramas. Su propósito tal como se utilizó en la técnica anterior es el control de la resolución. En la evaluación de los cambios de trama a trama, el codificador debe distinguir entre los cambios reales y el ruido. En una implementación típica, los píxeles que han cambiado menos de 1.5% de la amplitud máxima de la señal pueden ser dejados sin ningún cambio sin haberse perjudicado así la calidad de la imagen.

La Figura 3-15 es un diagrama a bloques conceptual que muestra un codificador DPCM intertrama. Este dispositivo provee una reproducción bastante perfecta con cuantización de 64 niveles (6 bits). A 16 niveles (4 bits), se provee de buena reproducción excepto cuando un objeto conteniendo grandes y abruptos cambios

de brillantez se mueve rápidamente a lo largo de la pantalla. Los contornos de la figura en movimiento de este tipo aparecen como una secuencia de contornos de brillantez, cada uno diferenciando al anterior por una cantidad igual al mayor nivel del cuantizador. Este efecto es análogo al problema de carga de la pendiente en la codificación intratrama, pero dado que el efecto es dependiente del movimiento, éste es llamado sobrecarga temporal.

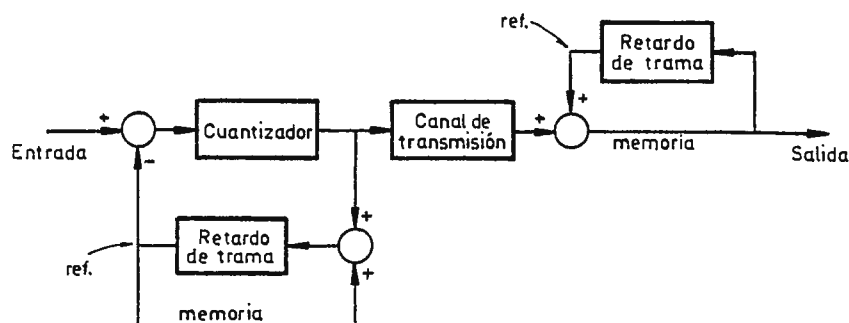


Figura 3-15

Codificador PCM diferencial de trama a trama.

En DPCM intertrama los niveles del cuantizador utilizan compansión, de tal forma que pequeños cambios son reproducidos con mayor precisión que los cambios mayores.

Algo que puede causar fallas permanentes en la imagen de un codificador son errores en la transmisión. Para eliminar las fallas puede transmitirse sistemáticamente los valores de brillantez de cada elemento en lugar de las diferencias de trama para pequeñas partes de cada trama.

3.4.4.3 COMPENSACION DE MOVIMIENTO

La compensación de movimiento está basada en la característica de que cualquier movimiento en una trama dada continuará en la siguiente trama. Haciendo computos sucesivos de la posición de un objeto, se puede determinar su velocidad.

Entonces, se hace una predicción en la dirección del movimiento.

y el codificador envía la diferencia entre el movimiento actual y el que fue predicho.

El éxito de la compensación de movimiento depende de la cantidad de movimiento de traslación de los objetos en las escenas y la capacidad del algoritmo para estimar la traslación con la precisión necesaria para una buena predicción.

En la implementación de detección de movimiento se usa un método de igualación utilizando puntos representativos que se establecen mediante un muestreo burdo de una imagen.

La Figura 3-16 compara la compensación de movimiento con la predicción de diferencia entre tramas, en términos del número de bits requeridos por pixel en el área móvil para una escena típica, conteniendo algunos movimientos activos de cabezas y hombros. Como puede observarse, la compensación de movimiento reduce la entropía por cerca de 1.5 bits/pixel como un promedio.

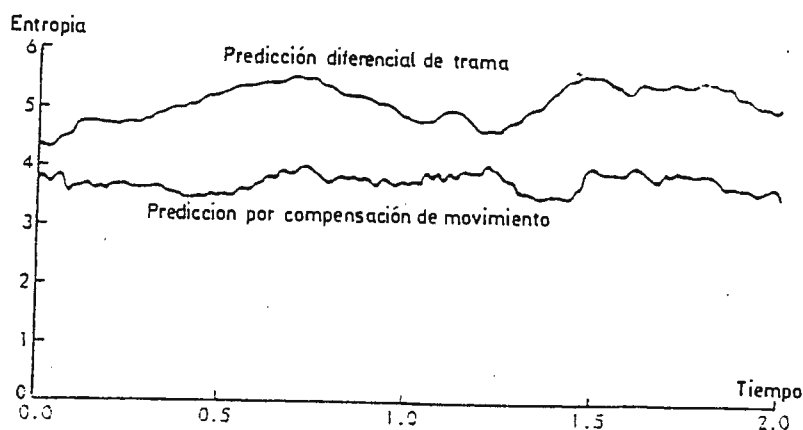


Figura 3-16

Comparación entre compensación de movimiento y predicción diferencial de trama.

3.4.4.4 SUBMUESTREO EN AREAS MOVILES

La resolución espacial de una imagen puede ser reducida en sus áreas en movimiento debido a que los espectadores no pueden enfocar su vista fácilmente en los detalles finos de objetos en

movimiento excepto cuando dicho movimiento es regular y predecible. De hecho, objetos con movimiento rápido tienden a ser oscurecidos debido a que las cámaras de televisión integran la intensidad de luz que cae en el sensor dentro del tiempo de una trama. El submuestreo es la forma más simple y la más directa para reducir la resolución espacial en un área en la cual están ocurriendo cambios. Esta técnica también involucra la transmisión de información para solamente una fracción de los píxeles en las áreas cambiantes. El valor de los píxeles remanentes es fijado a un promedio de los valores transmitidos.

La Figura 3-17 muestra el rastreo entrelazado 2:1. Cada trama consiste de dos campos entrelazados que se encuentran separados 1/60 segundos. Para el submuestreo horizontal, A y C son transmitidos, mientras $B=(A+C)/2$. Para submuestreo vertical, $J=(A+D+A'+D')/4$.

La forma en que la degradación de la imagen se vuelve notable en el uso de esta técnica es que los contornos horizontales que se mueven rápidamente en dirección vertical son notablemente distorsionados.

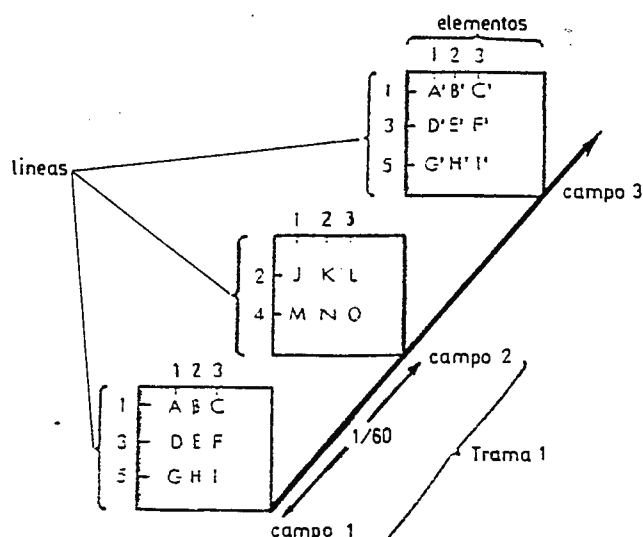


Figura 3-17

Ilustración del muestreo entrelazado.

La repetición de tramas y el submuestreo pueden combinarse para proporcionar bajas velocidades de transmisión en escenas estacionarias usando repetición de tramas y baja velocidad de transmisión en escenas con movimiento utilizando submuestreo. La Figura 3-18 muestra el uso de la reducción de resolución temporal en las partes estacionarias de la imagen y reducción de la resolución espacial horizontal en las áreas cambiantes. El resultado es una velocidad de datos relativamente constante.

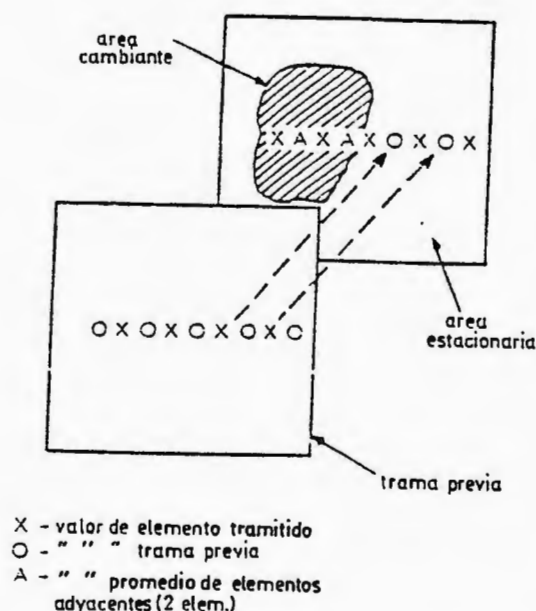


Figura 3-18

Ilustración de la reducción de la resolución temporal en partes estacionarias de una imagen.

3.4.4.5 RELLENADO CONDICIONAL

Esta es una técnica en la cual la información es transmitida únicamente cuando la diferencia entre pixeles correspondientes en tramas sucesivas excede un nivel predeterminado.

De esta forma es una variante sencilla de DPCM. Por tanto, la capacidad de transmisión es utilizada sólo para rellenar aquellas áreas de una imagen que han cambiado significativamente dada la trama anterior. En la Figura 3-19 se muestra el

principio. Los pixeles que cambian significativamente son enviados junto con su dirección a una memoria transitoria para esperar su transmisión a un canal de velocidad constante. Un detector de movimiento mide la diferencia entre la imagen actual y la imagen referencia, notando cuando la diferencia es mayor a 1.5% del nivel máximo. En el receptor, la información transmitida entra a la memoria de retardo para refrescar la imagen almacenada.

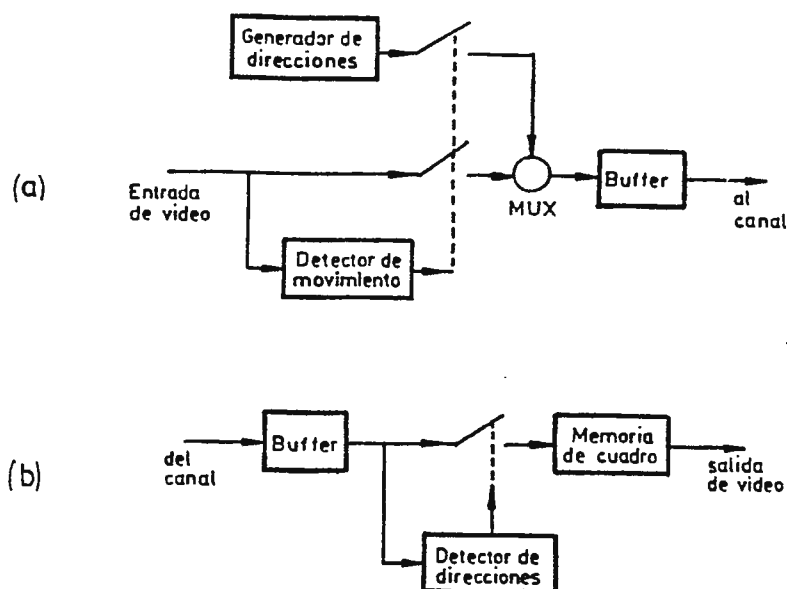


Figura 3-19

Principio de rellenado condicional. a) Transmisor, b) receptor.

Durante escenas bastante activas, el alto grado de cambios entre tramas requiere que el nivel de detección se incremente. Los bloques de imagen no se codifican uniformemente dado que las porciones de imagen que contienen mucho movimiento son codificadas mientras que aquellas porciones que contienen menos movimiento no lo son. Esta no uniformidad puede resultar en interrupciones de la imagen.

3.4.4.6 SEGMENTADO DE IMAGENES

Los cambios en una imagen tienden a ocurrir en secuencias. Puede tomarse ventaja de este factor enviando la dirección solo para el principio y el final de cada secuencia de cambio. El problema que puede resultar del uso de esto, sin embargo, es que el ruido puede aparecer como un cambio de imagen. Si dos secuencias están muy cercanas en una línea, estas deben ser conformadas en una sola secuencia para direccionar eficientemente. El ruido puede ser eliminado ignorando los cambios que son inmediatamente precedidos y seguidos por dos píxeles estables.

3.4.4.7 EFECTOS DE LOS ERRORES DE TRANSMISION

El incremento en la eliminación de redundancia por la codificación intertrama significa un incremento de la vulnerabilidad a errores en la transmisión. Direcciones e información de sincronismo requiere de una gran protección; esta protección puede lograrse agregando redundancia en forma controlada.

En la Tabla 3-3, se muestra un cuadro resumen y comparativo entre cada una de las técnicas de codificación descritas anteriormente.

Tabla 3-3. Resumen de métodos de codificación.

CODIFICACION INTRATRAMA		CODIFICACION INTERTRAMA	
TECNICA	COMENTARIO	TECNICA	COMENTARIO
PCM	- Su uso es común, para la conversión de una onda analógica a una secuencia de bit. - La frecuencia máxima de la señal 4.2MHz. - Frecuencia de muestreo 2W; donde: W= ancho de banda. - Fallas por insuficiencia de bits: - Distorsión de contorno. - Ruido de cuantización. - Número de bits por muestra establecido: 8.	REPETICION DE TRAMA	- Es usada en escenas con pocos movimientos. - Repetición de trama: - Método de entrelazado de líneas, entrelazado puntual. - Las imágenes estacionarias no son afectadas, las imágenes con mucho movimiento son oscurecidas.
CODIFICACION DE VIDEO COMPUUESTO	- Codifica la señal compuesta. - Frecuencia de muestreo de subportadora de color de 10.74 MHz para NTSC; es decir 2.5W, donde W = 4.2 MHz. - Muestreo a 8 bit/pixel, lo que implica una velocidad de 85.92 Mbps para NTSC, puede transmitida a 70 Mbps. DESVENTAJA: - Se produce problemas en la fase de la subportadora.	CODIFICACION DIFERENCIAL DE TRAMA	- Ocupa el principio DPCM, se produce una reproducción casi perfecta con cuantización de 64 niveles (6 bits). - Su defecto es la sobrecarga temporal. Este efecto es análogo al de sobrecarga de pendiente. - El proceso de cuantificación ocupa compansión.
CODIFICACION DE LAS COMPONENTES DE VIDEO.	- Codificación individual para componentes RGB. - Los anchos de banda de las señales luminancia y crominancia no están restringidos por los estándares de la señal compuesta. - Parámetros del CCIR: - Frecuencia de muestreo de Y: 13.5 MHz. - Frecuencia de muestreo señales de diferencia: 6.75 MHz. - Puede manejar efectos especiales y expansiones de imágenes.	COMPENSACION DE MOVIMIENTO	- Se hace una predicción del movimiento. - El buen funcionamiento de esta técnica depende de la cantidad de movimiento de traslación de los objetos en las escenas y la capacidad del algoritmo para estimar la traslación.
DPCM	- Utiliza codificación predictiva. - Utiliza cuantización no lineal. - Algunas imperfecciones: - Sobrecarga de pendiente. - Ruido granular.	SUBMUESTREO EN AREAS MOVILES	- Es la forma más simple y directa para reducir la resolución espacial en áreas donde están ocurriendo cambios. - Utiliza rastreo entrelazado. - Transmite una pequeña fracción de píxeles en las series cambiantes, el valor de los píxeles remanentes se fija como un promedio de los transmitidos. - Permite baja velocidad de transmisión en escenas móviles.
CODIFICACION RUIDO REALIMENTADO.	- Se utiliza para reducir el ruido de cuantización. - Puede aplicarse para video DPCM sobre cada uno de sus componentes o su señal compuesta. - DITHER: Método utilizado para reducir ruido granular.	RELLENADO CONDICIONAL	- La información es transmitida sólo cuando la diferencia entre píxeles de tramas sucesivas excede un nivel predeterminado. - Los píxeles que cambian significativamente se envían con su dirección a una memoria para esperar su transmisión.
CODIFICACION EN DOMINIO DEL TIEMPO	- Puede aplicarse a señal compuesta o sus componentes. - Velocidad para muestreo mayor o igual a la velocidad de Nyquist. - Existe codificación exacta de amplitud en áreas planas (regiones sin detalle), mientras en los bordes se permite cierta distorsión en amplitud. - Los codificadores pueden ser de formato fijo o borde adaptivo.	SEGMENTADO DE IMAGENES	- La información se basa en el principio que los cambios en una imagen ocurren en secuencia. - Esta técnica puede producir el hecho de que el ruido puede aparecer como un cambio de imagen.

3.5 METODOS DE TRANSMISION PARA SEÑALES DIGITALES

La transmisión de señales digitales, en forma global, puede desglosarse en dos formas diferentes a partir del tipo de señal que viaja en el medio; así se puede tener la transmisión en banda base o por códigos de línea, y la transmisión por radio.

La transmisión en banda base se refiere a aquella que transmite las señales digitales en forma de pulso.

La transmisión por radio involucra la modificación de las propiedades de una señal de radiofrecuencia (amplitud, frecuencia y/o fase) controlada por la señal digital; esto es lo que se conoce como "modulación digital de RF o radiotransmisión digital".

En la Figura 3-20 se muestra en diagrama a bloques la implementación de un sistema para la transmisión de señales por medio de la técnica digital. En este esquema, el proceso de conversión de señales analógica a digital y viceversa, ya fue revisado en las secciones 3.3 a la 3.4.4.6. En esta sección se estudiarán los códigos de línea y las técnicas de modulación digital, ya que ambas son utilizadas en sistemas de radiotransmisión digital. Se considera que la señal es transmitida mediante códigos de línea y en forma serial desde la sección de conversión hacia el modulador y desde el demodulador hacia la sección de conversión correspondiente; así mismo, se considera que el medio de transmisión puede ser en general cualquier sistema de microonda, cable coaxial, fibra óptica, radio de alta frecuencia u ondas milimétricas.

Hace falta mencionar, que en un sistema de comunicación están también involucrados medios de interconexión que facilitan la transmisión de datos a utilizar de un dispositivo a otro, permitiendo cierto acople en la velocidad de los datos, estos son llamados interfaces de línea. Estos dispositivos son explicados en forma más detallada en el apéndice A.

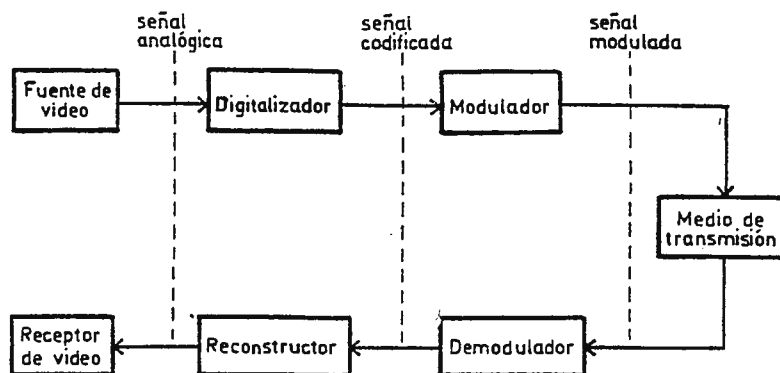


Figura 3-20

Esquema en un sistema de comunicación por radiotransmisión digital.

3.5.1 CODIGOS DE LINEA

Los códigos de línea han sido diseñados específicamente para la transmisión de señales digitales a través de medios físicos como el par trenzado, el cable coaxial o la fibra óptica. En términos generales, los códigos de línea deben ser comparados y evaluados a partir de:

- a) El espectro de frecuencia utilizado por el código y el espectro o ancho de banda disponible. En este caso es primordial la evaluación de componentes de corriente continua en el espectro de un código dado.
- b) Contenido o facilidad para extraer señales de sincronismo a partir de los códigos recibidos.
- c) Su capacidad para el control de errores, y
- d) Requerimientos y complejidad en la implementación.

3.5.1.1 CONSIDERACIONES INICIALES

Los códigos de línea más simples son aquellos que utilizan el nivel de voltaje para codificar cada símbolo (bit o conjunto de ellos).

Los factores que influyen en los códigos de línea son:

- La distancia o diferencia de voltaje entre niveles.
- El uso de voltajes de una sola polaridad (unipolares) o el de dos polaridades (códigos polares). Los últimos son convenientes porque minimizan la potencia requerida para la transmisión.
- El tiempo destinado para transmitir un símbolo.

En la Figura 3-21 puede observarse dos posibles comportamientos en el nivel de voltaje durante el tiempo destinado para un bit.

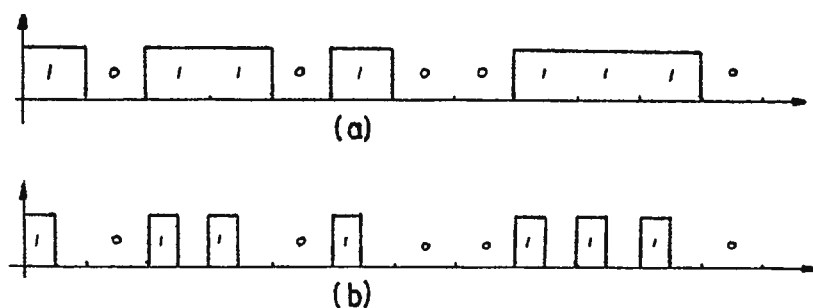


Figura 3-21

Códigos de línea unipolares. a) NRZ. b) RZ.

En la Figura 3-21(a) se observa que la señal se mantiene constante durante todo el intervalo de tiempo, este código se denomina "código sin retorno a cero" (NRZ).

En la Figura 3-21(b) la señal codifica el símbolo correspondiente únicamente durante la mitad del tiempo destinado a la transmisión de un símbolo, este es el código "retorno a cero" (RZ).

Haciendo una comparación poco profunda, los códigos polares poseen ventaja sobre los unipolares ya que no contienen componente de corriente continua como los unipolares. Por otra parte, los códigos RZ presentan mayor cantidad de transiciones o cambios de voltaje que los NRZ, lo cual indica la presencia de componentes de frecuencia más alta, además de permitir en cierto grado la extracción de sincronismo siempre que exista una alta densidad de unos.

A continuación se presentan los códigos de línea más utilizados en los sistemas de comunicación digital, tales como el código AMI, BnZS, Manchester, CMI y HDBn.

3.5.1.2 CODIGO DE INVERSION DE MARCA ALTERNADA (AMI)

Este código se obtiene a partir de una señal binaria de tipo NRZ, donde los 1 (marcas) sucesivas se transmiten mediante impulsos alternados de voltaje positivo y negativo de igual amplitud, y los ceros son transmitidos con 0 voltios. La Figura 3-22 presenta un ejemplo de codificación AMI.

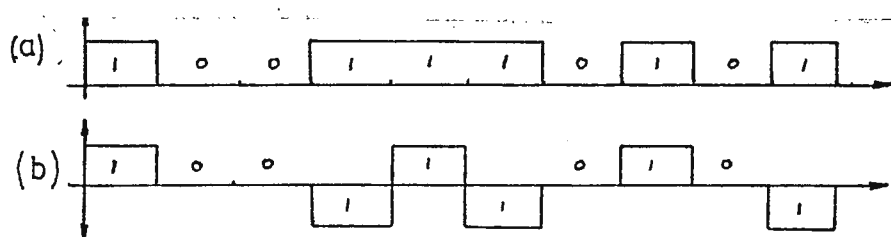


Figura 3-22

Conversión de código NRZ a código AMI.

Las características generales de este código son:

- a) Es un código pseudoternario, esto es debido a que posee 3 niveles, pero estos sólo codifican a 2 símbolos dado que existen 2 niveles para el mismo símbolo 1; esto provee cierta redundancia que permite evaluar si ha existido algún error en la transmisión, de tal forma que se detectan errores e incluso puede monitorearse la calidad de la

transmisión.

- b) Cuando la transmisión contiene gran densidad de unos, el contenido de información de sincronismo es muy bueno, de lo contrario existiran dificultades para establecer sincronismo (en caso de alta densidad de ceros).
- c) Por su carácter polar, el código AMI no presenta componente de corriente continua, y entre mayor es la densidad de 1s, más se concentra el espectro de frecuencia alrededor de la mitad de la velocidad o frecuencia de transmisión.

El código AMI puede desarrollarse usando a la salida la forma de NRZ como en la Figura 3-22, o puede utilizarse la forma RZ conservando el carácter polar del código AMI.

3.5.1.3 CODIGO BINARIO DE SUSTITUCION DE n CEROS (BnZS)

El código BnZS elimina la dependencia del código AMI sobre la densidad de 1s en la transmisión; este código reemplaza todas las cadenas de "n" ceros que se presentan, por un código especial del mismo tamaño conteniendo intensionalmente violaciones a la condición de alternación de marcas antes descrita, de esta forma se incrementa la cantidad de transiciones en la transmisión, y en la decodificación se identifican las violaciones para restaurar las cadenas de "n" ceros originales. En la Figura 3-23 se observa como ejemplo el algoritmo de sustitución de 6 ceros (B6ZS).

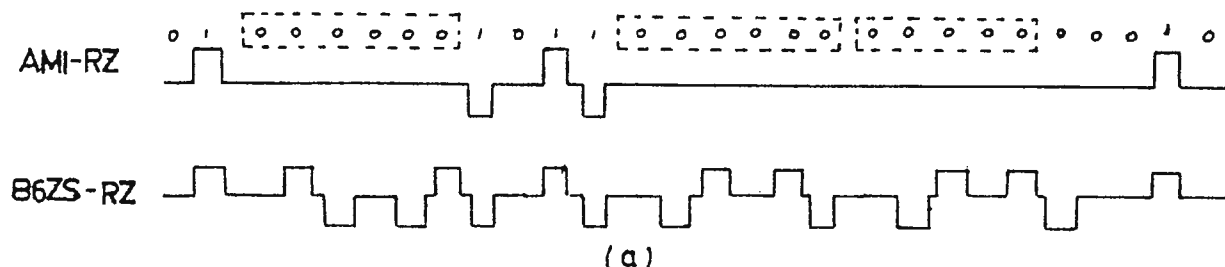


Figura 3-23a

Codificación B6ZS. Señales de codificación.

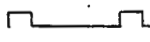
Polaridad del pulso precedente	Total de unos	
	par	impar
Positivo (+)	-00- 	000+ 
Negativo (-)	-00- 	000- 

Figura 3-24a

Codificación HDB3. Reglas de sustitución.

3.5.1.5 CODIGO MANCHESTER O BIFASICO

Este código utiliza un tipo de señal cuadrada para codificar un "1", y un ciclo de señal cuadrada con fase opuesta para codificar un "0"; normalmente es de tipo polar y siempre existe una transición al centro de cada intervalo de tiempo para un símbolo, tal como se muestra en la figura 3-25.

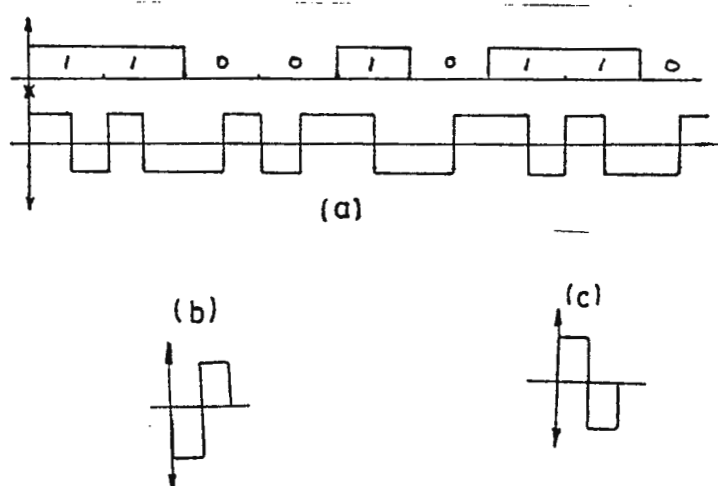


Figura 3-25

Codificación Manchester. a) Señales de codificación. b) Fase para cero. c) Fase para uno.

En el uso de código Manchester se logra obtener una buena información de sincronismo y se elimina la componente de corriente continua, a cambio, se incrementa al doble el espectro de frecuencias generadas por este código de línea.

3.6.1 CONCEPTOS BASICOS

Uno de los parámetros para evaluar la eficiencia de uso del ancho de banda de un sistema de modulación digital es la densidad de información: medición de la razón entre la velocidad de transmisión (en bps) y el ancho de banda de la señal digital (en Hz); esto es calculado así:

$$\text{Densidad de información} = \frac{\text{Veloc. de transmisión}}{\text{Ancho de banda requerido}} \quad (\text{Ec. 3.10})$$

Básicamente, el uso de las técnicas de modulación permitirá transmitir mayores velocidades utilizando menor ancho de banda.

Otro parámetro utilizado para la comparación de las técnicas de modulación es el desempeño respecto a la presencia de errores, es decir, la proporción de errores de bits (BER, bit error rate).

La característica de cada técnica de modulación determina la probabilidad de la existencia de errores, lo cual define el BER esperado para dicha técnica. La característica más apropiada para la comparación entre las técnicas, está definida como la razón entre la energía por bit y la densidad del ruido E_b/N_0 . Si se utiliza un mayor E_b/N_0 se espera un menor BER.

Las técnicas de modulación disponibles son:

- Modulación en amplitud (AM).
- Modulación en frecuencia (FM).
- Modulación en fase (PM).

Estas técnicas pueden ser de dos niveles o multinivel.

3.6.2 MODULACION EN AMPLITUD

Esta es la técnica más sencilla para generar y detectar información; en la ecuación 3.11 se muestra una expresión matemática para esta técnica:

$$x(t) = [1 + a m(t)] \cos(\omega_c t) \quad (\text{Ec. 3.11})$$

donde:

- a : es el índice de modulación ($0 < a \leq 1$)
- $m_n(t)$: es la señal de información con "n" niveles.
- ω_c : es la frecuencia angular de la señal portadora.

Sin embargo esta técnica hace uso ineficiente de la potencia requerida para la transmisión; esto es evidente al evaluar que el espectro de una señal AM incluye una componente constante a la frecuencia de la portadora, la cual no posee información alguna. Por otra parte la modulación AM es una de las formas de modulación lineal, lo cual implica que el espectro de la señal de banda base es solamente trasladado hacia el rango de RF, centrado a la frecuencia de la portadora; para señales AM, el espectro utilizado se muestra en la Figura 3-27(b). También se muestran otras técnicas de modulación lineal que se derivan de la AM. Estas técnicas son: la modulación en amplitud de doble banda lateral con portadora suprimida, la modulación de banda lateral única con portadora suprimida y la modulación de banda lateral residual con portadora suprimida. Estas variaciones permiten una reducción en el ancho de banda utilizado.

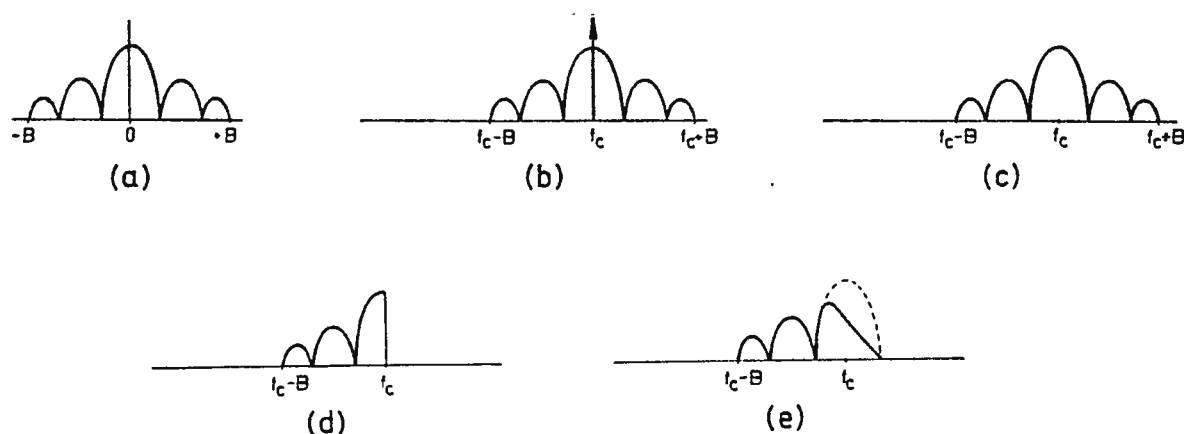


Figura 3-27

Modulación lineal. a) Banda base. b) AM. c) DBLPS (doble banda lateral con portadora suprimida). d) BLUPS (banda lateral única con portadora suprimida). e) BLRPS (banda lateral residual con portadora suprimida).

La modulación digital por corrimiento de amplitud (ASK) puede tomar tres formas particulares a partir del índice de modulación utilizado, estas se muestran en la Figura 3-28.

La Figura 3-28(b) muestra el caso general de la ASK (AM digital) donde se utilizan dos niveles de amplitud para transmitir la información. La Figura 3-28(c) realiza una conmutación sobre la portadora transmitida; a esta forma de modulación se le conoce como encendido-apagado. Finalmente la Figura 3-28(d) muestra un caso donde $a > 1$, lo cual contradice algunas de las afirmaciones generales sobre modulación AM. Uno de estos aspectos contradictorios es que para cada dígito transmitido puede observarse que la señal transmitida es modificada en fase; para el 1 se transmite la portadora desfasada 180° respecto a la fase utilizada para el "0"; ésto correspondería por tanto a la modulación por corrimiento de fase (PSK), y de hecho es conocida como BPSK en algunos documentos técnicos.

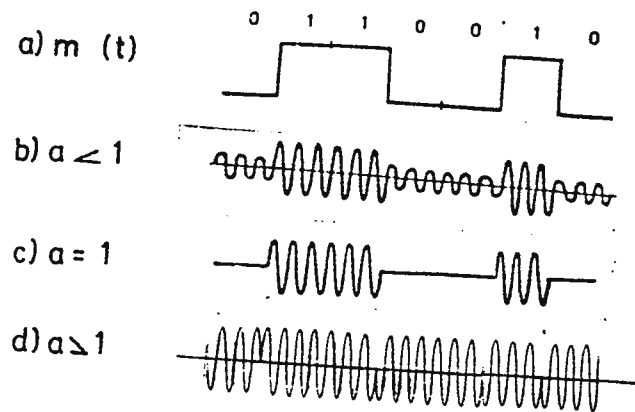


Figura 3-28

Modulación ASK.

La técnica de modulación ASK multinivel no es conveniente ya que aumenta la complejidad en cierto grado del receptor y hace más susceptible el sistema sobre la influencia del ruido en el canal, ya que las distancias entre los niveles en que se codifican los símbolos se reducen; por tanto, desde ningún punto de vista es conveniente la modulación por corrimiento de amplitud con varios niveles (más de dos) puesto que la utilidad de la ASK binaria es únicamente en casos que el receptor limite la complejidad y costos del sistema, aun cuando la transmisión requiera la potencia elevada.

3.6.3 MODULACION EN FRECUENCIA

Esta es una forma de modulación angular, ya que de su forma matemática (ecuación 3.12) puede observarse que la amplitud de la señal ya modulada se mantiene constante derivándose de ahí el término de modulación por envolvente constante.

$$x(t) = \cos \left[\left(\omega_c + \frac{m_n(t) \Delta \omega}{2} \right) t \right] \quad (\text{Ec. 3.12})$$

donde:

ω_c : frecuencia angular de la portadora ($2\pi f_c$)

$m_n(t)$: señal de información de "n" niveles.

$\Delta \omega$: desviación de frecuencia angular.

En la modulación por corrimiento de frecuencia (FSK), a cada símbolo de información a transmitir le corresponde una frecuencia que es múltiplo de la desviación Δf , y que se encuentra muy cercana a la frecuencia de la portadora; esto determina la utilización de modulación FM de banda angosta.

En la Figura 3-29 se muestran las formas de onda para crear la señal FSK.

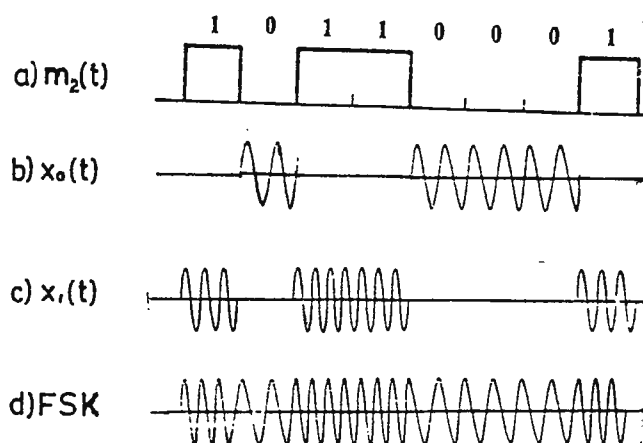


Figura 3-29

Modulación FSK binaria.

A partir de esta formación puede verse una forma de implementar la señal FSK que consiste en conmutar entre dos osciladores ajustados a las frecuencias adecuadas para conformar la señal FSK. Gracias a esta forma se puede evaluar el espectro generado por señales FSK. En la Figura 3-30(a) se muestra el espectro de una señal ASK; utilizando la semejanza sobre la forma de onda de las Figuras 3-29(b) y 3-29(c), puede concluirse que el espectro de una señal FSK es la suma de dos espectros centrados a $f_c - \Delta f/2$ y $f_c + \Delta f/2$, como lo muestra la Figura 3-31(c). El ancho de banda resultante es mayor que el requerido por la técnica de modulación ASK, sin embargo la técnica FSK contiene la información en la variación de frecuencia, no existe efecto negativo en la presencia del ruido; por otra parte, las características no lineales, del medio si producen distorsión en la señal FSK, lo cual puede llegar a provocar errores en la detección. Otro factor favorable a la FSK es que puede implementarse fácilmente para sistemas multinivel, donde se utiliza normalmente un oscilador controlado por voltaje o la conmutación entre osciladores fijos.

Uno de los inconvenientes de esta técnica es el ancho de banda generado, el cual puede ser reducido si se hace una selección adecuada de la desviación de frecuencias, ya que los cambios de fase abruptos cuando se cambia de una frecuencia a otra expanden más de lo necesario el espectro generado.

La técnica FSK se ha desarrollado en gran parte para aplicaciones de baja velocidad a bajo costo en medios de transmisión por línea física. Sin embargo aunque la técnica de detección más utilizada es no coherente, se han hecho implementaciones con las ventajas de FSK, lo cual ha desarrollado más aplicaciones con transmisión por ondas milimétricas que además permitan la transmisión a mayores potencias a pesar de la saturación y otras no linealidades en el amplificador de potencia.

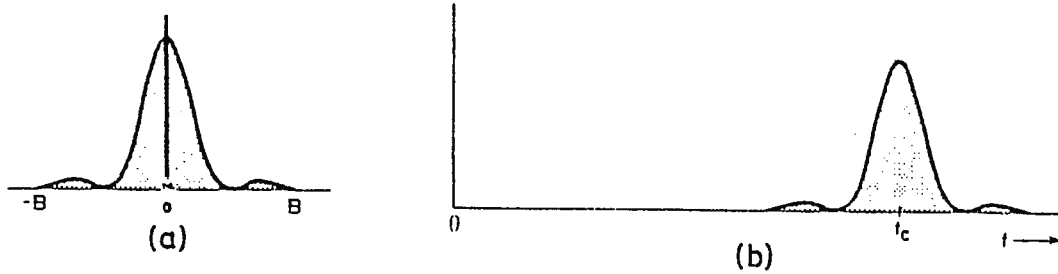


Figura 3-30

Espectro de modulación ASK. a) $m(t)$. b) $m(t)$ modulada como encendido-apagado.

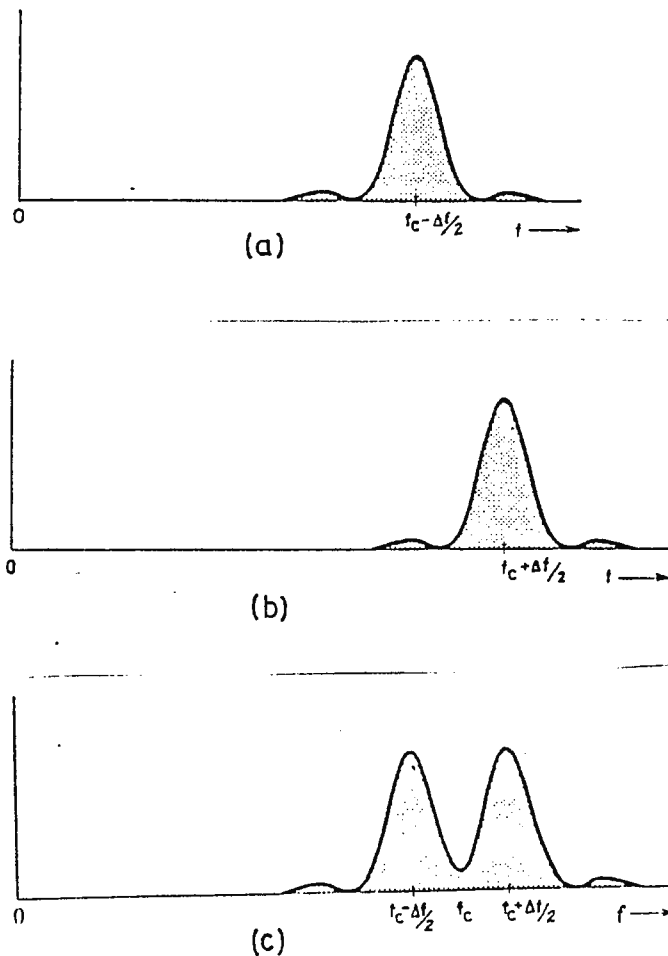


Figura 3-31

Espectro de modulación FSK. a) $X_0(t)$. b) $X_1(t)$ c) $m(t)$ modulada en FSK.

3.6.4 MODULACION EN FASE

Esta es otra forma de modulación angular que transmite la información modificando la fase de la portadora, y por tanto posee una envolvente constante; la ecuación 3.13 muestra la definición matemática de esta técnica:

$$x(t) = \cos \left(\omega_c t + \frac{m_n(t) \Delta \phi}{2} \right) \quad (\text{Ec. 3.13})$$

donde:

ω_c : es la frecuencia angular de la portadora.

$m_n(t)$: señal de información de "n" niveles.

$\Delta \phi$: es la desviación de fase ($\Delta \phi = 2\pi/n$).

Las implementaciones más comunes para la técnica de modulación por corrimiento de fase (PSK) utilizan 2, 4 y 8 niveles.

Para dos niveles se comprende el caso planteado en la modulación PSK donde cada símbolo era transmitido por un corrimiento de 180°. Si para FSK la distancia entre símbolos era definida por la desviación de frecuencia Δf , en el caso de PSK la distancia entre símbolos será $\Delta \phi$ la cual se reduce al aumentar el número de niveles.

En la Figura 3-32 se muestran las formas de onda para distintos niveles de modulación PSK, para cada señal se muestra el diagrama fasorial correspondiente, el cual es muy utilizado para evaluar el desempeño en el medio de transmisión.

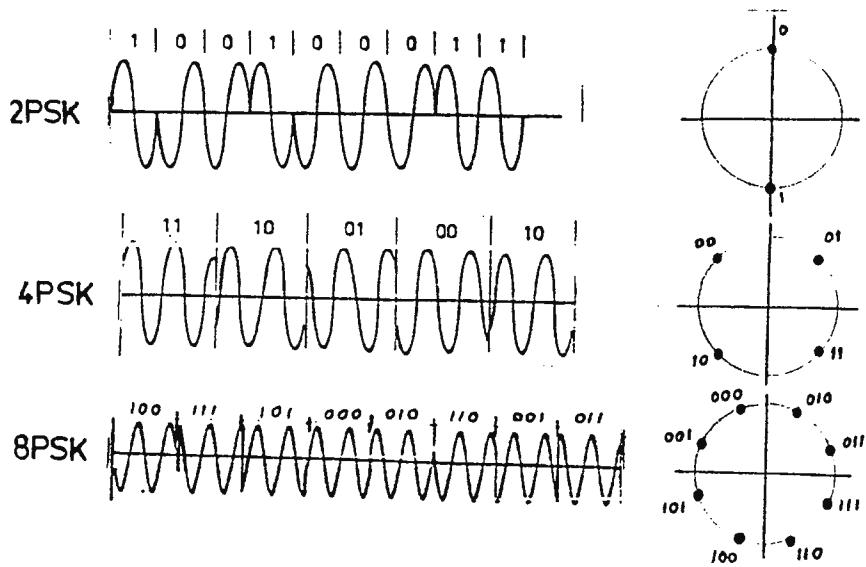


Figura 3-32

Modulación por corrimiento de fase. a) 2PSK. b) 4PSK. c) 8PSK.

La forma más útil para describir las señales PSK es mediante la representación de señales en cuadratura. Esta representación consiste en combinar una señal senoidal con otra cosenoidal, las cuales poseen un desfase entre ellas de 90° por lo cual son ortogonales, de aquí el término de cuadratura.

La Ecuación 3.14 muestra como puede expresarse una señal modulada en fase mediante la simple variación de los coeficientes de cada señal en cuadratura.

$$\cos(\omega_c t + \phi) = \cos \phi \cos \omega_c t - \sin \phi \sin \omega_c t \quad (\text{Ec. 3.14})$$

donde:

ω_c : es la frecuencia angular de la portadora.

ϕ : es el desfase de la portadora.

En esta expresión, se dice que $\cos(\omega_c t)$ es la señal en fase (I), y $\sin(\omega_c t)$ es la señal en cuadratura (Q); los coeficientes $\cos \phi$ y $\sin \phi$ se interpretan como las amplitudes de las señales de I y Q para producir un desfase en particular. En la Tabla 3-4 se

muestra los valores de estos coeficientes para producir una señal 4PSK.

Tabla 3-4. Coeficiente de señales I y Q para modulación 4PSK.

INFORMACION	COS	SEN	SEÑAL COMPUESTA
01	0.707	-0.707	$\cos(Wct + \pi/4)$
00	-0.707	-0.707	$\cos(Wct + 3\pi/4)$
10	-0.707	0.707	$\cos(Wct - 3\pi/4)$
11	0.707	0.707	$\cos(Wct - \pi/4)$

La modulación PSK es ampliamente utilizada en sistemas de alta densidad de datos, y muestra un ancho de banda prácticamente igual al de ASK; el desempeño ante errores es mejor tanto respecto a ASK como para FSK, donde para éste último representa significativa ventaja respecto al desempeño de las implementaciones multinivel. Sin embargo las implementaciones de PSK conllevan mayor complejidad que las demás, dado que requiere de la detección coherente.

3.6.5 MODULACION QAM

Varios esquemas de modulación híbridos se están desarrollando para un uso del espectro más eficiente. Un esquema híbrido consiste en la modulación de la portadora tanto en amplitud como en fase, amplitud y frecuencia, o fase y frecuencia. La técnica híbrida más desarrollada es la modulación de amplitud en cuadratura (QAM); esta técnica modifica tanto la amplitud de la portadora así como su fase. Utilizando las representaciones en cuadratura, y haciendo una comparación respecto a la técnica PSK, la modulación QAM muestra que la generación de las señales I y Q es independiente una de la otra a diferencia de la modulación PSK donde ambos coeficientes eran mutuamente dependientes. La Figura 3-33 muestra la comparación entre los diagramas fasoriales para ambas técnicas a un mismo nivel.

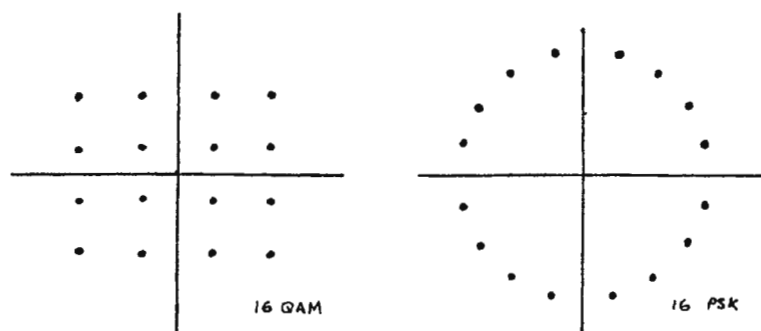


Figura 3-33

Comparación entre QAM y PSK.

Puede observarse en el diagrama que la distancia entre distintos niveles es mayor para QAM que para PSK, tal como lo muestran las ecuaciones 3.15 y 3.16.

$$d_{psk} = 2 \sin(\pi/N) \quad (\text{Ec. 3.15})$$

$$d_{qam} = \frac{\sqrt{2}}{\log N - 1} \quad (\text{Ec. 3.16})$$

donde N es el nivel de los sistemas.

Por tanto, QAM presenta una gran eficiencia en la potencia requerida respecto al resto de las técnicas. En video, ésta es una de las técnicas más empleadas debido a esa eficiencia.

3.3.6 COMPARACION ENTRE LAS DIVERSAS TECNICAS DE MODULACION

En las Figuras 3-34, 3-35, 3-36 y 3-37 se muestran las curvas para cada técnica de modulación respecto a la probabilidad de errores para cierto E_b/N_0 .

También, el CCIR (Comite consultivo Internacional para radio) describe la siguiente comparación entre las técnicas de modulación más comunes en la Tabla 3.5. De igual forma, en la Tabla 3.6 se muestran parámetros prácticos para cada una de las técnicas estudiadas.

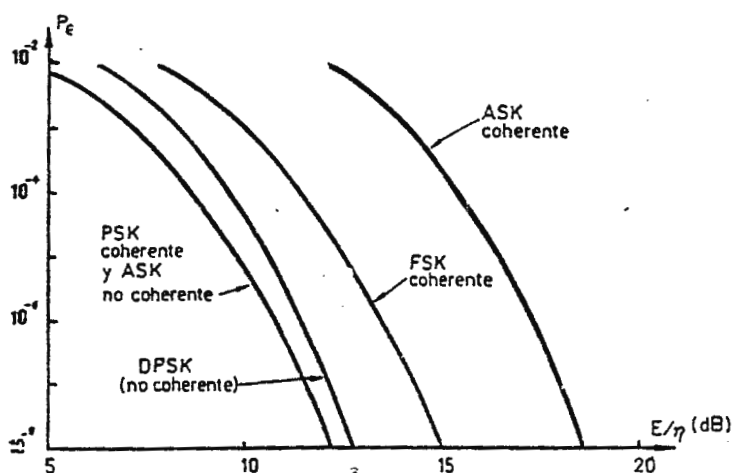


Figura 3-34 Técnicas binarias.

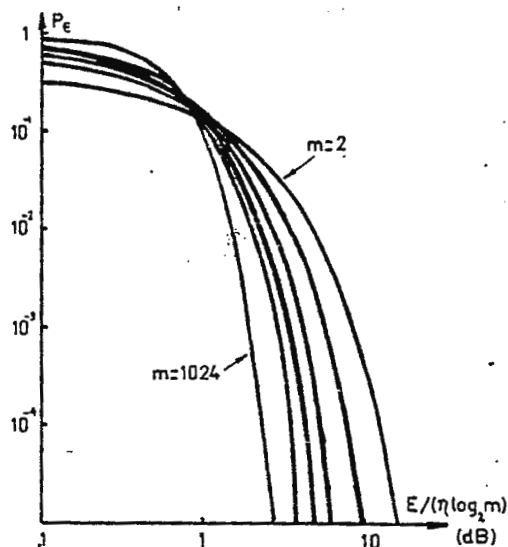


Fig. 3-35 FSK multinivel.

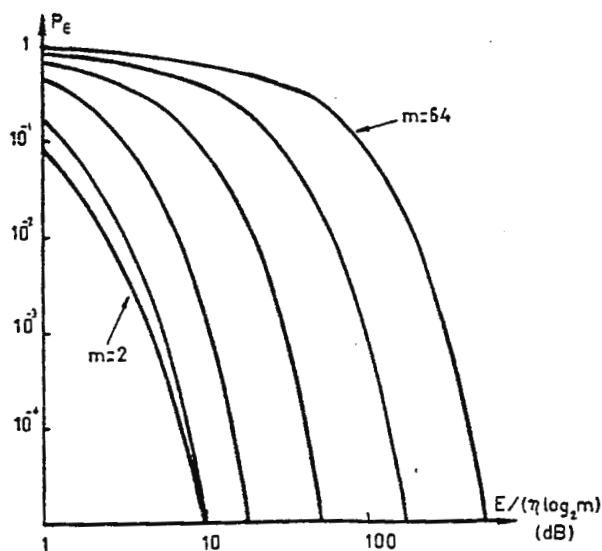


Fig. 3-36 PSK multinivel.

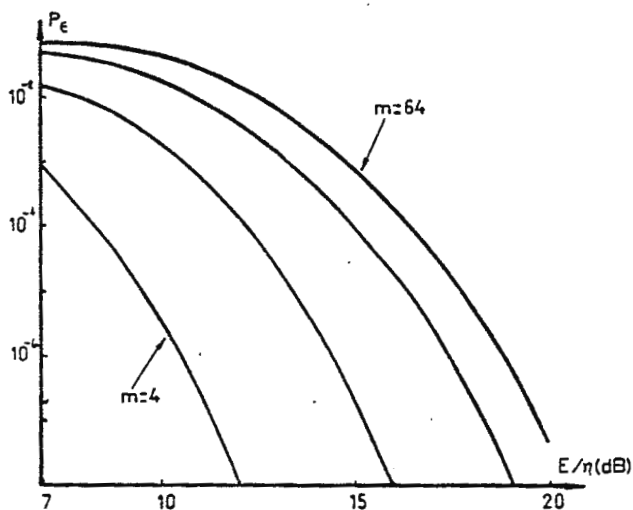


Fig. 3-37 QAM.

Tabla 3-5. Técnicas de modulación según el CCIR.

SISTEMA	VARIANTE	POTENCIA REQUERIDA (dB) ($P_e=10^{-6}$)	BW*	COMENTARIOS
AM	DBL con portadora, detección por envolvente.	17	FB	Sencilla, desperdicio de espectro, gran potencia requerida.
	DBLPS, dos canales binarios en cuadratura con detección coherente.	10.5	FB/2	Complejidad media, tolerante a la distorsión.
	DBLPS con detección diferencial coherente.	12.8	FB/2	Medianamente sencilla, algo sensible a las distorsiones.
	BLUPS	10.5	FB/2	Compleja. Pérdida de componentes de baja frecuencia de la señal banda base.
	BLRPS coherente.	11.3	0.6FB	Complejidad media.
	BR portadora reducida, detección coherente.	11.8	0.6FB	Sencilla, sujeta a distorsión del pulso, gran potencia requerida.
PM Coherente.	2 niveles.	10.5	FB	Medianamente sencilla, desperdicio de espectro, tolerante a la distorsión.
	4 niveles.	10.5	FB/2	Medianamente sencilla, tolerante a la distorsión.
	8 niveles.	13.8	FB/3	Compleja, economía de espectro, sensible a la distorsión.
PM Diferencial	2 niveles.	11.2	FB	Sencilla, tolerante a la distorsión, desperdicio de espectro.
	4 niveles.	12.8	FB/2	Medianamente sencilla, algo sensible a las distorsiones.
	8 niveles.	16.8	FB/3	Compleja, gran potencia requerida, economía de espectro, sensible a la distorsión.
FM	2 niveles.	13.4	FB	Sencilla, desperdicio de espectro.
	4 niveles.	20.1	FB/2	Medianamente sencilla, gran potencia requerida.
	8 niveles.	25.5	FB/3	Compleja, gran potencia requerida, economía de espectro.
HIBRIDO	16 QAM.	17	FB/4	Medianamente sencilla, economía de espectro, sensible a distorsión.

* F: Factor de diseño dependiente de la implantación; en diseños eficientes.

F se encuentra entre 1 y 2.

B: Velocidad de transmisión binaria antes del proceso de modulación (Mbps).

Tabla 3-6. Parámetros prácticos de las técnicas de modulación digital.

SISTEMA	TECNICA	DENSIDAD DE INFORMACION (bps/Hz)	E_b/N_0 ($P_e=10^{-6}$) (dB)
AM	Modulación encendido/apagado (OOK) coherente.	0.8	12.5
FM	FSK no coherente.	0.8	11.8
	CPFSK ($d=0.7$) no coherente.	1.0	10.7
	MSK.	1.9	9.4
PM	BPSK coherente.	0.8	9.4
	QPSK.	2.25	11.7
	DEBPSK.	0.8	9.9
	4PSK.	1.9	9.9
	DE4PSK	1.8	11.8
	8PSK	2.6	12.8
	16PSK	2.9	17.2
HIBRIDO	QAM	1.7	9.5

3.7 MEDIOS DE TRANSMISION DIGITAL

Antes de introducirse a el siguiente capítulo, es necesario hacer una breve comparación entre los medios físicos para la transmisión digital que actualmente se utilizan, uno de los dos tipos puede ser utilizado para las conexiones internas del sistema. Esta comparación es mostrada en la Tabla 3.7.

Tabla 3-7. Comparación de los distintos medios.

	CABLE COAXIAL	FIBRA OPTICA
1. Necesidades de terreno.	Requiere de facilidades terrenas o derecho de via a lo largo de toda la ruta y posibilidad para acceso a mantenimiento posterior	Requiere de facilidades terrenas o derecho de via a lo largo de toda la ruta y posibilidad para acceso a mantenimiento posterior
2. Inserciones y derivaciones	Puede realizarse en cualquier repetidor. Debe mantenerse al mínimo.	Pueden realizarse en cualquier punto y ofrecen gran versatilidad sin mayor complejidad excepto atenuaciones introducidas.
3. Pérdidas.	Ninguna, aparte de las variaciones de temperatura.	Mínima.
4. Acumulación de ruido.	Menor (1pWp/Km).	
5. Interferencia.	Poca, casi ninguna.	Menos susceptible.
6. Limitante en el número de portadoras o banda base transmitida.	Media	Ninguna.
7. Espaciamiento de repetidores.	1 - 10 Km.	5 - 10 Km.
8. Costo comparativo de repetidores.	Menor.	Considerablemente mayor.
9. Consideraciones de potencia para los regeneradores	Alto voltaje DC en el rango de miliamperios.	Bajo consumo, pero requiere de alimentación remota o de un equipo de alimentación local.
10. Multicanalización.	FDM - CCITT TDM	Multicanalización por longitud de onda.
11. Mantenimiento e ingeniería.	Menor nivel y menor costo.	Nivel intermedio y mayor costo
12. Terreno.	De considerable importancia en el cableado.	De considerable importancia en el cableado.

CAPITULO IV

TRANSMISION POR ONDAS MILIMETRICAS

En la ingeniería de sistemas de transmisión, existen factores muy importantes que determinan el porque de la elección de un medio específico para el diseño de una red, uno de ellos son las características técnicas, las cuales ayudan a definir cual sistema conviene más para los objetivos que se pretenden.

En este capítulo se hace especialmente un breve estudio sobre la técnica de radioenlace para la transmisión por microonda o milimétrica, describiendo así los requerimientos necesarios para el diseño de las redes y los factores que pueden influir en ellos. También todo lo que se refiere a la calidad del radioenlace (comparando las distintas formas de modulación), su disponibilidad y la determinación de distorsión por radio. De igual forma se hace un estudio sobre la teoría básica de antenas y los cálculos de radioenlace digitales y analógicos, con énfasis en el diseño de radioenlaces de transmisión digital.

Antes de introducirse a la teoría de radioenlace y propagación de onda, es necesario mencionar algunas de las ventajas que ofrece este medio por las cuales fue escogido:

- El costo para la adquisición de enlaces de ondas milimétricas en el orden de los Gigahertz son menos elevados que los de frecuencia baja (microondas), por tal razón es más rentable; otro aspecto que influye es la estructura física necesaria para la instalación, las cuales no requieren de grandes dimensiones.
- En nuestro país el espectro de frecuencias abajo de los 10GHz está casi saturado, por tal razón al trabajar con frecuencias de 23GHz es casi despreciable el nivel de interferencia que pueda existir en la señal.
- Por la misma razón descrita anteriormente, en el espectro de ondas milimétricas puede ocuparse un ancho de banda más grande que permitiría mayor capacidad del sistema, ya que habría menos compresión de datos. Ya que el número de canales dependerá del ancho de banda que se ocupe; la

capacidad en bits sería mayor que la que puede proporcionar la compañía telefónica por medio de su red pública.

Antes es necesario definir los rangos de frecuencia ocupados por las microonda o banda centimétrica y las ondas milimétricas. La primera cubre el espectro de 150MHz (o 200cm.) a 13GHz (o 2.3cm); y las ondas milimétricas desde 13GHz (o 0.23mm) a 100GHz (o 3mm).

Obsérvese el espectro de frecuencias presentado en la Figura 4-1. Así mismo en la Tabla 4-1 se presenta la disposición de radiocanales para cada banda que componen el espectro de frecuencias para ondas milimétricas.

TABLA 4-1. Disposición para sistemas de radio, en la banda de frecuencias para ondas milimétricas.

BANDA (GHz)	DISPOSICION
10.7 - 11.7	- Potencia máxima del transmisor = 10dBW. - Nivel de recepción nominal = -60dBW. - Frecuencia intermedia del receptor = 140MHz. - Longitudes de tramo = 65Km.
14.4 - 15.35	- Para canales de mediana capacidad, la separación entre cada uno debe ser 28MHz.
17.7 - 19.7	- Para canales con capacidades de 280 Mbps, 140Mbps y 34Mbps, la frecuencia central es =18700MHz. - Cada canal de 220MHz. - Separación entre canales 13.75MHz. - Separación típica entre repetidores es 3Km.
21.2 - 23.6	- Frecuencia de referencia 21196MHz. - Capacidad 1.5 - 8Mbps (digital). - Separación ida-retorno. 1200MHz.
25.25 - 27	- Capacidad de: 64Kbps - 6Mbps. - Longitud máxima del enlace 7 - 10km.
31.0 - 31.2	- Separación ida-retorno 150MHz.
38.6 - 40	- Frecuencia referencia 38575MHz. - Separación ida-retorno 700MHz.

4.1 RADIOFRECUENCIA.

A la propagación de ondas electromagnéticas por el espacio libre o atmósfera se le llama propagación de radiofrecuencia (RF).

La técnica de radiofrecuencia consiste en superponer la información que se desea transmitir a una onda electromagnética que se propaga en el espacio, llamada "portadora". La información se extrae de la onda portadora en el receptor que recoge una fracción de la energía radioeléctrica transmitida.

4.2 LINEA VISTA.

En microondas y ondas milimétricas las señales que se transmiten viajan cortas distancias (1 a 80Kms en enlaces terrestres) "en línea recta libre de obstrucciones" a este tipo de propagación se le conoce como transmisión por "línea vista" y está limitada en distancia por la curvatura de la tierra, los obstáculos a lo largo de la ruta y las pérdidas por el espacio libre.

4.3 PROPAGACION.

En la propagación sobre el espacio libre las ondas milimétricas son más afectadas por ciertas propiedades de la atmósfera que las ondas centimétricas (microondas). Estas propiedades son la absorción y dispersión de la onda a medida que es transmitida a través de la atmósfera. Sin embargo las ondas milimétricas han tomado gran auge en los últimos años debido probablemente a la creciente congestión en las bandas centimétricas en ciertas áreas del mundo. Otra consideración es la necesidad de mayores anchos de banda para acomodar señales con transmisión digital o de espectro ancho.

4.3.1 PERDIDAS EN EL ESPACIO LIBRE.

Las pérdidas de potencia a medida que la onda de radio viaja se conocen como pérdidas en el espacio libre, estas son dependientes de la frecuencia y distancia. Pero no sólo estas son las pérdidas de una señal, las señales también pueden ser atenuadas por las condiciones de la atmósfera y del terreno lo

cual puede causar:

Difracción: si la señal es bloqueada o parcialmente bloqueada por obstrucciones físicas tales como árboles, cerros, edificios, etc. parte de la señal es desviada lejos del receptor.

Refracción: variaciones en la densidad del aire a lo largo de la trayectoria, refractan parte de la señal lejos del receptor. El grado de refracción varía con las condiciones de la atmósfera.

Reflexión: Superficies planas tales como lagos, paredes de edificios, calles o ventanas de vidrio pueden reflejar la señal causando distorsión y atenuación.

Absorción: partículas pequeñas en la atmósfera tales como oxígeno, vapor de agua, etc. absorben parte de la energía de la señal. La lluvia absorbe más energía de la señal particularmente cuando el tamaño de las gotas se aproxima a la longitud de onda de la señal.

Dispersión: partículas de la atmósfera pueden dispersar la señal y desviar la energía a diferentes direcciones.

Considerando una señal viajando entre el transmisor A y el receptor B (Figura 4-2). Las pérdidas en el espacio libre en decibeles (dB) pueden calcularse con las siguientes fórmulas:

Para transmisión de microondas:

$$\text{Atenuación (dB)} = 32.4 + 20 \log D + 20 \log f \quad (\text{Ec. 4.1a})$$

Para transmisión de ondas milimétricas:

$$\text{Atenuación (dB)} = 92.45 + 20 \log D + 20 \log F + a + b + c + d \quad (\text{Ec. 4.1b})$$

Donde:

D: distancia en Km.

f: frecuencia en MHz.

F: frecuencia en GHz.

a: pérdidas debidas al vapor de agua en dB.

b: pérdidas debido a neblina en dB.

c: pérdidas debido al oxígeno (O₂) en dB.

d: perdidas debido a la lluvia en dB.

Para determinar las pérdidas debida a la lluvia, neblina, vapor de agua y oxígeno en una región determinada se hace uso de gráficos, en los cuales se presenta la atenuación en dB/Km para diferentes frecuencias.

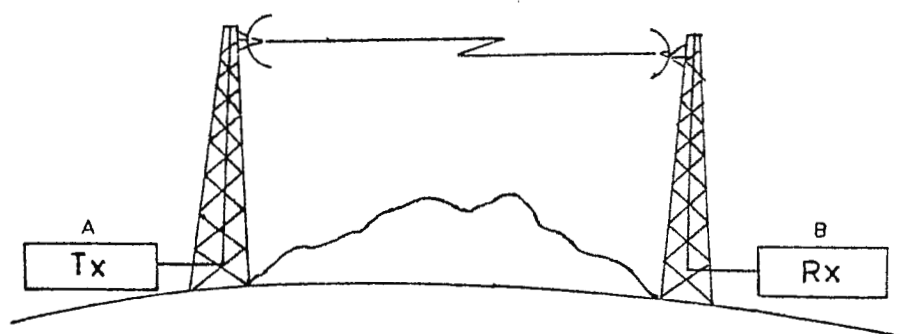


Figura 4-2.

Enlace de línea vista.

4.3.2. ATENUACION DEBIDA A LAS PROPIEDADES DE LA ATMOSFERA

4.3.2.1 ABSORCION ATMOSFERICA.

La atmósfera de la tierra no es el vacío, sino que está compuesta de varias sustancias tales como gases, líquidos y sólidos. Algunos de estos materiales son capaces de absorber las ondas electromagnéticas produciendo atenuación.

La absorción de las radiofrecuencias en una atmósfera normal es dependiente de la frecuencia y es relativamente insignificante abajo de los 10GHz aproximadamente. La atenuación debida a la absorción depende de la distancia total en la que la onda se propaga a través de la atmósfera y para condiciones atmosféricas no normales como mayor densidad de neblina y oxígeno se absorbe más energía.

4.3.2.2. ATENUACION POR LA LLUVIA (PERDIDAS POR ABSORCION).

La atenuación debida a la lluvia es la mayor causa de pérdidas especialmente para frecuencias de 10GHz en adelante. Una

tormenta corta (20 min. aproximadamente) causa mayor atenuación que una llovizna que dure varias semanas. La lluvia causa absorción de las ondas de radio, lo que provoca pérdidas de potencia. El grado de atenuación de un enlace de línea vista es una función de la frecuencia de radio, cantidad de lluvia y distribución de ésta a lo largo de la trayectoria. La Figura 4-3 muestra las curvas de atenuación para diferentes razones de precipitación. Estas curvas incluyen la atenuación por lluvia, oxígeno, neblina y vapor de agua.

La forma en que se polarizan las señales de radiofrecuencia influyen en la atenuación de la señal debido a la lluvia: la orientación de la amplitud de la onda de radio (cuando esta viaja) relativa a la tierra es conocida como "polarización". La polarización puede ser horizontal o vertical dependiendo de la orientación de la antena cuando se transmite la onda. La mayoría de las antenas se configuran para que transmitan una señal en polarización vertical ya que este tipo de polarización es menos susceptible a la atenuación debida a la lluvia.

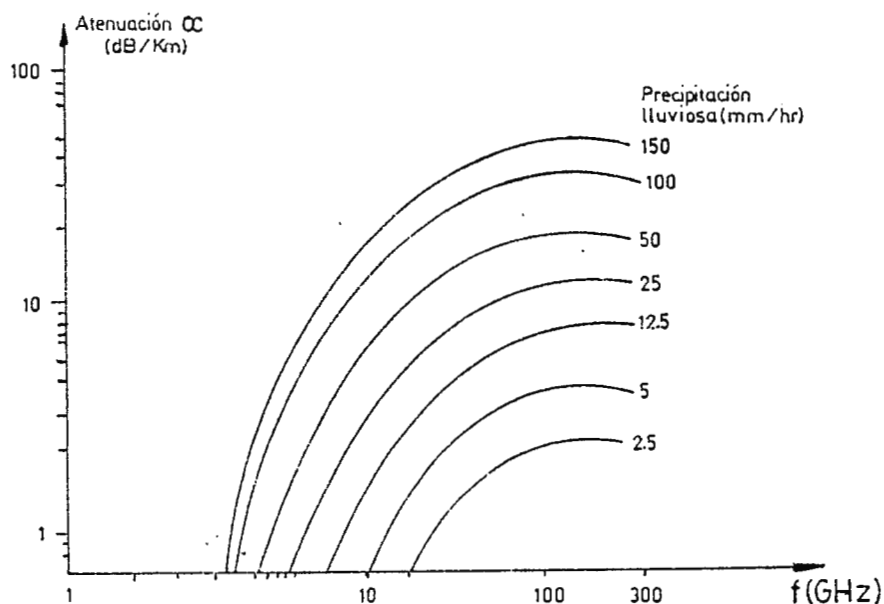


Figura 4-3.

Valores calculados para la atenuación debida a las propiedades de la atmósfera para diferentes precipitaciones lluviosas.

La Figura 4-4 es una ampliación de la Figura 4-3 donde puede

observarse todas las pérdidas debidas a las propiedades de la atmósfera.

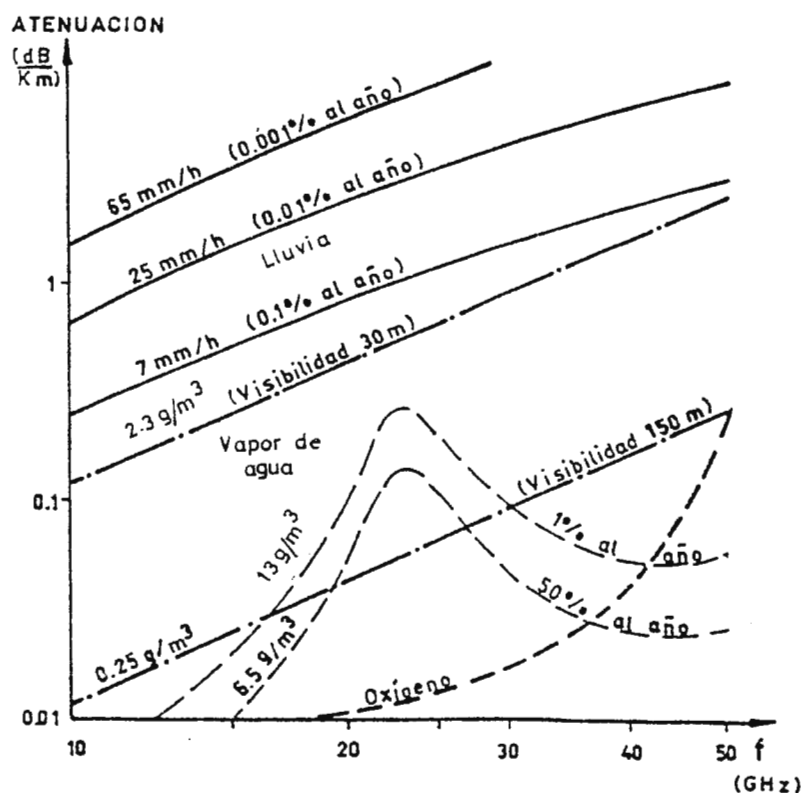


Figura 4-4

Atenuación por lluvia, neblina, oxígeno y vapor de agua.

4.3.3 DESVIACION DE LA ONDA DE RADIO DE LA PROPAGACION DE LINEA RECTA.

Las ondas de radio que viajan en la atmósfera no siguen verdaderamente una línea recta, ya que ellas son refractadas o desviadas o pueden ser difractadas.

La velocidad de una onda electromagnética es función de la densidad del medio en el cual viaja. Esto es tratado por la ley de Snell (Ec. 4.2), la cual establece que:

$$\frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = \frac{v_1}{v_2} = \eta \quad (\text{Ec. 4.2})$$

donde:

θ_i : ángulo de incidencia.

θ : ángulo de refracción.

v_i : velocidad de incidencia.

v_2 : velocidad de refracción.

η : constante llamada índice de refracción del segundo medio respecto al primer medio.

El índice de refracción absoluto (de una sustancia respecto al vacío o aire aproximadamente) es el que determina cuánto una onda es desviada de la línea recta.

4.3.4 CONSIDERACIONES DE LA CURVATURA DE LA TIERRA Y CONDICIONES DE REFRACTIVIDAD.

Para permitir una comunicación en línea vista confiable debe determinarse si se necesitará torre o no para la colocación de la antena u otro dispositivo radiador y esto dependerá de la altura de los obstáculos. Para determinar la altura de éstos, debe establecerse la altura (sobre el nivel del mar) a la cual se encuentra cada uno de ellos (se determina por mapa de niveles o altímetro) a lo largo de la trayectoria entre los dos sitios que se quiere comunicar por un sistema de radioenlace y además debe considerarse las diferentes alturas debido a la curvatura de la tierra y al doblamiento que sufre la onda de radio producida por los diferentes índices de refracción, para esto se considera que la trayectoria de la onda de radio es realmente una línea recta, tal modificación puede ser interpretada como una representación de una tierra equivalente que tiene un radio que es "K" veces el radio real de la tierra; "K" varía según las condiciones del lugar, en la Tabla 4-2 se tienen los valores de "K" para diferentes terrenos. Un valor de $K=4/3$ es usado comúnmente en los análisis de propagación, pues un índice de refracción que se decrementa uniformemente con la altitud resulta en $K=4/3$ y es llamado refracción estándar.

Las condiciones de curvatura de la tierra y doblamiento de la onda de radio para diferentes índices de refracción son considerados matemáticamente añadiendo a la altura a la cual se encuentra el obstáculo (h), el factor:

$$h_c = \frac{0.078 d_1 d_2}{k}$$

(Ec. 4-3)

donde:

d1: distancia (en Km) del extremo cercano a el punto donde se encuentra el obstáculo.

d2: distancia (en Km) del extremo lejano a la localización del obstáculo.

hc: altura (en m) debido a la curvatura de la tierra y condiciones de refractividad de la onda de radio.

K : radio efectivo de la tierra/radio real de la tierra.

Tabla 4-2. Valor de K para diferentes condiciones de propagación.

FACTOR K	CONDICIONES DE PROPAGACION
4/3	Atmósfera normal (no frío, no caliente).
1.00 - 4/3	Humedad, neblina, existencia de montañas.
0.66 - 1	Planicies, poca neblina.
0.66 - 0.5	Neblina de superficies (vapor de plantaciones).
0.5 - 0.4	Costa, enlace sobre agua y zonas lluviosas.

4.3.5 ZONA DE FRESNEL.

Otro factor que debe añadirse a la altura a la cual se encuentra un obstáculo para obtener una altura efectiva de éste es el "espacio de Fresnel". Este se deriva de la teoría de las ondas electromagnéticas en donde una onda tiene propiedades de esparcimiento a medida que esta viaja en el espacio. Si la onda electromagnética incide sobre una superficie discontinua produce ondas difractadas. A una longitud de onda dada, la fuerza del campo se decrementa a medida que se mueve hacia abajo dentro de la zona de obstrucción. La Figura 4-5 muestra este efecto. El parámetro R describe la naturaleza de la discontinuidad, R= 0 corresponde a obstáculos con bordes afilados, R= -1 corresponde a la difracción sobre una superficie esferica por ej: la cúpula de una iglesia, un cerro, etc. (en estos se tiene la mayor atenuación), y R= -0.3 que representa los obstáculos comunes; como puede observarse en la gráfica la zona libre sobre el obstáculo debe ser al menos 0.6 de la primera zona de

Fresnel (Fr). Las zonas de Fresnel son superficies elipsoides imaginarias que rodean la trayectoria de línea recta entre las antenas. El radio de la primera zona de Fresnel puede calcularse con la siguiente fórmula:

$$Fr = 17.3 \sqrt{\frac{d_1 d_2}{FD}} \quad (\text{Ec. 4-4})$$

donde:

Fr: radio (en m) de la primera zona de Fresnel.

d1: distancia (en Km) del transmisor al obstáculo.

d2: distancia (en Km) del obstáculo al receptor.

D : d1 + d2, longitud total de la trayectoria (en Km).

F : frecuencia en GHz.

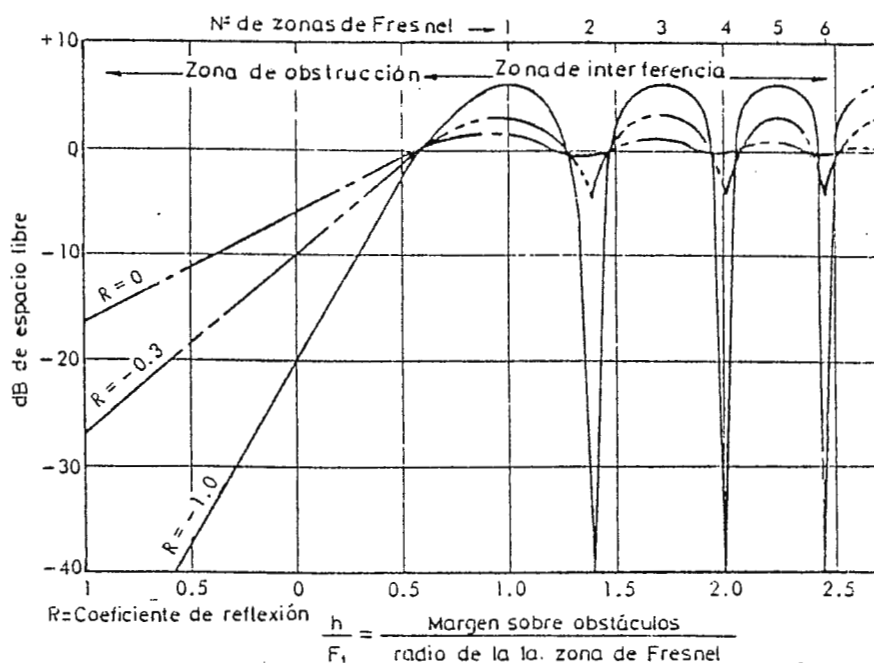


Figura 4-5

Atenuación versus espacio libre sobre obstáculos (h/Fr)

La Figura 4-6 presenta la primera zona para una ruta de línea vista de longitud D y frecuencia f. La distancia h_t muestra el espacio libre entre la ruta de línea vista y el obstáculo más alto del terreno.

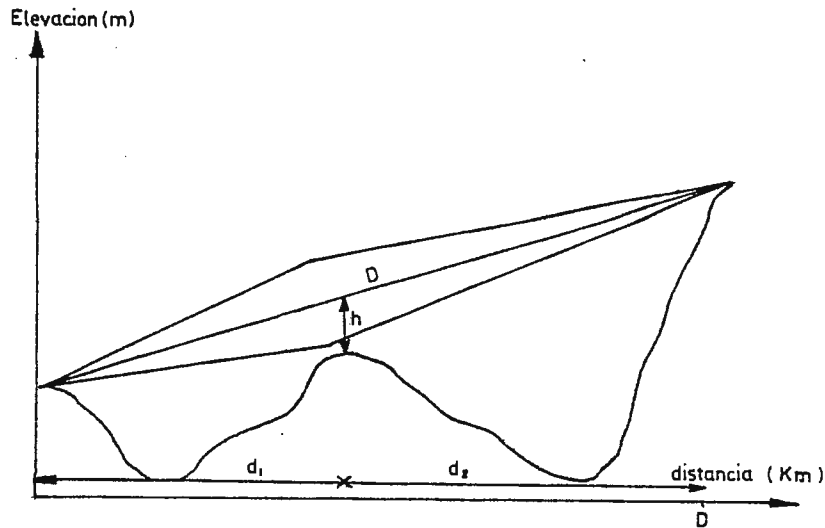


Figura 4-6.

Primera zona de Fresnel.

4.4 PERFIL DE TRAYECTORIA.

Los perfiles de trayectoria sirven para determinar la altura de las torres. Estos perfiles deben ser trazados en un papel graficador especial que representa a la tierra como curva y el rayo de transmisión como una línea recta, o en un papel rectilíneo que represente a la tierra como plana y el rayo como una línea curva (este papel es preferido). Con el uso de papel rectilíneo se requiere tomar en cuenta el cálculo de la curvatura de la tierra para cada obstáculo y las condiciones de refractividad consideradas por el factor "K".

Los pasos a realizar son:

- Se grafica en el papel rectilíneo sobre el eje horizontal la localización de las estaciones de transmisión, recepción y la de los obstáculos.
- Se grafica verticalmente las alturas sobre el nivel del mar para cada obstáculo y estación (obtenidas del mapa de nivel o con altímetro).
- Se añade la altura h_c : altura debida a la curvatura de la tierra y condiciones de refractividad.
- Se suma h_{Fr} el espacio de la zona de Fresnel.

- Y finalmente se añade la altura en sí de cada obstáculo: montañas, edificios, árboles, etc. Si existen árboles se les da una altura promedio de 15mts y 3mts para crecimiento adicional. A la vegetación pequeña (en ausencia de árboles) se les asigna normalmente 3mts y a los edificios se les asigna un promedio de 3mts por cada planta.

4.5 CALIDAD DE UN RADIOENLACE.

En los sistemas de radioenlace tanto analógicos como digitales, se especifica la calidad de este medio de transmisión por la relación señal ruido RSR.

La calidad de un radioenlace digital también puede especificarse mediante la proporción de bits erróneos. Como norma general, en un sistema de radioenlaces digitales a larga distancia en presencia de desvanecimiento (pérdidas; se explican con detalle en la sección 4-6) un requisito de proyecto es no sobrepasar una proporción de errores dada (situada aproximadamente entre 10^{-3} y 10^{-6}) durante más de un porcentaje reducido de tiempo. La probabilidad de errores, se representa en la Figura 4-7 en función de la relación portadora/ruido normalizada W, definida como sigue:

$$W = 10 \log(P_{in}/P_n B_r) \quad (\text{Ec. 4.5})$$

donde:

P_{in} : Potencia máxima de la señal recibida en régimen permanente (valor máximo de la potencia media durante un ciclo de radiofrecuencia).

P_n : densidad de la potencia de ruido a la entrada del receptor.

B_r : anchura de banda numéricamente igual a la velocidad de la señal binaria antes del proceso de modulación.

Del examen de las curvas se desprende una importante ventaja de la transmisión digital. La calidad de transmisión mejora en un orden de magnitud (reducción de la probabilidad de error en un factor de 10) por cada dB de aumento de la RSR (aproximadamente) y para unos pocos dB por encima del "umbral" que corresponde a una proporción de errores tolerable (10^{-3} - 10^{-4}) la calidad de transmisión es muy alta. Los efectos de interferencia, a grandes

rasgos producen un desplazamiento a la derecha de las curvas.

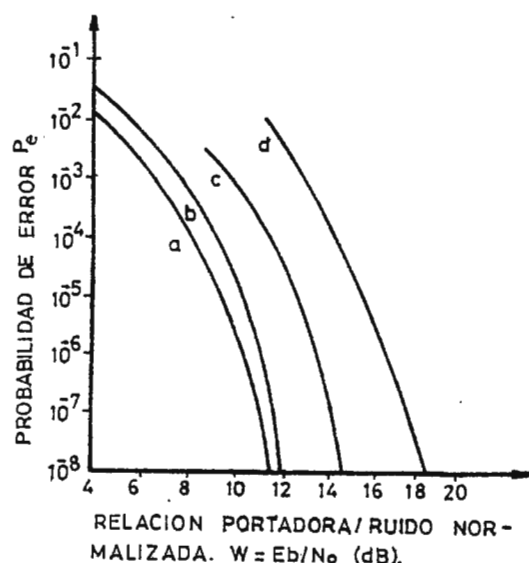


Figura 4-7.

Probabilidad de error en función de portadora\ruido normalizada.

En la figura:

- a: modulación en amplitud coherente con dos estados significativos.
- b: modulación por desplazamiento de fase diferencial con dos estados significativos.
- c: modulación por desplazamiento de frecuencia con dos estados.
- d: modulación de amplitud con dos estados y detección de envolvente.

Esto implica que para la misma potencia de señal transmitida (W fijo) aumenta la probabilidad de error, o que para una probabilidad de error (P_e) determinada, se requiera más potencia de señal o se reduzca el margen de desvanecimiento (margen de seguridad).

4.5 MARGEN DE DESVANECIMIENTO.

El margen de desvanecimiento es el margen de seguridad (que se aumenta a la potencia de la señal transmitida) contra la pérdida de la calidad de la transmisión de la señal. La cantidad de

margen de desvanecimiento que necesita un sistema es dependiente de las condiciones climatológicas locales y de los requerimientos disponibles para la trayectoria (ganancia de antenas, pérdidas en filtro, línea de transmisión, etc.).

Las principales causas de desvanecimiento son el desvanecimiento de multitrayectoria y la atenuación por lluvia (considerado en la Sección 4.3.2.). El primero es debido a la interferencia entre la onda directa y otra onda que es reflejada. La reflexión puede ser de la tierra o de alguna capa de la atmósfera o ambas. El desvanecimiento de multitrayectoria también es debido al doblamiento de la onda. Se considera generalmente que el margen de desvanecimiento no debe ser menor de 20 dB para tener una recepción aceptable, siendo su valor óptimo 30 dB.

Este margen puede calcularse por diferentes métodos dependiendo de los datos de que se disponen:

1. El margen de desvanecimiento puede calcularse de la siguiente fórmula:

$$M = 30 \log D + 10 \log (ABF) - 10 \log (1-R) - 70 \quad (\text{Ec. 4.6})$$

donde:

M: margen de desvanecimiento en dB.

D: distancia (en Km) entre los dos puntos a comunicar.

F: frecuencia en GHz.

A: factor del terreno (se obtiene de la Tabla 4-3).

B: Factor de condiciones del clima (se obtiene de la Tabla 4-4).

R: disponibilidad del enlace (ver Sección 4-7).

Tabla 4-3. Valor del factor de terreno (A).

FACTOR		TERRENO
0.25		Montañoso, terreno muy escabroso.
1		Terreno promedio (montañas pero no muy altas; vegetación.
4		Terreno plano o sobre agua.

Tabla 4-4. Factor de condiciones del clima (B).

FACTOR	CLIMA
0.125	Para terreno montañoso o muy seco.
0.25	Area en el interior de una ciudad.
0.5	Para zonas cerca de lagos, costas.
1	Para zonas con lluvias fuertes.

2. El margen de desvanecimiento (M) puede calcularse también como la diferencia entre la potencia umbral de recepción (Pu) y la potencia de recepción calculada (Pr):

$$M = Pr - Pu \quad (\text{Ec. 4-7})$$

4.6.1 POTENCIA UMBRAL O SENSIBILIDAD DEL RECEPTOR.

Esta es una medida de la habilidad del receptor para distinguir la señal transmitida de otras señales y del ruido. Los receptores tienen un nivel de señal de entrada mínimo abajo del cual no pueden detectar la señal, éste es la sensibilidad o potencia umbral la cual se mide en dBm y es un dato dado por el fabricante.

4.6.2 POTENCIA DE RECEPCION CALCULADA.

Esta potencia se determina por la siguiente ecuación:

$$Pr = Pt - G_{a1} + G_{a2} - LWf_1 - LWf_2 - Lfs \quad (\text{Ec. 4.8})$$

donde:

Pr : potencia de recepción (en dBm).

P_t : potencia de transmisión (en dBm).
 L_{wf} : pérdidas en la línea de transmisión y en el filtro (en dB).
 G_a : ganancia de la antena transmisora o receptora (en dB).
 L_{fs} : pérdidas en el espacio libre, que son calculadas por la Ec. 4.1a si son microondas y por la Ec. 4.1b para ondas milimétricas.

Los subíndices 1 y 2 sirven para indicar la sección del sistema en un momento dado, por ejemplo tomando la Figura 4-2 como modelo, se puede denominar sección 1 a la parte transmisora y sección 2 a la parte receptora.

Las pérdidas en el filtro y línea de transmisión de cada sección son pequeñas y se pueden considerar como 3dB, así:

$$L_{wf_1} = L_{wf_2} = 3\text{dB} \quad (\text{Ec. 4.9})$$

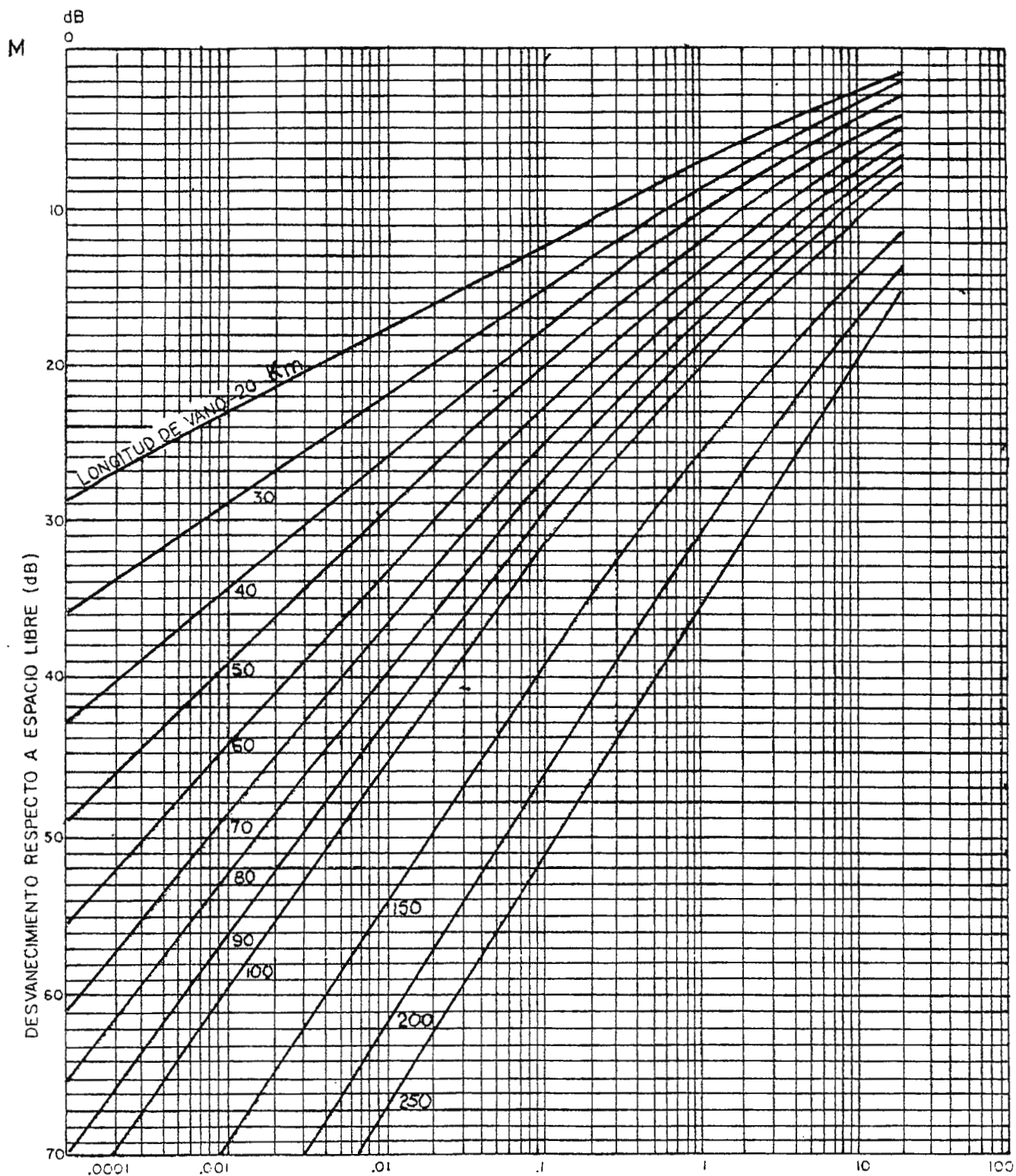
Esa asunción simplifica la ecuación 4-8 teniéndose por tanto:

$$P_r = P_t + G_{a_1} + G_{a_2} - L_{fs} - 6\text{dB} \quad (\text{Ec. 4.10})$$

3. Otro método recomendable consiste en especificar la fiabilidad en cuanto a desvanecimiento junto con el margen de desvanecimiento. Si el umbral del receptor es P_u (dB) y el margen de desvanecimiento es M (dB), cada vez que haya un desvanecimiento que exceda M dB se perderá la señal y se registrará una interrupción del circuito. Si la probabilidad de este hecho es "p", el circuito estará cortado durante un 100p% del tiempo por término medio y su fiabilidad será del 100(1-p)%.

Fijada una cierta fiabilidad, se determina M (de la Figura 4-8 o de la Ec. 4.6) para un enlace dado y conocido P_u , se determina la potencia de recepción de la Ec. 4.7, luego la potencia de transmisión necesaria despejándola de la Ec. 4.10.

La relación entre la profundidad de desvanecimiento y la probabilidad de rebasarla, se da en curvas como la de la Figura 4-8 empleándose como parámetro la longitud del enlace.



PORCENTAJES DE TIEMPOS PARA LOS QUE EL DESVANECIMIENTO REBASA
EL VALOR DE LA ORDENADA

DISTRIBUCION TIPICA DEL DESVANECIMIENTO EN EL PEOR MES

Figura 4-8

Existen juegos de curvas para diferentes valores de frecuencia y condiciones del terreno. Las curvas de la Figura 4-8 corresponden a la gama de frecuencia 6-7 GHz.

4. Aunque la P_u es un dato dado por el fabricante, algunas veces puede desearse hacer cálculos más reales tomando en cuenta la temperatura exacta del lugar y estableciendo además una cierta probabilidad de error deseada.

Para esto puede hacerse uso de la ecuación 4.5:

$$W = 10 \log (P_{in} / P_n B_r)$$

de donde P_n puede obtenerse como:

$$P_n = (F_N) k T \quad (\text{Ec. 4.11})$$

donde:

F_N : es el factor de ruido que representa la característica de que la potencia de ruido térmico a la salida de un dispositivo (en este caso el receptor del radioenlace) es superior a la que se obtendría considerando el ruido térmico de entrada. Esto se debe a la adición de ruido generado por el sistema. (este dato lo da el fabricante).

kT : es la densidad de potencia o potencia de ruido de referencia, donde k es la constante de Boltzmann (1.38×10^{-23} Jul/°K) y T , la temperatura ambiente en grados Kelvin.

Sustituyendo la Ec. 4.11 en Ec. 4.5 se tiene:

$$W = 10 \log (P_{in} / F_N k T B_r) = P_n (\text{dBm}) - F_N (\text{dBm}) - k T B_r (\text{dBm}) \quad (\text{Ec. 4.12a})$$

Para una probabilidad de error umbral P_{eu} se determina el valor umbral W_u mediante las curvas de la Figura 4-8 y la Ec. 4.12a permite calcular la potencia de recepción para este umbral:

$$P_{ru}(\text{dBm}) = W_u(\text{dB}) + \text{FN}(\text{dB}) + kTBr(\text{dBm})$$

(Ec. 4.12b)

Donde Br está dado en bps (ver Sección 4.5).

Luego el margen de desvanecimiento puede calcularse de la Ec. 4.7.

$$M = P_r - P_u$$

4.7 DISPONIBILIDAD.

Se entiende por disponibilidad ("D") de un equipo o sistema, su aptitud para desempeñar la función para la que se le ha proyectado. El valor óptimo de disponibilidad total "D" es 100% (valor ideal), éste puede variar hasta un valor de 98% aproximadamente dependiendo de las necesidades de cada usuario, del tiempo que puedan prescindir del servicio de comunicación por radioenlace.

Entre los objetivos de planificación de un sistema de telecomunicación figura siempre la cifra o porcentaje de "Indisponibilidad".

En el caso de radioenlaces, la indisponibilidad "I", se desglosa en dos componentes "Ie" e "If".

"Ie" es la indisponibilidad del equipo y está relacionada con su fiabilidad. Específicamente:

$$I_e(\%) = \frac{\text{MTTR}}{\text{MTBF} + \text{MTTR}} \times 100 \quad (\text{Ec. 4.13})$$

donde:

MTBF: tiempo medio entre fallos (en horas).

MTTR: tiempo medio de reparación (en horas).

"Ie" se determina mediante los datos del fabricante (MTBF) y el valor de MTTR establecido por la política de mantenimiento del usuario.

"If" es la indisponibilidad debida al desvanecimiento. El valor tolerable de "If" será:

Donde:

I : Indisponibilidad.

Ie: Indisponibilidad del equipo.

If: Indisponibilidad del enlace.

El enlace se considerará aceptable si el porcentaje de tiempo T% para el que se rebasa el margen de desvanecimiento, obtenido a partir de las curvas de la Sección 4.6 cumple la condición:

$$T(\%) \leq I_t(\%) \quad (\text{Ec. 4.15})$$

Ejemplo:

Suponiendo que para un radioenlace de 50Km se ha fijado como objetivo de diseño una indisponibilidad de 1hora/año.

El MTTR es de 10h y el MTBF de 10^6 horas.

Obtener el margen de desvanecimiento compatible con la indisponibilidad fijada.

La cifra de indisponibilidad total es:

$$I = 1\text{hora/año} \times 10^{-4} = 0.01\%.$$

La del equipo será:

$$I_e = 10 / (10^6 + 10) = 10^{-5} = 0.001\%$$

Por consiguiente : $I_f = I - I_e = 0.009\%$.

Utilizando las curvas de la Figura 4-8, se encuentra que para $T = 0.009\%$ del tiempo se rebasa un desvanecimiento de 29.9 dB, luego un margen de unos 30dB resulta compatible con las especificaciones de indisponibilidad.

4.8 DETERMINACION DE DISTORSIONES

Una técnica de carácter gráfico para la determinación de la

degradación práctica de los impulsos es el "diagrama de ojo". Este diagrama, cuya duración corresponde a dos intervalos de señal, es el resultado de la superposición de todas las posibles secuencias de impulsos. En la Figura 4-9(a) se representa el diagrama de ojo para un sistema de modulación binario y en la Figura 4-9(b) para un sistema de tres niveles (+1, 0, -1). Los impulsos individuales a la entrada del regenerador, tienen la forma de la Figura 4-9(c).

En el caso de la Figura 4-9(b), por ejemplo, podría corresponder a la señal bipolar multiplexada. En un sistema de "m" niveles, habría (m-1) "ojos" separados.

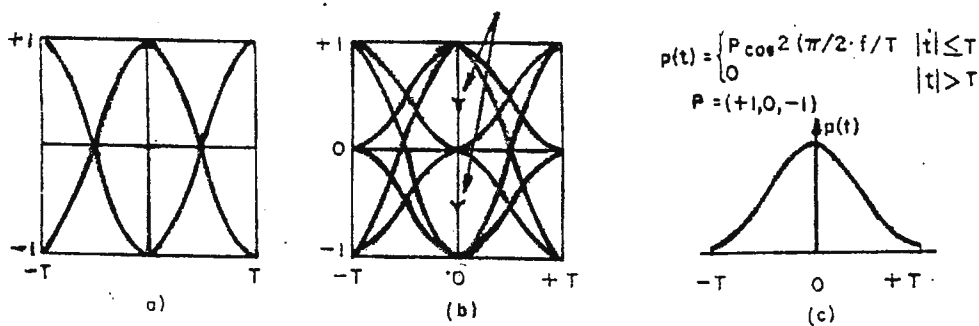


Figura 4-9

Diagramas de ojo ideales.

En el caso binario, la línea horizontal central marca el nivel y la vertical el instante para la decisión. En el caso de tres niveles hay dos líneas horizontales y una vertical. En las figuras se destacan con cruces estos puntos de decisión (nivel-tiempo).

Los diagramas de ojo de la Figura 4-9 son ideales. En la práctica el diagrama que suele encontrarse se esquematiza en la Figura 4-10. Hay incertidumbres en las cruces por cero de la señal modulada (AT) y en su amplitud (AA), que son consecuencia de las degradaciones que sufre la señal.

Para poder regenerar la secuencia de impulsos con pequeño error, el ojo debe estar abierto, de forma que exista una forma "limpia" de decisión donde deberá encontrarse la "cruz" de

decisión. El efecto de las degradaciones de los impulsos es reducir el tamaño del "ojo" ideal. Una medida del margen contra errores es la distancia mínima entre la cruz y los límites del "ojo".

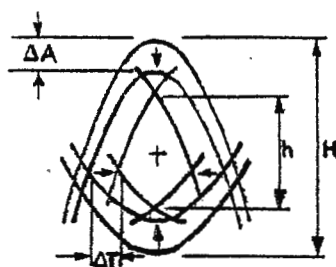


Figura 4-10

Diagrama de ojo real.

La reducción del margen contra errores, se debe a las degradaciones que sufre la señal en su trayecto de transmisión así como por las imperfecciones propias del proceso de decisión. Las primeras reducen el tamaño del "ojo", mientras que las segundas desplazan la "cruz" hacia los extremos.

Normalmente las degradaciones pueden clasificarse en dos categorías: amplitud y sincronización, que corresponden a desplazamientos del "ojo" en el eje vertical y horizontal respectivamente. Estas degradaciones se conocen como JITTER

4.9 INTERFERENCIA

Esta puede ocurrir desde fuentes internas y externas y el diseñador debe tomar en cuenta su frecuencia, potencia, direccionamiento y polarización.

Para minimizar los efectos de la interferencia se debe tener una buena selección del lugar, y el uso de antenas diseñadas adecuadamente y un plan de frecuencias correcto.

Las fuentes internas de interferencia son clasificadas como:

a) Sobrealcance:

Este puede ocurrir cuando el radioenlace está colocado a

lo largo de una línea recta. Este tipo de interferencia se vuelve significativo cuando la energía transmitida de A (ver Figura 4-11a) alcanza a D (lo cual puede ocurrir en condiciones de super-refractividad); este problema puede ser reducido a proporciones tolerables localizando la trayectoria de transmisión del tercer enlace ligeramente fuera de línea.

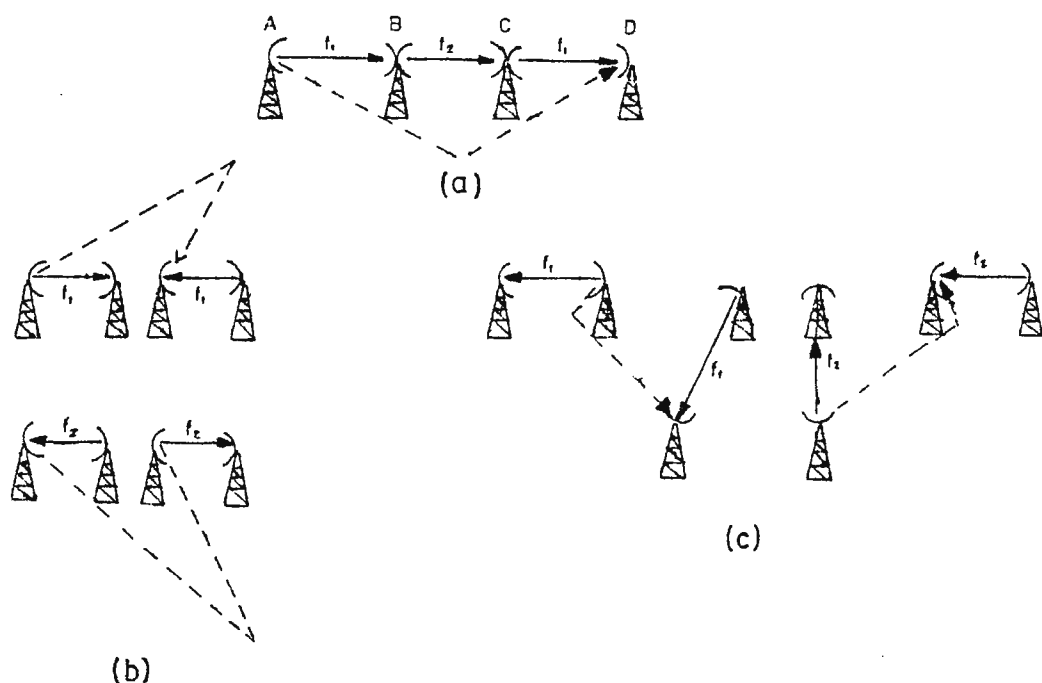


Figura 4-11

Interferencia: a) Sobrealcance. b) Estación adyacente. c) Indirecta.

b) Estación adyacente.

c) Interferencia indirecta:

Estas últimas son una función de los parámetros de las antenas (como el lóbulo de radiación) esto se puede reducir usando antenas con mejor directividad, con polarizaciones opuestas y con paredes de blindaje (ver Figuras 4-11(b) y 4-11(c)).

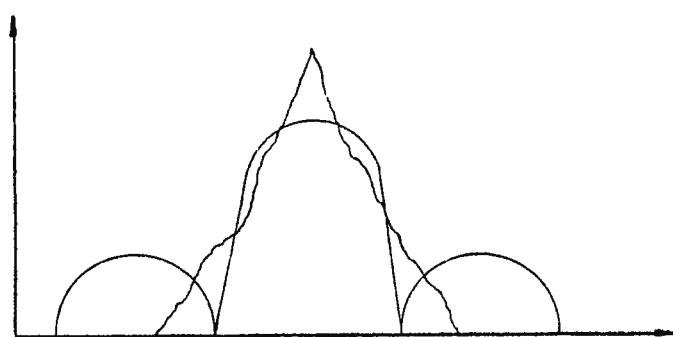
Fuentes externas de interferencia son radares, satélites y otros sistemas operando y que alcanzan a los receptores.

Los radares propagan energía a altos niveles en los 360° y son por lo tanto fuentes significativas de interferencia para receptores de microonda, aquí es recomendable usar filtros para minimizar la interferencia.

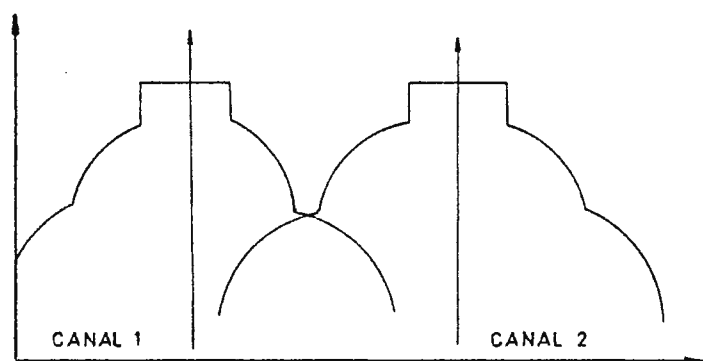
El efecto de interferencia en radiofrecuencia depende del nivel de la señal de interferencia y de si la señal es canal adyacente o es cocanal.

Una interferencia cocanal tiene la misma radiofrecuencia nominal que la del canal deseado (ver Figura 4-12a), y viene dada por el uso múltiple de la misma frecuencia sin el aislamiento adecuado entre enlaces.

La interferencia de canal adyacente resulta de los componentes traslapados de un espectro de transmisión en los canales adyacentes (Figura 4-12(b)); la protección contra este tipo de interferencia requiere un control del espectro de transmisión, filtros dentro de los receptores y polarización ortogonal de los canales adyacentes.



(a)



(b)

Figura 4-12

(a) Interferencia cocanal; (b) Interferencia de canal adyacente.

4.10 PLAN DE FRECUENCIAS

Usualmente para designar los canales para una banda en particular se separan las frecuencias de transmisión y recepción, colocando todos los canales de transmisión en una banda y todos los de recepción en la otra banda. Dentro de cada mitad de la banda, los canales adyacentes deben ser espaciados lo suficiente para evitar interferencias.

Un esquema comunmente usado para aumentar la discriminación entre canales adyacentes es alternar la polarización vertical y horizontal con lo que se logra un aislamiento de 20 dB o más.

La Figura 4-13 muestra un arreglo de canales de radiofrecuencia para modulación QPSK a 140 Mbps operando en la banda de 10.7 a 11.7 GHz.

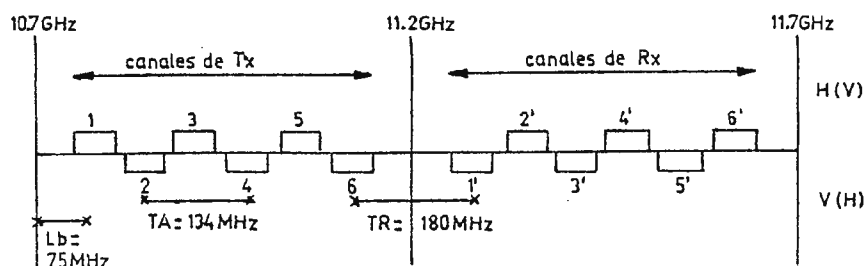


Figura 4-13

Arreglo de canales.

La banda primero es separada en mitades para acomodar las frecuencias de recepción y transmisión. El espaciamiento recomendado es el siguiente:

a) LB, para límite de banda; para el ejemplo de la figura es

75 MHz.

- b) TA, para canales de transmisión adyacentes; en la Figura 4-13 entre el segundo y cuarto canal es de 134 MHz.
- c) TR, para canales de transmisión y recepción adyacentes; en la figura entre el canal 6 y el 1 tiene un valor de 180 MHz. También tienen polarización opuesta en forma

4.11 ANTENAS

Definitivamente el elemento más importante para diseñar un enlace es la antena, por lo que se vuelve necesario hacer una breve descripción sobre ello. En esencia, una antena es un sistema de conductores metálicos capaces de transmitir y recibir ondas electromagnéticas, acoplando energía del transmisor a la atmosfera o espacio libre, o de la atmosfera a la entrada de un receptor. También es considerada un dispositivo pasivo-recíproco. Pasivo, porque no puede amplificar una señal, al menos en el verdadero sentido de la palabra (sin embargo, como se verá más adelante, una antena puede tener ganancia); y es recíproca ya que tanto en el receptor y transmisor las características de una antena son idénticas.

4.11.1 OPERACION BASICA DE ANTENAS

La operación básica de una antena se comprende mejor observando el voltaje en los patrones de una onda estacionaria de una línea de transmisión, los cuales se observan en la Figura 4-14(a). La figura muestra un circuito abierto, el cual muestra una discontinuidad abrupta en el voltaje de una onda incidente en la forma de una fase invertida; esto causa que gran parte del voltaje incidente sea radiado, no reflejado de regreso a la fuente. La energía es radiada o propagada fuera de la antena en la forma de onda electromagnética transversal.

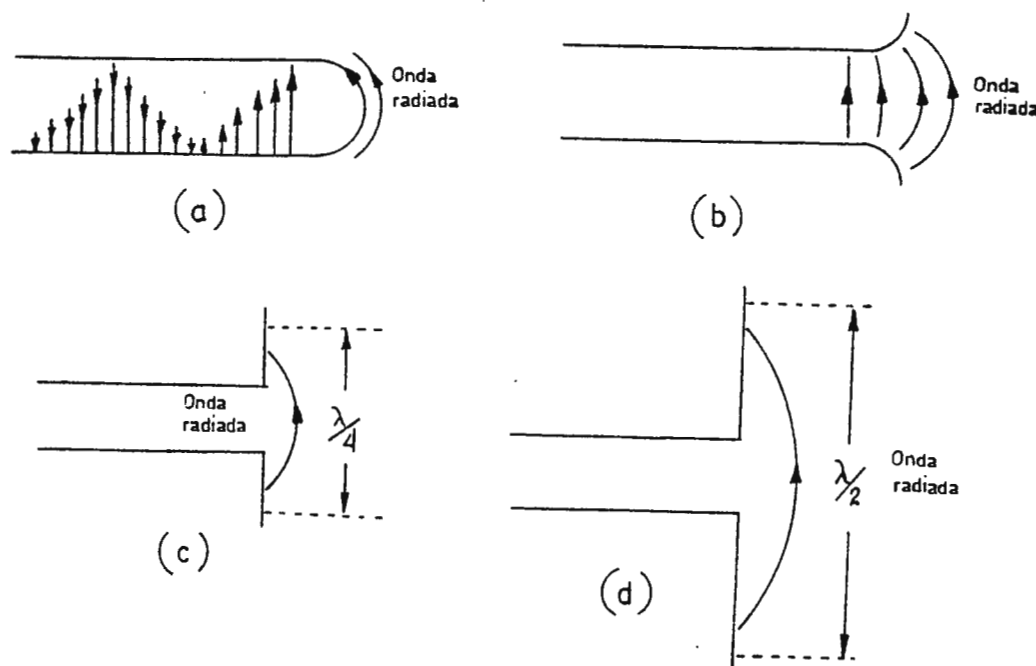


Figura 4-14

a) Patrón de onda estacionaria. b) Dipolo. c) Dipolo de un cuarto de onda. d) Dipolo de media onda.

La eficiencia de radiación de una transmisión de línea abierta es extremadamente baja. La eficiencia de radiación está determinada por la Ec. 4.16.

$$\text{Eficiencia de radiación} = \frac{\text{Energía radiada}}{\text{Energía reflejada}} \quad (\text{Ec. 4.16})$$

Se logra una mayor propagación simplemente dejando los conductores con una separación bastante grande entre sí. Así, una antena es llamada un "dipolo", esto se representa en la Figura 4-14(b). En la Figura 4-14(c) los conductores son dispuestos hacia afuera formando cada uno un ángulo recto y con una longitud determinada, de tal forma que pueda obtenerse $1/4$ de longitud de onda. Esta antena es entonces llamada antena de un dipolo de cuarto de onda o antena Marconi. Un dipolo de media onda es la antena Hertz y se muestra en la Figura 4-14(d).

Una antena es omnidireccional cuando radia uniformemente en

todas direcciones, es también denominada "radiador isotrópico".
Este tipo de antena posee una ganancia unitaria (0dB).

4.11.2 PARAMETROS Y DEFINICIONES

4.11.2.1 PATRON DE RADIACION

Un patrón de radiación es un diagrama o gráfico polar que representa la intensidad de los campos o densidad de potencia en varios puntos del espacio que rodea a la antena. Existen dos tipos de patrón, uno es absoluto y el otro relativo.

4.11.2.2 RESISTENCIA DE RADIACION Y EFICIENCIA DE RADIACION

Toda potencia suministrada a una antena no es radiada, una cantidad de ella es convertida en calor y es disipado. La resistencia de radiación es una resistencia ficticia para representar la cantidad de potencia radiada, además, no puede ser medida directamente. Este parámetro se obtiene por la siguiente relación:

$$R_r = P / I^2 \quad (\text{Ec. 4.17})$$

donde: R_r : Resistencia de radiación.

P : Potencia rms radiada por la antena.

I : Corriente rms en la entrada de la antena.

- Eficiencia de radiación:

Es la razón de la potencia radiada por la antena entre la suma de la potencia radiada y la potencia disipada (o potencia total de entrada). Matemáticamente se representa así:

$$G_{dB} = 10 \log \left(\frac{P}{P_{ref}} \eta \right) \quad (\text{Ec. 4.18})$$

donde: η : Eficiencia de radiación (%).

P_r : Potencia radiada por la antena.

P_d : Potencia disipada por la antena (depende de la conductividad de los elementos que constituyen la antena).

4.11.2.3 DIRECTIVIDAD Y GANANCIA DE ANTENAS

- Directividad ($\mathcal{D}$):

Es la relación entre la densidad de potencia radiada en una dirección particular a la densidad radiada por una antena de referencia. Si la dirección a la cual se especifica no es la de máxima radiación, entonces se convierte en ganancia directiva y no se le llama directividad.

La expresión matemática es la siguiente:

$$\mathcal{D} = \frac{\mathcal{P}}{\mathcal{P}_{ref}} \quad (\text{Ec. 4.19})$$

donde: $\mathcal{P}$: Es la densidad de potencia en un punto dado de la antena.

$\mathcal{P}_{ref}$: Densidad de potencia en el mismo punto de la antena que sirve de referencia.

- Ganancia de antena (G):

Además de tomar en cuenta la directividad, también se toma en cuenta la ganancia de la antena. Existen tres relaciones matemáticas que la representan:

$$G = \mathcal{D} \eta = \frac{\mathcal{P}}{\mathcal{P}_{ref}} \eta \quad (\text{Ec. 4.20})$$

$$G(\text{dB}) = 10 \log \left(\frac{\mathcal{P}}{\mathcal{P}_{ref}} \eta \right) \quad (\text{Ec. 4.21})$$

$$G(\text{dBi}) = \frac{4\pi \eta A_{ef}}{\lambda^2} \quad (\text{Ec. 4.22})$$

donde: A_{ef} : Área efectiva de la antena.

La ganancia de una antena no es una amplificación sino una concentración de toda la potencia radiada en una sola

dirección. Para una misma antena, la ganancia de transmisión es igual a la de recepción, porque para recibir la máxima potencia debe orientarse a la dirección donde ésta es radiada.

4.11.2.4 AREA EFECTIVA

Una antena receptora presenta una superficie efectiva o área efectiva en la cual colecta la energía electromagnética de la onda incidente.

El área efectiva es la relación entre la máxima potencia recibida y la densidad de potencia.

El área tiene un valor máximo A_{ef} que es proporcional a la ganancia de la antena (G).

El área efectiva está dada por:

$$A_{ef} = \frac{\pi}{4} \times (\text{diámetro})^2 \quad (\text{Ec. 4.23})$$

4.11.2.5 POTENCIA ISOTROPICA EFECTIVA RADIADA (EIRP)

Es definida como una potencia equivalente transmitida.

$$\text{EIRP} = P_t G \quad (\text{Ec. 4.24})$$

$$= 10 \log \frac{P_r}{1_{mw}} + 10 \log G \quad (\text{Ec. 4.25})$$

4.11.2.6 POLARIZACION DE ANTENAS

Polarización es la orientación del campo eléctrico radiado por la antena. Existen dos tipos de polarización, las cuales se muestran en la Figura 4-15(a) y (b), polarización vertical y horizontal respectivamente.

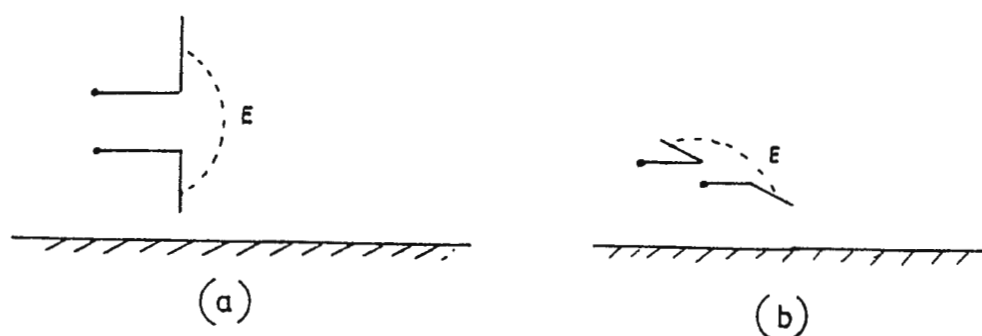


Figura 4-15

Tipos de polarización. a) Polarización vertical. b) Polarización horizontal.

4.11.2.7 ANCHO DE BANDA

Desde el punto de vista de su operación y de aplicación, la antena modifica el ancho de banda, ya que algunas antenas están diseñadas para operar a una sola frecuencia, mientras otras operan en un ancho de banda amplio.

El ancho de banda de una antena depende de la impedancia de entrada a la antena y la longitud de onda del espectro a transmitir o recibir.

4.11.2.8 ANTENAS PARA ONDAS CENTIMÉTRICAS Y MILIMÉTRICAS

Como ya se dijo anteriormente, el propósito de toda antena es radiar la energía electromagnética producida, por tanto las antenas de ondas centimétricas y milimétricas no serán la excepción. Las características tanto en el transmisor como el receptor también son iguales en este tipo de antenas.

Además todos los parámetros vistos anteriormente siguen siendo de gran importancia.

Una forma más práctica de calcular la ganancia de la antena es expresada como sigue:

$$G(\text{dB}) = 20 \log F + 20 \log D \quad (\text{Ec. 4.26})$$

donde: D: Diámetro del receptor [ft].

F: Frecuencia en [MHz].

La Figura 4-16 muestra un gráfico del cual la ganancia de un reflector parabólico puede ser obtenida, para reflectores de diámetros distintos. Si se observa puede decirse que, si se desea trabajar con frecuencias menores a los 300MHz las dimensiones del reflector parabólico tienen que aumentar para obtener mayor ganancia.

La antena parabólica consta de un reflector paraboloide simétrico iluminado con energía de microonda o milimétrica por un sistema de alimentación localizado en el punto focal.

Estas antenas son usadas típicamente para señales de banda con portadora común, y es independiente de la guía onda rectangular que es el paso principal usado para las dos señales lineales de polarización. Por su simplicidad de diseño este tipo de antenas también es usado para sistemas vía satélite.

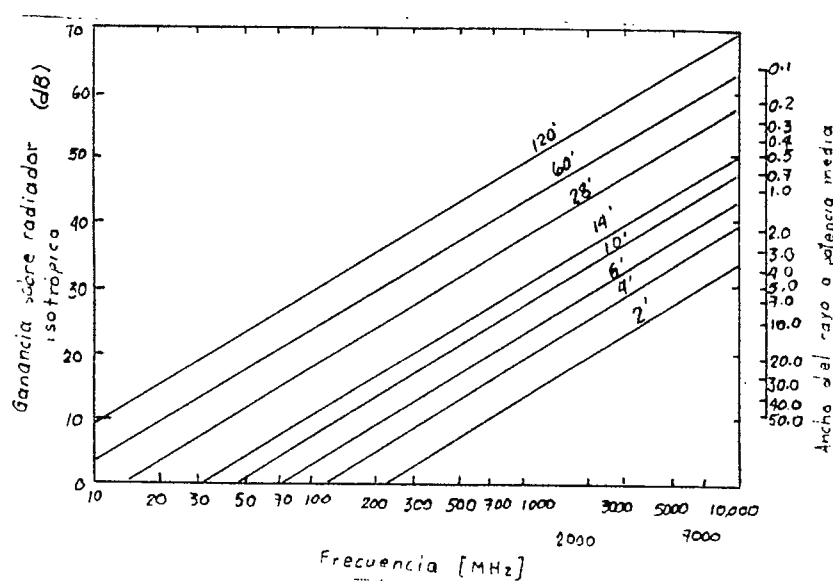


Figura 4-16

Ganancia de un reflector parabólico de distintos diámetros.

Existen otros dos tipos de antenas, estas son las de reflector tipo bocina, una es piramidal y la otra cónica. La última, fue diseñada inicialmente para ser utilizada en transmisiones vía satélite, pero ahora se está utilizando para redes terrestres.

Estas antenas son inherentemente de banda ancha. Características importantes de este tipo de antenas son presentadas en la Tabla 4-5.

Tabla 4-5 Características importantes de antenas: piramidal (P) y cónica (C).

FRECUENCIA		4 GHz		6 GHz		11 GHz	
Polarización.		Vert.	Hor.	Vert.	Hor.	Vert.	Hor.
Ganancia de banda media (dB).	P	39.6	39.4	43.2	43.0	48.0	47.4
	C	39.8	39.8	43.5	43.5	47.7	47.7
Relación de transmisión a recepción.	P	>75	>75	>80	>80	>80	>80
	C	>80	>80	>80	>80	>80	>80
Acople lado-lado (dB).		>100	>100	>100	>100	>100	>100
Acople espalda-espalda (dB).		>120	>120	>120	>120	>120	>120

Las formas representativas de los dos tipos de antenas (piramidal y cónica) se observan en las Figuras 4-17(a) y 4-17(b) respectivamente.

Esta clase de antenas como ya se dijo son utilizadas para microonda, aún así se hace necesario discutir brevemente que para la región desde los 13GHz a los 100GHz que corresponden a las ondas milimétricas, los tipos de antenas no difieren físicamente de las anteriores; el tipo de antena más utilizado es la de reflector parabólico. A continuación se presenta la Tabla 4-6 donde se observan para este tipo de reflector las variaciones existentes entre la ganancia y las pérdidas en el espacio libre por cada 10km para cada rango de frecuencias.

Para las dimensiones físicas de cada antena se da un intervalo de valores para definir el diámetro que se desee, esto, para cada rango de frecuencias. Puede observarse que a medida que el diámetro disminuye, la ganancia es mayor, sea cual sea el rango de frecuencias en que se encuentre, también, si la frecuencia y la ganancia aumentan también lo hacen las pérdidas en el espacio libre, debido a ello, el vano de cada enlace debe ser cada vez más pequeño a medida que se trabaja con frecuencias más altas para disminuir dichas pérdidas.

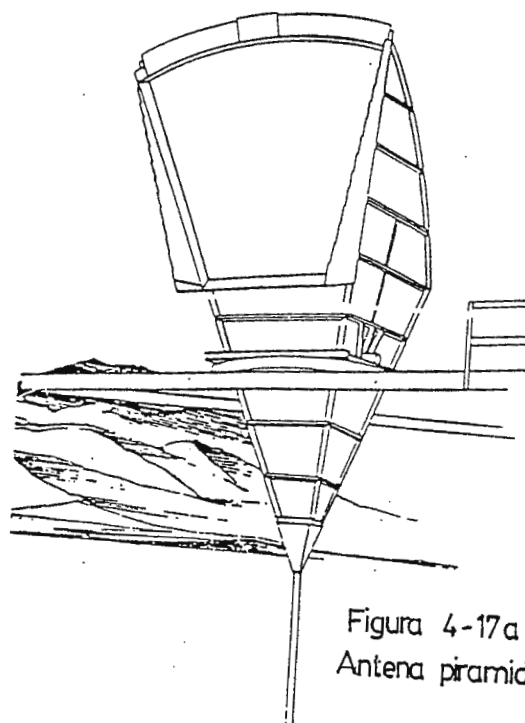


Figura 4-17a.
Antena piramidal.

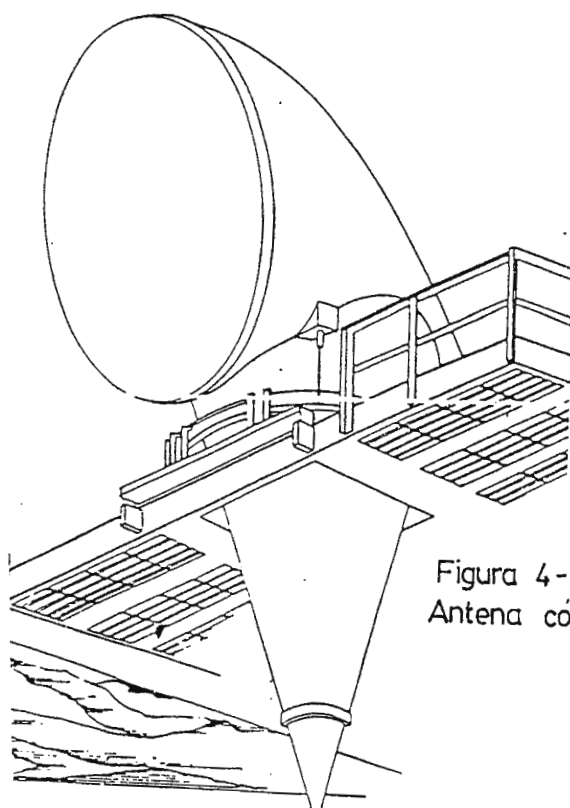


Figura 4-17b.
Antena cónica.

Tabla 4-6. Ganancia del reflector parabólico versus pérdidas de trayectoria de 10 Km. (Eff. 54%).

FRECUENCIA (GHz)	DIAMETRO (m)	GANANCIA (dB)	PERDIDAS POR ESPACIO LIBRE 10 Km (dB)
20	0.5	37.7	138.5
	1.0	43.7	
	1.5	47.2	
	2.0	49.7	
30	0.5	41.0	141.9
	1.0	47.0	
	1.5	50.6	
	2.0	53.0	
40	0.5	43.7	144.5
	1.0	49.7	
	1.5	53.2	
	2.0	55.7	
50	0.5	45.7	146.5
	1.0	51.7	
	1.5	55.2	
	2.0	57.7	
60	0.5	47.2	148.1
	1.0	53.2	
	1.5	56.7	
	2.0	59.2	
70	0.5	48.6	149.3
	1.0	54.6	
	1.5	58.1	
	2.0	60.6	
80	0.5	49.7	150.5
	1.0	55.7	
	1.5	59.2	
	2.0	61.7	
90	0.5	50.8	151.5
	1.0	56.8	
	1.5	60.3	
	2.0	62.8	
100	0.5	51.7	152.5
	1.0	57.7	
	1.5	61.2	
	2.0	63.7	

CAPITULO V

DISEÑO DEL SISTEMA

Para la elaboración del sistema de videoconferencia, además de haberse realizado un estudio minucioso sobre la teoría básica que éste involucra, también se han llevado a cabo estudios de campo en el área de radiotransmisión, así como también el estudio de los parámetros que influyen en la selección de cada uno de los equipos que al final comprendería dicho proyecto.

En este capítulo se pretende describir paso a paso cada uno de los puntos elaborados, entre ellos están:

- 5.1 Selección de los sitios que conforman la red.
- 5.2 Selección de la banda de frecuencia para la transmisión.
- 5.3 Plan de frecuencia para los enlaces.
- 5.4 Desarrollo de perfiles y cálculos para la trayectoria.
- 5.5 Selección entre equipos de radio.
- 5.6 Opciones de configuración del sistema.
- 5.7 Especificaciones de los equipos seleccionados.
- 5.8 Configuración e instalación de los equipos por sitio.
- 5.9 Inversión económica.
- 5.10 Recomendaciones para instalación, administración y mantenimiento.

5.1 SELECCION DE LOS SITIOS QUE CONFORMAN LA RED

Para la selección de cada uno de los sitios fue necesario hacer un estudio de campo, el cual involucró hacer visitas a cada uno de los sitios para poder determinar uno de los factores muy importantes en un radioenlace como lo es la línea vista, así también realizar un recorrido por cada una de las trayectorias seguidas por cada enlace, realizando entonces mediciones de alturas sobre el nivel del mar, distancias entre obstáculos y su ubicación para determinar la orientación de cada enlace y su libre paso por el medio, también la ubicación de cada uno de los equipos.

Como ya se mencionó en otras ocasiones los sitios seleccionados son:

1- HOSPITAL BENJAMIN BLOOM (HBB).

Este punto ha sido seleccionado como el centro de control para el sistema, uno de los motivos es la factibilidad de línea vista para la mayoría de los puntos a enlazar, por otro lado se ha considerado como el más apto para la ubicación del equipo de control desde el punto de vista de estructura física y cimientos; además ha sido considerado como uno de las mejores condidatos para la administración de dicho sistema en unión con el Ministerio de Salud y su departamento técnico en el área de mantenimiento.

2- HOSPITAL MILITAR (HM)

Este hospital ha sido seleccionado ya que al igual que el HBB y otros es uno de los más importantes, tanto en equipos especiales en el área de medicina como en especialidades de la misma. Es necesario aclarar que este sitio es el único que poseerá redistribución hacia otro de los puntos ya que debido a la falta de línea vista con el centro de control hubo necesidad de llevar el haz por otro camino como es presentado en el diagrama de interconexión de la red; el camino es el enlace seguido entre: HBB -- HM -- UEES mostrado en la figura 5-2.

3- INSTITUTO SALVADOREÑO DEL SEGURO SOCIAL - HOSPITAL ROSALES.

En realidad en este sitio se decidió que el radioenlace existiera hasta la unidad de oncología del ISSS (en construcción), aprovechando la ventaja de tener línea vista hasta el centro de control y también con el objetivo de brindar flexibilidad al sistema dando una oportunidad de posible expansión, ya que será un punto estratégico para futuros enlaces hacia los otros hospitales ubicados a su alrededor, principalmente el Hospital Médico Quirúrgico.

4- UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR (UES), UNIVERSIDAD SALVADOREÑA ALBERTO MASFERRER (USAM), UNIVERSIDAD EVANGELICA DE EL SALVADOR (UEES).

Estos tres sitios también forman parte de la red del sistema ya que dentro de la formación profesional en nuestro país forman un papel muy importante, especialmente en el área de medicina. Cada uno de los sistemas fueron estudiados e inspeccionados hasta

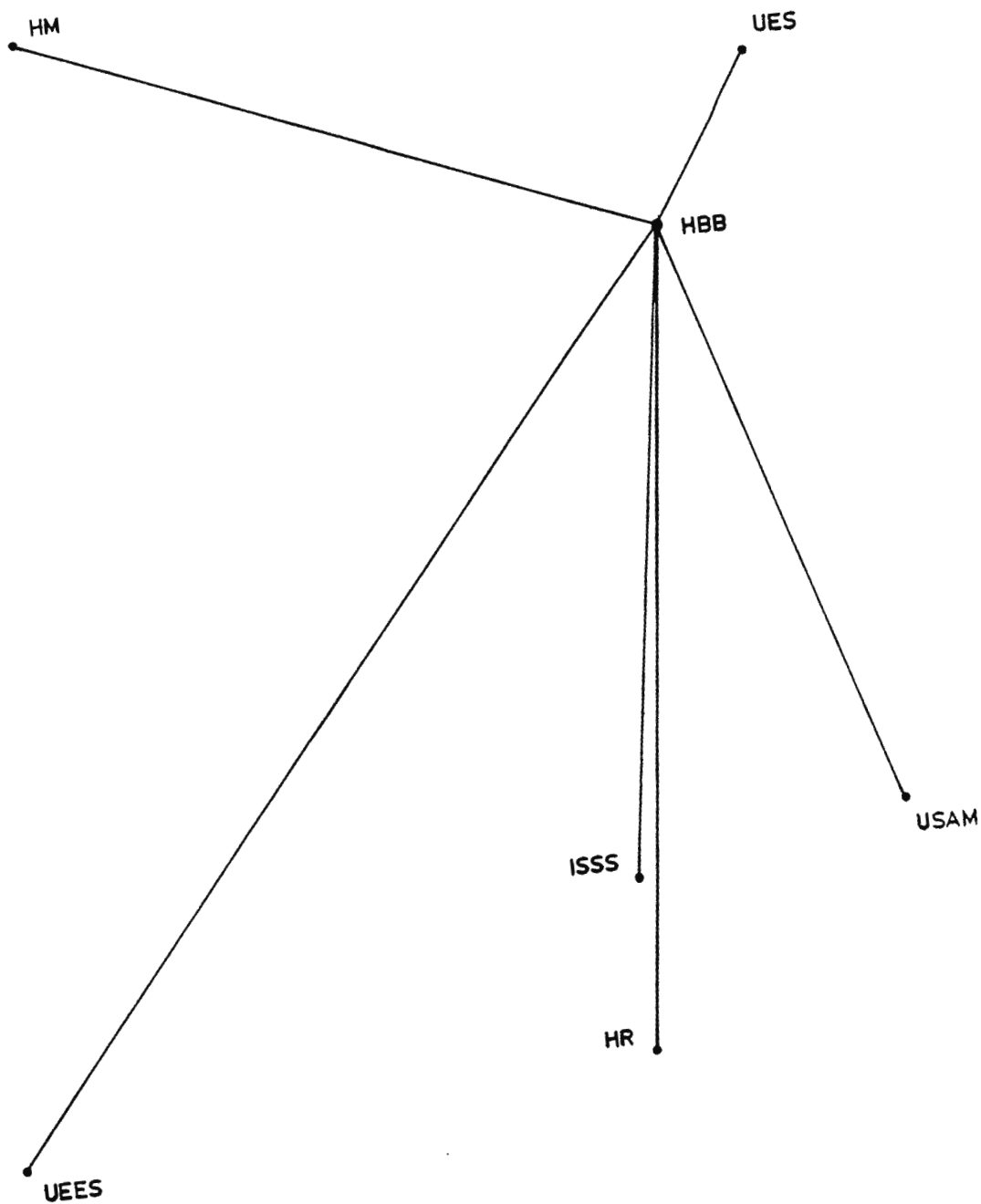


FIGURA 5-1. TOPOLOGIA DE LA RED

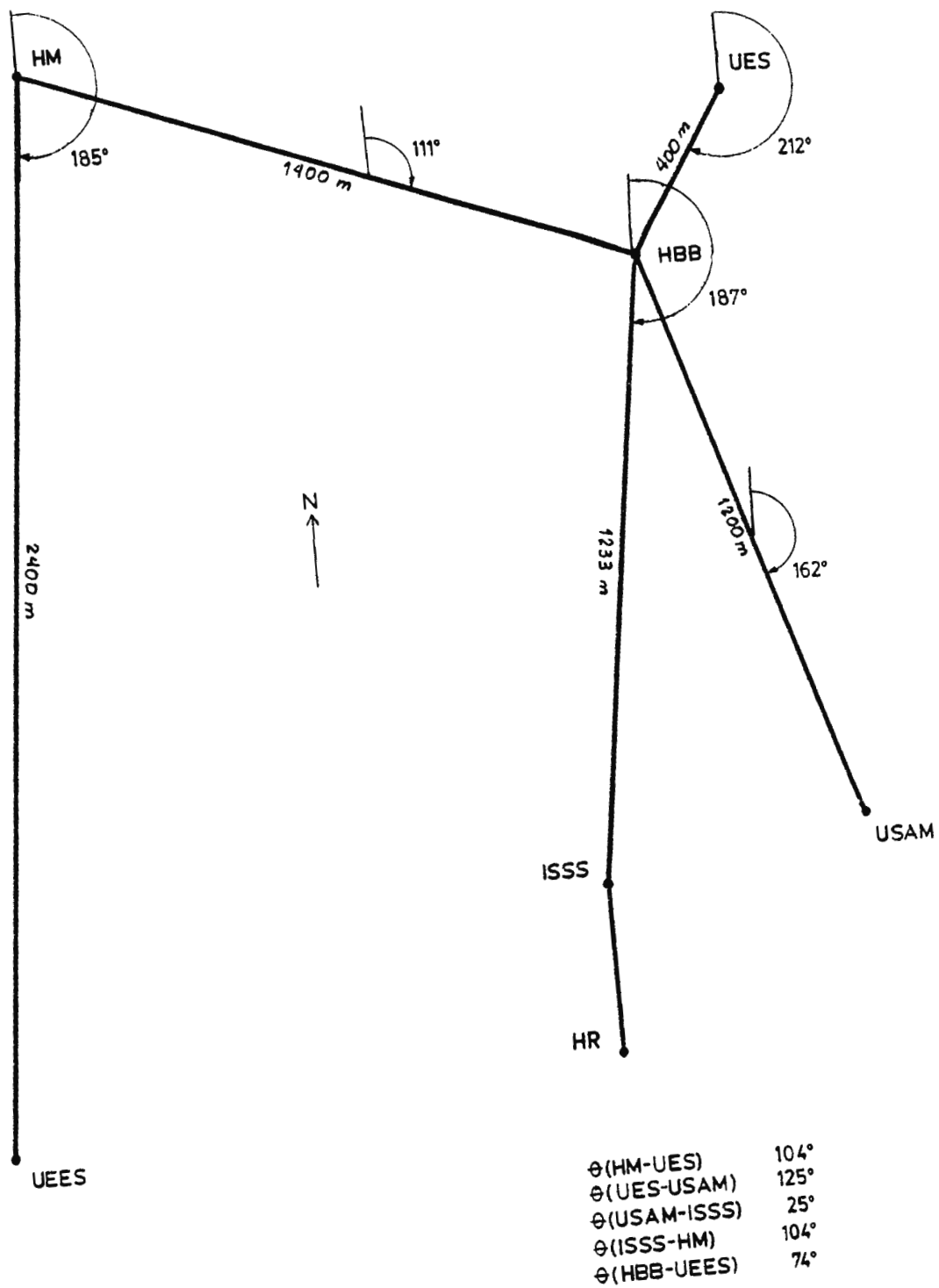


FIGURA 5-2. DIAGRAMA DE INTERCONEXION

5.2 SELECCION DE LA BANDA DE FRECUENCIA PARA LA TRANSMISION

Para seleccionar la banda de frecuencia dentro de la cual podrán trabajar los enlaces, es necesario hacer estudios de disponibilidad dentro de la zona geográfica y la existencia de equipos capaces de trabajar en la banda seleccionada, así también la capacidad para cada canal dentro de dicha banda.

En base a la información obtenida con entrevistas y recopilación de datos teóricos se determinó que la banda de frecuencias en la cual trabajaría la red de transmisión del sistema sería en la de 21.2 - 23.6 GHz ya que es la que actualmente presenta menos saturación por tanto mayor disponibilidad, también hay en existencia equipos que pueden trabajar dentro de esa banda y satisface la funcionabilidad del sistema, esto podrá verse en la sección 5.4 especialmente en cálculos para la trayectoria.

5.3 PLAN DE FRECUENCIA PARA LOS ENLACES

Dentro de la banda de frecuencia de 23 GHz se sabe que el CCIR ha asignado para cada canal un ancho de banda de 3.5 MHz, dato que satisface con el ancho de banda de la señal a transmitirse, además tiene una capacidad de transmisión por canal de 2 Mbps, dato que también satisface con los requisitos de transmisión del sistema.

Es necesario aclarar que dentro del diseño no quedará especificada la frecuencia de transmisión y recepción para cada uno de los enlaces, ya que ANTEL como ente legal en el área de telecomunicaciones no se permite dar ninguna asignación de frecuencia hasta en el momento en que todo proyecto vaya a ser realizado en forma inmediata, por tal razón los cálculos fueron realizados en forma global con la frecuencia extremo de la banda de 23 GHz. Un dato que sí puede asegurarse es que ANTEL para que pueda diseñar un plan de frecuencia adecuada para evitar interferencia entre enlaces, puede asignar hasta un máximo de cinco frecuencias: en base a ello se desarrolló un plan de frecuencias como el que se muestra en la Figura 5-2.

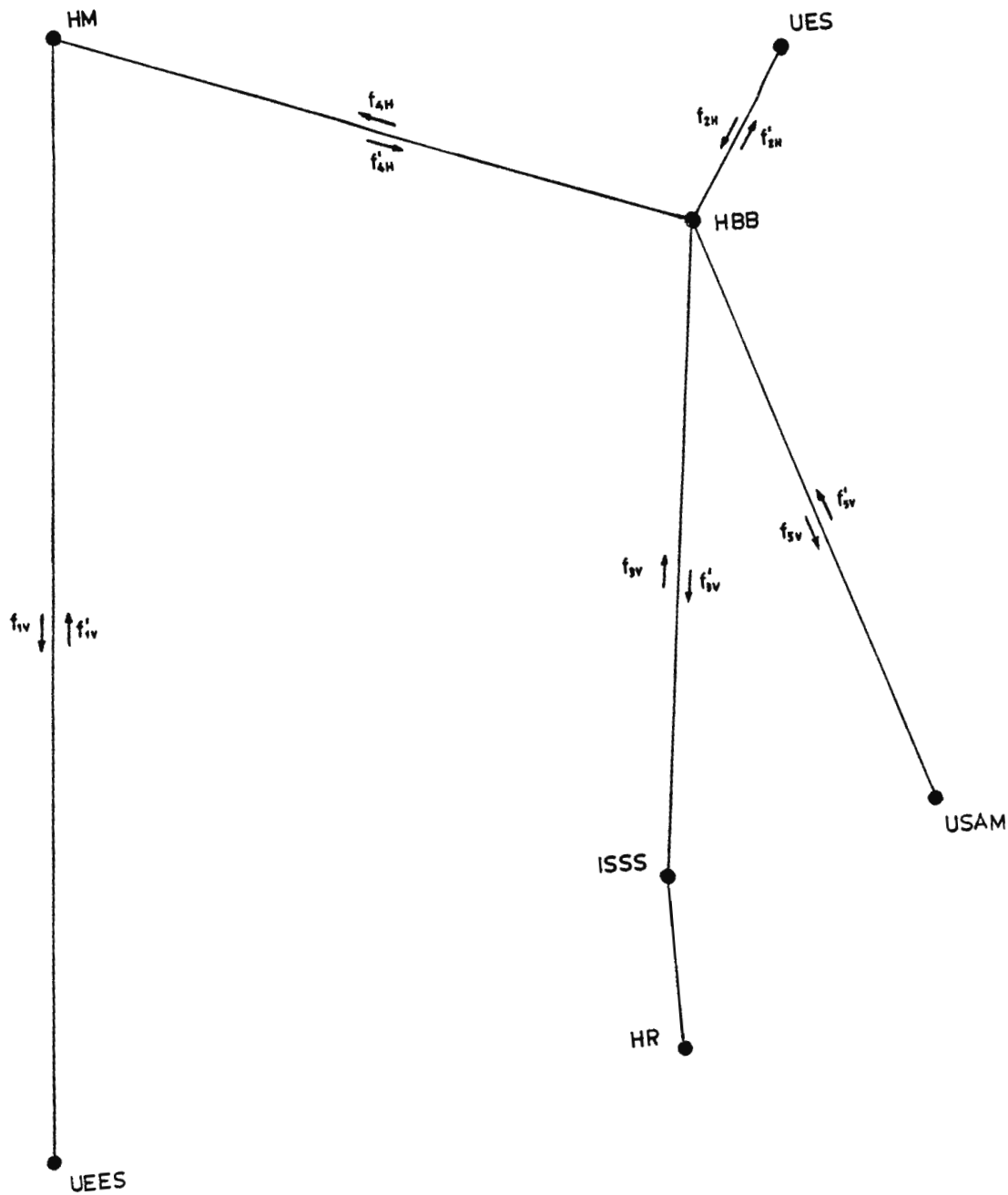


FIGURA 5 3 PLAN DE FRECUENCIAS.

5.4 DESARROLLO DE PERFILES Y CALCULOS PARA LA TRAYECTORIA

5.4.1 DESARROLLO DE PERFILES

Para poder determinar el perfil de trayectoria de un enlace, es necesario considerar:

- 1) Altura de cada uno de los sitios seleccionados.
- 2) Altura de obstáculos en la trayectoria.
- 3) Altura a añadir por la curvatura del terreno.
- 4) Radios a considerar para la zona de Fresnel.

Es en los puntos 1) y 2) donde se hace necesario utilizar los datos de alturas y distancias recolectados en la visita de campo hecha en cada uno de los sitios y trayectoria de enlace; debe aclararse que todas las mediciones fueron realizadas haciendo uso de instrumentos precisos como altímetros, brújula, etc. así también el uso de mapas de curvas de nivel que respaldan aun más los datos obtenidos.

- 3) Altura a añadir por la curvatura del terreno.

Como se quizo explicar en la sección 4.3.4 además de considerarse los accidentes del terreno, como montañas, serranías, colinas, etc., también es necesario considerar la curvatura de la tierra, la cual generalmente es mayor en la parte media de la trayectoria, básicamente lo que este dato refleja es la cantidad de metros que aumenta la altura de un obstáculo como resultado de la irregularidad de la tierra.

Para realizar este cálculo se hizo uso de la ecuación 4.3 explicada en la sección mencionada anteriormente, ésta es:

$$hc = \frac{0.078d_1d_2}{k}$$

Típicamente se utiliza un factor $K = 4/3 = 1.33$, en base a ello para los cálculos del diseño fue asignado dicho valor.

- 4) Radios a considerar para la zona de Fresnel.

Para la elaboración de perfiles también se debe añadir otro factor a la altura del obstáculo, este es el margen para la zona

de Fresnel. Este factor proviene de la teoría de ondas electromagnéticas según la cual el frente de onda como el del haz, tiene propiedades de expansión conforme se propaga en el espacio. Estas propiedades de expansión dan como resultado reflexiones cuando la onda pasa por un obstáculo; el efecto es el incremento o decremento en el nivel de la señal que se recibe.

Generalmente este cálculo es realizado para la primera zona de Fresnel, para ello se hizo uso la ecuación 4.4. de la sección 4.3.5

$$Fr = 17.3 \sqrt{\frac{d_1 d_2}{F D}}$$

Todos los datos obtenidos en las visitas de campo, los datos obtenidos en base a las ecuaciones especificadas fueron llevados a una hoja electronica y con la ayuda de ese paquete de programación los resultados obtenidos son confiables. Las Tablas 5-1, 5-2, 5-3, 5-4, 5-5 son presentadas a continuación con su perfil respectivo.

TABLA 5-1 a

ENLACE	d	h	rl	hc	ht	CLEARANC	PERDIDA	HAZ	hl
	(Km)	(m)	(m)	(m)	(m)		(dB)	(m)	(m)
HM	0.00	798.00	0.00000	0.00000	798.00			800.00	800.00
1	0.43	770.00	2.21431	0.04746	770.05	11.75	0.00	796.07	793.86
2	0.50	780.00	2.35387	0.05363	780.05	6.51	0.00	795.38	793.02
3	0.69	780.00	2.61453	0.06617	780.07	5.19	0.00	793.64	791.03
4	1.08	770.00	2.85645	0.07898	770.08	6.99	0.00	790.06	787.20
5	1.30	760.00	2.94446	0.07832	760.08	9.81	0.00	787.99	785.13
6	1.55	760.00	2.70074	0.07061	760.07	9.48	0.00	785.67	782.97
7	1.74	775.00	2.49962	0.06000	775.06	3.56	0.00	793.93	791.44
8	2.10	770.00	1.69382	0.02777	770.03	6.23	0.00	780.58	778.89
9	2.23	776.00	1.16234	0.01308	776.01	2.64	0.00	779.42	778.26
UEES	2.33	775.00	0.00000	0.00000	775.00			778.50	778.50
freq1:	21.20	(GHz)	freq2:	23.80	(GHz)				
dist-tot:	2.33	(Km)	dist-cel:	3	(Km)				
K:	1.33								
torre 1:	2.00	(m)							
torre 2:	3.50	(m)							

TABLA 5-1 b.

ESTACIONES:	HM	UEES
Frecuencia (GHz) ?	21.2	23.6
Distancia (Km) ?	1.36	1.36
Atenuación por lluvia (dB/Km) ?	3.627268	4.269561
Atenuación por lluvia en dB.	3.63	4.27
Potencia de transmisión (dBm) ?	16	16
Ganancia de la antena (dBi) ?	38	38
Pérdidas por difracción (dB/Km) ?	0	0
Atenuación por difracción en dB.	0	0
Potencia de umbral del receptor (dBm)?	-75	-75
Factor del terreno "A" ?	0.25	
Factor de condiciones del clima "B" ?	1	
MTTR (horas) ?	72	
MTBF (años) ?	5	5
	43800	43800
CALCULOS:		
Pérdidas por espacio libre (dB).	125.27	126.85
Potencia de recepción (dBm).	-39.27	-40.85
Margen de desvanecimiento (dB).	35.73	34.15
CALCULO DE DISPONIBILIDAD		
Disponibilidad de enlace "R(%)".	99.99999	99.99999
Indisponibilidad del enlace "If(%)".	0.000000	0.000000
Indisponibilidad del equipo "Ie(%)".	0.164113	0.164113
Indisponibilidad total "I(%)".	0.164113	0.164113
Disponibilidad total "D(%)".	99.83588	99.83588
Tiempo de interrupciones (horas/año).	14.37637	

ENLACE HM--UEES

21.20

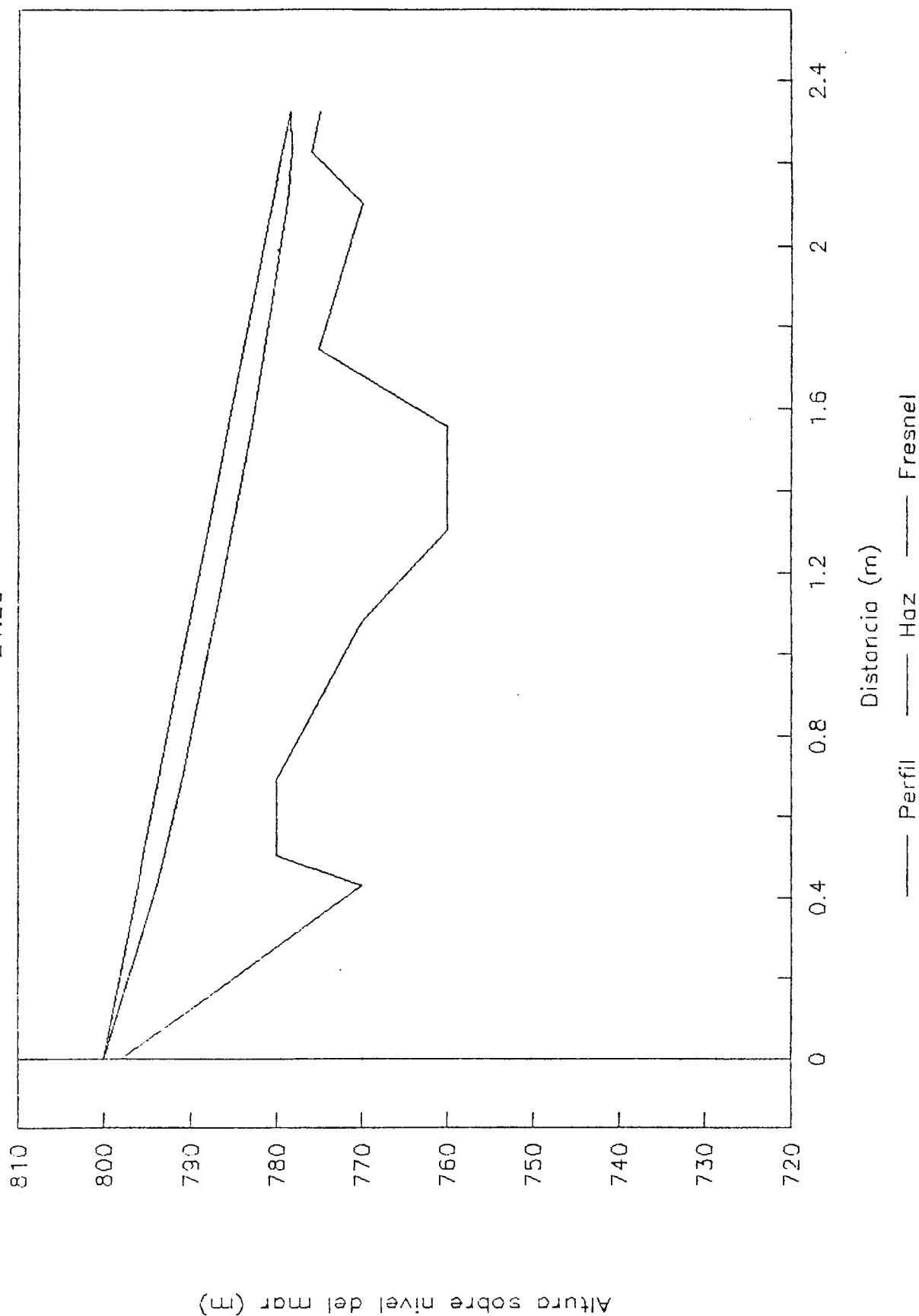


TABLA 5-2 a.

ENLACE	d	h	rl	hc	hl	CLEARANC	PERDIDA	HAZ	hl
	(Km)	(m)	(m)	(m)	(m)		(dB)	(m)	(m)
HBB	0.00	783.00	0.00000	0.00000	783.00			785.00	785.00
1	0.15	750.00	1.37261	0.01067	750.01	22.99	0.00	781.42	780.04
2	0.35	740.00	1.91559	0.02078	740.02	19.11	0.00	776.64	774.72
3	0.43	740.00	2.03100	0.02336	740.02	17.14	0.00	774.84	772.81
4	0.68	730.00	2.19082	0.02718	730.03	17.73	0.00	768.97	766.68
5	0.88	730.00	2.09886	0.02494	730.02	16.23	0.00	764.09	761.99
6	0.98	742.00	1.97397	0.02206	742.02	9.97	0.00	761.70	759.73
7	1.00	720.00	1.93313	0.02116	720.02	21.25	0.00	761.10	759.17
8	1.08	720.00	1.78335	0.01801	720.02	22.03	0.00	759.31	757.53
ISSS	1.36	749.00	0.00000	0.00000	749.00			752.50	752.50
frec1:	21.20	(GHz)	frec2:	23.60	(GHz)				
dist-tot:	1.36	(Km)	dist-cel:	3	(Km)				
K:	1.33								
torre 1:	2.00	(m)							
torre 2:	3.50	(m)							

TABLA 5-2b

ESTACIONES:	HBB	ISSS
Frecuencia (GHz) ?	21.2	23.6
Distancia (Km) ?	1.36	1.36
Atenuación por lluvia (dB/Km) ?	3.627268	4.269561
Atenuación por lluvia en dB.	3.63	4.27
Potencia de transmisión (dBm) ?	16	16
Ganancia de la antena (dBi) ?	38	38
Pérdidas por difracción (dB/Km) ?	0	0
Atenuación por difracción en dB.	0	0
Potencia de umbral del receptor (dBm)?	-75	-75
Factor del terreno "A" ?	0.25	
Factor de condiciones del clima "B" ?	1	
MTTR (horas) ?	72	
MTBF (años) ?	5	5
	43800	43800
CALCULOS:		
Pérdidas por espacio libre (dB).	125.27	126.85
Potencia de recepción (dBm).	-39.27	-40.85
Margen de desvanecimiento (dB).	35.73	34.15
CALCULO DE DISPONIBILIDAD		
Disponibilidad de enlace "R(%)".	99.99999	99.99999
Indisponibilidad del enlace "If(%)".	0.000000	0.000000
Indisponibilidad del equipo "Ie(%)".	0.164113	0.164113
Indisponibilidad total "I(%)".	0.164113	0.164113
Disponibilidad total "D(%)".	99.83588	99.83588
Tiempo de interrupciones (horas/año).	14.37637	

ENLACE HEB-ISSS

21.20

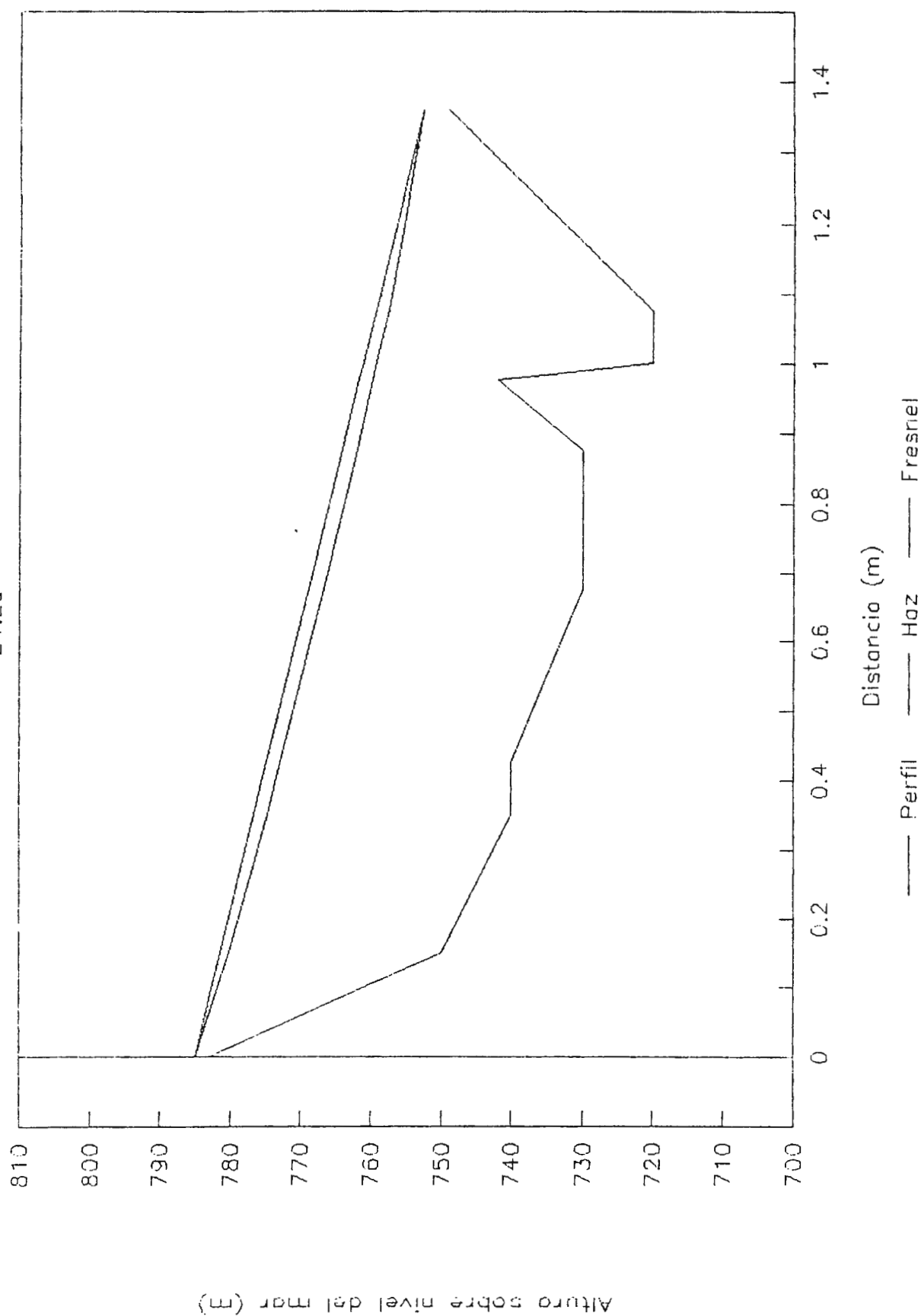


TABLA 5-3 a'

ENLACE	d	h	rl	hc	ht	CLEARANC	PERDIDA	HAZ	ht
	(Km)	(m)	(m)	(m)	(m)		(dB)	(m)	(m)
HBB	0.00	783.00	0.00000	0.00000	783.00			785.00	785.00
1	0.30	769.00	1.02899	0.00176	769.00	9.60	0.00	777.98	776.95
UES	0.40	772.00	0.00000	0.00000	772.00			775.50	775.50
frec1:	21.20	(GHz)	frec2:	23.60	(GHz)				
dist-tot:	0.40	(Km)	dist-col:	3	(Km)				
K:	1.33								
torre 1:	2.00	(m)							
torre 2:	3.50	(m)							

TABLA 5-3 b.

ESTACIONES:	HBB	UES
Frecuencia (GHz) ?	21.2	23.6
Distancia (Km) ?	0.4	0.4
Atenuación por lluvia (dB/Km) ?	3.627268	4.269561
Atenuación por lluvia en dB.	1.45	1.71
Potencia de transmisión (dBm) ?	16	16
Ganancia de la antena (dBi) ?	38	38
Pérdidas por difracción (dB/Km) ?	0	0
Atenuación por difracción en dB.	0	0
Potencia de umbral del receptor (dBm)?	-75	-75
Factor del terreno "A" ?	0.25	
Factor de condiciones del clima "B" ?	1	
MTTR (horas) ?	72	
MTBF (años) ?	5	5
	43800	43800
CALCULOS:		
Pérdidas por espacio libre (dB).	112.47	113.66
Potencia de recepción (dBm).	-26.47	-27.66
Margen de desvanecimiento (dB).	48.53	47.34
CALCULO DE DISPONIBILIDAD		
Disponibilidad de enlace "R(%)".	100	100
Indisponibilidad del enlace "If(%)".	4.8E-11	7.0E-11
Indisponibilidad del equipo "Ie(%)".	0.164113	0.164113
Indisponibilidad total "I(%)".	0.164113	0.164113
Disponibilidad total "D(%)".	99.83588	99.83588
Tiempo de interrupciones (horas/año).	14.37636	

ENLACE HBB-UES

21.20

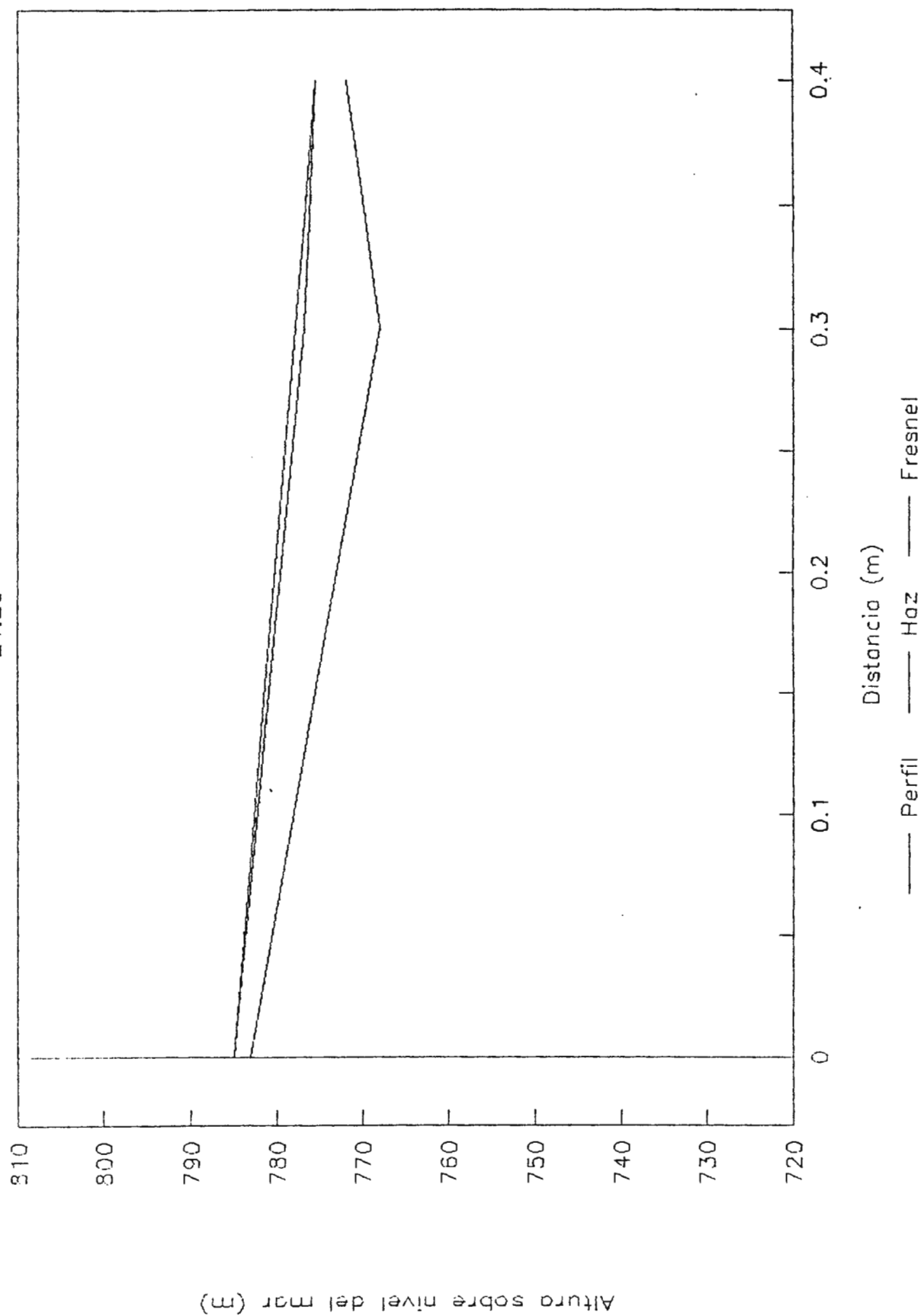


TABLA 5-4 a.

ENLACE	d	h	rl	hc	ht	CLEARANC	PERDIDA	HAZ	hl
	(Km)	(m)	(m)	(m)	(m)		(dB)	(m)	(m)
HBB	0.00	783.00	0.00000	0.00000	783.00			784.50	784.50
1	0.05	750.00	0.82365	0.00368	750.00	39.96	0.00	782.92	782.10
2	0.30	748.00	1.80496	0.01768	748.02	14.97	0.00	775.04	773.23
3	0.65	730.00	2.14200	0.02480	730.02	15.88	0.00	764.00	761.88
4	0.88	720.00	2.00958	0.02191	720.02	18.35	0.00	756.90	754.99
5	0.90	700.00	1.97723	0.02121	700.02	28.37	0.00	756.12	754.14
6	0.99	700.00	1.83063	0.01818	700.02	28.14	0.00	753.36	751.53
7	1.06	710.00	1.85540	0.01487	710.01	24.75	0.00	750.99	749.33
8	1.13	730.00	1.46218	0.01160	730.01	13.00	0.00	749.02	747.56
USAM	1.30	740.00	0.00000	0.00000	740.00			743.50	743.50
freq1:	21.20	(GHz)	freq2:	23.80	(GHz)				
dist-tot:	1.30	(Km)	dist-cel:	3	(Km)				
K:	1.33								
torre 1:	1.50	(m)							
torre 2:	3.50	(m)							

TABLA 5-4 b

ESTACIONES:	HBB	USAM
Frecuencia (GHz) ?	21.2	23.6
Distancia (Km) ?	1.3	1.3
Atenuación por lluvia (dB/Km) ?	3.627268	4.269561
Atenuación por lluvia en dB.	3.63	4.27
Potencia de transmisión (dBm) ?	16	16
Ganancia de la antena (dBi) ?	38	38
Pérdidas por difracción (dB/Km) ?	0	0
Atenuación por difracción en dB.	0	0
Potencia de umbral del receptor (dBm)?	-75	-75
Factor del terreno "A" ?	0.25	
Factor de condiciones del clima "B" ?	1	
MTTR (horas) ?	72	
MTBF (años) ?	5	5
	43800	43800
CALCULOS:		
Pérdidas por espacio libre (dB).	124.88	126.46
Potencia de recepción (dBm).	-38.88	-40.46
margen de desvanecimiento (dB).	36.12	34.54
CALCULO DE DISPONIBILIDAD		
Disponibilidad de enlace "R(%)".	99.99999	99.99999
Indisponibilidad del enlace "If(%)".	0.000000	0.000000
Indisponibilidad del equipo "Ie(%)".	0.164113	0.164113
Indisponibilidad total "I(%)".	0.164113	0.164113
Disponibilidad total "D(%)".	99.83588	99.83588
Tiempo de interrupciones (horas/año).	14.37637	

ENLACE HBB-USAM

21.20

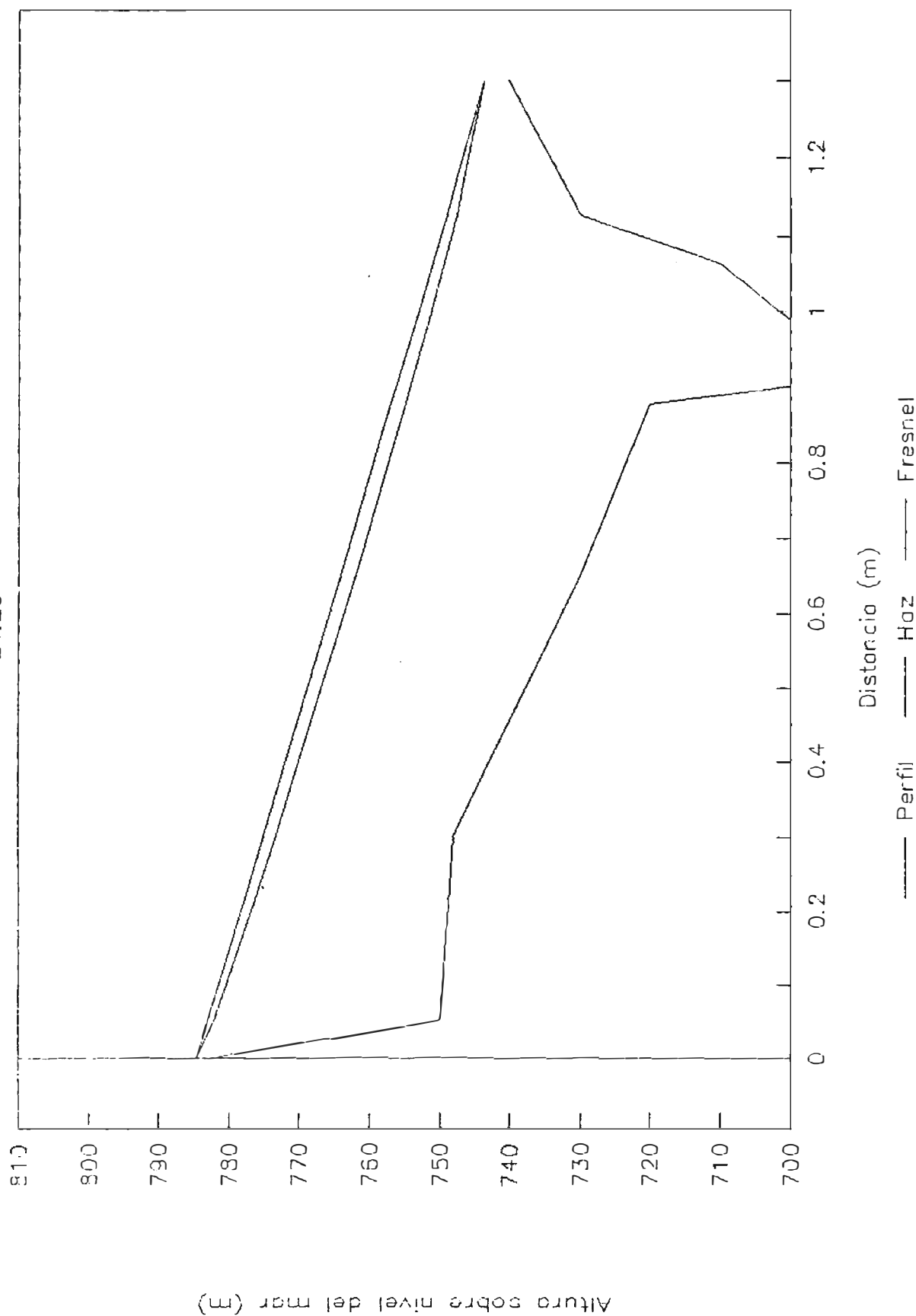


TABLA 5-5 a.

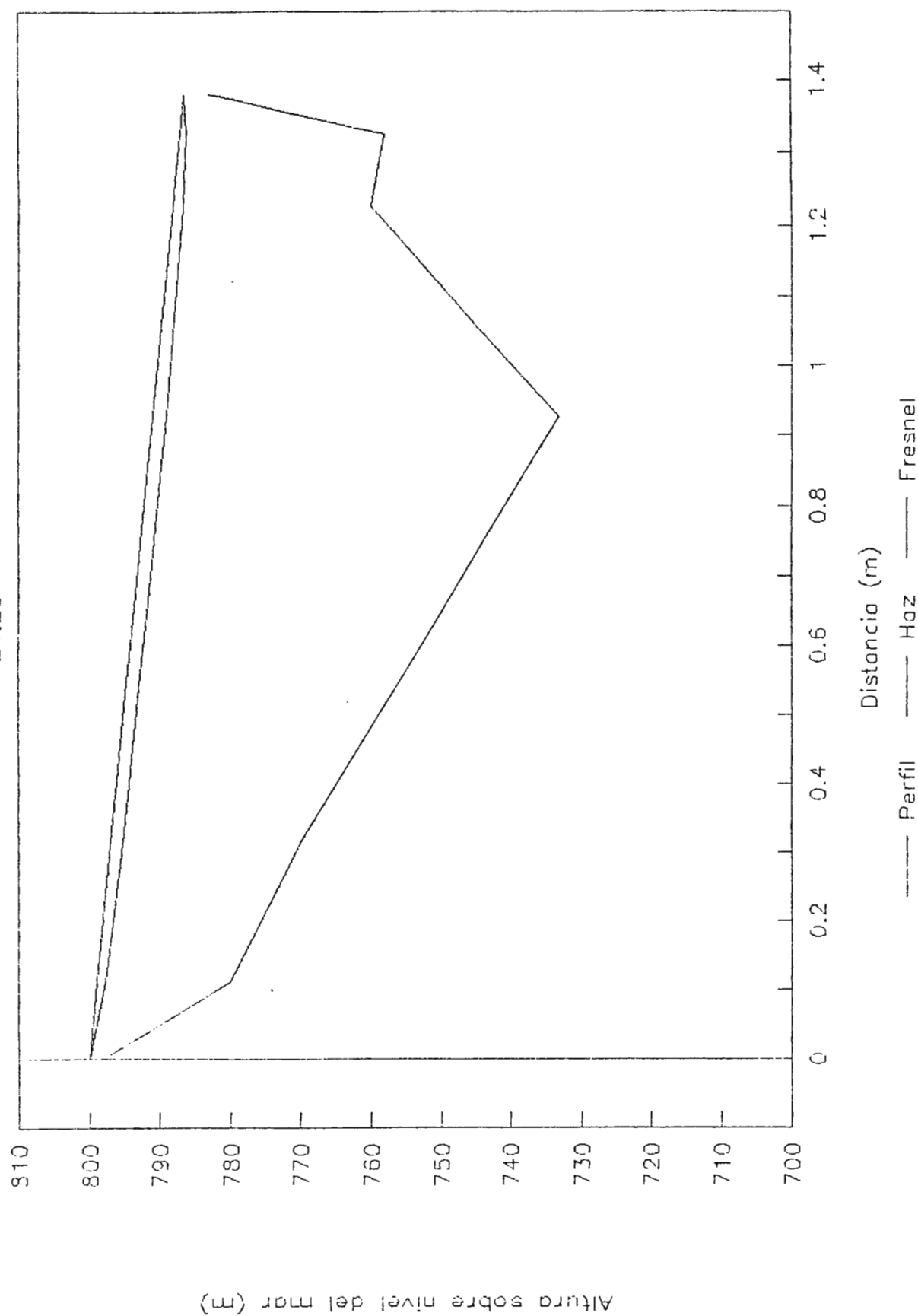
ENLACE	d	h	rl	hc	ht	CLEARANC	PERDIDA	HAZ	ht
	(Km)	(m)	(m)	(m)	(m)		(dB)	(m)	(m)
HM	0.00	798.00	0.00000	0.00000	798.00			800.00	800.00
1	0.11	780.00	1.20778	0.00638	780.01	15.64	0.00	798.90	787.69
2	0.31	770.00	1.84734	0.01961	770.02	14.57	0.00	796.94	795.10
3	0.93	733.00	2.07489	0.02474	733.02	27.92	0.00	790.95	788.88
4	1.23	760.00	1.39371	0.01116	760.01	20.09	0.00	788.02	786.62
5	1.33	758.00	0.88343	0.00428	758.00	33.63	0.00	787.04	786.17
HBB	1.38	783.00	0.00000	0.00000	783.00	.	.	786.50	786.50
freq1:	21.20	(GHz)	freq2:	23.80	(GHz)				
dist-tot:	1.38	(Km)	dist-cel:	3	(Km)				
K:	1.33								
torre 1:	2.00	(m)							
torre 2:	3.50	(m)							

TABLA 5-56.

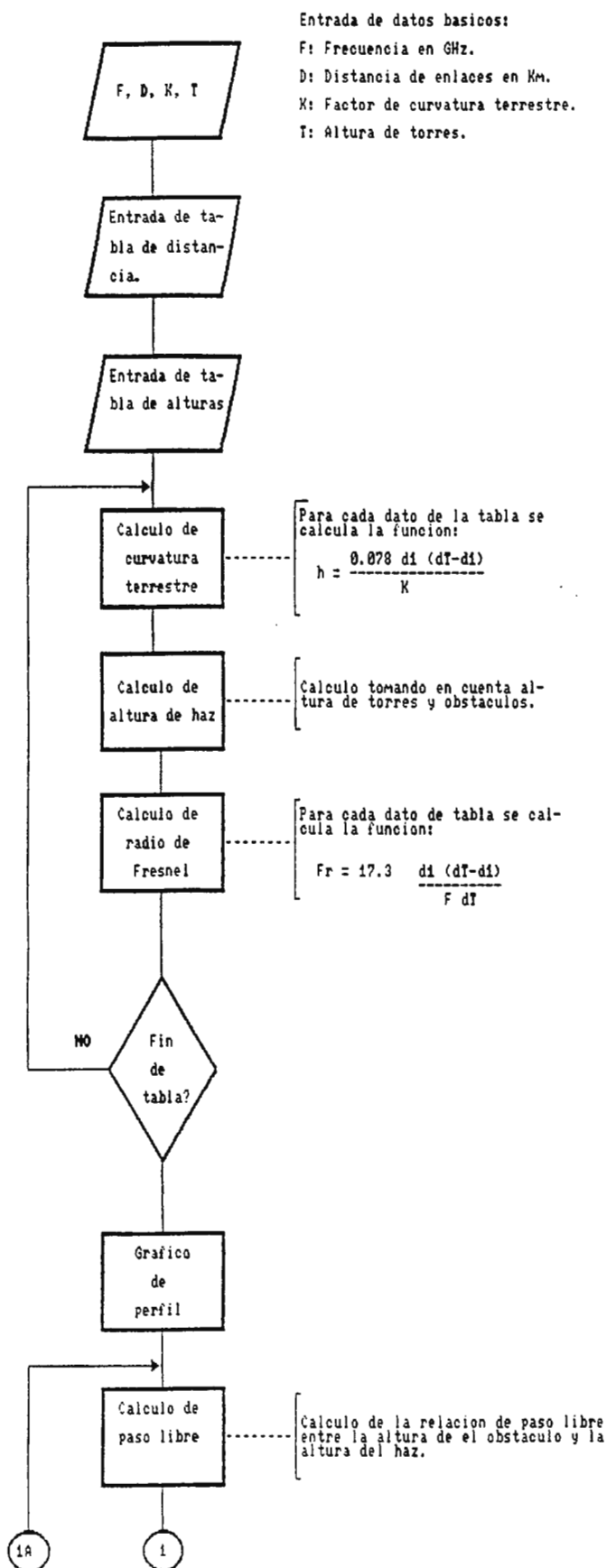
ESTACIONES:	HM	HBB
Frecuencia (GHz) ?	21.2	23.6
Distancia (Km) ?	1.38	1.38
Atenuación por lluvia (dB/Km) ?	3.627268	4.269561
Atenuación por lluvia en dB.	3.63	4.27
Potencia de transmisión (dBm) ?	16	16
Ganancia de la antena (dBi) ?	38	38
Pérdidas por difracción (dB/Km) ?	0	0
Atenuación por difracción en dB.	0	0
Potencia de umbral del receptor (dBm)?	-75	-75
Factor del terreno "A" ?	0.25	
Factor de condiciones del clima "B" ?	1	
MTTR (horas) ?	72	
MTBF (años) ?	5	5
	43800	43800
CALCULOS:		
Pérdidas por espacio libre (dB).	125.40	126.98
Potencia de recepción (dBm).	-39.40	-40.98
Margen de desvanecimiento (dB).	35.60	34.02
CALCULO DE DISPONIBILIDAD		
Disponibilidad de enlace "R(%)".	99.99999	99.99999
Indisponibilidad del enlace "If(%)".	0.000000	0.000000
Indisponibilidad del equipo "Ie(%)".	0.164113	0.164113
Indisponibilidad total "I(%)".	0.164113	0.164113
Disponibilidad total "D(%)".	99.83588	99.83588
Tiempo de interrupciones (horas/año).	14.37637	

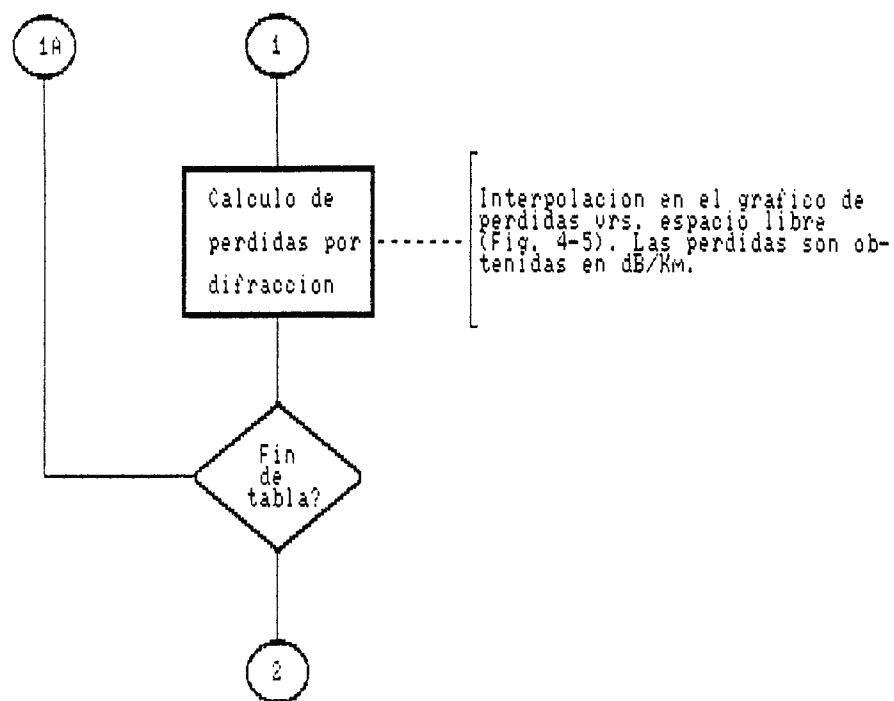
ENLACE HM--HBB

21.20

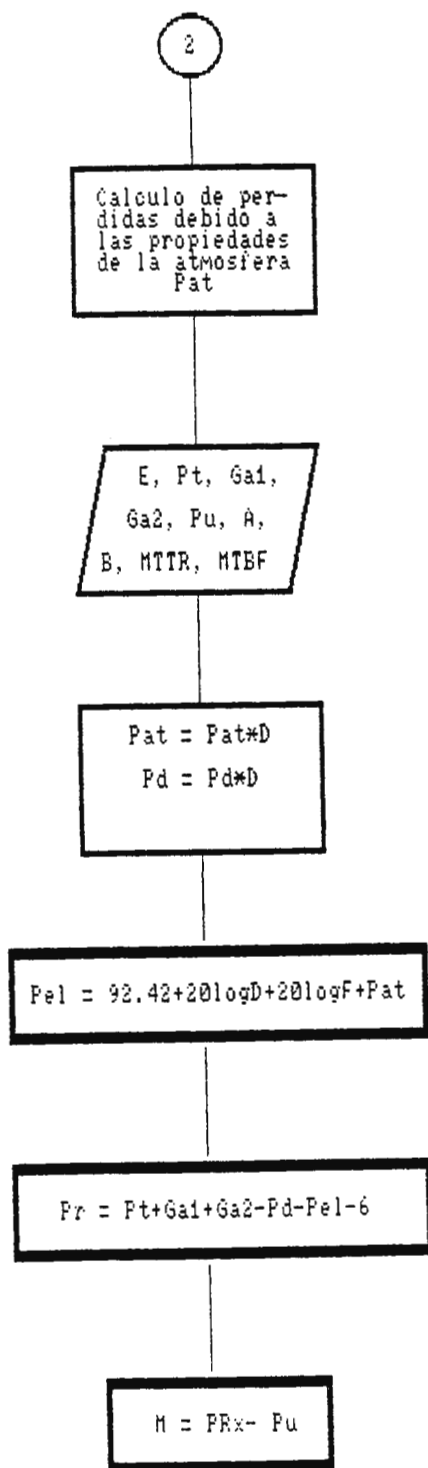


5.4.2 CALCULO DE PERFILES





5.4.3 CALCULOS PARA LA TRAYECTORIA



Interpolación en el gráfico atenuación atmosférica (dB/Km). Figura 4-3. Para una precipitación de 25 mm/h.

Los datos de entrada son:

E: Abreviatura de los nombres de las estaciones del enlace en cuestión.

P_t : Potencia de transmisión (dBm).

P_u : Potencia umbral del equipo receptor (dBm).

Ga_1 y Ga_2 : Ganancia de las antenas (dBi). Datos dados por el fabricante. Cuando la ganancia de las antenas no es dada por el fabricante se calcula por la Ec. 4.19.

A: Factor del terreno (obtenido de la Tabla 4-3). Para este sistema se usó $A=0.25$ que es para el terreno más escabroso como el de una ciudad.

B: Factor de condiciones del clima (obtenido de la Tabla 4-4), se usó el valor de $B=1$ que es la condición de peor clima con la cual obtendríamos las mayores pérdidas.

MTTR: Tiempo medio de reparación. Se usó un valor de MTTR = 72 horas establecido de acuerdo a la política de mantenimiento del usuario que se detalla en Sección 5.10.

MTBF: Tiempo medio entre fallas. Se usó MTBF = 5 años (43800 horas. Dato del fabricante).

Las pérdidas debido a las propiedades de la atmósfera y pérdidas por difracción se calculan en dB.

P_{el} : Pérdidas en el espacio libre (dB) obtenidas de la Ec. 4.1b.

P_r : Potencia de recepción (dBm).

Obtenida de la Ec. 4.10. Para los cálculos de trayectoria se usó primero las ganancias más bajas (antenas más pequeñas) no fue necesario usar antenas con ganancias mayores, ya que como se verá en la Sección 5.5 los resultados se vuelven independientes de este parámetro.

M: Margen de desvanecimiento (dB), se calcula de la Ec. 4.7.

3

$$R(\%) = [1 - 10^{(3 \log D + \log(ABF) - 7 - M/10)}] * 100$$

R(%): Disponibilidad del enlace, se calcula despejando R de la Ec. 4.6.

$$If(\%) = (1 - R) * 100$$

If(%): Indisponibilidad del enlace.

$$Ie(\%) = \frac{MTTR}{MTTR + MTBF} * 100$$

Ie(%): Indisponibilidad del equipo, se calcula de la Ec. 4.13.

$$I(\%) = If(\%) + Ie(\%)$$

I(%): Indisponibilidad total.

$$D(\%) = 1 - I(\%)$$

D(%): Disponibilidad total.

5.5 SELECCION DEL EQUIPO DE RADIO.

Anteriormente se estableció que se trabajaría en el rango de las ondas milimétricas que cubre el espectro de 13 a 300 GHz. Se ha examinado la información técnica de varios equipos de radio de diferentes fabricantes tomando en cuenta para escoger el equipo las siguientes características comunes:

- 1- Rango de frecuencia: los equipos de radio que se examinaron trabajan en las bandas de frecuencia de 13, 15, 18 y 23 GHz.
- 2- Capacidad del enlace: se dispuso de las capacidades T1 (1.544 Mbps), 2, 4 x T1; E1 (2.048 Mbps), 2, 4, 8, 16 x E1.
- 3- Potencia de transmisión. Los rangos típicos se presentan en la Tabla 5-6.

Tabla 5-6. Potencia de transmisión y recepción umbral para diferentes frecuencias.

Frecuencia (GHz)	Potencia de transmisión (dBm)	Umbral de recepción (dBm) (Para BER $\geq 10^{-5}$)
13	+ 13 a + 17	- 76 a - 87.5
15	+ 13 a + 17	- 76 a - 87
18	+ 13 a + 20	- 75 a - 86
13	+ 10.5 a + 16	- 74 a - 85

- 4- Umbral de recepción. Los rangos que se obtuvieron se presentan en la Tabla 5-6.

- 5- Modulación. Los tipos de modulación utilizados por los equipos de radio estudiados son:

QPSK, 25QPSK, OQPSK, MSK, 4LEVFSK, BPSK, ASK Y FM.

QPSK: Modulación de respuesta parcial en cuadratura, es un tipo de modulación en amplitud y fase.

OQPSK: Offset QPSK, QPSK de conmutación compensada.

MSK: Conmutación de mínimo corrimiento es un tipo de modulación en frecuencia y fase. En la Sección 3.6 se estudió los tipos de modulación y cuales son los parámetros para tomar en cuenta para su comparación: a) la eficiencia del ancho de banda o densidad de información (en bps/Hz), b) el desempeño ante errores P_e vrs E/η (en dB) y c) la complejidad del equipo.

En base a estos parámetros se hizo la comparación:

a) Eficiencia del ancho de banda (E_{eff}):

Con respecto a este parámetro se ha determinado que ninguna de las técnicas de modulación binaria: ASK, FSK o PSK es particularmente eficiente en la utilización del ancho de banda, por lo que para obtener una mayor eficiencia de éste, se utilizan los esquemas multisimbólicos como: MSK, QPSK, QPRS, OQPSK y 4FSK. La Tabla 5-7 muestra los valores de eficiencia espectral para estas técnicas.

Tabla 5-7. Eficiencia espectral y desempeño ante errores.

Técnica de modulación	E_{eff} (bps/Hz)	E/η (dB) ($P_e=10^{-3}$)
BPSK	0.8	9.4
ASK(OOK coherente)	0.8	12.5
FSK	0.8	11.4
MSK	1.9	9.4
QPSK	1.9	9.9
OQPSK	1.9	11.7
QPRS	2.25	11.7

En general las técnicas de multifase y multinivel así como su combinación se aplican para reducir el ancho de banda. Los esquemas de multifrecuencia, por el contrario, suelen producir mayores anchos de banda y como contrapartida una mejor inmunidad al ruido.

b) Desempeño ante errores.

La Tabla 5-7 compara este desempeño para cada una de las técnicas mencionadas. La Figura 3-34 muestra el comportamiento de error de la FSK en función de la relación E/η para varios valores de m . Allí puede observarse que para una probabilidad de

error fija la relación E/η se reduce al aumentar m . Esto hace que esta clase de sistemas utilice menos potencia para transmisión y que sea menos susceptible al ruido.

c) Complejidad del equipo (costo):

La Tabla 5-8 muestra la comparación de estas técnicas de modulación de acuerdo a su complejidad. Estas, están ordenadas ascendentemente (de las menos complejas a las más complejas).

Tabla 5-8. Complejidad relativa de esquemas de modulación representativas.

Tipo de modulación	complejidad
ASK (OOK coherente)	baja
FSK	
4FSK	
BPSK	
QPSK	
OQPSK	
MSK	alta
QPRS	

De lo anterior y de las Figuras 3-33 a 3-36 puede observarse que la potencia transmitida (excepto para la FSK) y la complejidad del equipo aumentan generalmente con el aumento en la eficiencia de banda.

Cada equipo de radio tiene además características particulares dentro de las cuales cabe mencionar: el que cuenten con multiplexor interno, canal de servicio de voz y datos sobre cables (útil para mantenimiento); las opciones del montaje del radio junto a la antena o lejos de ella; antenas de diferentes dimensiones encontrándose diámetros desde 0.46 m a 1.8 m los rangos de temperatura especificada por los fabricantes son bastante similares, operan generalmente entre -30 a $+55^{\circ}\text{C}$, el rango de eficiencia de espectro también es similar: $\geq 1\text{b/s/Hz}$. Algunos poseen configuración de protección y otros equipos de medición requerido para la instalación y mantenimiento, etc.

Tomando en cuenta esto se detalla el procedimiento que se siguió para escoger el equipo de radio lo cual se basó prácticamente en las características antes mencionadas con las cuales se hizo

pruebas introduciendo datos de frecuencia (GHz), potencia de transmisión (dBm), ganancia de antena (dBi) (que se obtuvo a través de la Ec. 4.19, en el caso de no obtenerse directamente de los datos del fabricante) y potencia umbral de receptor (dBm) en el programa de perfiles y cálculo para la trayectoria (Sección 5.4). Entre menor es la frecuencia de operación las pérdidas por propiedades de la atmósfera se reducen (ver Sección 4.3.2), sin embargo al hacerse los cálculos para todas las frecuencias de los diferentes equipos de radio se obtuvieron resultados satisfactorios. Al considerar el peor caso (enlace más largo: HM - UEES y la frecuencia mayor 23.6 GHz de la banda de frecuencia más alta (23 GHz) se obtuvo un margen de desvanecimiento mayor de 20 dB (que es el valor límite de margen de desvanecimiento que se considera adecuado según se vió en la Sección 4.6), para las frecuencias inferiores de éstas y las otras bandas este margen aumentaba; por otro lado la disponibilidad total "D(%)" se mantuvo constante para todos los equipos (99.83588% valor que se encuentra dentro del margen adecuado según se vió en la Sección 4.7) ya que la disponibilidad del enlace "R(%)" para cualquier frecuencia se mantuvo en un valor óptimo de 99.99999% por tanto la variación de la disponibilidad total "D(%)" se hizo independiente de las características de frecuencia, potencia de transmisión, ganancia de antenas y umbral de recepción de estos equipos de radio dependiendo principalmente del tiempo medio de reparación (MTTR) que como se dijo es un parámetro determinado por la política de mantenimiento de cada usuario (Ver el detalle en Sección 5.10).

Los resultados obtenidos aseguraban que cualesquiera de los equipos estudiados satisfacía las necesidades básicas del sistema proporcionando una disponibilidad "D(%)" y margen de desvanecimiento (M) adecuado por lo que se procede escoger el equipo basándose en otras características no menos importantes con la finalidad de reducir costos:

1) Como se observó en la Tabla 5-8 los equipos de menor complejidad y por ende de menor costo usan las técnicas ASK, FSK y 4FSK de los cuales se prefiere la FSK porque requiere menos potencia que la ASK además de poseer buena inmunidad al ruido y con respecto a la 4FSK, la FSK mejora la eficiencia de ancho de banda ya que como se dijo las técnicas de multifrecuencia producen mayores anchos de banda. Por tanto al escoger este equipo se tendrá las ventajas de bajo costo y buena inmunidad al ruido pero poca eficiencia en el uso del ancho de banda en comparación a los equipos que usan modulación multisimbólica (exceptuando los de multifrecuencia).

2) Se prefiere un equipo que opere en la banda de 23 GHz ya que:

a) A esta frecuencia se dispone de radios FM cuyo costo es considerablemente bajo.

b) Esta es una de las bandas dentro del espectro de ondas milimétricas que no se encuentra saturada por tanto puede asignarse los anchos de banda que se requieren para este tipo de modulación.

3) Para obtener la calidad de video necesaria para observar detalles en esta aplicación a bajo costo, la transmisión se hará a una velocidad de 384 Kbps este valor es una unidad estándar mínima establecida para videoconferencia por el CCITT en la recomendación H261. Las capacidades de los enlaces se presentaron anteriormente, en la Tabla 5-9 puede observarse que la capacidad mínima disponible en estos equipos es:

Tabla 5-9. Capacidades de transmisión primaria.

Sistema	Capacidad	No. de canales de información (de 64 Kbps).
Norte americano	T1=1.544 Mbps	24
Europeo	E1=2.048 Mbps	30

Se escogió la capacidad T1 de los equipos norteamericanos pensando en la facilidad de acceso para equipo, repuestos, asesoría, etc, debido a la cercanía de estos países.

4) En enlaces como el del HBB - HM - UEES donde el HM funciona como repetidor se requiere de la función de multiplexación. En la Sección 5.6 se establece las opciones propuestas.

5.6 OPCIONES DE CONFIGURACION DEL SISTEMA.

Las Figuras 5-9 y 5-10 muestran el uso de equipos diferentes para la transmisión de información: multiplexores y multiplexores fraccionales respectivamente.

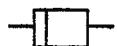
El multiplexor fraccional es un convertidor de interface y

velocidad para servicios fraccionales T1 (o E1) que permite la transmisión de datos desde 64 Kbps hasta 1.544 Mbps (o 2.048 Mbps). La velocidad de los datos se programa por múltiplos de 64 Kbps de canales adyacentes, para este caso se programará para 384 Kbps. En el caso del enlace HBB - HM - UEES se hace uso de un multiplexor fraccional de dos puertos, un puerto destinado a la información del HM y otro para la información de la UEES, pero su uso es limitado, pues no se dispone en el mercado de multiplexores fraccionales con más de dos puertos de esta manera, el fraccional no permitiría "aumentar" equipo de video ya sea en la misma estación o en una muy cercana, esta limitación se refleja en su precio \$ 2000.00, por el contrario el multiplexor permite la incorporación de más equipo (para este caso 4 y 5 equipos respectivamente para las capacidades T1 y E1) en caso de que se desee extender el sistema, pero su costo es más elevado \$ 15,000.00

SIMBOLOGIA.



Multiplexor fraccional de un canal.



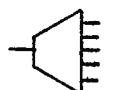
Multiplexor fraccional de un canal con CSU incorporado.



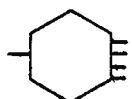
Multiplexor fraccional de dos canales.



Modem.



Multiplexor.



Módulo electrónico con terminales (monitor, cámara principal, cámara de gráficos, cámara portátil y teclado de control con micrófonos). (La cámara portátil y la de gráficos es compartida por todas las estaciones).



Equipo de radio y antena.



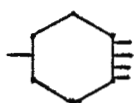
CSU.



Pánel de interconexión.



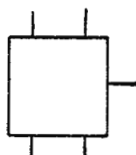
Indica que todo el equipo que sigue a este símbolo es móvil dentro de la estación.



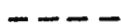
Módulo electrónico con terminales, compartido por dos o más estaciones



Multiplexor fraccional compartido por dos o más estaciones.



Puente multipunto.



El equipo encerrado entre líneas discontinuas pertenece a una misma estación.



Par de cable coaxial o cuatro hilos de par trenzado (velocidad T1).



Cable de interface RS499 directo (velocidad 384 Kbps).



Cable de interface RS499 cruzado (velocidad 384 Kbps).

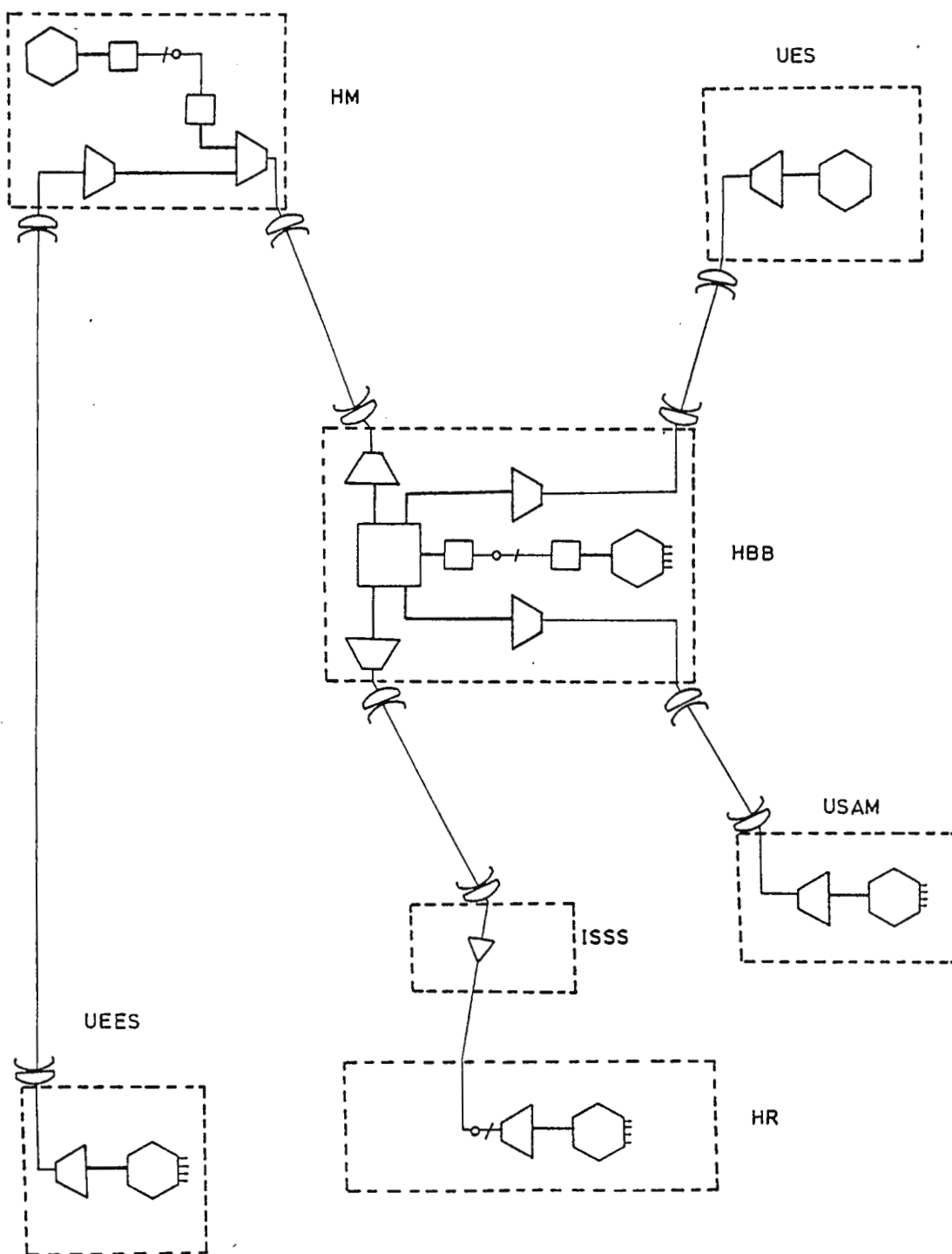


Figura 5-9

Configuración de la red con multiplexores

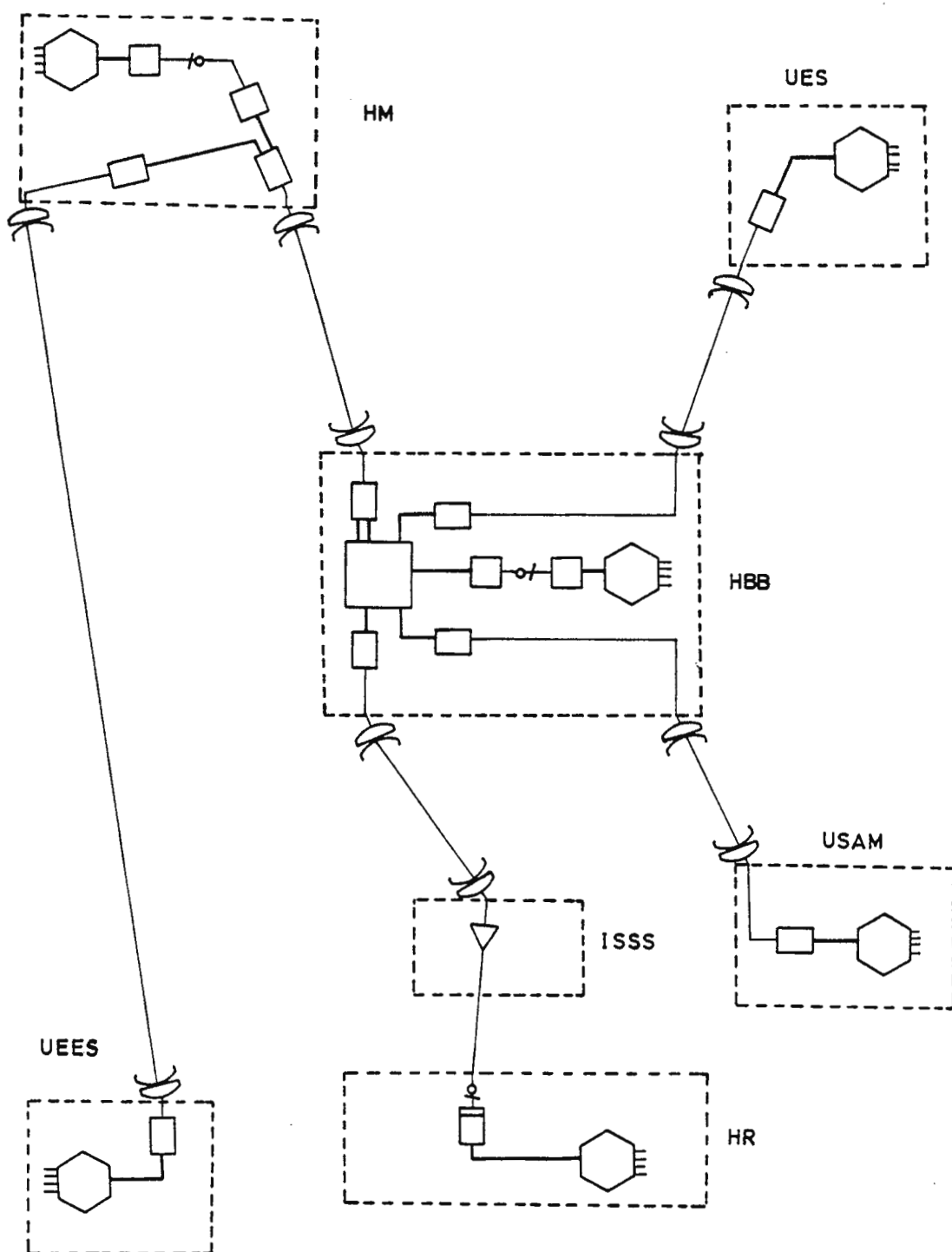


Figura 5-10

Configuración de la red con multiplexores fraccionales.

Respecto a las dos opciones antes mencionadas (Figura 5-9 y 5-10) se ha determinado que el uso de multiplexores fraccionales cubre las necesidades del sistema que se pretende a un menor costo, por tanto esta es la opción que se recomienda.

Antes de conocer las características de las configuraciones de multiplexores fraccionales debe considerarse que en las estaciones donde existe más de una sala (HM, HBB y HR) destinada a la videoconferencia se recomienda disponer de un sólo equipo de video: módulo electrónico, cámaras, teclado de control y monitor los cuales serán trasladados a la sala donde se realice la videoconferencia.

La Figura 5-10 muestra una configuración haciendo uso de multiplexores fraccionales en cada estación y modems (que permiten convertir el cable de interfaz a 4 hilos y extender el cable más de 100 m, en este punto hay un cambio de velocidad de T1 a 384 Kbps y nuevamente a T1, la transmisión en este punto es analógica.) en el HM y HBB. Las Figuras 5-11 y 5-12 muestran otra opción de configuración interna para el HM y HBB respectivamente, en ellas se hace uso de un par de fraccionales adicionales (en lugar de modems) con unidades de servicio de canal (CSU) internos (pueden ser externos pero el costo se eleva ver Sección 5.9) cuya finalidad es extender el cable (existe conversión de 384 Kbps a T1 y luego nuevamente a 384 Kbps que es la velocidad de entrada/salida al/del módulo electrónico) desde el lugar donde se encuentra el p  nel de interconexión hasta cada una de las salas de videoconferencia. Las características de las dos opciones antes mencionadas (para el HM y HBB) se muestran en las Tablas 5-10 (a) y 5-10 (b).

Tabla S-10a. Características de las opciones de configuración para el HM.

	Figura S-10 Configuración con modems y fraccionales.	Figura S-11 Configuración con frac- cionales y CSUs.
Equipo móvil: (se traslada a las diferentes salas destinadas a la vi- deoconferencia).	-Un módulo electrónico con terminales. -Un modem	-Un módulo electrónico con ter- minales. -Un fraccional de un canal con CSU interno.
Equipo fijo: (Instalados en el último piso).	-Un fraccional de un canal. -Un fraccional de dos canales. -Un modem. -Un panel de interconexión.	-Un fraccional de dos canales. -Un fraccional de un canal. -Un fraccional de un canal con CSU interno. -Un panel de interconexión.
Equipo adicional:		-Dos CSUs si los fraccionales no tienen uno interno.

Tabla S-10b. Características de las opciones de configuración para el HBB.

	Figura S-10 Configuración con modems y fraccionales.	Figura S-12 Configuración con frac- cionales y CSUs.
Equipo móvil: (se traslada a las diferentes salas destinadas a la vi- deoconferencia).	-Un módulo electrónico con terminales. -Un modem	-Un módulo electrónico con ter- minales. -Un fraccional de un canal con CSU interno.
Equipo fijo: (Instalados en el último piso).	-Un puente multipunto. -Tres fraccionales de un canal. -Un fraccional de dos cales. -Un modem. -Un panel de interconexión.	-Un puente multipunto. -Tres fraccionales de un canal. -Un fraccional de un canal con CSU interno. -Un panel de interconexión.
Equipo adicional:		-Dos CSUs si los fraccionales no tiene uno interno.

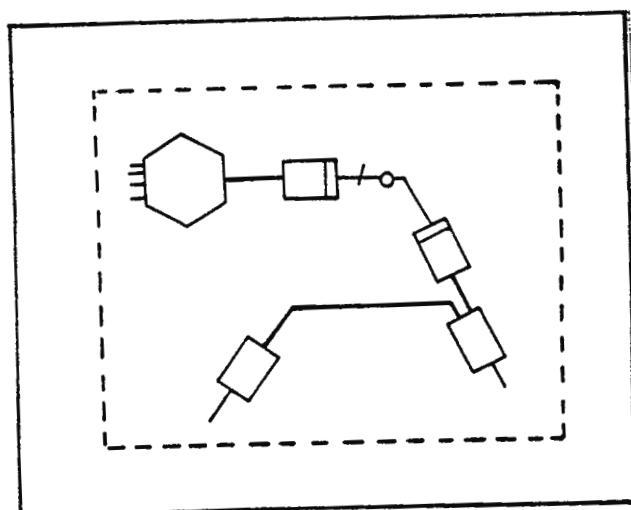


Figura 5-11

Configuración con fraccionales y CSUs para el HM.

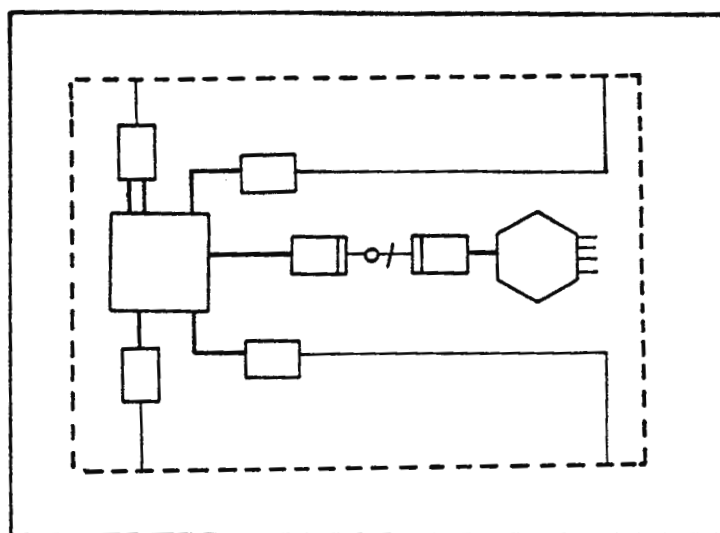


Figura 5-12

Configuración con fraccionales y CSUs para el HBB.

La selección de la opción conveniente puede hacerse en base a los costos (Sección 5.9). De donde puede verse que la opción que resulta menos costosa es la que utiliza modems.

Si en el futuro se desea incorporar a la red la unidad modular (UM) del ISSS se recomienda tomar en cuenta la siguiente configuración (Figura 5-13).

Con el CSU se alcanzan distancia de hasta un kilómetro. El uso de panel de interconexión y demás detalles debe determinarse con el estudio de campo en la unidad modular. El HR y la UM del ISSS pueden compartir el fraccional y el módulo electrónico con sus terminales.

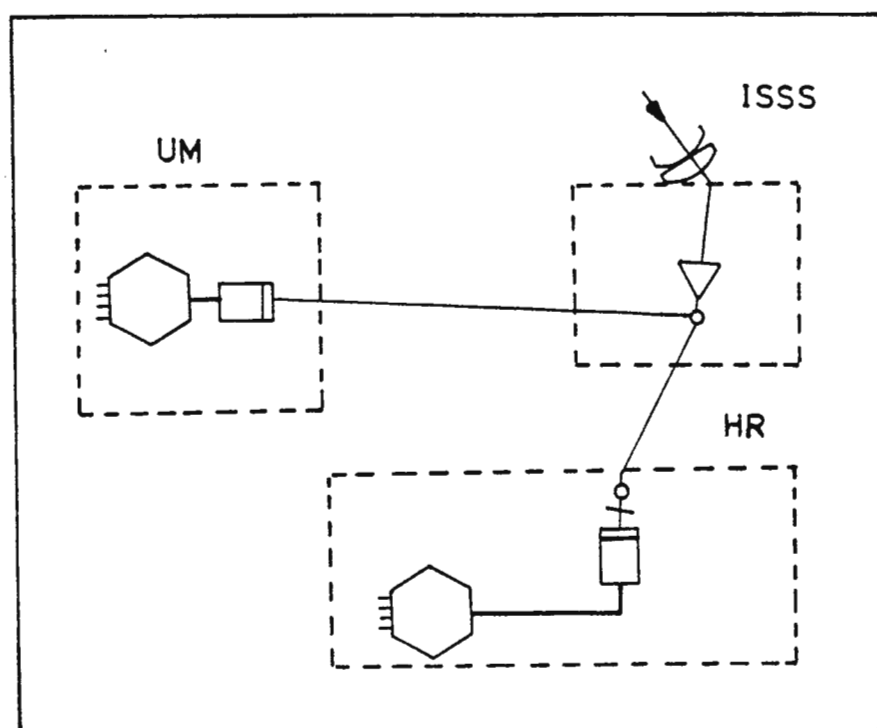


Figura 5-13

Configuración para el ISSS (edificio de Oncología). incluyendo la Unidad Modular.

5.7 ESPECIFICACIONES DEL EQUIPO SELECCIONADO

La selección del equipo a utilizar depende básicamente de: las características de operación de los sistemas de videoconferencia, la distribución de los lugares a interconectar, la operación y administración del sistema y los costos.

También, para definir el sistema que más conviene, se han tomado en cuenta los resultados obtenidos del estudio de campo, cálculos de enlace y trayectoria, ya que estos reflejan el funcionamiento óptimo de la comunicación. Tomando en cuenta lo dicho anteriormente, se procede entonces al análisis de una serie de equipos disponibles en el mercado actual para luego determinar aquel que satisfaga las necesidades de esta aplicación a un costo favorable a las partes que administran el sistema.

Para la realización de este diseño, se han realizado los análisis de las características de los equipos en las siguientes áreas:

- Equipo de transmisión.

 - Radio transceptores y antenas.

 - Multiplexores fraccionales.

 - Modems y unidades de servicio de canal (CSU).

- Equipo terminal de video.

 - Unidad multipunto.

 - Módulo terminal de videoconferencia y periféricos.

5.7.1 EQUIPO DE TRANSMISION

La selección del equipo de transmisión involucra los denominados radiotransceptores, equipo multiplexores y unidades de servicio. Es necesario aclarar que existirán opciones a elegir dentro del diseño, tal es el caso de la utilización de Unidades de Servicio de Canal (CSU), multiplexores y unidades de interfaz para las

conexiones en cada una de las instituciones teniendo así enlaces de alta y baja velocidad, 1.544 Mbps y 384 Kbps respectivamente; así también el uso de MODEMS de alta velocidad.

5.7.1.1 RADIOTRANSCEPTORES Y ANTENAS.

El propósito de dar a conocer las especificaciones del equipo es distinguir los diferentes parámetros, características de operación y costo, para un sistema de radiomicroondas a una frecuencia de 23 GHz. Es necesario aclarar dentro de las especificaciones de funcionamiento, que este sistema será capaz de trabajar con un modo de operación full-duplex (FDX).

A continuación se presentan las principales características técnicas para el equipo transceptor y antenas seleccionado.

Tabla 5-11. Especificaciones del equipo radiotransceptor.

=====	
GENERALIDADES DE EL SISTEMA:	
=====	
Tipo de modulación	FM

Banda de RF	21.2 a 23.6 GHz.

Ganancia del sistema.	93dBm.
=====	
ESPECIFICACIONES DEL TRANSMISOR:	
=====	
Nivel de transmisión	+ 18 dBm

Estabilidad de frecuencia	Mejor que 0.02% de frecuencia portadora.

Velocidad de bits.	1.544Mbps ó T1

Interface	DSX1
=====	
ESPECIFICACIONES DEL RECEPTOR:	
=====	
Umbral de recepción	- 75dBm.

Figura de ruido.	12dB.
=====	
PARAMETROS GENERALES:	
=====	
Alimentación	120Vac a 24V - 50/60 Hz

Consumo de potencia	50 Watts.
=====	

Tabla 5-12. Especificaciones de antena.

=====	
Banda de frecuencia	21.2 a 23.6 Ghz.
=====	
Ganancia	38 dBi.
=====	
Polarización	Vertical u horizontal.
=====	
Tipo	Parabólica sólida
=====	
Diámetro.	2 pies.
=====	

5.7.1.2 MULTIPLEXORES FRACCIONALES

Es necesario dar una breve descripción sobre multiplexores fraccionales para luego listar sus características técnicas.

Este dispositivo tiene el mismo propósito de un multiplexor de 30 ó 24 canales de 64 Kbps cada uno, dicho propósito es combinar canales a un nivel de jerarquía digital para luego producir un nivel más alto y en el extremo receptor reproducir los canales a un nivel original. La diferencia entre un multiplexor fraccional y el comúnmente utilizado, es la flexibilidad que presenta para poder trabajar con un número menor a 30 ó 24 canales, es decir por fracciones con un número mínimo de un canal siempre de 64 Kbps, la ventaja que ofrece es evitar la subutilización de un multiplexor de 30 canales cuando solamente se necesitan 1 ó 2 canales de $n \times 64$ Kbps, también el poder trabajar con velocidades de entrada y salida distintas. Una representación de ello se muestra en la siguiente figura:

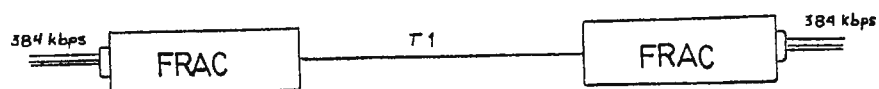


Figura 5-14

Representación gráfica de un enlace con multiplexor fraccional

Las características del equipo multiplexor fraccional a utilizar se muestran en la Tabla 5-13.

Tabla 5-13. Especificaciones de multiplexor fraccional.

PARA EL ENLACE:		
=====		
Velocidad		1.544Mbps ó T1

Código de línea		AMI

Nivel de transmisión		0 dB, -7.5dB
		-15dB/ con CSU.

Nivel de recepción		0 dB, a -34dB / con CSU.
		0 a -10dB /sin CSU.
=====		
PARA EL LADO DE INTERFAZ.		
=====		
Número de canales		1 ó 2 (c/u de 64Kbps * n)

Interfaz		RS-449

Velocidad de bits.		n * 64Kbps (n= 5)
=====		
GENERALES:		
=====		
Módulos de diagnóstico.		-Lazo de prueba a nivel OSI
		-Lazo de prueba a nivel canal.
		-Prueba de tasa de error de
		bit con unidad remota.

Dimensiones:		
Altura:		305 mm / 12.0 pulg.
Ancho:		267 mm / 10.5 pulg
Largo:		43.2 mm / 1.7 pulg.

Temperatura		0 a 50 °C

Humedad		0% a 90% no condensado

Alimentación		115Vac, 47/63 Hz

Potencia		15 Watts
=====		

5.7.1.3 MODEMS Y UNIDADES DE SERVICIO DE CANAL (CSU)

Las características principales de los modems se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 5-14. Especificaciones de modem.

INTERFACE ANALOGICA:	
=====	
Código de línea	HDB3, AMI ó B8ZS
Velocidad en baudios	2048, 1544, 1536 kbps
Impedancia	100 ohm para 1544 kbps
Tipo de línea	Par trenzado, calibre 19 a 26
=====	
INTERFACE DIGITAL:	
=====	
Tipo	V.35, X.21, RS-530, V.36 ó G.703/HDB3
Velocidad	64, 128, 256, 384, 512, 768, 1024, 1536, 1544, 2048 kbps
=====	
DIAGNOSTICOS:	
=====	
Lazo digital	Local (manual) Remoto (manual o desde DTE)
Lazo analógico	Local (manual o desde DTE)
Patrón de prueba	Activación manual
=====	
ALIMENTACION:	
=====	
Voltaje	115 o 230 voltios (tolerancia: 10%)
Frecuencia	47 a 63 Hz

Las unidades de servicio de canal sirven como una interface entre el canal de datos o medio de transmisión digital y el equipo receptor. Sus características principales se presentan en la siguiente tabla:

Tabla S-15. Especificaciones de CSU.

Alimentación	115 Vac, 60 Hz.
Interface	T1
Velocidad de datos	1.544 Mbps.
Formato de datos	D4
Código de línea	AMI

5.7.2 EQUIPO TERMINAL DE VIDEO

La selección del equipo terminal de video implica tanto la selección de la unidad de interconexión multipunto como el módulo electrónico de procesamiento de imágenes, digitalización y comprensión estrictamente destinado para videoconferencia.

5.7.2.1 UNIDAD MULTIPUNTO

La unidad multipunto seleccionada presenta dentro de sus características gran flexibilidad y facilidad para su uso en el control de un sistema de videoconferencia multipunto.

Dentro de sus capacidades se tiene:

- Provee alta calidad en audio y video. Para el video la calidad se mantiene aún a bajas velocidades, exactamente 384 Kbps.
- Gran capacidad para manejar desde 2 a 16 unidades remotas. También es capaz de soportar simultáneamente enlaces punto a punto entre las 16 unidades, esto quiere decir 8 enlaces

Tabla S-16. Especificaciones de la unidad multipunto.

Número de puertos	2 a 16
Algoritmo de video	Propietario
Interface de la red	RS-449
Protocolo de red	Propietario
Diagnóstico	-Autoverificación de encendido -Diagnóstico con modem remoto
Alimentación	85 a 260 Vac
Frecuencia de línea	47 a 63Hz
Disipación de potencia	550 Watts.
Temperatura	10 a 40 °C
Humedad	15% a 80% no condensado

punto a punto. También la misma simultaneidad puede existir en forma de multipunto como es el caso del centro de control enlazado con el resto de las demás estaciones.

- c) Esta unidad es capaz de controlar toda la dinámica de la videoconferencia en base a dos opciones, manual o activado por voz, esta programación se hace por medio de un teclado propio de multipunto, con este se puede definir qué enlaces estarán activos / como el control del módulo terminal de videoconferencia estará funcionando, ya sea manual (si el módulo posee esa opción) o activado por voz; este último se refiere a que puede ser programado de tal forma que los enfoques principales sean guiados por la voz de la persona que se este comunicando, esto podrá darse en cualquier intervalo de tiempo.

d) La programación de activación por voz o manual y la programación de los enlaces que estarán activos en un determinado momento son hechos por medio de un teclado maestro que controla todo el sistema.

Es necesario aclarar que todos los algoritmos tanto de control como de compresión de datos son exclusivos del propietario.

En la Tabla 5-16 se muestran las características técnicas de la unidad multipunto

5.7.2.2 MODULO TERMINAL DE VIDEOCONFERENCIA

El módulo terminal de videoconferencia lo conforman el codificador/decodificador de video (CODEC), un mezclador de

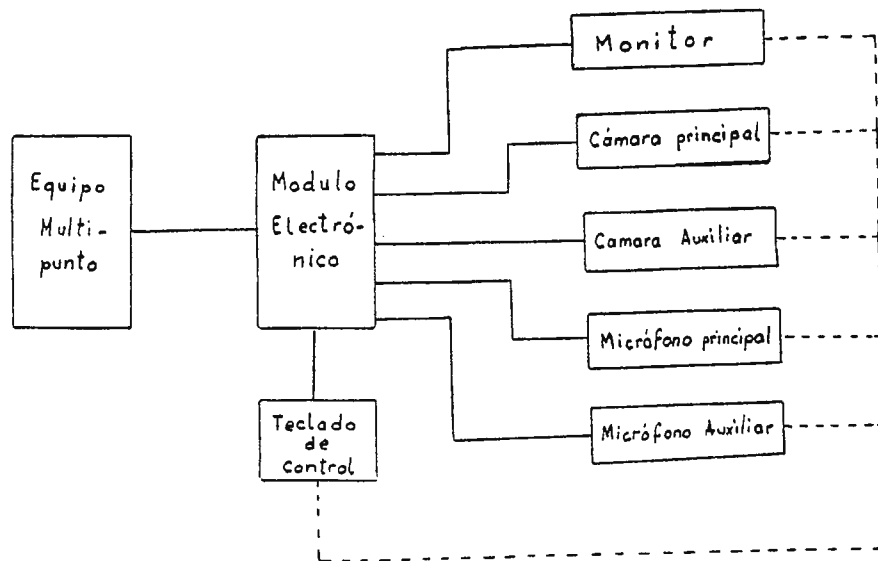


Figura 5-15

Diagrama a bloques de los elementos que conforman el módulo terminal de video.

audio y las interfaces apropiadas para la red; así también un módulo de cámaras con autoenfoco, además posee un teclado especial para poder ejecutar otras funciones de control como enfoques alternos entre videos y captura de imágenes estáticas como gráficos o documentos; también ajuste de volumen, control de cámaras auxiliares y de micrófonos. Puede tener una configuración de monitor simple o dual, quiere decir que además del monitor principal que el módulo trae incorporado, tiene entrada extra para agregar cualquier otro monitor siempre y cuando cumpla con uno de los parámetros importantes, cumplir con las normas NTSC o PAL. Otra característica de que dispone este sistema es la cancelación de ECO el cual se adapta fácilmente a la acústica de cualquier falla, esto es diseño propio del fabricante.

En la Figura 5-15 se puede mostrar el funcionamiento básico de este módulo terminal de videoconferencia.

Básicamente los bloques más importantes del módulo terminal son el procesador de señal y el teclado para control. Por medio del teclado de control el usuario puede activar o desactivar los diferentes bloques que se muestran en la Figura 5-10, interactuando al mismo tiempo con los parámetros previamente programados por el control maestro del módulo multipunto, de manera que si los enfoques de los dispositivos principales son activados por voz puede alterarse con enfoques alternos simultáneos de los dispositivos auxiliares controlados por medio del teclado, un efecto de esto sería la pantalla del monitor dividida en dos partes con cada mitad presentando imágenes distintas.

Así también, se tiene el bloque de procesamiento de señal, cuya función básica es muestrear, cuantizar y comprimir la señal de video, esta teoría ya fue estudiada en el Capítulo 3.

La etapa de compresión de video utiliza un algoritmo de compresión exclusivo del propietario o fabricante del equipo, aún así se aclara que las bases de éste se encuentran en el algoritmo estándar del CCITT definido en la recomendación H-261, en esta recomendación se describen los principios básicos de codificación y decodificación de los servicios audiovisuales a las velocidades de $n \times 384$ kbps. Básicamente este algoritmo trabaja con la predicción de interimágenes (técnica intertrama) para utilizar redundancia temporal y codificación de la transformada de la señal para reducir la redundancia espacial.

Tabla 5-17. Especificaciones técnicas del módulo terminal de videoconferencia.

PARA ETAPA DE VIDEO:	
Algoritmo de compresión	Propietario basado en algoritmo estándar del CCITT, Rec. H261
Formato	NTSC o PAL Nivel de señal: 1 Vpp Impedancia: 75 ohmios
Resolución de video	352 * 288 pixeles
Resolución en gráficos	512 * 480 pixeles
Entradas de video	cuatro: -cámara principal -cámara auxiliar -entrada VCR -cámara de documentos
PARA ETAPA DE AUDIO:	
Formato	Full - duplex
Cancelación de eco	Ancho de banda 50Hz - 7Khz.
Entradas de audio	-1 micrófono auxiliar
PARA INTERFACES DE CONTROL Y DATOS:	
-Posee dos puertos de control, A y B	
-Todas las funciones son accesadas via puerto	
-Interface de control: RS-232 (para A y B)	
FUNCIONES DE DIAGNOSTICO QUE POSEE:	
-Autoverificación de encendido	
-Diagnóstico durante transmisión o con sistema operando	
-Diagnóstico desde sistema remoto de administración	
PARA ETAPA DE TRANSMISION:	
Velocidad de datos	64 - 384 kbos
Interface de canal	RS-449
GENERALES:	
Alimentación	85 -130 Vac 200 - 264 Vac/ 47 - 63Hz
Consumo de potencia	800 Watts (típico)
Temperatura operando	0 a 40 °C
Temperatura no operando	-40 a 40 °C

5.8 CONFIGURACION DEL EQUIPO POR SITIO

Los objetivos de detallar la configuración de los equipos para cada uno de los sitios involucrados en la red es para planificar la instalación de los mismos, calcular los costos, cuales y cuantos de cada uno de los dispositivos por estación y para describir la operación y administración del sistema.

De los seis puntos a enlazarse, tal como se muestra en las Figuras 5-1 y 5-2, el centro de control será específicamente el Hospital Benjamín Bloom, quedando como unidades remotas:

- Universidad Evangélica de El Salvador.
- Universidad Salvadoreña Alberto Masferrer.
- Universidad de El Salvador.
- Hospital Militar.
- Instituto Salvadoreño del Seguro Social.

El Instituto Salvadoreño del Seguro Social quedará en el enlace como un sitio de redistribución en el Hospital Rosales. Los motivos por los cuales se dejará así es en primer lugar para aprovechar un enlace con línea vista con el HBB y en segundo lugar dejarlo como usuario futuro en las salas del Hospital Médico Quirúrgico que está situado a algunos cientos de metros del punto de transmisión ubicado en la azotea del nuevo edificio del ISSS al costado Este de los módulos de emergencia.

5.8.1 SITIO DE CONTROL: HOSPITAL BENJAMIN BLOOM

Debido a que este sitio ha sido escogido como centro de control de toda la red contará con el puente multipunto detallado en la Sección 5.7.2.1 cuya función será programar y activar los enlaces de las unidades remotas que estarán en conferencia y dar el paso para la transmisión y recepción de cada uno de los sitios el cual como ya se dijo anteriormente puede ser programado automáticamente para ser activado por voz.

El equipo multipunto además de dedicar seis de sus salidas a los distintos equipos radiotransceptores de cada uno de los

enlaces, tendrá una séptima línea que interconectará el módulo terminal de videoconferencia destinado a el mismo, dicha interconexión se hará por medio de la interfaz RS-449 y a un par de multiplexores fraccionales, también puede considerarse la opción de interconectar MODEMS.

Un informe más detallado sobre el equipo a utilizar en este lugar se presenta a continuación, así también se muestra un diagrama de como estarán interconectados en la Figura 5-15 y planos donde se presenta la instalación (cableado) y capacidades del sitio.

En la Tabla 5-18 se muestra el detalle del equipo a utilizar, usando multiplexores fraccionales para los enlaces y modems para la conexión interna.

Tabla 5-18. Equipo a utilizar.

EQUIPO DE TRANSMISION:	
Cantidad	Equipo
4	Módulos de radio (full-duplex)
4	Antenas tipo parabólica sólida
3	Equipos multiplexores fraccionales de 1 canal
2	Modems
1	Equipo fraccional T1 de dos canales
1	Pánel de interconexión
EQUIPO DE VIDEO	
1	Unidad multipunto
1	Módulo terminal de videoconferencia con los siguientes dispositivos incorporados:
	-cámara principal
	-cámara auxiliar (compartida con las demás estaciones)
	-cámara para documentos (compartida con las demás estaciones)
	-monitor
	-teclado de control
	-CODEC

SIMBOLOGIA:



Equipo de radio y antena.



Multiplexor fraccional de un canal.



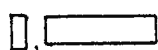
Multiplexor fraccional de dos canales.



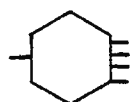
Multiplexor fraccional de un canal con csu.



Modem



P  nel de interconexión.



Módulo electrónico.



Monitor y cámara principal.



Cámara portátil.



Cámara de gráficos.



Teclado de control con micrófonos.



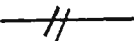
El equipo punteado es compartido por las diferentes salas de videoconferencia en una misma estación.

R1,R2...Rn:

Salas de radiología

Q1,Q2...Qn:

Salas de cirugía.

S1,S2...Sn:	Salas de parto.
I,II,III...IV:	4 o hilos o par de ellos dentro del poliducto según sea par trenzado o cable coaxial.
	Cable de alimentación.
	Poliducto con cable coaxial o par trenzado.
	Cable de interface RS-499 directo.
	Cable de interface RS-499 cruzado.
x	Llegada de cable proveniente de piso superior.
*	Llegada de cable proveniente del piso inferior.
	Bajada de cable.
	Subida de cable.

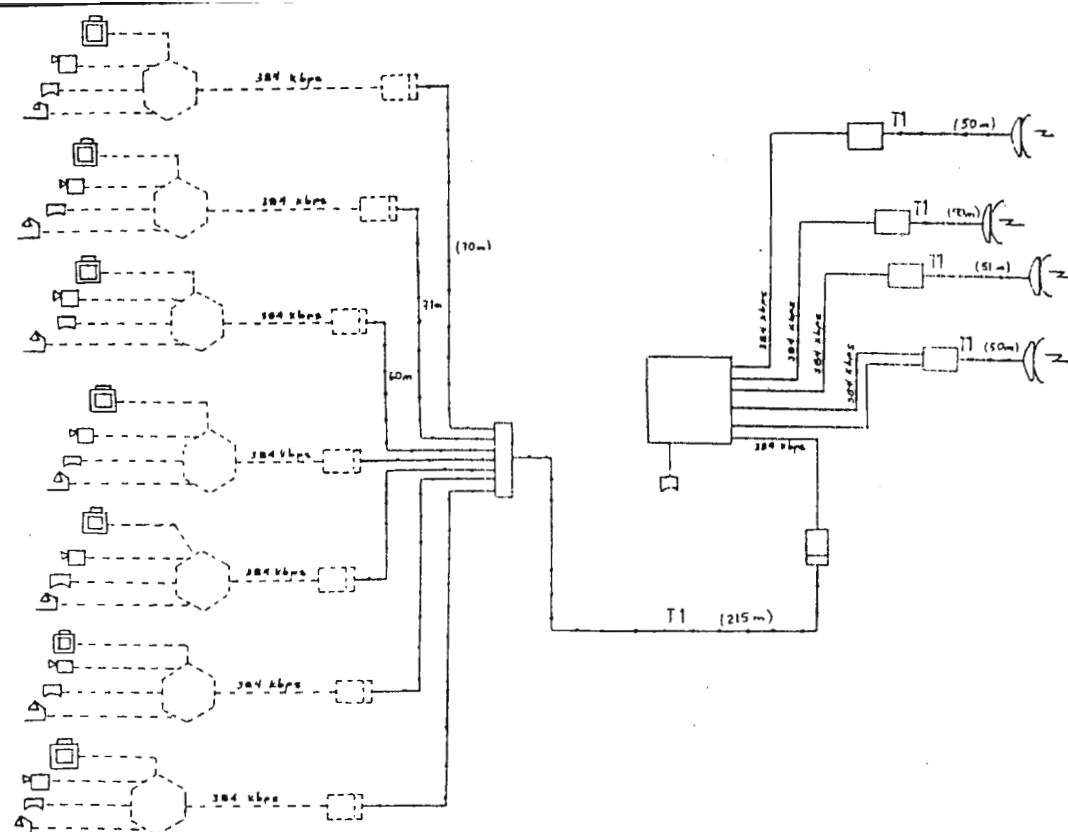


Figura 5-16 a. Configuración en HBB con FRACCIONAL.

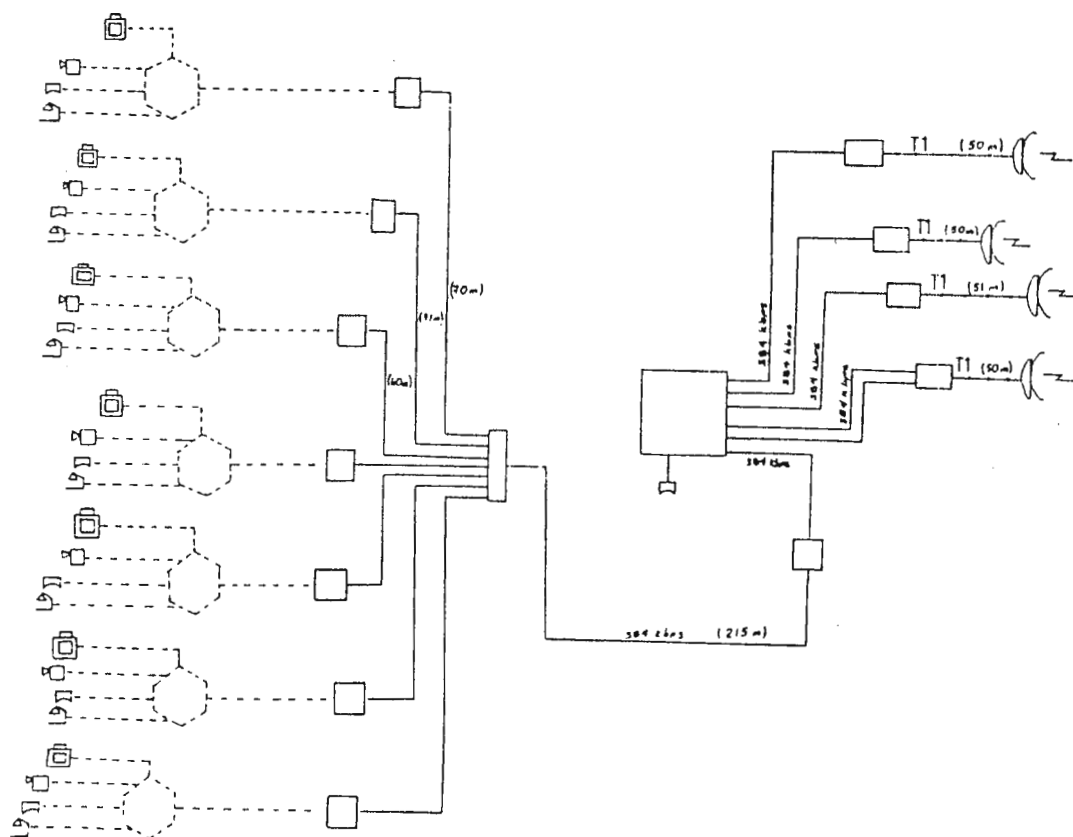
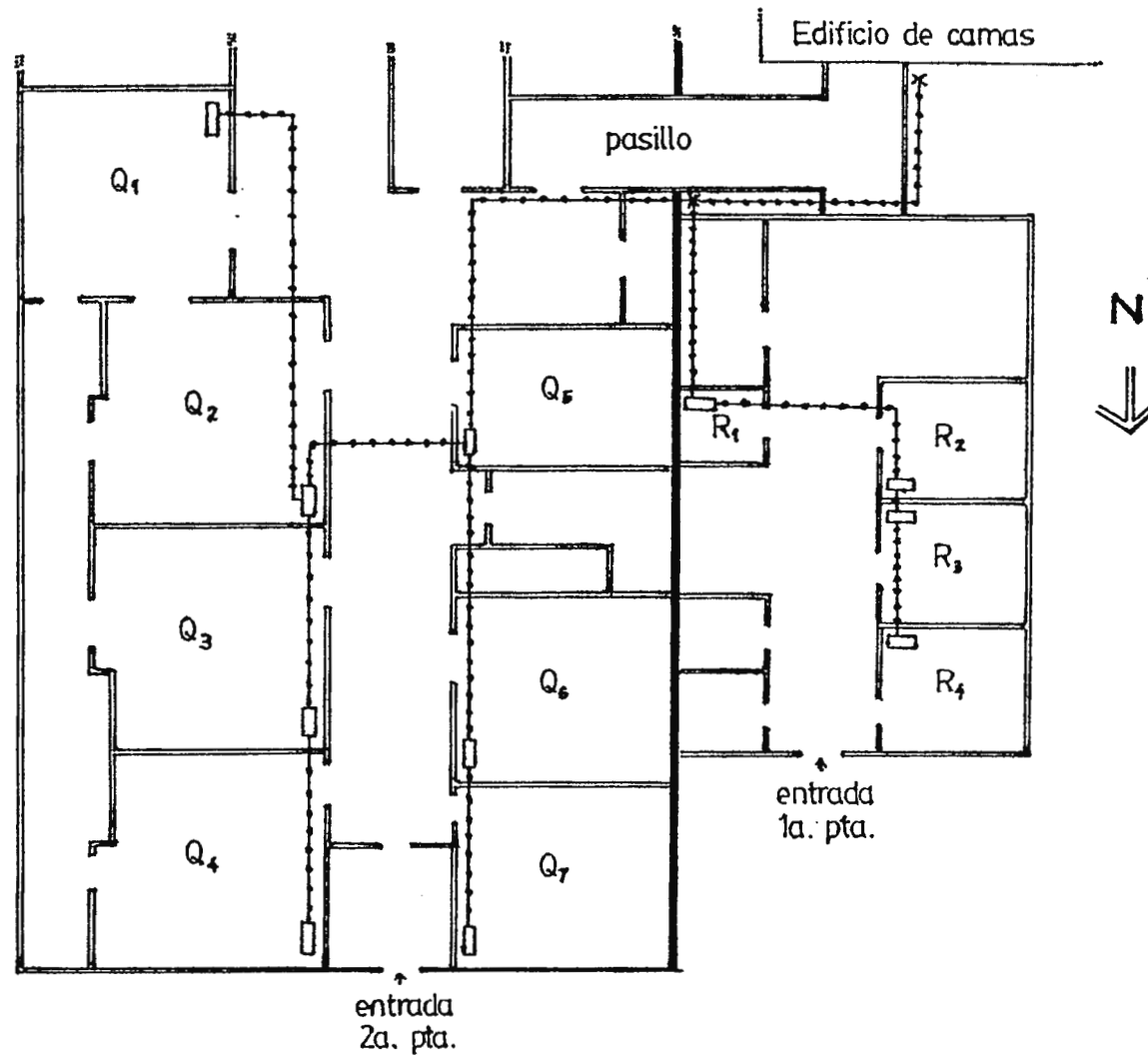


Figura 5-16 b. Configuración en HBB con MODEM

107

25 ave. Norte



1:250

UNIVERSIDAD DON BOSCO		
Cableado del Hospital B. Bloom.		
hecho por: Cristina Martínez		Mayo 30, 1993.
Leticia Reyes		página

5.8.2 SITIO CON REDISTRIBUCION: HOSPITAL MILITAR

Debido a que no puede tenerse un enlace directo desde el Hospital Benjamín Bloom hasta la Universidad Evangélica de El Salvador, ya que no existe uno de los requisitos indispensables como es la línea vista (paso libre de obstáculos), se aprovechó el hecho de que el Hospital Militar será una de las unidades remotas, y además, si cumple con el prerequisite mencionado, con esta ventaja se utilizará entonces también como un punto de redistribución para enlazar a dicha universidad con el centro de control maestro de la red, esto se logrará haciendo uso del equipo multiplexor fraccional de dos canales T1 detallado en la Sección 5.7.1.2 también en la Figura 5-17 se muestra el diagrama de interconexión entre equipos para tener una visión más clara de la configuración del sistema en esta unidad, así mismo en la Tabla 5-19 se muestra el detalle de la cantidad de equipo a utilizar en esta estación, haciendo uso de multiplexores fraccionales en los enlaces y modems para la conexión interna, ya que como se verá en la sección 5.9 esto es lo que se recomienda con el fin de disminuir los costos.

las opciones.

Tabla 5-19. Detalle del Equipo a utilizar en HM.

EQUIPO DE TRANSMISION:	
Cantidad	Descripción
2	Módulos de radio (full-duplex)
2	Antenas
1	Equipo multiplexor fraccional de 1 canal
1	Equipo multiplexor fraccional de 2 canales.
2	Modems
1	Pánel de interconexión
EQUIPO DE VIDEO	
1	Módulo terminal de videoconferencia con los siguientes dispositivos:
	-cámara principal
	-monitor
	-teclado de control
	-CODEC

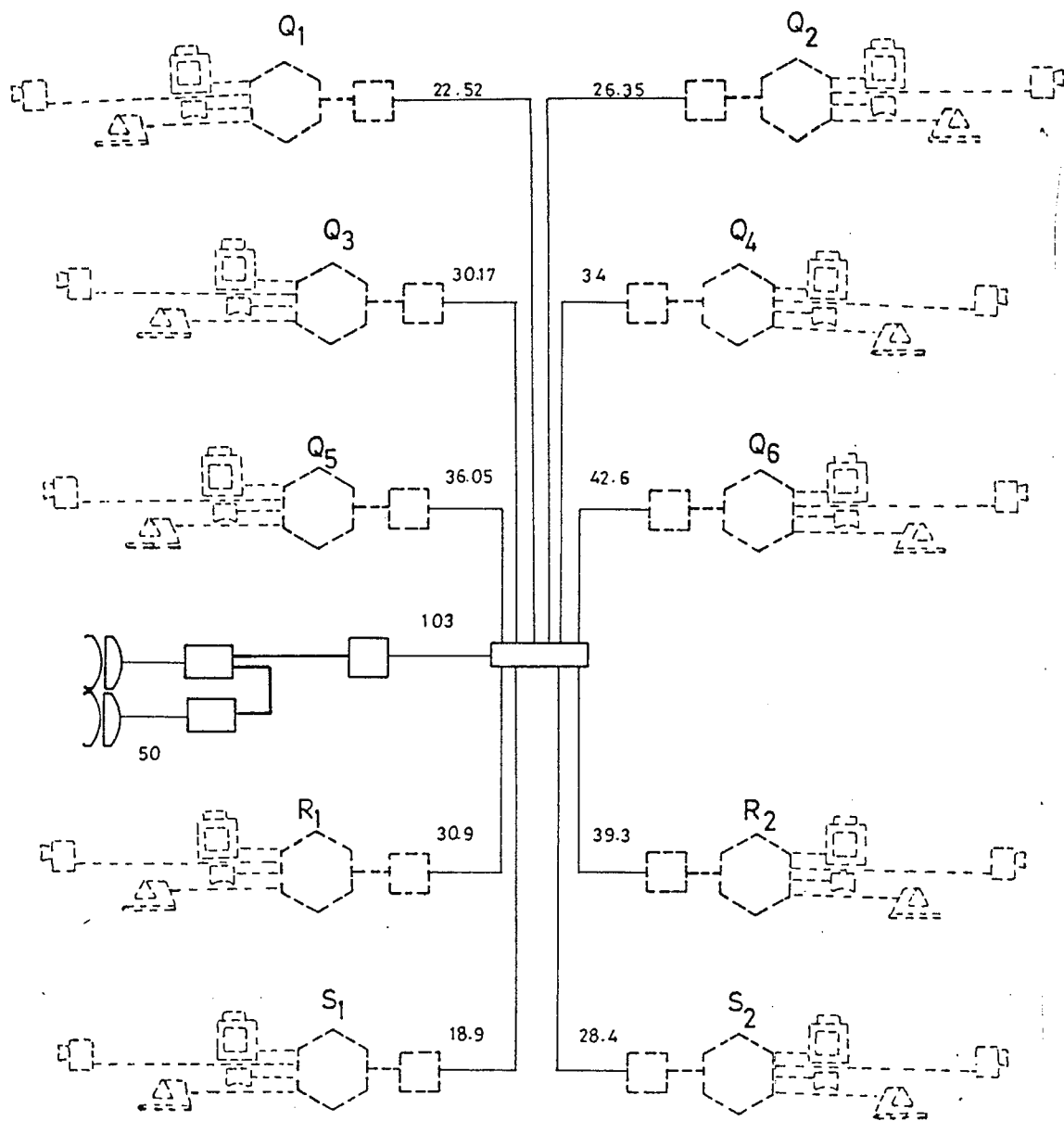


Figura 5-17

Diagrama de interconexión entre equipos del HM (distancias de cable en m).

5.8.2.1 INSTALACION Y CAPACIDAD DEL SITIO

El plano 2 muestra las instalaciones del HM; este hospital consta de seis pisos, las salas de videoconferencia están ubicadas en el segundo piso. El plano muestra la distribución del cable y la Tabla 5-20 resume la distribución del equipo en esta estación.

Tabla 5-20. Distribución del equipo por piso en el HM.

SEXTO PISO	SEGUNDO PISO
=====	
-Toma de alimentación al radio	-Un panel de interconexión.
-Un fraccional de dos canales.	-Un modem.
-Un fraccional de un canal.	-1 módulo electrónico con terminales (monitor, cámara principal, teclado de control con micrófonos, cámara portátil y cámara para documentos.)
-Un modem.	

En la Figura 5-18 puede observarse la ubicación de las antenas en el HM, así como la distribución del cable desde la antena "a" (enlace HBB - HM) hacia:

- 1) La antena "b" (enlace HM - UEES).
- 2) El punto de bajada del cable hasta el segundo piso donde se ubica el panel de interconexión.

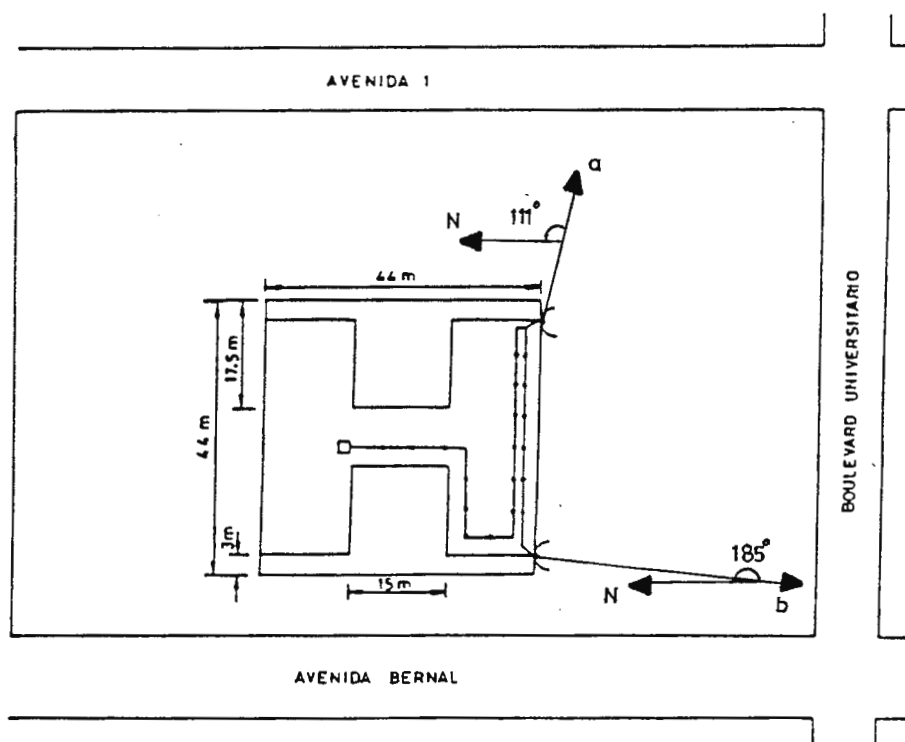
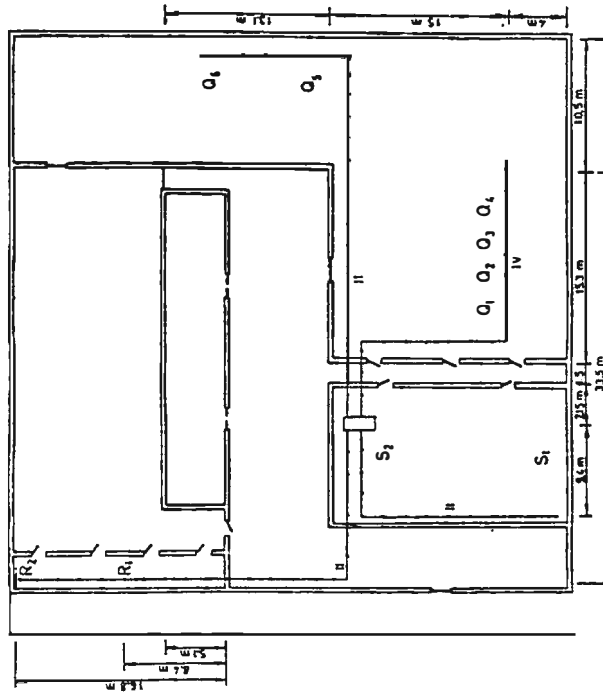


Figura 5-18

Vista de planta del Hospital Militar.



AVENIDA BERNAL

BOULEVARD UNIVERSITARIO

Cableado del HM.

Fecha: 1-5-83

UNIVERSIDAD DON BOSCO

Nombre: C. Martínez

L. Reyes

Proyecto

5.8.3 SITIO DE USUARIO FUTURO CON REDESTRIBUCION: INSTITUTO SALVADOREÑO DEL SEGURO SOCIAL - HOSPITAL ROSALES

El objetivo de utilizar el nuevo edificio de oncología del Instituto Salvadoreño del Seguro Social es como un punto estratégico para redistribuciones futuras, ya que desde ahí además de interconectarse con el equipo de videoconferencia del Hospital Rosales haciendo uso de un CSU y un equipo fraccional con CSU incorporado, podría en un futuro interconectarse con el Hospital Médico Quirúrgico, todo esto daría oportunidad de crecimiento a la red del sistema para enriquecer los contenidos de los programas de educación en el área de medicina.

Una forma más clara de reflejar la interconexión entre equipos (su configuración sin tomar en cuenta su redistribución futura) es por medio de la Figura 5-19 que se muestra a continuación.

El listado de los equipos utilizar entre las dos estaciones (ISSS-HR) se muestra en la Tabla 5-21.

Tabla 5-21. Detalle del Equipo a utilizar en ISSS-HR.

EQUIPO DE TRANSMISION:	
Cantidad	Descripción
1	Módulo de radio (full-duplex)
1	Antena
1	Equipo multiplexor fraccional de 1 canal con CSU incorporado
1	Unidad de servicio de canal (CSU)
1	Panel de interconexión
EQUIPO DE VIDEO	
1	Módulo terminal de videoconferencia con los siguientes dispositivos:
	-cámara principal
	-monitor
	-teclado de control
	-CODEC

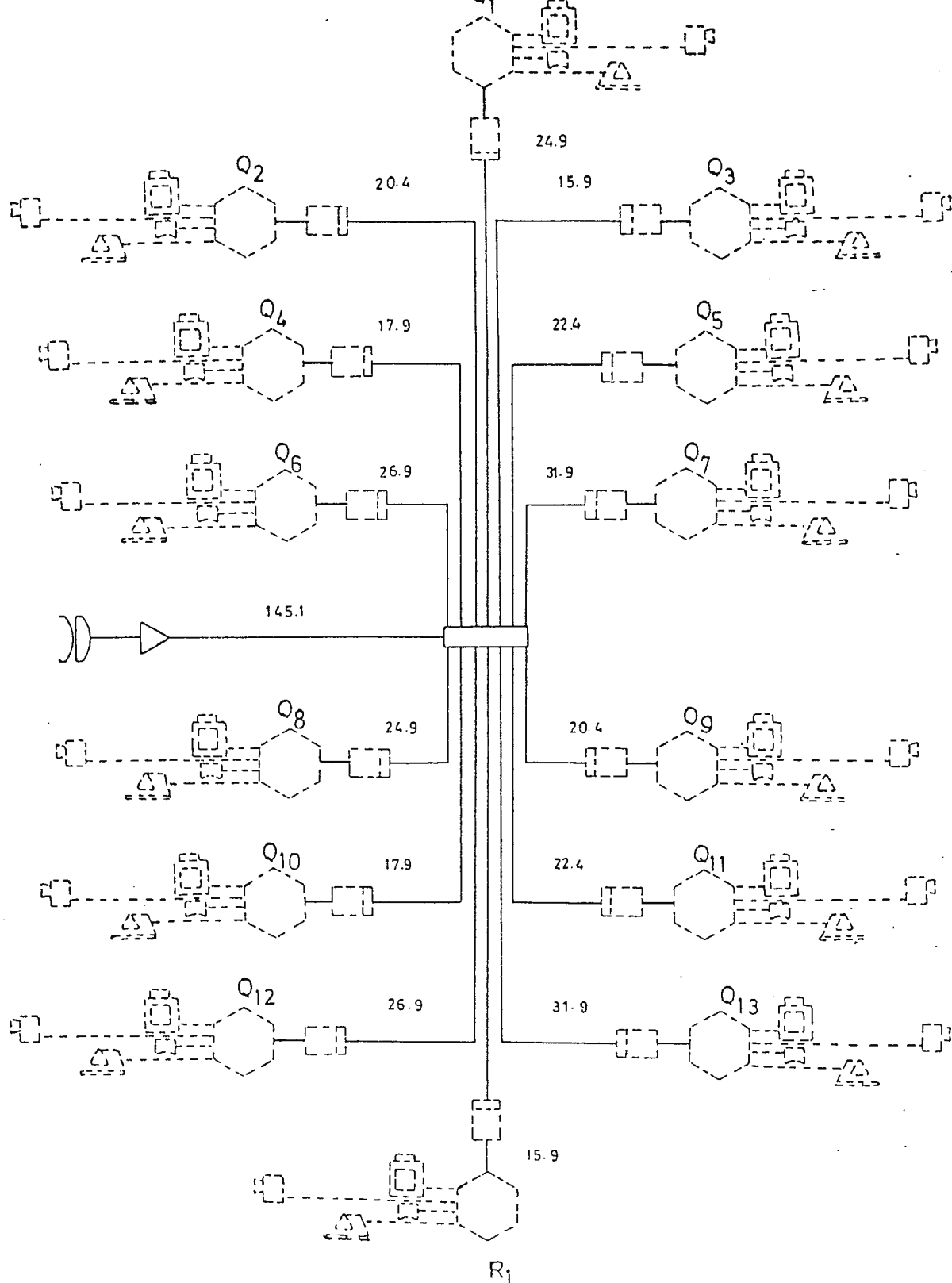


Figura 5-19

Diagrama de interconexión de equipos para ISSS - HR (distancias de cable en metros).

5.8.3.1 INSTALACION Y CAPACIDADES DEL SITIO

El plano 3 muestra las instalaciones del HR y el lugar donde se encuentra la antena (ISSS, edificio de oncología), el cableado desde al HR al ISSS se recomienda hacerlo a través de postes, el cable que se extiende aquí es T1 (cable coaxial o par trenzado).

La Figura 5-20 muestra la vista de planta de este hospital, el cual consta de un sólo piso en la mayor parte de su área y de tres plantas exclusivamente el edificio de "Cirugía General". En este mismo edificio se realizan las operaciones de radiología ya que disponen de un equipo móvil y una sala de fluroscopía (en la segunda planta). La entrada al edificio es en la primera planta y los quirófanos están distribuidos en planta baja y segunda planta como se muestra en el plano 3 (página 2).

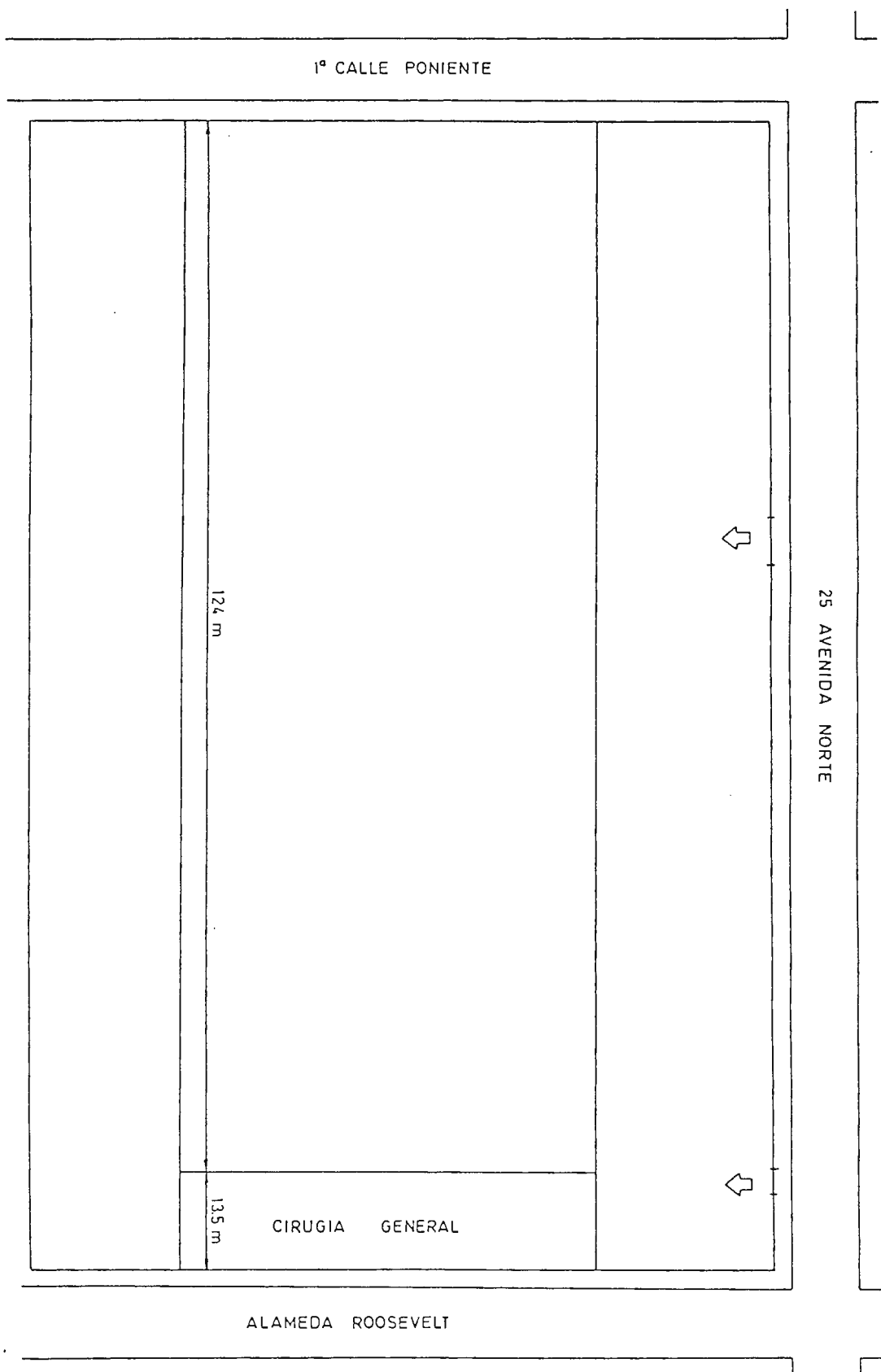
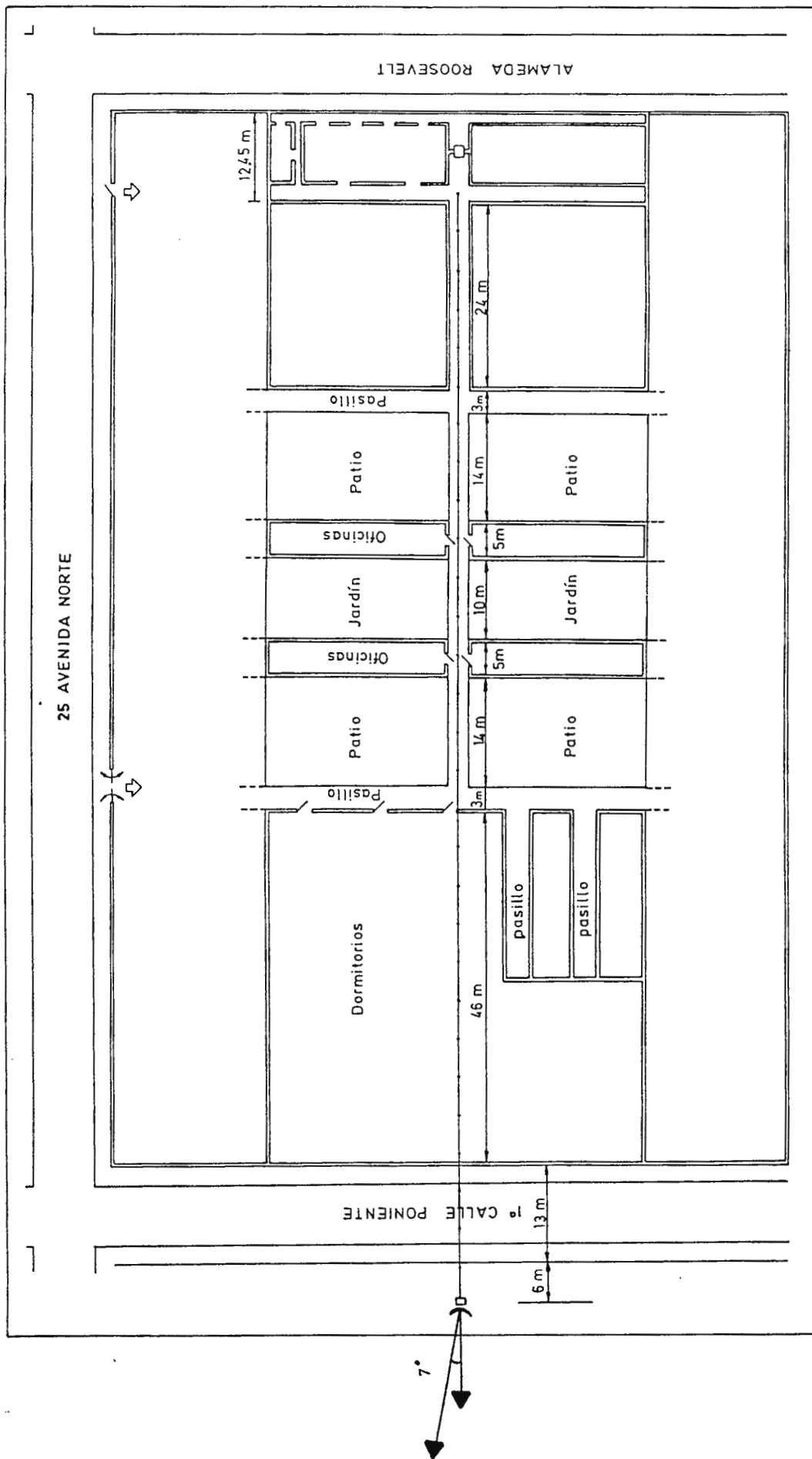
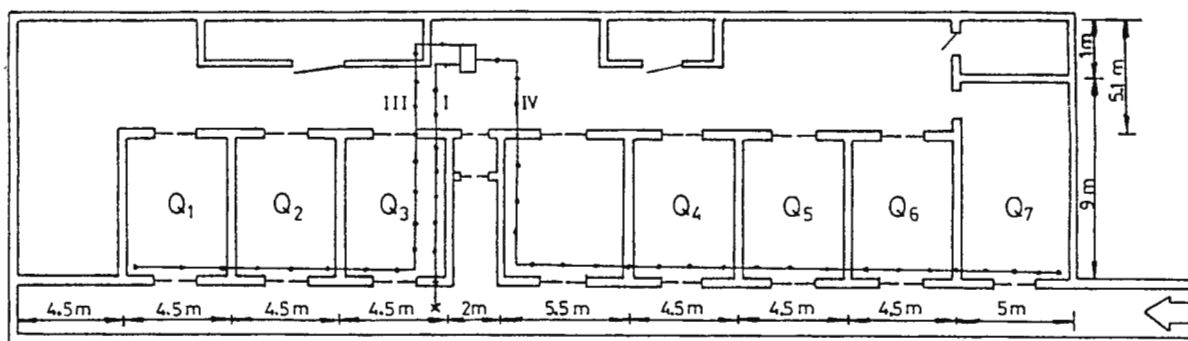
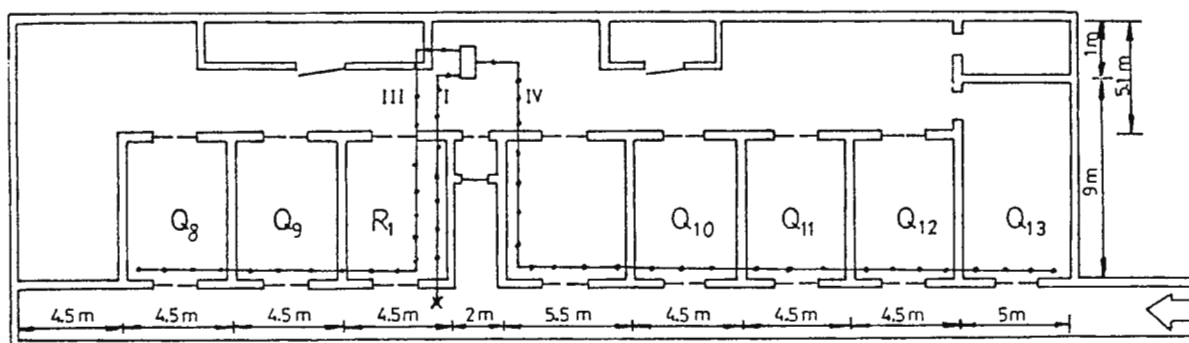


Figura 5-20
Vieta de planta del HR





PLANTA BAJA



2° PISO

Cableado de Hospital Rosales.

Fecha: 1-5-93

UNIVERSIDAD DON BOSCO

Nombre: C. Martínez.
L. Reyes.

Pag. 2

5.8.4 SITIOS DE USUARIO REMOTOS: UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR, UNIVERSIDAD EVANGELICA DE EL SALVADOR, UNIVERSIDAD SALVADOREÑA ALBERTO MASFERRER

Estos tres sitios estarán enlazados directamente con el centro de control multipunto del HBB. El equipo de transmisión y de videoconferencia será igual en cantidad para cada uno de los sitios. Las opciones en cables para la instalación al igual que los demás será como se mencionó en la Sección 5.7.1: cable coaxial o cable de dos pares (4 hilos), para transmisión/recepción.

En las Figuras 5-21 (a), (b), (c) se muestra la interconexión que existirá en cada uno de los sitios.

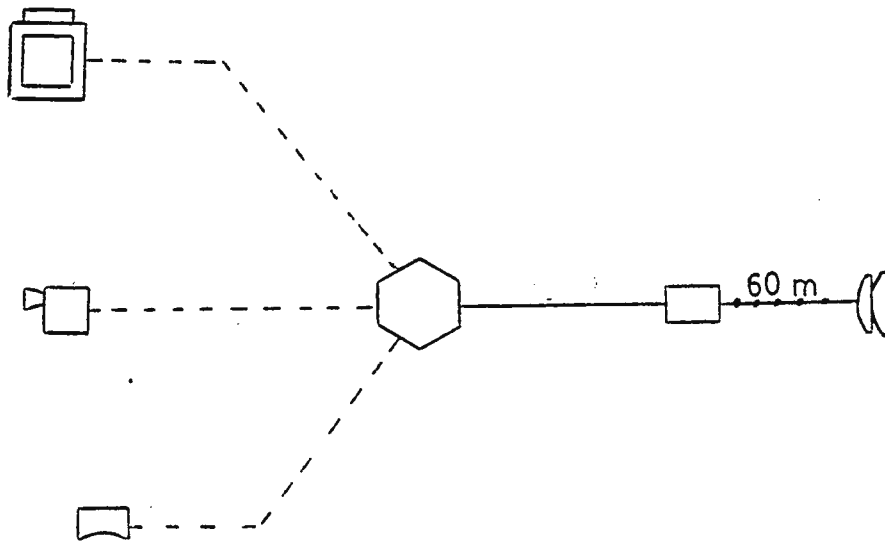


Figura 5-21(a)

Interconexión en UES.

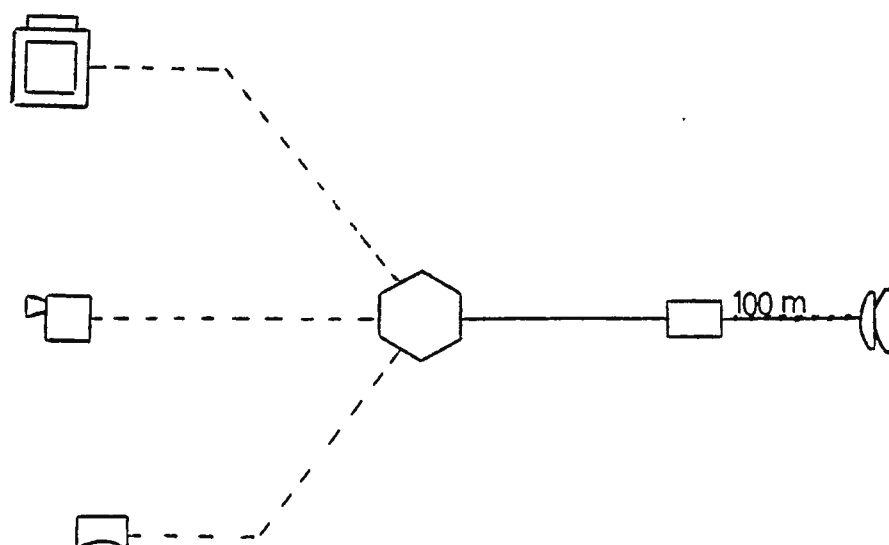


Figura 5-21(b)

Interconexión en USAM.

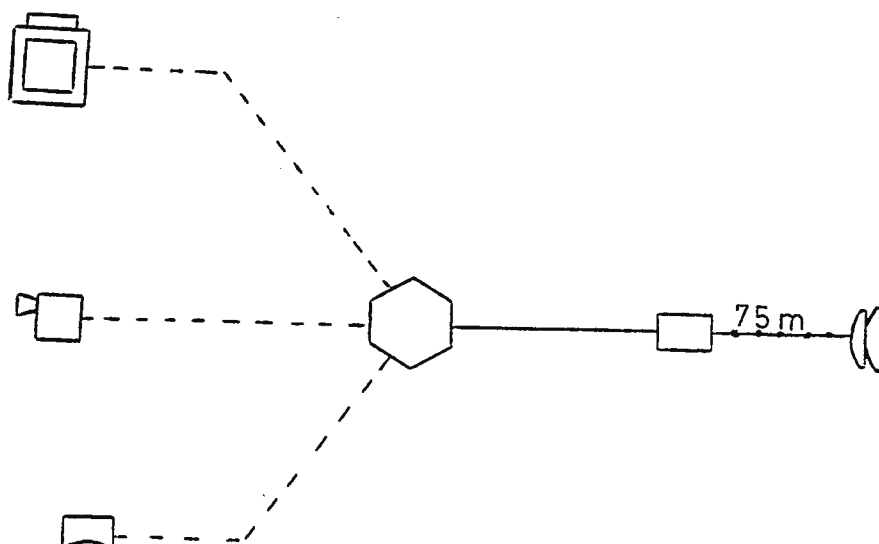


Figura 5-21(c)

Interconexión en UEES

El detalle del equipo a utilizar se presenta en la siguiente tabla.

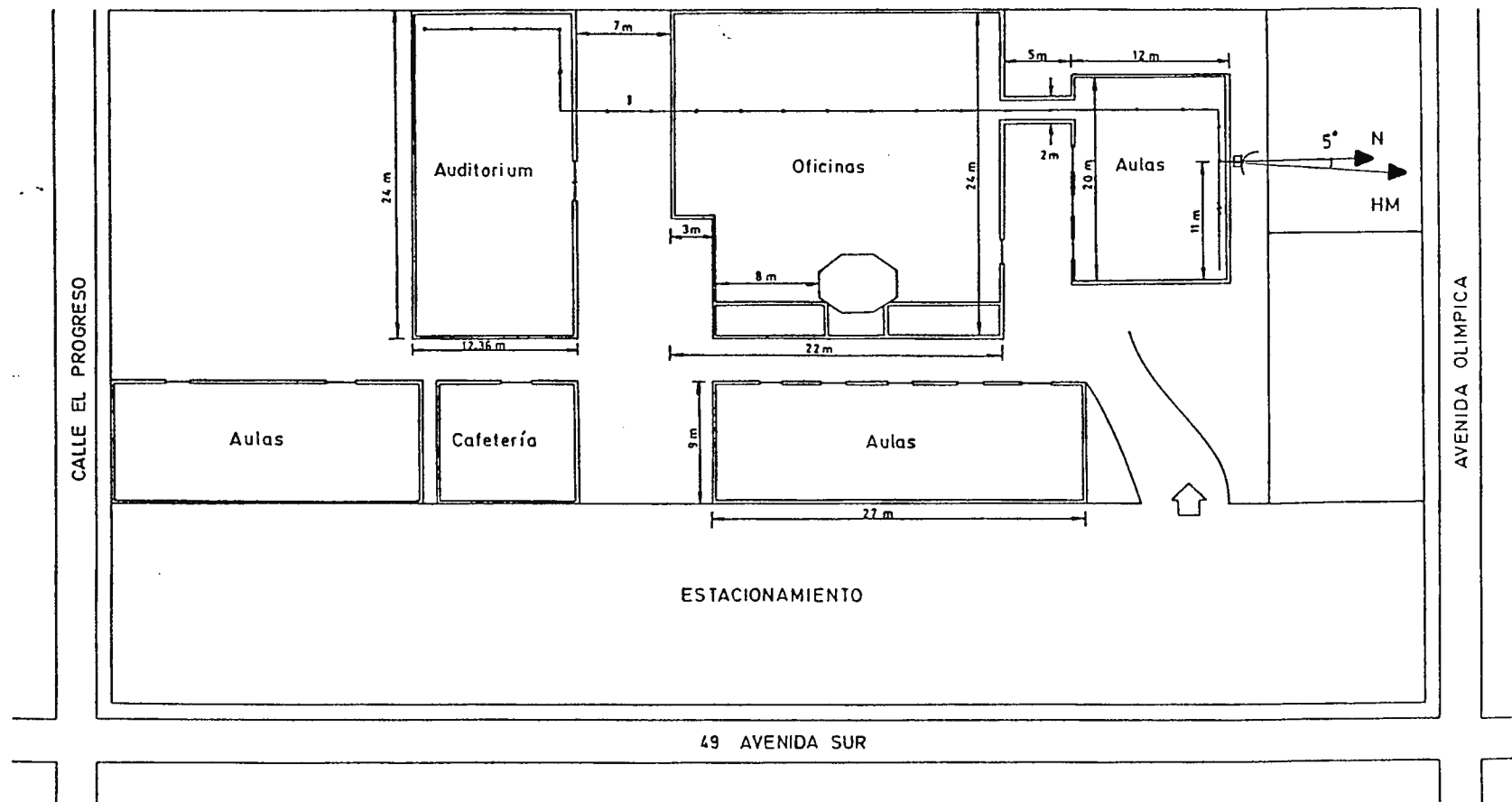
Tabla 5-22. Detalle del Equipo a utilizar en universidades.

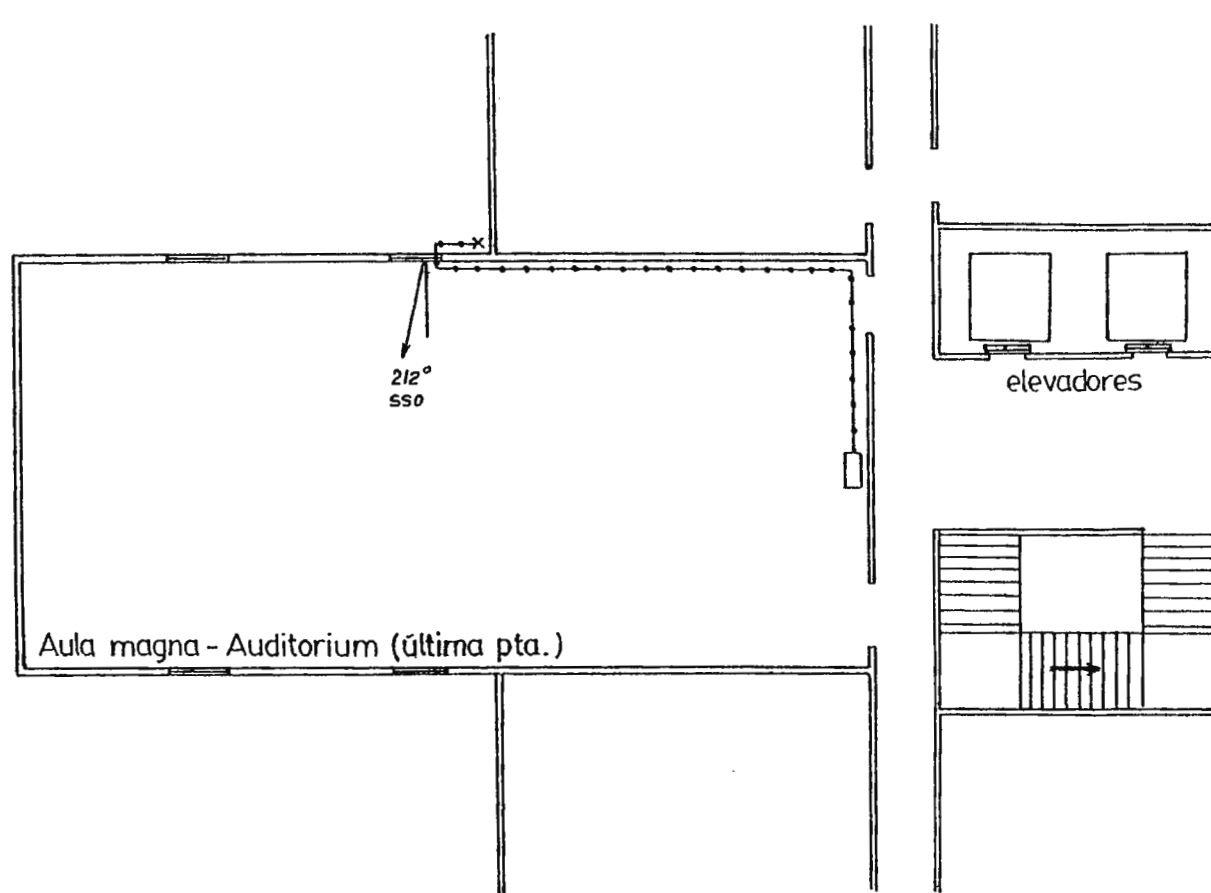
EQUIPO DE TRANSMISION:	
Cantidad	Descripción
1	Módulo de radio (full-duplex)
1	Antena
1	Equipo multiplexor fraccional de 1 canal
EQUIPO DE VIDEO	
1	Módulo terminal de videoconferencia con los siguientes dispositivos:
	-cámara principal
	-monitor
	-teclado de control
	-CODEC

5.8.4.1 INSTALACION Y CAPACIDADES DE LOS SITIOS

a) UNIVERSIDAD EVANGELICA

El equipo mostrado en la Figura 5-21 es el que se necesita en esta estación, este conjunto a excepción del equipo de radio y antena se ubica en el auditorium, los demás en el lugar señalado en el plano. La alimentación del radio se toma de los edificios de aulas próximas a éste.





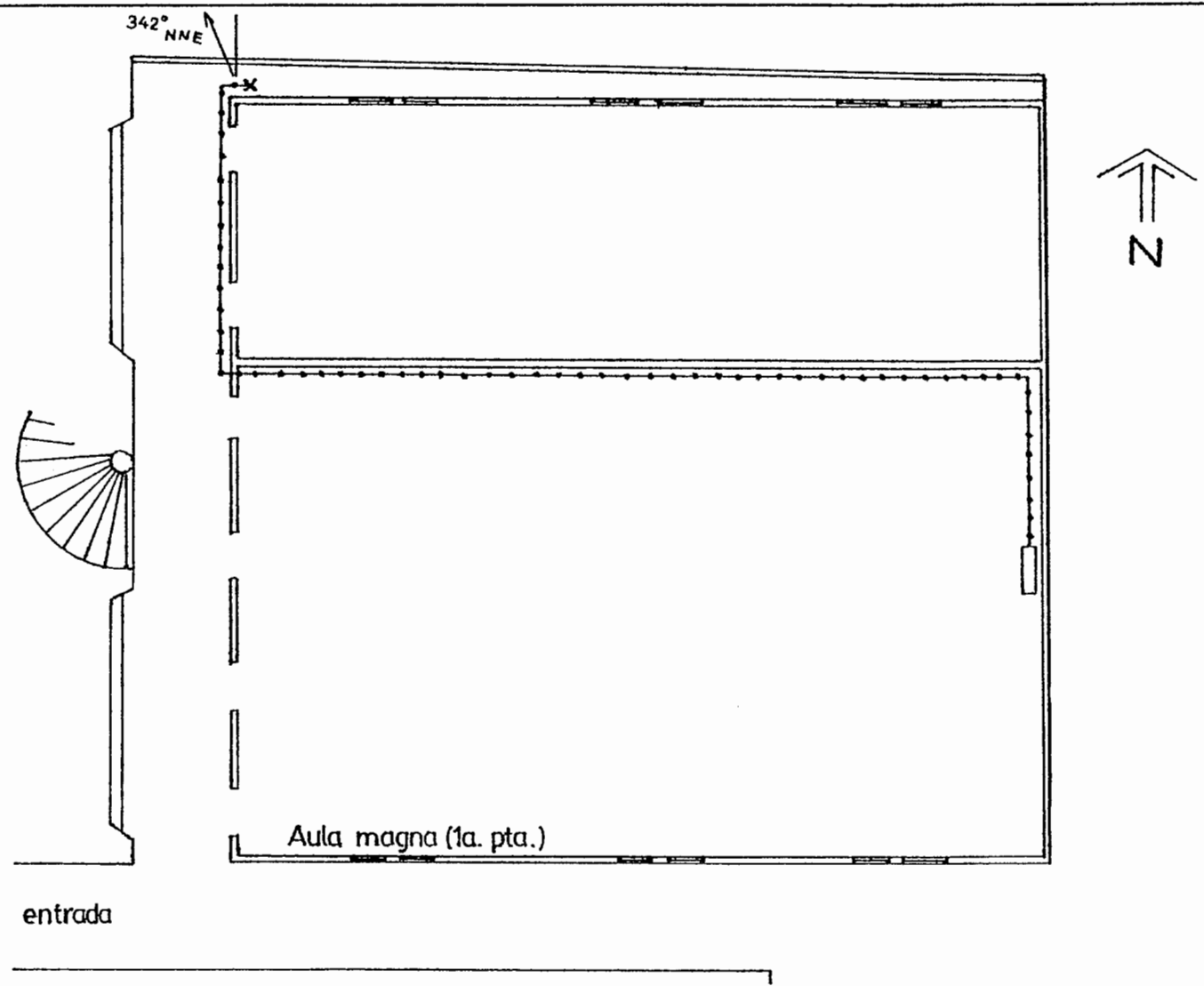
Aula magna - Auditorium (última pta.)

212°
SSO

elevadores

1:250

UNIVERSIDAD DON BOSCO	
Cableado de la Univ. de E. S.	
hecho por: Cristina Martínez	Mayo 30, 1993
Letícia Reyes	página 210



1:250

UNIVERSIDAD DON BOSCO	
Cableado de la Univ. Salv. A. M.	
hecho por: Cristina Martínez	Mayo 30, 1993
Letícia Reyes	página 211

5.9 INVERSION ECONOMICA

Para la elaboración del proyecto, además del diseño que implica cálculos, estudio de campo, análisis de equipos de transmisión y videoconferencia y su instalación y administración, también es de gran importancia hacer una evaluación de costos que refleje la factibilidad de poderse desarrollar ya sea por la organización de todas las instituciones o de unas cuantas. Dicho esto, es la optimización deseada, ya que desde el punto de vista técnico existirán algunos equipos según costos garantizados que con cualquiera de ellos el sistema funciona de manera eficiente.

Las opciones a presentar son dos, como se mencionó anteriormente, que se utilice:

- Equipo multiplexor o
- Multiplexor fraccional.

Así también dentro de cada opción se hará dos cotizaciones distintas ya que puede darse el hecho de ocupar cable coaxial o cable de dos pares, y dentro de la opción que se considere más económica se comparará dos alternativas para la configuración interna en las estaciones que lo ameriten, para el caso el HBB y el HM.

Por otra parte, es necesario recordar que dentro del equipo de videoconferencia existirán algunos aparatos que serán compartidos entre todos los sitios que conforman el sistema, éste es el caso de cámara auxiliar y la cámara de documentos.

Para los cálculos de inversión es necesario considerar lo siguiente:

- a) Precio FOB del equipo, el cual es el precio de fabrica.
- b) Porcentaje de impuestos aduanales y bodegaje (es el 15% sobre el precio FOB aproximadamente).
- c) Costo por seguro y flete (aproximadamente de 25% sobre el costo de equipo).
- d) 10 % de IVA (impuesto al valor agregado).

Por tanto, la totalidad de esto proporciona el costo en plaza que tendría que invertirse por la totalidad de equipos, dando como resultado la siguiente relación:

$$\text{Costo en plaza} = \text{FOB} + 50\% (\text{FOP})$$

(Ec. 5.1)

Haciendo uso de la Ec. 5.1 anteriormente mencionada se presenta el monto total para cada una de las opciones a detallarse a continuación. Para dar una visión más clara se presentarán los costos por estación y un costo global.

5.9.1 PRIMERA OPCION: USO DE EQUIPO MULTIPLEXOR FRACCIONAL CON CSU Y CABLE COAXIAL RG-59 O CABLE 4 HILOS

a) Hospital Benjamin Bloom.

La Tabla 5-23(a) muestra el detalle del equipo y sus costos haciendo uso de multiplexores fraccionales, y para la configuración interna el uso de modems.

Tabla 5-23a COSTOS CON FRACCIONALES Y FRACCIONALES
CON CSU INTERNO PARA EL HBB.

CANTIDAD	EQUIPO	FOB unid. [US\$]	Tot. en Plaza [US\$]
4	Módulos de radio	7,500.00	45,000.00
2	Modems	2,000.00	6,000.00
4	Multiplexor fraccional T1 (3 de 1 canal y 1 de 2 canales)	2,000.00	12,000.00
1	Pánel de interconexión	200.00	300.00
1	Módulo terminal para videoconferencia	20,000.00	30,000.00
1	Equipo multipunto	60,000.00	90,000.00
2x790m	Cable coaxial	2.00/m	4,740.00
790m	Cable de 4 hilos	2.00/m	2,370.00
Inversión total para HBB con cable coaxial			
			\$ 188,040.00
Inversión total para HBB con cable 4 hilos			
			\$ 185,670.00

La Tabla 5-23(b) muestra el detalle del equipo con sus costos haciendo uso en este caso para la configuración interna de fraccionales con CSU interno.

TABLA 5-23b COSTOS CON MULTIPLEXOR FRACCIONAL PARA EL HBB

CANTIDAD	EQUIPO	FOB unid. [US\$]	Tot. en Plaza [US\$]
4	Módulos de radio	7,500.00	45,000.00
4	Multiplexor fraccional T1 (3 de 1 canal y 1 de 2 canales)	2,000.00	12,000.00
2	Multiplexor fraccional T1 de 1 canal con CSU	2,700.00	8,100.00
1	Panel de interconexión	200.00	300.00
1	Equipo multipunto	60,000.00	90,000.00
1	Módulo terminal para videoconferencia	20,000.00	30,000.00
2x790m	Cable coaxial	2.00/m	4,740.00
790m	Cable de 4 hilos	2.00/m	2,370.00
Inversión total para HBB con cable coaxial			
			\$ 190,140.00
Inversión total para HBB con cable 4 hilos			
			\$ 187,770.00

b) Hospital Militar.

Esta estación posee también las dos opciones establecidas anteriormente para la conexión interna utilizando siempre los dos tipos de cable; en base a ello también se evalúan los costos para verificar que opción es la más económica. Estas son:

Tabla 5-24a COSTOS PARA 1a OPCION CON MODEMS
PARA EL HOSPITAL MILITAR.

CANTIDAD	EQUIPO	FOB unid. [US\$]	Tot. en Plaza [US\$]
2	Módulos de radio	7,500.00	12,500.00
2	Modems	2,000.00	8,000.00
1	Multiplexor fraccional T1 de 1 canal	2,000.00	3,000.00
1	Multiplexor fraccional T1 de 2 canales	2,000.00	3,000.00
1	Panel de interconexión	200.00	300.00
1	Módulo terminal para videoconferencia	20,000.00	30,000.00
2x485.31 m	Cable coaxial	2.00/m	2,911.86
485.31m	Cable de 4 hilos	2.00/m	1,455.93

Inversión total para HM

con cable coaxial \$ 67,711.86

Inversión total para HM

con cable 4 hilos \$ 66,255.93

Tabla 5-24b COSTOS PARA 2a OPCION CON MULTIPLEXOR FRACCIONAL
PARA EL HOSPITAL MILITAR.

CANTIDAD	EQUIPO	FOB unid. [US\$]	Tot. en Plaza [US\$]
2	Módulos de radio	7,500.00	22,500.00
2	Multiplexor fraccional T1 de 1 canal con CSU	2,700.00	8,100.00
2	Multiplexor fraccional T1 (1 de 2 canales y 1 de 1 canal)	2,000.00	6,000.00
1	Panel de interconexión	200.00	300.00
1	Módulo terminal para videoconferencia	20,000.00	30,000.00
2x485.31 m	Cable coaxial	2.00/m	2,911.86
485.31m	Cable de 4 hilos	2.00/m	1,455.93

Inversión total para HM

con cable coaxial \$ 69,811.86

Inversión total para HM

con cable 4 hilos \$ 68,355.93

TABLA 5-25 COSTOS CON MULTIPLEXOR FRACCIONAL PARA HR-ISSS

* CANTIDAD:	EQUIPO	FOB unid. [US\$]	Tot. en Plaza [US\$]	*
1	Módulo de radio	7,500.00	11,250.00	
1	Multiplexor fraccional T1 de 1 canal	2,000.00	3,000.00	
1	Multiplexor fraccional T1 de 1 canal con CSU	2,700.00	4,050.00	
1	CSU	1,000.00	1,500.00	
1	Panel de interconexión	200.00	300.00	
1	Módulo terminal para videoconferencia	20,000.00	30,000.00	
2x495.28 m	Cable coaxial	2.00/m	1,981.12	
495.28m	Cable de 4 hilos	2.00/m	990.56	
Inversión total para HBB con cable coaxial				\$ 52,081.12
Inversión total para HBB con cable 4 hilos				\$ 51,090.56

d) Universidad de El Salvador.

TABLA 5-26 COSTOS CON MULTIPLEXOR FRACCIONAL PARA UES

* CANTIDAD:	EQUIPO	FOB unid. [US\$]	Tot. en Plaza [US\$]	*
1	Módulo de radio	7,500.00	11,250.00	
1	Multiplexor fraccional T1 de 1 canal	2,000.00	3,000.00	
1	Módulo terminal para videoconferencia	20,000.00	30,000.00	
2x60m	Cable coaxial	2.00/m	360.00	
60m	Cable de 4 hilos	2.00/m	180.00	
Inversión total para HBB con cable coaxial				\$ 44,610.00
Inversión total para HBB con cable 4 hilos				\$ 44,430.00

e) Universidad Evangelica de El Salvador.

TABLA 5-27 COSTOS CON MULTIPLEXOR FRACCIONAL PARA UEES

CANTIDAD	EQUIPO	FOB unid. [US\$]	Tot. en Plaza [US\$]
1	Módulo de radio	7,500.00	11,250.00
1	Multiplexor fraccional T1 de 1 canal	2,000.00	3,000.00
1	Módulo terminal para videoconferencia	20,000.00	30,000.00
2x75m	Cable coaxial	2.00/m	450.00
75m	Cable de 4 hilos	2.00/m	225.00
Inversión total para HBB con cable coaxial			
		\$	44,700.00
Inversión total para HBB con cable 4 hilos			
		\$	44,475.00

f) Universidad Salvadoreña Alberto Masferrer.

TABLA 5-28 COSTOS CON MULTIPLEXOR FRACCIONAL PARA USAM

CANTIDAD	EQUIPO	FOB unid. [US\$]	Tot. en Plaza [US\$]
1	Módulo de radio	7,500.00	11,250.00
1	Multiplexor fraccional T1 de 1 canal	2,000.00	3,000.00
1	Módulo terminal para videoconferencia	20,000.00	30,000.00
2x100m	Cable coaxial	2.00/m	600.00
100m	Cable de 4 hilos	2.00/m	300.00
Inversión total para HBB con cable coaxial			
		\$	44,850.00
Inversión total para HBB con cable 4 hilos			
		\$	44,550.00

En base a los cálculos realizados anteriormente para cada una de las estaciones, se puede obtener una inversión para la totalidad del sistema, esta cantidad es exactamente la suma de cada una de las opciones.

También es necesario considerar que dentro de los equipos de diagnóstico para el sistema debe tomarse en cuenta un detector de errores por bit (BERT) cuyo costo actualmente oscila entre los \$3000.00.

5.9.2 SEGUNDA OPCION: USO DE EQUIPO MULTIPLEXOR Y CABLE COAXIAL O CABLE 4 HILOS

En este caso solamente se presentará un informe global de los costos, haciendo siempre la diferencia entre cable coaxial o 4 hilos.

Tabla 5-29 COSTOS CON MULTIPLEXOR PARA TODO EL SISTEMA

CANTIDAD	EQUIPO	FOB unid. [US\$]	Tot. en Plaza [US\$]
5	Equipos de radio (cada enlace)	15,000.00	122,500.00
10	Multiplexor T1	15,000.00	225,000.00
4	Modems	2,000.00	12,000.00
1	CSU	1,000.00	1,000.00
3	Páneles de interconexión	200.00	900.00
1	Equipo multipunto	60,000.00	90,000.00
6	Módulo terminal para videoconferencia	20,000.00	180,000.00
Inversión total con cable coaxial			
			\$ 642,442.98
Inversión total con cable 4 hilos			
			\$ 636,921.49

5.9.3 RECOMENDACIONES

Con todos los estudios realizados y el análisis de cada uno de los equipos se puede decir:

- 1) Se recomienda hacer uso de la primera opción, tanto desde el punto de vista económico ya que en la evaluación de costos es la que presenta menos gastos, también desde el punto de vista técnico ya que en este caso no se estaría subutilizando equipo como es el caso de los multiplexores, ya que con los equipos fraccionales se estaría utilizando el número de canales necesarios, en este caso los canales de entrada de 384 Kbps.
- 2) Dentro de la primera opción se recomienda utilizar para la conexión interna, un par de modems en lugar de un par de fraccionales con CSU interno ya que, con la primera alternativa se disminuyen los costos, además se recomienda utilizar el cable de 4 hilos (dos pares) ya que en base a costos es la opción más económica, por el contrario si se utiliza cable coaxial se vuelve necesario multiplicar dos veces la distancia a recorrer ya que es necesario tener un par de cables coaxiales para poder asignar un cable para transmisión y otro para recepción.

5.10 PLAN DE MANTENIMIENTO.

Al recomendar un plan de mantenimiento de los equipos de video y transmisión que componen el sistema se ha considerado lo siguiente:

Tabla 5-30. Comparación de las alternativas del personal para realizar el mantenimiento.

Mantenimiento a cargo de:	Tiempo requerido para el mantenimiento	Costo
Una empresa privada	El mínimo (2 h)	El mayor
Dos personas contratadas exclusivamente para ello de un departamento de mantenimiento de cualesquiera de las instituciones involucradas o afines	Medio (1 día)	Medio
Personal (que sea capacitado para este fin) de un departamento de mantenimiento de cualesquiera de las instituciones involucradas o afines	El máximo (3 días)	Mínimo

Con respecto a la tabla anterior se ha determinado recomendar que el mantenimiento del sistema sea llevado a cabo por personal de un departamento de mantenimiento ya establecido que sea capacitado para realizar esto; ya que con ello se obtienen los costos mínimos, además de que se ha estimado que aunque con esta disposición se tiene el mayor tiempo para realizar las reparaciones necesarias, la disponibilidad total ("D%") que se obtiene para cada uno de los enlaces (=99.83588) es aceptable.

Las instituciones que se consideraron convenientes para realizar esta tarea y las razones respectivas se muestran en la Tabla 5-31 . Por las razones que se exponen, se recomienda que la segunda institución sea la que realice las tareas instalación, operación y mantenimiento.

Tabla 5-31. Instituciones posibles a cargo del mantenimiento.

Institución	Razones
HBB	Dispone de su propio departamento de mantenimiento y es el que se recomienda como centro de control del sistema.
El plantel de mantenimiento del Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social (MSPAS).	-Esta institución cuenta con los elementos básicos para realizar el mantenimiento, ya que disponen de personal calificado para que lleve a cabo el mantenimiento de toda clase de equipo existente en un hospital. -Actualmente ellos proporcionan asistencia técnica o servicios completos de mantenimiento a todos los hospitales públicos de nuestro país. -Disponen del equipo completo, herramientas para desempeñar su trabajo. -Cuentan con 15 unidades de transporte. -Se encuentran organizados en cuanto a la administración de las tareas de mantenimiento.
UES	Esta universidad tiene la facilidad de prestar el servicio de mantenimiento a través de sus estudiantes de electricidad que tienen conocimientos en electrónica en comunicaciones, este servicio podría ser prestado a través de las horas sociales de estos estudiantes. Pero la desventaja que se tiene si una de las universidades está a cargo del mantenimiento es que todas las universidades trabajan a base de ciclos y éstos no necesariamente coinciden además podría darse el caso de que una universidad monopolice el servicio que se pretende prestar con el sistema de videoconferencia.

5.10.1 RECOMENDACIONES PARA LA REALIZACION EFECTIVA DEL MANTENIMIENTO

Para que este plantel pueda realizar las tareas antes mencionadas aplicadas a todos los equipos componentes del sistema, se recomienda tomar en cuenta lo siguiente:

a) Solicitar un convenio bilateral con el HM y el ISSS (en caso se desee incorporar al sistema el hospital Médico Quirúrgico (Unidad Modular) para asistencia técnica en cuanto operación, instalación y mantenimiento.

b) Que aproximadamente tres personas del plantel del MSPAS sean capacitadas para esto y su labor la desempeñen de dos en dos en forma rotativa. Esto conlleva a un aumento en el salario de ellos como incentivo para el buen desempeño de este trabajo. Se propone un aumento del 25% sobre su salario básico, de tal forma que si ellos actualmente son remunerados con 1600.00 mensuales, con el aumento del 25% ganen 2000.00 lo cual para la administración del sistema sería un gasto mensual adicional de 1,200.00.

c) Tener la fuente de financiamiento para inversión inicial (ver Sección 5-9), repuestos, material y recurso humano. Teniéndose en cuenta para esto las donaciones que pueden obtenerse a través de nuestro gobierno y la aportación de los estudiantes y personas que se sirvan del sistema de videoconferencia a través de cuotas programadas como pago de laboratorio.

d) En el caso de los pagos en concepto de laboratorio, éstos pueden ir a una cuenta y ser manejados por el HBB como fondo de patronato, se recomienda este hospital ya que éste es el centro de control del sistema y es uno de los hospitales con los cuales el plantel de mantenimiento del MSPAS se encuentra directamente relacionado.

e) Se recomienda que este dinero sea administrado en el HBB a donde llegarían las cotizaciones provenientes del departamento central de mantenimiento del MSPAS.

f) Se debe disponer de una existencia o reserva de repuestos para así tener un control del tiempo medio de reparación MTTR (que este tiempo sea el mínimo posible).

g) El personal a cargo debe ser capacitado para esta tarea; los representantes o distribuidores de estos equipos ofrecen los repuestos, módulos de reparación y cursos de capacitación técnica necesaria para la instalación, operación y mantenimiento.

h) Los técnicos que realicen esta tarea deben poseer conocimientos básicos de electrónica en el área de comunicaciones y deben conocer la teoría básica de:

- Televisión analógica.
- Televisión digital.
- Radiofrecuencia y
- Transmisión por ondas milimétricas.

El material cubierto en este documento de trabajo de graduación da en su medida estos últimos fundamentos.

Dentro de este plan se recomienda administrar tres tipos de mantenimiento, los cuales se definen en la Tabla 5-32.

Tabla 5-32. Tipos de mantenimiento.

Mantenimiento preventivo	es el efectuado a intervalos predeterminados o según criterios prescritos destinado a reducir la probabilidad de fallo o la degradación de la calidad de funcionamiento de un elemento del sistema.
Mantenimiento correctivo	el efectuado después de que se ha detectado una avería y destinado a volver el elemento a un estado en el que se pueda realizar una función requerida.
Mantenimiento controlado	método para conservar una calidad de servicio deseada mediante la aplicación sistemática de técnicas de análisis empleando facilidades de supervisión centralizada y/o un muestreo para reducir al mínimo el mantenimiento preventivo y disminuir el mantenimiento correctivo.

Para el mantenimiento se establece dos posibilidades según la frecuencia con que se utilice el equipo de videoconferencia:

1. Posibilidad de uso no es muy frecuente (por ej. es menor o igual a una vez por semana).

2. Posibilidad de uso frecuente (3 ó más veces por semana).

En el primer caso se recomienda que el equipo se desconecte y almacene en un lugar seguro, es decir que esté protegido del medio ambiente: polvo, golpes, mordeduras de animales, etc. Para el segundo caso se recomienda que el equipo permanezca permanentemente encendido pudiéndose si así se desea ser aprovechado para otros fines adicionales por ej: consultas médicas o como base de datos donde puedan accesarse descripciones de casos especiales.

En ambos casos se recomienda realizar una observación y supervisión de los parámetros (estatus e información de diagnóstico dadas localmente por cada equipo) y funcionamiento del sistema. Con lo cual puede recopilarse información haciendo uso de vitácoras en las cuales se detalle, la fecha, hora y estatus determinado y de esta forma disponer de datos estadísticos que permitan determinar la periodicidad con que se hará el mantenimiento preventivo y establecer también la necesidad del mantenimiento correctivo. La recopilación puede hacerse de manera continua o periódica. Estos datos pueden utilizarse para detectar condiciones agudas de avería como consecuencia de las cuales se generan avisos de alarma. La periodicidad de las pruebas depende de la importancia del elemento y de la tasa de fallos.

5.10.2 PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO

Está encaminado principalmente a que el equipo: radios, modems, multiplexores fraccionales, Paneles de interconexión, puente multipunto, módulos electrónicos con terminales y cables en general estén bien cuidados, para ésto se debe tomar en cuenta lo siguiente:

-Asegurar una temperatura ambiente en la medida de lo posible constante, para evitar problemas tales como rupturas de pistas en las tabletas, levantamiento de los circuitos integrados que

se encuentran colocados en bases y otros.

- No fumar cerca de los equipos, ya que las partículas de humo y ceniza pueden causar grandes problemas (como sobrecalentamiento) en los sistemas.

- Estos equipos ya cuentan con reguladores que los protegen contra las variaciones de voltaje por tanto no es esencial protección adicional.

- Limpieza del sistema y sus componentes, lubricación de las partes que lo necesiten.

- Evitar vibración mecánica de los módulos del sistema.

- Asegurar todos los componentes en sus respectivas bases ya que éstos con el tiempo van saliéndose de los mismos y ya no tienen un buen contacto.

- Considerar el ciclo de encendido-apagado, ya que al encender un equipo cuando está frío, se producen las máximas variaciones de temperatura dentro del sistema, por lo cual es recomendable limitar el número de ciclos de encendido-apagado del sistema.

- El polvo, humo y basuras que se acumulan dentro del equipo actúan como aislante del calor que impide el apropiado enfriamiento del sistema lo que puede causar sobrecalentamiento y daño de los componentes del sistema.

- Recordar que la frecuencia con que debe realizarse el mantenimiento preventivo depende de el ambiente que rodea al sistema y la calidad de los componentes del sistema.

- Revisión de cables y conectores del equipo y del pànel de interconexión, revisión de alarmas, verificar que las lecturas directas de los medidores incorporados en los equipos estén dentro de los rangos (según la sección 5-7), por ejemplo: en los radios revisar su alimentación, verificar que no haya pérdida de la señal de RF haciendo uso de su medidor de voltaje de recepción AGC (dBm).

- Verificar si todo está en sincronismo (el reloj de transmisión debe ser igual al de recepción) para ésto debe revisarse si los relojes en cada equipo están en la forma como se programaron en

la instalación. Las formas en que puede programarse los relojes de estos equipos son:

- modo externo.
- modo interno.
- modo recepción.

Se recomienda que en el centro de control (HBB) se programe el reloj de la unidad central (el puente multipunto) como interno, luego todos los equipos que le siguen en la misma estación (ver configuración del equipo en HBB) con reloj externo y los relojes de las otras estaciones en modo recepción de tal manera que con el reloj que reciban con ese mismo transmitan.

- Verificar la presencia de Jitter (Sección 4-8) provocado por imperfecciones propias del proceso de decisión que producen la pérdida de sincronismo. Esto puede determinarse con un osciloscopio.

- Determinar la proporción de errores que se está teniendo se considera que una proporción mayor de 1×10 en un minuto son errores severos. Los CSU ayudan mucho en la detección de errores y a mantener el sincronismo debido a los códigos de línea (AMI y BZNS) que utilizan. Estos y los fraccionales generalmente tienen equipo detector de errores, en caso de que no los posean es importante que se cuente con un equipo detector (su costo se detalla en la Sección 5-9) de errores, para realizar pruebas y determinar en que parte del sistema se está teniendo los errores.

- Los CSUs y fraccionales permiten además realizar lazos de prueba que facilitan la localización de fallas. Con estos lazos se verifica si todo lo que se envía es lo mismo que regresa, pero sólo si los equipos son de la misma marca. La Figura 5-22 muestra el recorrido de estos posibles lazos.

Los lazos L1 y L2 son locales (en la misma estación) y el lazo L3 es con una estación remota. Para llevar a cabo los lazos L2 y L3 debe hacerse conexiones físicas en los radios para que reciban (transmitan) lo mismo que transmiten (reciben).

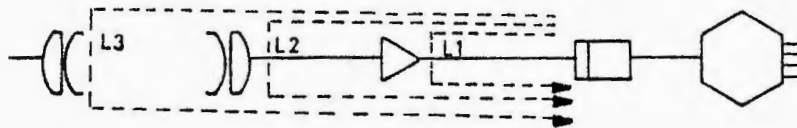


Figura 5-22

Lazos de prueba en el sistema.

- En el módulo electrónico, verificar la calidad de las señales de video y audio que se reciben, haciendo pruebas de transmisión y recepción con las diferentes estaciones. Tener en cuenta de observar los parámetros de potencia, corriente y voltaje en todos los equipos.

- Se recomienda dentro del mantenimiento preventivo visitar (pero no aisladamente) los equipos de cada estación una vez al mes o programar estas visitas en base a la información estadística que se recopile y hacer cada vez una observación de los estatus de operación antes mencionados.

5.10.3 SOPORTE DEL MANTENIMIENTO

Este incluye lo siguiente :

-Gestión de la información del equipo que conforma el sistema en funcionamiento.

-Gestión de las existencias de repuestos y reparación de los elementos intercambiables.

-Gestión para la organización del encuentro de videoconferencia así como para la operación del equipo.

-Documentación de equipos, es importante pedir los manuales de los equipos cuando estos se compran.

5.10.4 ORGANIZACION Y FUNCIONES

Las funciones a desempeñar el plantel del MSPAS son: la instalación, mantenimiento y puede encargarse además de la disposición y operación del equipo cuando se desee realizar una videoconferencia.

Actualmente, las tareas de mantenimiento preventivo realizadas por este plantel son hechas a base de una programación establecida por los jefes de cada área técnica (en el apéndice B se muestra una sección del organigrama de esta institución con las diferentes áreas técnicas del departamento de mantenimiento general) de acuerdo a la clase y condiciones del equipo, por tanto el mantenimiento preventivo puede ser incluido en su programación tomando en cuenta las recomendaciones anteriormente expuestas. El mantenimiento correctivo actualmente es realizado a través de las solicitudes (verbal, telefónica o por escrito) de los servicios enviadas al jefe del departamento de mantenimiento general quien las programa de acuerdo a prioridades y fechas en que se requiere el equipo según los compromisos adquiridos, luego delega la responsabilidad a los jefes de las diferentes áreas técnicas y ellos las llevan a cabo a través de programaciones semanales. Para el mantenimiento correctivo del equipo de videoconferencia se propone tomar en cuenta las recomendaciones anteriormente presentadas y en caso de detectarse una falla en el equipo se debe solicitar la intervención del personal encargado de igual forma como se hace actualmente.

En el presente también, la labor de que el equipo médico (ej. en un quirófano) esté dispuesto para una fecha determinada, es programada de manera similar que el mantenimiento correctivo con la excepción de que la solicitud de los servicios es hecha específicamente por el administrador o jefe de mantenimiento de cada hospital, por tanto para el caso de que se realice una videoconferencia se recomienda que el administrador o jefe de mantenimiento del HBB realice la solicitud de los servicios al plantel de mantenimiento del MSPAS.

A. INTERFACES DE LINEA

Las interfaces tienen ciertas características muy importantes:

- a) Mecánicas: Tratan de la conexión entre el equipo terminal de datos (DTE) y el equipo de comunicación de datos (DCE).
- b) Eléctricas: Se refiere a los niveles de voltaje y la sincronización de los cambios de voltaje. Tanto DTE y DCE deben con el mismo código y los mismos niveles de voltaje.

Es necesario aclarar que las distintas interfaces pueden trabajar con transmisión balanceada y desbalanceada.

Existen ya en el mercado una variedad de interfaces, en este trabajo solamente han sido seleccionadas las siguientes : RS-232C, RS-449 Y DSX-1 (o T1).

A.1 RS-232C

Conforma el standard V.24 y especifica el tipo de conector mecánico y la designación de pines para cada señal.

Las especificaciones mecánicas son: un conector de 25 pines con un ancho de 47.04 mm. La parte superior tiene los pines del 1 al 13 (de izquierda a derecha) y en el inferior del 14 al 25 así como se muestra en la figura A-1.

Algunos de los factores que pueden limitar su utilización son: la capacitancia que trae como consecuencia limitaciones de distancia en el cable, dicha capacitancia no debe exceder los 2500 pf, lo cual limita a una distancia de 15m de cable. Debido a ello la velocidad máxima de transmisión deberá ser de 20 Kbps.

Los niveles de voltaje que ésta debe presentar deben ser de -3v para el estado lógico 1 y de +4v en adelante para el estado lógico 0.

El listado de los pines principales para la figura A-1 se presenta a continuación:

- 1- Protective Ground.
- 2- Transmitted Data.
- 3- Received data.
- 4- Request to send.
- 5- Clear to send.
- 6- Data set ready.
- 7- Signal ground.
- 9- (+) voltage.
- 10- (-) voltage.
- 20- Data terminal ready.
- 22- Ring indicator.

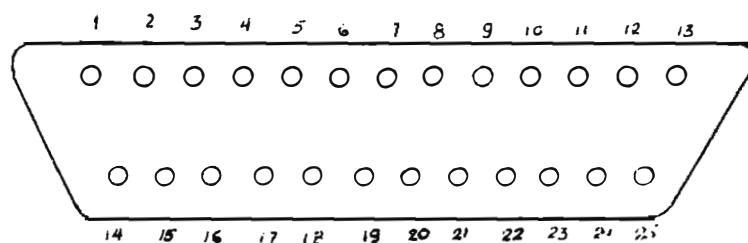


Figura A-1
Interfaz RS-232C.

A.2 RS-449

Esta interface también es técnicamente utilizada para la comunicación entre equipos DTE y DCE, basicamente para el intercambio serial de datos binarios, y es a menudo utilizada para transmisión síncrona. Esta es una interfaz balanceada. Esta interfaz originalmente fue creada para reemplazar a la RS-232C ya que es capaz de proveer una transmisión de datos arriba de los 2Mbps, con un límite de distancia de 60m.

La distribución de pines para esta interfaz se muestra en la figura A-2 y sus pines principales son los siguientes:

- 6- Received data.
- 7- Request to send.
- 9- Clear to send.
- 10- Local loopback.
- 12- Terminal ready.
- 13- Receiver ready.
- 14- Remote loopback.
- 16- Select frequency.
- 19- Signal ground.

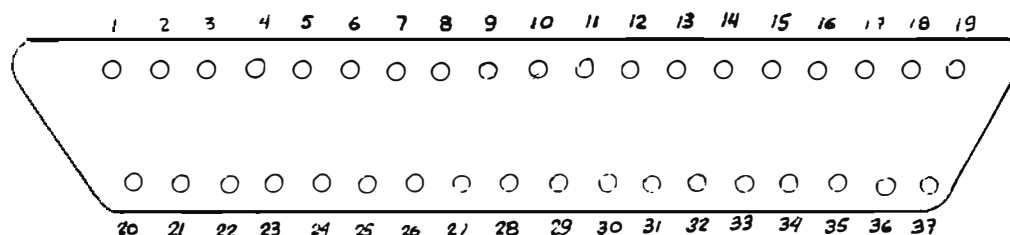
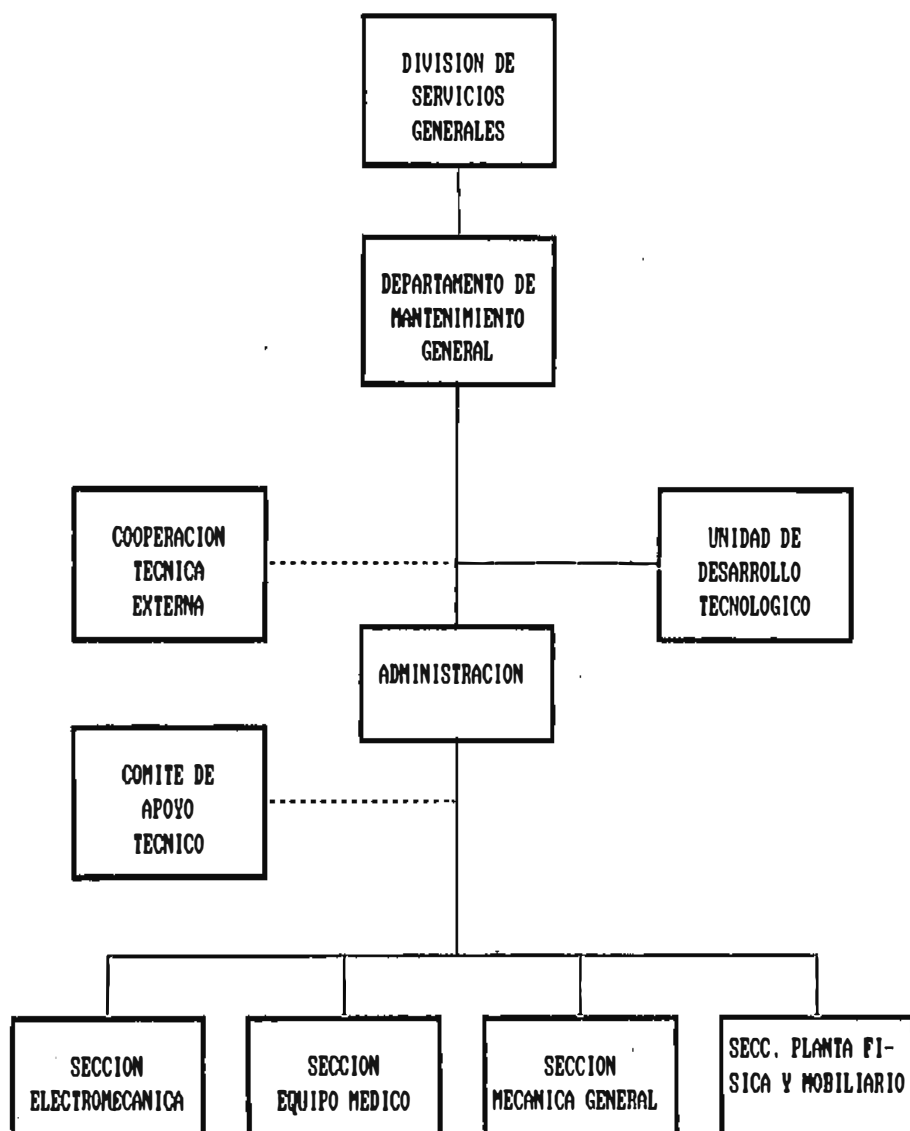


Figura A-2
Interfaz RS-449.

A.3 DSX-1

Es una interface especialmente utilizada para líneas T-1 y especifica las características eléctricas de la misma. Las especificaciones técnicas de esta interfaz son las siguientes:

- Velocidad de línea: 1.544 Mbps, con una tolerancia de $\pm 0.50\text{ppm}$ (72.2 bps).



GLOSARIO

Ancho de banda: la diferencia entre las frecuencias límites de un espectro de frecuencia continuo.

Bit error rate: una medida de el número de errores en una transmisión digital. El Ber se expresa típicamente en notación exponencial tal como 1×10^{-6} lo que corresponde a un error en cada millón de bits.

Cable coaxial: cable metálico de comunicaciones que consta de un conductor interno cubierto por un material aislante y todo este conjunto rodeado por un conductor externo hueco.

Codec: conjunto construido por un codificador y decodificador en un mismo equipo.

Codificación: asignar un grupo particular de dígitos binarios para un nivel de amplitud determinado.

Codificación intertrama: comprende técnicas de reducción de redundancia las cuales usan la similitud entre tramas sucesivas de una señal de video así como los requerimientos de resolución de las diferencias en la presentación de objetos estacionarios y en movimiento.

Codificación intratrama: son técnicas útiles en reducir el número de bits/pixel en una imagen dada, no toma en cuenta el movimiento es decir, no se basa en los cambios que suceden de una trama a otra.

Crominancia: señal que representa la información de color de la imagen.

CSU: interfaz utilizada en redes digitales que permite hacer lazos de prueba, mantiene el sincronismo y permite además la detección de errores. Con los CSU alcanzan distancias hasta de 1 Km.

Cuantización: etapa de digitalización de la amplitud de una señal.

Detección coherente: Detección utilizando una señal de referencia que se encuentra sincronizada en frecuencia y en fase con la señal transmitida. También es llamada detección sincrónica.

Detección no coherente: cualquier forma de detección que no requiera una fase de referencia.

Diafonía: fenómeno en el cual una señal transmitida en un circuito o canal de un sistema de transmisión crea un efecto indeseable en otro circuito o señal.

Difracción: Desviación del rayo luminoso al rozar el borde de un cuerpo opaco.

Disponibilidad: una medida del porcentaje de tiempo que el sistema se mantiene operando. La disponibilidad es usualmente una medida de ambos, la disponibilidad de la señal y el MTBF del equipo.

Fibra óptica: un delgado filamento de vidrio u otro material transparente a través del cual un rayo de luz codificado puede ser transmitido por medio de reflexiones internas totales.

Interface: Dispositivo que permite que dos unidades diferentes o iguales se enlacen.

Interferencia: Señales no deseadas las cuales causan degradación o pérdida de la información.

Línea vista: Propagación de radio a través de la atmósfera por una trayectoria libre de obstáculos.

Luminancia: Señal de información de imagen, cuya amplitud varía proporcionalmente a la brillantez.

Margen de desvanecimiento: la diferencia entre el nivel de señal de entrada al receptor y la sensibilidad del mismo. En sistemas microonda, el margen de desvanecimiento es el factor de seguridad que permite que el sistema se mantenga en operación durante la lluvia.

Modem: una contracción de modulador-demodulador. Este término puede ser utilizado cuando el modulador y el demodulador se encuentran en el mismo equipo de comunicación.

Modulación: el proceso de variar ciertas características de una señal, llamada portadora, de acuerdo a una señal de mensaje.

Modulación en amplitud: el proceso de variar la amplitud de una señal portadora que representa cambios en la señal de información transmitida.

Modulación en frecuencia: el proceso de variar la frecuencia de una señal portadora que representa cambios en la señal de información transmitida.

Modulación por código de pulsos (PCM): procedimiento de modulación que convierte una oscilación analógica en una señal digital. La señal analógica se muestrea y las muestras así obtenidas se cuantifican y codifican. La señal PCM obtenida se compone de señales de carácter que se asignan según un código de impulsos a los intervalos de cuantización.

Modulación por código de pulsos diferencial (DPCM): proceso en el cual una señal es muestreada y la diferencia entre el valor actual de cada muestra y su valor anterior derivado de muestras anteriores es cuantificado y convertido por codificación a una señal digital.

Modulación delta: es un caso especial de DPCM, con sólo dos niveles de cuantización.

Modulación por corrimiento de frecuencia (FSK): una forma de modulación digital en la cual las frecuencias discretas son utilizadas para representar una señal digital.

Modulación por corrimiento de fase (PSK): una forma de modulación digital en la cual fases discretas de la portadora son utilizadas para representar una señal digital.

Modulación por variación de amplitud: una forma de modulación digital en la cual amplitudes discretas de la portadora son utilizadas para representar una señal digital.

Muestreo: etapa de digitalización de coordenadas espaciales de una señal.

Multiplexar: la transmisión simultánea de dos o más señales sobre el mismo medio de transmisión.

Multiplexor fraccional: interfaz para servicios fraccionales T1 (o E1) que permite la transmisión de datos desde 64 kbps hasta 1.544 Mbps (o 2.048 Mbps).

Onda de radio: una señal electromagnética que periódicamente cambia en intensidad a medida que viaja a través de la atmósfera o espacio.

Par trenzado: cable de comunicación que consta de dos conductores aislados retorcidos entre sí.

Pérdidas en el espacio libre: la medida de la atenuación de una señal a medida que esta viaja en el espacio. Estas son medidas en dBm.

Perfil de trayectoria: la figura del terreno, incluyendo edificios, montañas, lagos, etc., a lo largo de la trayectoria de transmisión.

Pixel: elemento de imagen o muestras discretas de la imagen.

Polarización: La dirección de la amplitud de una onda de radio. La polarización puede ser horizontal pero típicamente es vertical.

Portal frontal: se le conoce al tiempo entre el principio del pulso de eliminación del trazo horizontal y el primer extremo del pulso de sincronía.

Portal trasero: tiempo entre el extremo final del pulso de sincronía y el final del tiempo de eliminación del trazo horizontal.

Pulsos de eliminación del trazo o pulsos de blanqueo: pulsos que aseguran que el receptor esté sin trazos durante los tiempos de retraso o retorno vertical y horizontal.

Pulsos de sincronización: pulsos en la señal compuesta de video que permiten sincronizar las velocidades de exploración horizontal y vertical; así como también el tiempo con que empiezan y terminan las líneas de exploración.

Radiofrecuencia (RF): la frecuencia a la cual transmiten los sistemas de microonda.

Ráfaga de color: de ocho a diez ciclos de la subportadora de color insertados en los pulsos de eliminación del trazo horizontal, utilizados como fase de referencia para la demodulación a color.

Reflexión: el cambio de dirección que sufre una onda después de chocar con un obstáculo en su trayectoria.

Refracción: el doblamiento que sufre la onda de radio cuando se mueve de un medio a otro.

Relación señal ruido: se define como la relación de la potencia de la señal a la potencia del ruido.

Señal analógica: señales continuas en el espacio y/o tiempo.

Señal digital: señal que debe presentar una característica discontinua en el tiempo y no tener más que cierto conjunto de valores discretos.

Señal de video compuesta: señal que consta de diferentes partes separadas: señal de luminancia, señal de crominancia, pulsos de sincronía y pulsos de eliminación del trazo.

BIBLIOGRAFIA

- AT&T. TELECOMUNICATIONS TRANSMISSION ENGINEERING. VOL. 1 Principles, Second Edition. Indiana. AT&T, 1977.
- Bell Telephone Laboratories, Inc. TRANSMISSION SYSTEM FOR COMMUNICATIONS. TOMO II. Bell Telephone Laboratories, Inc.
- Benson, Blair K. TELEVISION ENGINEERING HANDBOOK. McGraw-Hill, 1986.
- Freeman, R. TELECOMUNICATIONS TRANSMISSION HANDBOOK. Segunda Edición. New York, John Wiley & Sons, 1981.
- González R. P., WINTZ P. DIGITAL IMAGE PROCESSING. Segunda edición. Addison-Wesley Publishing Company, Massachussets, 1987.
- Grob Bernard. BASIC TELEVISION PRICIPLES AND SERVICING. Fourth Edition. McGraw-Hill, 1975.
- Hernando Rábanos, José M. SISTEMAS DE TELECOMUNICACION. Vol. 2. Transmisión por radio, Madrid, Depto. de Publicaciones E.T.S. Ingenieros de Telecomunicación, 1981.
- Keiser, Bernhard E. BROADBAND CODING, MODULATION AND TRANSMISSION ENGINEERING. New Jersey, Prentice Hall, 1989.
- Kraus, John D. ELECTROMAGNETISMO. McGraw-Hill, 1986.
- Lathi, B.P. SISTEMA DE COMUNICACION. México D.F. McGraw-Hill, 1986.
- Miller, Gary M. MODERN ELECTRONIC COMUNICATION. Tercera Edición. New Jersey.
- Smith, David R. DIGITAL TRANSMISSION SYSTEMS. Van Nostrand Rainhold Co, 1985.
- Stremler, Ferrel G. SISTEMAS DE COMUNICACION. México, Representaciones y Servicios de Ingeniería, S.A. 1985.

- Tomasi, Wayne. ELECTRONIC COMMUNICATIONS SYSTEMS, FUNDAMENTALS THROUGH ADVANCED . New Jersey, Prentice Hall, 1988.