

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación

“Enlace Vía Microondas y Fibra Óptica de cinco canales de Televisión hacia la estación master de la Asociación Ecuatoriana de Canales de Televisión en Guayaquil”

TESIS DE GRADO

Previo la obtención del Título de:

INGENIERO EN ELECTRICIDAD ESPECIALIZACIÓN ELECTRÓNICA

Presentada por:

Danylo Benito Brunel Navarrete
María José Vaca Rivas

INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES

Presentada por:

José Miguel Delgado Vélez

GUAYAQUIL – ECUADOR

Año: 2003

AGRADECIMIENTO

A Dios y a todas las personas que de algún modo nos han ayudado y apoyado en la realización de este trabajo, en especial al Ing. Alejandro Aguilar Director de la Tesis, por su dedicación e invaluable aporte.

DEDICATORIA

A Dios por su iluminación en todo momento. A mi querida familia por su apoyo, pero en especial a mis padres que con esfuerzo y sacrificio me dieron la fuerza necesaria para culminar mis metas.

Querido padre este logro es nuestro!

Danylo Brunel Navarrete

DEDICATORIA

A Dios por ser mi guía a lo largo de este camino tan difícil de transitar. A mis padres por su constante sacrificio para darme la oportunidad de superarme y cristalizar mis metas. A mi tía por el apoyo incondicional a lo largo de mis estudios. A mi hermano por su ejemplo de trabajo y superación. Y a mis amigos, fue importante su apoyo en el día a día.

Miguel Delgado Velez

DEDICATORIA

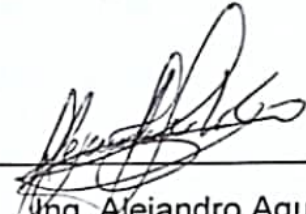
A mi abuelita Nicerata Martínez por su apoyo, dedicación y por ser tan especial en mi vida; a mis Padres por haber dedicado todo su amor, sacrificio y haber inculcado en mí todos los principios que toda persona de bien debe tener; a toda mi familia por su cariño y comprensión constante; a Jorge por compartir conmigo los buenos y malos momentos, porque quiero que este siempre a mi lado; a todos mis profesores por transmitirme todos sus conocimientos; y por último a todos mis amigos por la amistad brindada siempre.

María José Vaca Rivas

TRIBUNAL DE GRADUACION



Ing. Armando Altamirano Ch.
VICE-RECTOR GENERAL
PRESIDENTE



Ing. Alejandro Aguilar G.
DIRECTOR DE TESIS



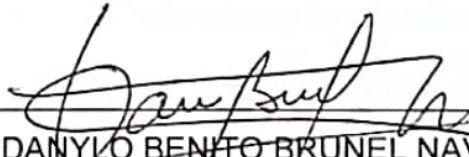
Ing. César Yépez F.
VOCAL



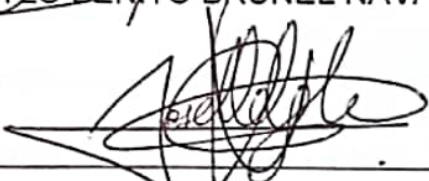
Ing. Juan Avilés C.
VOCAL

DECLARACIÓN EXPRESA

"La responsabilidad del contenido de esta Tesis de Grado, nos corresponden exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL".



DANYLO BENITO BRUNEL NAVARRETE



JOSE MIGUEL DELGADO VELEZ



MARIA JOSE VACA RIVAS

RESUMEN

El presente estudio desarrolla los diseños de cinco enlaces de los canales de televisión más importantes del país para llevarlos hasta el master de la Asociación de Canales de Televisión.

El objetivo de enlazar estos cinco canales es crear un canal internacional Ecuatoriano el mismo que realce nuestra imagen y sirva para informar al mundo de nuestra cultura. El objetivo es utilizar tecnología digital para enlazar todos los canales, dos de ellos mediante fibra óptica debido a su proximidad al Edificio Centrum, lugar donde está ubicado actualmente las oficinas de la Asociación de Canales de Televisión y donde estará ubicado el master del canal internacional, los tres canales restantes se enlazarán mediante microondas digital. Los canales que enlazaremos son: Ecuavisa, Teleamazonas y Telesistema mediante microondas mientras que Gamavision y TC Televisión se realizarán mediante Fibra Óptica.

Para la realización de este diseño se analizó nueva tecnología de transmisión que ha comenzado a utilizarse en nuestro medio, las señales de los canales de televisión son entregadas, nosotros nos encargamos de codificarla, comprimirla y transmitirla hacia el Edificio Centrum y bajar la señal hasta el 5to piso donde se encuentra nuestro Rack de equipos y adicionalmente ubicado el master del Canal Internacional de Televisión.

Durante varios análisis y cálculos de los radioenlaces y de los enlaces de fibra óptica se seleccionaron los equipos mas adecuados para nuestros requerimientos, los mismos que sean capaces de optimizar recursos y otorgar valores agregados a nuestro proyecto, estos equipos están detallados en el capítulo 6.

Se detallan en el capítulo 7 todos los cálculos realizados para obtener enlaces óptimos tanto en la parte de los radioenlaces como en los de fibra. Cabe recalcar que todas las distancias son pequeñas en nuestros enlaces por lo que se trabajo con frecuencias de 3600 MHz y obtuvimos Potencia de Transmisión mínima de 19.54 para el enlace Ecuavisa – Edificio Centrum con un Eb/No de 51.43db para la transmisión. Para el radio enlace Teleamazonas – Edificio Centrum nuestra Potencia de Transmisión mínima es de 19.74 con un Eb/No de 48.78db para la transmisión y finalmente para el radio enlace digital de Telesistema – edificio Centrum se obtuvo una Potencia Transmisión Mínima de 19.34 con un Eb/No de 51.23 db para la transmisión, lo que nos garantiza una excelente transmisión en cada enlace.

Para los enlaces de Fibra óptica los márgenes ópticos obtenidos en los diseños nos proporciona el nivel de perdidas estimas lo que nos indica la confianza que mantiene el funcionamiento del equipo con los enlaces diseñados. Este valor incluye factores que contribuyen a la degradación del

sistema, factor que esta considerado en todos nuestros enlaces. Por lo que se puede concluir que con las atenuaciones obtenidas de 4.32 db/km en la fibra Multimodo utilizada de 62,5/125 con Apertura Numérica de 0.275 nuestros enlaces son perfectamente confiables.

INDICE GENERAL

DEDICATORIA.....	I
RESUMEN	IV
INDICE GENERAL.....	XI
ABREVIATURAS.....	XV
SIMBOLOGÍA.....	I
ÍNDICE DE FIGURAS	II
ÍNDICE DE GRAFICOS.....	III
ÍNDICE DE TABLAS.....	IV
INTRODUCCIÓN	1
1. INTRODUCCION A LA TELEVISION.....	3
1.1. Inicios de la Televisión	3
1.2. Inicios de la Televisión en Ecuador.....	5
1.3. Historia de los Canales de Televisión en el Ecuador	7
1.3.1. Ecuavisa	7
1.3.2. Telesistema.....	7
1.3.3. Gamavision	8
1.3.4. TC Televisión	9
1.3.5. Teleamazonas	9
2. TELEVISION DIGITAL	10
2.1. Definición y Conceptos.	10
2.2. Resolución en Televisión	13
2.2.1. Resolución Vertical	14
2.2.2. Resolución Horizontal	16
2.2.3. Relación Entre Ambas Resoluciones.....	17
2.3. Resolución en Televisión Digital	18
2.4. Televisión Digital Estándar SDTV	20
2.4.1. Resolución Vertical	20
2.4.2. Resolución Horizontal	20
2.5. Televisión Digital de Alta Definición HDTV	21
2.5.1. Resolución Vertical	22
2.5.2. Resolución Horizontal	23
2.6. Tipo de Resoluciones.....	24
2.6.1. Resolución espacial	25
2.6.2. Resolución Temporal	26
2.6.3. Resolución Estática	27
2.6.4. Resolución Activa	27

2.6.5.	Pixel Rate.....	27
2.6.6.	Bit Rate	29
2.7.	Ancho de Banda.....	30
2.8.	Compresión de Vídeo Digital.....	31
2.8.1.	Obtención de la señal Digital y Compresión	32
2.8.2.	La Compresión MPEG-2.....	35
2.8.2.1.	La Compresión Interframe	35
2.8.2.2.	Diferentes Tipos de Frames (Fotogramas)	37
2.8.2.3.	Compensación del Movimiento.....	39
2.8.2.4.	La redundancia Espacial para Reducir la Transmisión de bits.	42
2.8.2.5.	La redundancia Estadística para reducir aun más la Transmisión de Bits	46
3.	TEORIA DE LA TRANSMISION VIA MICROONDAS	47
3.1.	Introducción.....	47
3.2.	Parámetros.....	48
3.2.1.	Perdida del espacio libre (L)	48
3.2.2.	Ganancia (G)	49
3.2.3.	La potencia de transmisión (Pr-Pt).....	49
3.2.4.	Factor K: Radio Equivalente De La Tierra.....	50
3.2.5.	Primera Zona de Fresnel (FZC)	51
3.2.6.	Deducción del radio de las zonas de Fresnel	54
3.2.7.	El Despeje.....	55
3.2.8.	Reflexiones del Terreno	56
3.2.9.	Cálculo de la ubicación del punto de reflexión	57
3.2.10.	Energía de Bit por densidad de ruido (Eb/No).....	60
3.3.	Tipo de Modulación.....	61
3.3.1.	FSK (Frequency Shift Keying)	62
3.3.2.	PSK (Phase Shift Keying)	63
3.3.3.	BPSK (Binary Phase Shift Keying).....	64
3.3.4.	QPSK (Quaternary Phase Shift Keying).....	64
3.4.	Arquitectura de un Sistema de Microondas Digital.....	66
3.4.1.	Modulador	67
3.4.2.	Transmisor	68
3.4.3.	Receptor	69
3.5.	Consideraciones del sistema de Microondas	71
3.5.1.	Margen de Falla.-	72
3.5.2.	Margen de Desvanecimiento.-	73
3.5.3.	Umbral del Receptor	74
3.5.4.	Confiabilidad del Sistema.....	74
3.5.5.	Ancho de Banda	75
4.	TEORIA DE LA TRANSMISION VIA FIBRA OPTICA	77
4.1.	Historia de la Fibra Óptica.....	77

4.2.	Concepto de la Fibra Optica.....	78
4.3.	Concepto de Transmisión	79
4.4.	Componentes de una Fibra Optica	80
4.4.1.	Núcleo.....	81
4.4.2.	Revestimiento	81
4.4.3.	Recubrimiento.....	81
4.5.	Parámetro a considerar en una Fibra Optica	81
4.5.1.	Parámetros Estructurales.....	82
4.5.1.1.	El perfil de índice de refracción.....	82
4.5.1.2.	El diámetro del núcleo	83
4.5.1.3.	La apertura numérica.....	85
4.5.2.	Parámetro de transmisión	86
4.5.2.1.	Atenuación.....	86
4.5.2.2.	Ancho de banda.....	89
4.5.2.3.	Dispersión.....	89
4.6.	Tipos básicos de fibras ópticas	91
4.6.1.	Fibra Monomodo	91
4.6.2.	Fibra Multimodo	92
4.6.2.1.	Fibra Multimodo con gradiente gradual.....	92
4.6.2.2.	Fibra Multimodo con índice escalonado.....	93
4.7.	Requisitos para un enlace de Fibra Optica	95
4.7.1.	Conectores.....	95
4.7.2.	Cálculos de Potencia	97
4.7.3.	Umbral de Recepción	98
4.7.4.	Cálculos de Ancho de Banda.....	99
5.	UBICACIÓN GEOGRAFICA DEL PROYECTO.....	100
5.1.	Canales de Televisión.....	100
5.1.1.	Ecuavisa	100
5.1.2.	Teleamazonas	101
5.1.3.	Telesistema.....	101
5.1.4.	TC Televisión	101
5.1.5.	Gamavision	102
5.2.	Ubicación de la Conmutación y Antenas Receptoras	103
5.2.1.	Torre de Pacifictel y Estación Terrena	104
5.2.2.	Torre de Pacifictel en el Cerro del Carmen.....	106
5.2.3.	Edificio Centrum.....	107
6.	EQUIPOS UTILIZADOS PARA EL DISEÑO DEL PROYECTO	109
6.1.	Equipos para el enlace de Microondas Digital	109
6.1.1.	Tipos de Cables	110
6.1.1.1.	Tipo de Cable Coaxial.....	110
6.1.1.2.	Tipo de Cable para IF	111
6.1.2.	Tipo de conector	112
6.1.3.	Equipo de Modulador y Codificador MPEG-2	112

6.1.4.	Equipo de Demodulador y Decodificador MPEG-2.....	114
6.1.5.	Equipos del sistema de radio enlace digital	116
6.1.6.	Antena.....	117
6.2.	Equipos para el enlace de Fibra Opticas	118
6.2.1.	Selección de la Fibra	118
6.2.1.1.	Ventajas de la Fibra Monomodo	118
6.2.1.2.	Ventajas de la Fibra Multimodo	118
6.2.1.3.	Especificaciones técnicas de la Fibra Multimodo.....	119
6.2.2.	Especificaciones Técnicas del conector para la Fibra	121
6.2.3.	Selección de equipo de Transmisión y Recepción de la Señal de fibra	121
7.	DISEÑO DEL PROYECTO	125
7.1.	Enlace de Microondas Digital.....	127
7.1.1.	Radio enlace Ecuavisa – Edificio Centrum	128
7.1.1.1.	Datos Generales	128
7.1.1.2.	Calculo del Punto de Reflexión.....	129
7.1.1.3.	Calculo de Radio Frecuencia.....	129
7.1.1.4.	Gráfico del Radio Enlace	130
7.1.1.5.	Cálculos del Radio Enlace	131
7.1.2.	Radio enlace Teleamazonas – Edificio Centrum	133
7.1.2.1.	Datos Generales	133
7.1.2.2.	Calculo del Punto de Reflexión.....	134
7.1.2.3.	Cálculos de Radio Frecuencia	134
7.1.2.4.	Gráfico del Radio Enlace	135
7.1.2.5.	Cálculos del Radioenlace	136
7.1.3.	Radio enlace Telesistema – Edificio Centrum.....	138
7.1.3.1.	Datos Generales	138
7.1.3.2.	Calculo del Punto de Reflexión.....	139
7.1.3.3.	Cálculos de Radio Frecuencia	139
7.1.3.4.	Gráfico del Radio Enlace	140
7.1.3.5.	Cálculos del Radio Enlace	141
7.2.	Enlaces de Fibra Optica.....	143
7.2.1.	Diseño del Enlace TC Televisión – Edificio Centrum	143
7.2.2.	Diseño del Enlace Gamavisión – Edificio Centrum	147
8.	ESTUDIO ECONOMICO DEL PROYECTO.....	151
8.1.	Costo de los Equipos a utilizarse	151
8.2.	Costo Total del Proyecto.....	152
8.3.	Cronograma del Proyecto	153
9.	CONCLUSIONES.....	155
	BIBLIOGRAFÍA	157

ABREVIATURAS

TV	= Televisión
Seg.	= Segundos
Hz	= Hertz
TVL/PH	= Resolución Vertical
BW	= Ancho de Banda
SMPTE 244M	= Sociedad Ingenieros de Televisión y Cuadros en Movimiento
NTSC	= Comité del Sistema Nacional de Televisión
ATSC	= Asociación de
PAL	= Línea de Fase Alternativa
SDTV	= Televisión Digital Estándar
HDTV	= Televisión Digital de Alta Definición
PEL	= Pixel Rate
RES.	= Resolución
FREC.	= Frecuencia
bps	= Bits por Second
MPEG	= Grupo de Expertos de Cuadros en Movimiento
DCT	= Transformada del Coseno Discreto
PSK	= Phase Shift Keying
BPSK	= Binary Phase Shift Keying
QPSK	= Quaternary Phase Shift Keying
FSK	= Frequency Shift Keying
QAM	= Quadrature Amplitude Modulation
Cb o B-Y	= Diferencia de color con respecto al azul
Cr o R-Y	= Diferencia de color con respecto al rojo
Y	= Luminancia

DC	= Corriente Discreta
Pr- Pt	= Potencia de Transmisión
k	= Factor de Curvatura de la Tierra
FZC	= Primera Zona de Fresnel
ER	= Rayo Directo
MR	= Rayo Reflejado
Eb/No	= Energía de Bit por Densidad de Ruido
FEC	= Forward Error Correction
Lo	= Low Phase Noise
B.E.R	= Bit Error Rate
RF	= Radio Frecuencia
IF	= Frecuencia Interna
TFM	= Margen de Falla Térmico
DFM	= Margen de Falla Dispersa
EIFM	= Margen de Falla de Interferencia Externa
AIFM	= Margen de Falla de Interferencia del canal Adyacente
U _x	= Umbral del receptor
ND	= Confiabilidad del Sistema
FM	= Margen del Desvanecimiento
Nv	= Numero Total de Elementos a Resolver en la dirección vertical
VC	= Codificación Viterbi
RS	= Codificación Reed Salomon
M	= Nivel de Codificación del Modulador

SIMBOLOGÍA

A	= Amplitud
n	= Distancia a la pantalla sobre altura de la misma
F	= Frecuencia de Operación
D	= Distancia
G	= Ganancia
T	= Temperatura en Grados Kelvin
K	= Constante de Boltzman
h	= Altura
BW	= Ancho de Banda
Fb	= Tasa de transmisión
N	= Potencia de Ruido
L	= Perdida del Espacio Libre
C/N	= Señal a Ruido
S	= Sensibilidad del Equipo
Vin	= Voltaje de Entrada
Zin	= Impedancia de Entrada
A	= Factor de Clima
b	= Factor de terreno
n ₁	= Indice de Refracción
n ₂	= Diferencia Normalizada de Indice de Refracción
r	= Distancia en μm desde el eje del conductor de Fibra Optica.
a	= Radio del núcleo de la Fibra Optica en μm .
g	= Exponente del Perfil.
AN	= Apertura Numérica
ϕ	= Diámetro

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura # 2.1 Resolución Vertical.....	15
Figura # 2.2 Resolución Horizontal	17
Figura # 2.3 Información Redundante	36
Figura # 2.4 Estructura del Sistema MPEG.....	39
Figura # 2.5 Macrobloques.....	40
Figura # 3.1 Representación gráfico del radio equivalente de la tierra.....	50
Figura # 3.2 Modelo de Radioenlace.....	51
Figura # 3.3 Elipsoide de Fresnel.....	52
Figura # 3.4 Sección transversal del frente de ondas	53
Figura # 3.5 Ilustración del concepto de despeje y de su variación con respecto a k.....	55
Figura # 3.6 Reflexión sobre superficie plana	57
Figura # 3.7 Determinación del punto de reflexión	58
Figura # 3.8 Modulador QPSK	64
Figura # 3.9 Constelación QPSK.....	65
Figura # 3.10 Modulación QAM.....	66
Figura # 3.11 Arquitectura de un Sistema de Microondas Digital.....	67
Figura # 3.12 Diagrama de Bloques de Transmisión de Microondas Digital.....	69
Figura # 3.13 Diagrama de Bloques de Recepción de Microondas Digital... ..	70
Figura # 4.1 Fibra Optica.....	80
Figura # 4.2 Longitud de Onda de las Fibras Opticas	88
Figura # 4.3 Fibra Monomodo	91
Figura # 4.4 Fibra multimodo gradiente gradual.....	93
Figura # 4.5 Fibra Optica Multimodo gradiente escalonado	94

ÍNDICE DE GRAFICOS

Gráfico # 3.1 Relación entre la distancia y la altura de las antenas	59
Gráfico # 3.2 Relación Eb/No vs. B.E.R.	60
Gráfico # 3.3 Relación señal a ruido (S/N) Análogo vs. Digital.....	62
Gráfico # 5.1 Localización del enlace de fibra entre TC Televisión y el edificio Centrum	102
Gráfico # 5.2 Localización del enlace de fibra entre Gamavision y el edificio Centrum	103
Gráfico # 5.3 Trayectoria entre la Torre del Cerro del Carmen y la Estación Terrena de Pacifictel	106
Gráfico # 6.1 Cable coaxial heliax LDF4-50A.....	111
Gráfico # 6.2 Conectores tipo BNC, F y N (Respectivamente).....	112
Gráfico # 6.3 Codificador MPEG-2	113
Gráfico # 6.4 Diagrama de Bloques del Codificador MPEG-2	113
Gráfico # 6.5 Vista de la parte posterior del Codificador MPEG-2.....	113
Gráfico # 6.6 Decodificador MPEG-2	114
Gráfico # 6.7 Diagrama de Bloque del Decodificador MPEG-2	115
Gráfico # 6.8 Vista posterior del Decodificador MPEG-2.....	115
Gráfico # 6.9 Equipo de Radio	116
Gráfico # 6.10 Equipo de Fibra Optica	122
Gráfico # 6.11 Ubicación de los equipos en el Rack	124

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla # 2.1 Número de muestras para los Sistemas NTSC y PAL	19
Tabla # 2.2 Tabla comparativa de los Formatos de Televisión	30
Tabla # 4.1 Tipos de Fibra según su diámetro	83
Tabla # 4.2 Características de los grupos de Fibra ópticas.....	85
Tabla # 4.3 Comparación entre fibras monomodo y multimodo	94
Tabla # 4.4 Tipos de Conectores	96
Tabla # 5.1 Localización de la Estación Terrena de Pacifictel.....	104
Tabla # 5.2 Ubicación de la Torre de Pacifictel	107
Tabla # 5.3 Ubicación del Edificio Centrum.....	108
Tabla # 6.1 Especificaciones del Cable Coaxial Heliax LDF4-50A.....	110
Tabla # 6.2 Especificaciones del cable RG58/U.....	111
Tabla # 6.3 Especificaciones del Codificador MPEG-2	114
Tabla # 6.4 Especificaciones del Decodificador MPEG-2.....	115
Tabla # 6.5 Especificaciones del Equipo de Radio.....	116
Tabla # 6.6 Rango de frecuencias del Equipo.....	116
Tabla # 6.7 Utilización del Ancho de Banda según la modulación y el FEC del equipo de Radio	117
Tabla # 6.8 Especificaciones Técnicas de una Fibra Optica	120
Tabla # 6.9 Especificaciones Técnicas de los conectores de Fibras Opticas	121
Tabla # 6.10 Especificaciones del Equipo de Transmisión y Recepción de Fibra Optica.....	122
Tabla # 7.1 Datos Generales del Enlace de Microondas entre Ecuavisa y el Edificio Centrum	128
Tabla # 7.2 Cálculo del Punto de Reflexión.....	129
Tabla # 7.3 Cálculos del Radio frecuencia entre Ecuavisa y el Edificio Centrum	129
Tabla # 7.4 Datos del Enlace Ecuavisa y el Edificio Centrum	131
Tabla # 7.5 Datos Generales del Enlace de Microondas entre Telemazonas y el Edificio Centrum	133
Tabla # 7.6 Cálculo del Punto de Reflexión.....	134
Tabla # 7.7 Cálculos del Radio frecuencia entre Telemazonas y el Edificio Centrum	134
Tabla # 7.8 Datos del Enlace Telemazonas y el Edificio Centrum	136
Tabla # 7.9 Datos Generales del Enlace de Microondas entre Telesistema y el Edificio Centrum	138
Tabla # 7.10 Cálculo del Punto de Reflexión.....	139
Tabla # 7.11 Cálculos del Radio frecuencia entre Telesistema y el Edificio Centrum	139
Tabla # 7.12 Datos del Enlace Telesistema y el Edificio Centrum	141

Tabla # 7.13 Datos Generales de Enlace entre TC Televisión y el Edificio	
Centrum	144
Tabla # 7.14 Datos Generales de Enlace entre Gamavisión y el Edificio	
Centrum	147
Tabla # 8.1 Costos de los equipos	152

INTRODUCCIÓN

Este proyecto tiene como objetivo la creación de un Canal Digital de Televisión Internacional Ecuatoriano el mismo que realzará la imagen de nuestro país en el mundo, introduciendo en nuestro medio la tecnología Digital en transmisión de señales de audio y vídeo garantizando una mejor calidad y resolución en la imagen y sonido al telespectador.

El proyecto consiste en enlazar en un solo punto central los cinco canales de televisión más importantes del país (Ecuavisa, Telemazonas, Telesistema, TC Televisión y Gamavisión), mediante enlaces de Microondas Digitales y Fibra Optica. Todos los enlaces de los canales convergen en la Asociación de Canales de Televisión, la misma que será la encargada de la administración, control y funcionamiento del mismo.

Los canales de televisión Ecuavisa, Telemazonas y Telesistema entregarán una señal digital, la misma que será transmitida mediante enlaces de microondas hacia el edificio Centrum, lugar donde esta ubicada las instalaciones de la Asociación Ecuatoriana de Canales de Televisión, mientras que los canales TC Televisión y Gamavisión entregarán su señal digital hacia el edificio Centrum a través de enlaces de Fibra Optica.

Dentro de nuestro proyecto se podrá encontrar una breve reseña histórica de los inicios de la televisión en nuestro país, un detalle de lo que es la Televisión Digital, su tipo de compresión, modulación, además de un estudio detallado de la factibilidad técnica de realizar los enlaces de microondas digitales y los enlaces de fibra óptica.

CAPITULO 1

1. INTRODUCCION A LA TELEVISION

1.1. Inicios de la Televisión

La historia del desarrollo de la televisión ha sido en esencia la historia de la búsqueda de un dispositivo adecuado para explorar imágenes. El primero fue el llamado disco Nipkow, patentado por el inventor alemán Paul Gottlieb Nipkow en 1.884. Era un disco plano y circular que estaba perforado por una serie de pequeños agujeros dispuestos en forma de espiral partiendo desde el centro. Al hacer girar el disco delante del ojo, el agujero más alejado del centro exploraba una franja en la parte más alta de la imagen y así sucesivamente hasta explorar toda la imagen. Sin embargo, debido a su naturaleza mecánica, el disco Nipkow no funcionaba eficazmente con tamaños grandes y altas velocidades de giro para conseguir una mejor definición.

Los primeros dispositivos realmente satisfactorios para captar imágenes fueron: el iconoscopio, que fue inventado por el físico estadounidense de origen ruso Vladimir Kosma Zworykin en 1.923, y el tubo disector de imágenes, inventado por el ingeniero de radio estadounidense Philo Taylor Farnsworth poco tiempo después. En 1.926 el ingeniero escocés John Logie Baird inventó un sistema de televisión que incorporaba los rayos infrarrojos para captar imágenes en la oscuridad. Con la llegada de los tubos, los avances en la transmisión radiofónica y los circuitos electrónicos que se produjeron en los años posteriores a la I Guerra Mundial, los sistemas de televisión se convirtieron en una realidad.

Las primeras emisiones públicas de televisión las efectuó la BBC en Inglaterra en 1.927 y la CBS y NBC en Estados Unidos en 1.930. En ambos casos se utilizaron sistemas mecánicos y los programas no se emitían con un horario regular. Las emisiones con programación se iniciaron en Inglaterra en 1.936 y en Estados Unidos el día 30 de abril de 1.939, coincidiendo con la inauguración de la Exposición Universal de Nueva York. Las emisiones programadas se interrumpieron durante la II Guerra Mundial, reanudándose cuando esta terminó.

A partir de la década de 1.970, con la aparición de la televisión en color, los televisores experimentaron un crecimiento enorme en ventas lo que produjo que la audiencia televisiva se incrementara por millones.

En México, se habían realizado experimentos en televisión a partir de 1.934, pero la puesta en funcionamiento de la primera estación de TV, Canal 5 en la ciudad de México, tuvo lugar en 1.946.

Televisa, la empresa privada de televisión más importante de habla hispana, se fundó en 1.973 y se ha convertido en uno de los centros emisores y de negocios más grandes del mundo en el campo de la comunicación, ya que además de canales y programas de televisión desarrolla amplias actividades en radio, prensa y espectáculos deportivos.

1.2. Inicios de la Televisión en Ecuador

En 1959 la prestigiosa radioemisora de alcance mundial HCJB dio los primeros pasos en una inversión para habilitar el primer equipo reconstruido de televisión y con él realizó las primeras emisiones de prueba el 28 de julio en Quito. A los pocos días entre el 10 y 30 de Agosto, la nueva emisora hoy identificada como Teleamazonas,

difundió las imágenes de los diferentes actos del sesquicentenario de nuestra independencia.

De inmediato en Guayaquil la empresa Televisión Ecuatoriana, que había colaborado en las transmisiones efectuadas en Quito, logra el 29 de septiembre de 1.959 a las 20h30 en el Estudio de Radio Cenit realizar las primeras transmisiones experimentales de televisión en circuito cerrado y en Octubre transmiten la Feria de la Asociación Ganadera del Litoral. Una Asociación con la casa de la Cultura Núcleo del Guayas formalizó las transmisiones de este nuevo canal desde el céntrico local de la casa de la cultura, emisora hoy conocida como Telesistema.

HCJB comenzó en Quito como Canal 2 y La Televisión Ecuatoriana como canal 8 en Guayaquil convirtiéndose los dos en Canal 4 de las respectivas ciudades en 1.961.

El impulsador de la televisión en el Ecuador es el británico Presley Norton, él proclama la necesidad de crear redes para garantizar la supervivencia de la televisión abierta; fundó y promovió la creación de varios canales locales para hacer una verdadera red de Televisión Nacional.

1.3. Historia de los Canales de Televisión en el Ecuador

1.3.1. Ecuavisa

Ubicado en lo alto del Cerro del Carmen en Marzo de 1.967 se crea la Corporación Ecuatoriana de Televisión S.A o Canal 2 con la asociación de Xavier Alvarado Roca y empresarios norteamericanos, más tarde toma el nombre de ECUAVISA cuando expande su concepto televisivo a la sierra ecuatoriana.

Este canal de televisión fundado en la ciudad de Guayaquil tiene la filosofía de que lo verdaderamente importante es la imaginación del hombre, el sentido creador y el talento humano, además de ser una empresa competitiva, con una estructura estable e integrada en equipos de trabajo motivados y comprometidos con la visión y valores de la empresa que produzca y difunda programas de alta calidad para satisfacción de la teleaudiencia y anunciantes.

1.3.2. Telesistema

En el mes de mayo de 1.959, José Rosenbaum, ciudadano alemán radicado en el Ecuador junto a su esposa Linda

Zambrano trae los primeros equipos para emitir señal de televisión en Guayaquil.

El tesón de Rosenbaum y su gran equipo de trabajo encabezado por el Ing. Hanz Shepper traído de la firma Grundi de Alemania y muchos entusiastas colaboradores más, comenzaron a realizar demostraciones en lugares públicos. El 1 de junio de 1.960 se otorgó el permiso de frecuencia de operaciones con el nombre de "Primera Televisión Ecuatoriana Canal 4" con sede en la ciudad de Guayaquil.

El 12 de diciembre de 1.960 se inaugura oficialmente la televisión en Ecuador y para ello desde las 17h00 hasta las 22h00 se presentaron programas y comerciales en vivo además de programas enlatados.

1.3.3. Gamavision

A finales de los años 70, gracias a la iniciativa de Marcel Rivas nace una red nacional de televisión conocida como Televisión del Pacífico que actualmente es Gamavision con sede en la ciudad de Quito.

Se caracteriza por ser líder en los deportes con un estilo original que incursiona en la pantalla; es también la primera estación en conectar vía satélite la señal con las Islas Galápagos.

1.3.4. TC Televisión

En 1971 Ismael Pérez Castro inauguró en Guayaquil el Canal 10, hoy en día conocido como TC televisión, cuya principal característica es la de tener alcance nacional y contar con una unidad móvil de microondas de grandes proporciones adquirida en los famosos estudio cinematográficos MGM de los Estados Unidos

1.3.5. Teleamazonas

Teleamazonas que es como actualmente se identifica a primera emisora, fue adquirida por Antonio Granda a principios de los años 70 quien la relanza como el primer canal con transmisiones totalmente a color en Ecuador y se tiene entendido que de todo Latinoamérica; ya que fueron los primeros en la utilización de cámaras multicromáticas.

CAPITULO 2

2. TELEVISION DIGITAL

2.1. Definición y Conceptos.

La televisión es la captura, transmisión y presentación al ojo, de una sucesión de imágenes quietas (cuadros o frames) a una velocidad tal que el cerebro percibe una continuidad entre ellas, reproduciendo así la sensación de movimiento de la imagen capturada.

Entre cuadros (frames) la excitación de luz es cortada al ojo el que, haciendo uso de la persistencia visiva, no nota la desaparición. Para que el cerebro perciba una continuidad de movimiento debe verificarse que la frecuencia de muestreo sea suficientemente alta, de esta manera el movimiento se percibe continuo y no con saltos.

Posteriormente se comprobó que la frecuencia de muestreo debe ser aun más alta, para evitar el así llamado flicker o parpadeo. En

efecto, contrariamente a lo que podía esperarse, a medida que se lo excita con mayor luminosidad la persistencia del ojo disminuye, de manera que imágenes muy brillantes requieren rápida repetición para que no se desvanezcan provocando el flicker; esto se descubrió en los cines cuando por mejoras tecnológicas, se fue aumentando la potencia de los proyectores.

El tiempo de borrado no debe exceder al tiempo de persistencia visiva. La continuidad de movimiento se logra a una frecuencia mayor de 15 cuadros por segundo (frames/seg.), por lo tanto se adoptó inicialmente una frecuencia de 16 cuadros por segundo (frames/seg.). Posteriormente, con las películas de acción se vio que no era suficiente, por lo que se adoptaron 24 frames/seg., que es la norma mundial actual para cine.

Para televisión en Europa y Argentina, se adoptaron 25 frames/seg. en función de los 50 Hz de la línea de energía eléctrica, por motivos de sincronización.

Esto significa un aumento de velocidad del 4%, lo que hace que una película dure menos tiempo. Esta diferencia también influye en el tono del audio que es ligeramente más agudo.

En USA, por los mismos motivos de sincronización, se adoptaron 30 frames/seg.. En realidad se usan 29.97 Hz desde la aparición del color para efectos de mantener una exacta separación de portadoras de transmisión de 4.5 MHz.

Habíamos dicho que 24 frames/seg. no eran suficientes para resolver el problema del parpadeo, por ello se resolvió darle dos golpes de luz al ojo por cada frame a efectos de aumentar la persistencia visiva. Esto se logró colocando en el proyector, entre la pantalla y la película, un shutter u obturador rotativo de dos hojas.

El movimiento de este shutter está sincronizado con la película de manera que obtura la luz brevemente mientras esta se encuentra fija (recordemos que el principio de la cinematografía es el de presentar en rápida sucesión, imágenes fijas para que parezcan en movimiento). De esta manera el golpe de luz al ojo se realiza 48 veces por segundo, resolviendo el problema del flicker o parpadeo. El movimiento de la acción no varía porque la velocidad de la película sigue siendo la misma: 24 frames/seg..

2.2. Resolución en Televisión

En los sistemas de televisión existentes, 525/60 y 625/50, se ha tenido en cuenta dos aspectos:

- La acuidad visiva, que se mide como el ángulo producido por el detalle visible más pequeño de un objeto, el cual es de un minuto aproximadamente; y
- El espectro disponible para su transmisión, para diseñar los parámetros de funcionamiento.

Partiendo de la elección de una pantalla con una relación de aspecto = 4/3 y de una distancia de observación de 6 veces la altura de la pantalla, surgen los números de líneas aceptables para reproducir los mínimos detalles de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$Nv=1/(a \times n)$$

donde:

Nv = Número total de elementos a resolver (líneas) en la dirección vertical.

a = arco mínimo resoluble por el ojo: $1\text{min} = 0.000291$ radianes

n = D/H distancia a la pantalla sobre altura de la misma = 6

Esto da un valor de: 572 líneas.

Este valor da una base para los sistemas actualmente en uso: 525 líneas/60 campos y 625 líneas/50 campos.

Los estándares de televisión de alta definición, 1125 y 1250 líneas, requieren distancias de visión más cortas para ver los detalles más finos que existen en estos sistemas. Los estudios se hacen teniendo en cuenta una distancia de observación de 3 veces la altura de la pantalla en lugar de 6.

2.2.1. Resolución Vertical

La resolución vertical es la habilidad de definir líneas horizontales de la imagen.

La máxima resolución vertical que se puede obtener está dada por el producto entre el número de líneas activas de exploración y el factor de KELL. El número de líneas activas se obtiene de restarle al número de líneas del sistema el número de líneas utilizadas para el borrado. Esta resolución es independiente del ancho de banda del sistema.

El factor de KELL es un coeficiente de empeoramiento menor a uno que tiene en cuenta que, para que se alcance

la máxima resolución vertical, las líneas de la imagen deben coincidir con las líneas de barrido y estas deben estar físicamente contiguas unas de otras. Normalmente se aplica un factor de KELL de 0.7 al barrido entrelazado y de 0.9 al barrido progresivo, valores obtenidos estadística y subjetivamente.

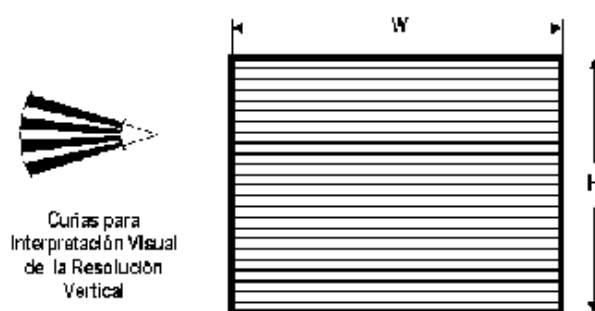


Figura # 2.1

Resolución Vertical

Res. Vert. (TVL/PH) = N° Líneas Activas x Factor de KELL

La resolución vertical está determinada por las 525 líneas menos las 42 líneas de borrado que da un valor de 483 líneas activas, multiplicadas por el factor de Kell de 0.7 da un total de 338 líneas de TV por altura de la imagen (TVL/PH). Dado que esta resolución es independiente del ancho de banda, es la resolución que se transmite al espectador.

Por lo tanto, para nuestro ejemplo, la resolución vertical del Sistema NTSC es de 338 TVL/PH

2.2.2. Resolución Horizontal

La resolución horizontal es la habilidad de definir líneas verticales en la imagen. La limitación de la resolución horizontal está dada por el número de píxeles del sensor de la cámara y del ancho de banda de todo el sistema de transmisión hasta el usuario.

Se considera que una línea (o punto) negra y la sucesiva línea (o punto) blanca son 2 líneas de resolución.

Por ello la resolución horizontal consiste en contar las líneas (o puntos) definibles durante el periodo de una línea activa de barrido horizontal, multiplicarla por la frecuencia máxima posible de ocurrencia de transiciones del sistema (ancho de banda) y multiplicar todo ello por 2, factor explicado en el párrafo anterior.

El resultado parcial es:

$$\text{Res. Hor. (TVL/PH)} = \text{Periodo línea act.} \times 2 \times \text{BW} \times \text{Factor de Corrección}$$

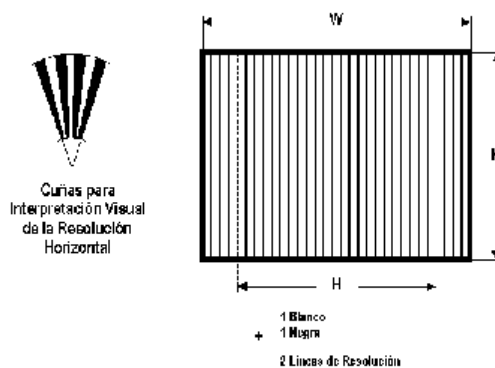


Figura # 2.2 Resolución Horizontal

Línea activa = $63.6 - 10.7 = 52.86 \mu\text{seg.}$ = (duración total menos duración del borrado horizontal).

Ancho de banda = 4.18 MHz

Resolución horizontal = $52.86 \times 2 \times 4.18 \times 3 / 4 = 331$

Por lo tanto la resolución horizontal del Sistema NTSC es 331 TVL/PH.

2.2.3. Relación Entre Ambas Resoluciones

Para relacionar correctamente las dos formas de resolución, se define como resolución horizontal al número de transiciones negras y blancas que cabe dentro de una distancia horizontal igual a la altura vertical de la imagen y está expresada en TVL/PH (TV Lines Per Height).

Por lo tanto la resolución horizontal se divide por la relación de aspecto para producir la resolución en TVL/PH.

2.3. Resolución en Televisión Digital

Cuando se digitaliza una señal analógica, la máxima frecuencia que se puede obtener, es decir el ancho de banda, depende de la frecuencia de muestreo y es igual a la mitad de la misma, según el teorema de Shannon-Nyquist.

Recordemos que la frecuencia de muestreo debe cumplir tres condiciones:

- a) Ser mayor que el doble de la máxima frecuencia a transmitir,
- b) Ser un número entero de veces la frecuencia de línea, y
- c) Ser común a los dos sistemas: 525/60 y 625/50.

La señal 525/60 compuesta se muestrea a 14.3 MHz (SMPTE 244M) y la señal 625/50 a 17.7 MHz. La señal de componentes se muestrea a 13.5 MHz (ITU-R BT.601), para ambos sistemas.

La señal digital por componentes es la más usada y su frecuencia de muestreo es común a los sistemas NTSC y PAL.

Al estándar ITU-601 se la denomina también 4:2:2. El número 4 significa que la frecuencia de muestreo es, aproximadamente, 4 veces la frecuencia de la subportadora de color y es igual a 13.5

MHz y el número 2 significa que la frecuencia de muestreo es aproximadamente el doble de la frecuencia de la subportadora de color, siendo esta 6,75 MHz.

Se dan a continuación algunos parámetros importantes que son necesarios recordar:

		Y	R	B
525 / 60	<i>Muestras por Línea</i>	858	429	429
	<i>Muestras Activas por Línea</i>	720	360	360
625 / 50	<i>Muestras por Línea</i>	864	432	432
	<i>Muestras Activas por Línea</i>	720	360	360

Tabla # 2.1 Número de muestras para los Sistemas NTSC y PAL

El valor de 720 pixeles activos, común para ambos sistemas, se obtiene de la necesidad de obtener la máxima resolución teórica por componentes de 535 TVL/PH y surge de multiplicar $535 \times 4/3 = 713$.

Los valores 864 y 858 son los números enteros que, multiplicados por la frecuencia de línea en cada sistema, da el valor de la frecuencia de muestreo común a ambos.

2.4. Televisión Digital Estándar SDTV

Para mostrar el cálculo de la resolución horizontal y vertical del formato SDTV tomaremos nuevamente como ejemplo el sistema NTSC.

2.4.1. Resolución Vertical

La resolución vertical digital tendrá el mismo valor que la resolución vertical analógica, dado que tienen igual cantidad de líneas de barrido. Es decir 338 TVL/PH para el NTSC.

2.4.2. Resolución Horizontal

La resolución horizontal máxima teórica de la señal digital compuesta es de 567 TVL/PH, que se obtiene de:

Línea activa = $63.6 - 10.7 = 52.86 \mu\text{seg.}$ (duración total menos duración del borrado horizontal).

Ancho de banda = $14.3/2 \text{ MHz}$ (la frecuencia máxima teórica es la mitad de la frecuencia de muestreo)

Resolución horizontal = $[52.86 \mu\text{seg.} \times 2 \times (14.3/2)]/4/3 = 567$
TVL/PH

La resolución horizontal máxima teórica de la señal digital en componentes es de 535 TVL/PH:

Línea activa = $63.6 - 10.7 = 52.86 \mu\text{seg.}$ = (duración total menos duración del borrado horizontal).

Ancho de banda = $13.5/2 \text{ MHz}$ (la frecuencia máxima teórica es la mitad de la frecuencia de muestreo)

Resolución horizontal = $[52.86 \mu\text{seg.} \times 2 \times (13.5/2)]/4/3 = 535\text{TVL/PH}$

Como conclusión, se observa que la resolución de la TV digital, utilizada también en la definición standard (SDTV), es superior a la de la televisión analógica en el origen de la señal.

2.5. Televisión Digital de Alta Definición HDTV

La premisa que se fijó para desarrollar la televisión de alta definición fue que tuviera una resolución aproximadamente el doble de la que tiene la televisión analógica tradicional. Además, entre otros, debe tener una relación de aspecto de 16/9 en lugar de 4/3 lo cual influye también en la resolución horizontal.

Para obtener el doble de resolución vertical debe, como mínimo, duplicarse el número de líneas activas y para obtener el doble de

resolución horizontal, debe duplicarse el número de muestras en el periodo activo.

Históricamente, ATSC primero eligió el formato 1080i (i = interlaced) que tiene 1125 líneas totales de las cuales son 1080 líneas activas y 1920 muestras o píxeles. Posteriormente, en virtud de la insistencia de la industria de la computación, se eligió también el formato 720p (p = progressive), que tiene 720 líneas activas con 1280 píxeles activos por línea.

La cifra de 1920 muestras parte de las 720 muestras activas de la recomendación ITU-601, las multiplica por 2 y le agrega el factor de corrección de cambio de relación de aspecto: $720 \times 2 \times 16/9 \times 4/3 = 1920$ píxeles activos por línea. Ambos formatos son reconocidos por la FCC como de alta definición ó HDTV.

2.5.1. Resolución Vertical

La resolución vertical se obtiene multiplicando el número de líneas activas por el factor de Kell.

- Para el formato 1080i la Resolución Vertical = $1080 \times 0.7 = 756$ TVL/PH; y

- Para el formato 720p la Resolución Vertical = $720 \times 0.9 = 648$ TVL/PH.

2.5.2. Resolución Horizontal

ANALÓGICA:

Formato 1080i

De acuerdo a la norma SMPTE 240M Y 274M, el formato 1125i (1125 líneas totales, 1080 activas) tiene los siguientes parámetros:

Línea activa = $29.63 - 3.77 = 25.86$ μ seg. = (duración total menos duración del borrado horizontal).

Ancho de banda = 30 MHz

Resolución horizontal = $[25.86 \mu\text{seg.} \times 2 \times 30] / 16/9 = 873$ TVL/PH

Formato 720P:

De acuerdo a la norma SMPTE 296M, el formato 720p tiene los siguientes parámetros:

Línea activa = $22.22 - 4.98 = 17.24$ μ seg. = (duración total menos duración del borrado horizontal).

Ancho de banda = 30 MHz

Resolución horizontal = $[17.24 \mu\text{seg.} \times 2 \times 30] / 16/9 = 582$ TVL/PH

DIGITAL:Formato 1125i:

Línea activa = $29.63 - 3.77 = 25.86 \mu\text{seg.}$ = (duración total menos duración del borrado horizontal).

Ancho de banda = $74.25/2$ MHz (la frecuencia máxima teórica es la mitad de la frecuencia de muestreo)

Resolución horizontal = $[25.86 \mu\text{seg.} \times 2 \times (74.25/2)]/16/9 = 1080\text{TVL/PH}$

Cabe resaltar que este valor coincide con el número de líneas activas.

Formato 720p:

Línea activa = $22.22 - 4.98 = 17.24 \mu\text{seg.}$ = (duración total menos duración del borrado horizontal).

Ancho de banda = $74.25/2$ MHz (la frecuencia máxima teórica es la mitad de la frecuencia de muestreo)

Resolución horizontal = $[17.24 \mu\text{seg.} \times 2 \times (74.25/2)]/16/9 = 720\text{TVL/PH}$

2.6. Tipo de Resoluciones

Con la televisión digital han aparecido nuevos términos relativos a la resolución, debido a recientes estudios del funcionamiento del

ojo, que son necesarios manejar para la mejor comprensión de la Televisión Digital.

2.6.1. Resolución espacial

La resolución espacial es la tradicional resolución que conocemos de la TV analógica, proveniente de la fotografía. En la televisión analógica debido a los tipos de barrido existen dos resoluciones: Resolución horizontal y Resolución vertical.

Estas definiciones se aplican también a la TV digital generada bajo la norma ITU - 601.

En TV digital, la resolución espacial esta dada por la siguiente formula:

$$\text{Res. Esp.} = \text{líneas activas} \times \text{pixeles activos por línea} \times \text{Factor de Kell}$$

Como ejemplo obtengamos la resolución espacial del formato HDTV:

- $1920 \times 1080(\text{entrelazado}) \times 0.7 = 1451520$ pixeles
- 1280×720 (progresivo) $\times 0.9 = 829440$ pixeles

2.6.2. Resolución Temporal

Un problema que se encontró cuando se comenzó a trabajar en TV Digital fue la necesidad de reducir la velocidad de repetición a la que se reproducen algunos aspectos espaciales de la imagen para conservar el ancho de banda que tenemos disponible. Estos aspectos son la posición en el tiempo y la forma de los objetos en movimiento. Para resolver estos problemas se toma ya como práctica normalizada que la señal de televisión es un proceso en tres dimensiones: Ancho, Alto y Tiempo.

El ancho y el alto dan origen a la resolución espacial, mientras que el tiempo a la resolución temporal.

Gracias a la propiedad de la persistencia de la visión, no se necesita un ancho de banda extremadamente grande para la reproducción de las imágenes en movimiento.

La resolución temporal es la capacidad de resolver imágenes en movimiento dando una sensación de movimiento continuo sin deformaciones.

Un sistema o formato tiene mayor resolución temporal cuando mayor es su frecuencia de exploración. Por ejemplo un formato con un escaneado de 30 frames por segundo tiene menos resolución que uno con 60 frames por segundo.

2.6.3. Resolución Estática

La nombran algunos autores para indicar la resolución espacial y temporal juntas, diferenciándola de la resolución dinámica. En realidad no es tan estática porque, incluyendo la resolución temporal, ya tiene un sentido de movimiento.

2.6.4. Resolución Activa

Se suele llamar resolución activa a la resolución obtenida por los pixeles activos de la pantalla, que es la que realmente importa dado que es donde se muestra la imagen.

2.6.5. Pixel Rate

El pixel rate es la que indica la resolución estática total: espacial y temporal. La unidad del Pixel Rate es el PEL y su valor se calcula de la siguiente manera:

$$\text{Pixel Rate} = \text{Líneas Activas} \times \text{Píxeles Activos Por Línea} \times \text{Frec. De Cuadro}$$

En esta formula la resolución espacial está dada por los números de pixeles por cuadro y la temporal por la frecuencia de cuadro.

Por ejemplo para los formatos de HDTV más usados actualmente los valores de PEL son:

- Para 1080i: Pixel Rate = $1080 \times 1920 \times 30 = 62.2$ Mpels
- Para 720p: Pixel Rate = $1280 \times 720 \times 60 = 55.3$ Mpels

De la comparación de estos dos formatos se desprende que, si bien la resolución espacial del 1080i es mejor que la del 720p, la resolución total estática (espacial y temporal) final, no es sensiblemente superior debido a que la resolución temporal del 720p es el doble del 1080i.

Para los formatos de televisión standard SDTV se calcula:

- Para el 480i: Pixel Rate = $720 \times 480 \times 30 = 10.37$ Mpels
(para el sistema 525/60).
- Para el 480p60: Pixel Rate= $720 \times 480 \times 60 = 20.74$ Mpels.

2.6.6. Bit Rate

El Bit Rate es igual a la tasa de bits que produce un segundo de una imagen de televisión después de haber sido muestreada. Esta es también conocida como resolución.

Bit Rate = Líneas Activas x Muestras Activas por Línea x Frecuencia de Cuadro x Bits de Cuantificación.

Ejemplo: Codificación 4:2:2 Con Muestreo de 10 Bits

- ITU-601.

$$Y = 720 \times 480 \times 30 \times 10 = 103.680.000 \text{ bps}$$

$$Cr = 360 \times 480 \times 30 \times 10 = 51.840.000 \text{ bps}$$

$$Cb = 360 \times 480 \times 30 \times 10 = 51.840.000 \text{ bps}$$

$$\text{Total} = 207.360.000 \text{ bps} = 207 \text{ Mbps}$$

- 480p/30.

$$Y = 720 \times 480 \times 30 \times 10 = 103.680.000 \text{ bps}$$

$$Cr = 360 \times 480 \times 30 \times 10 = 51.840.000 \text{ bps}$$

$$Cb = 360 \times 480 \times 30 \times 10 = 51.840.000 \text{ bps}$$

$$\text{Total} = 207.360.000 \text{ bps} = 207 \text{ Mbps}$$

- 480p/60 con resolución de 720 x 480.

$$Y = 720 \times 480 \times 60 \times 10 = 207.360.000 \text{ bps}$$

$$Cr = 360 \times 480 \times 60 \times 10 = 103.680.000 \text{ bps}$$

$$Cb = 360 \times 480 \times 60 \times 10 = 103.680.000 \text{ bps}$$

$$\text{Total} = 414.720.000 \text{ bps} = 415 \text{ Mbps}$$

- 720p

$$Y = 1280 \times 720 \times 60 \times 10 = 552.960.000 \text{ bps}$$

$$Cr = 640 \times 720 \times 60 \times 10 = 276.480.000 \text{ bps}$$

$$Cb = 640 \times 720 \times 60 \times 10 = 276.480.000 \text{ bps}$$

$$\text{Total} = 1.105.920.000 \text{ bps} = 1106 \text{ Mbps}$$

- 1080i

$$Y = 1920 \times 1080 \times 30 \times 10 = 622.080.000 \text{ bits/seg.}$$

$$Cr = 960 \times 1080 \times 30 \times 10 = 311.040.000 \text{ bps}$$

$$Cb = 960 \times 1080 \times 30 \times 10 = 311.040.000 \text{ bps}$$

$$\text{Total} = 1.244.160.000 \text{ bps} = 1244 \text{ Mbps}$$

Formato	Muestras Activas por Líneas	Líneas Activas por Cuadro	Muestras Totales por Línea	Líneas Totales por Cuadro	Frecuencia por Cuadro	Frecuencia de Barrido Horizontal (KHz)	Frecuencia de Muestreo (MHz)	Bit Rate 4:2:2 / 10 Bits		Bit Rate Activos		
								Activa	Total	4:2:2	4:2:0	4:2:0
										8 Bits	10 Bits	8 Bits
(ITU 601) 480 I 30	720	480	858	525	30	15.75	13.5	207	270	166	155	125
480 P 30	720	480	858	525	30	15.75	13.5	207	270	166	155	125
480 P 60	720	480	858	525	60	31.5	27	415	540	332	311	149
720 P 60	1280	720	1650	750	60	45	74.25	1106	1485	885	829	663
1080 P 24	1920	1080	2750	1125	24	33.75	74.25	955	1485	764	746	597
180 I 30	1920	1080	2200	1125	30	33.75	74.25	1244	1485	995	933	746
180 P 60	1920	1080	2200	1125	60	33.75	148.5	2488	2970	1990	1866	1492

Tabla # 2.2 Tabla comparativa de los Formatos de Televisión

2.7. Ancho de Banda

El ancho de banda, al igual que todo sistema de transmisión de datos, es la capacidad para transportar una cantidad de bits necesarios para una completa transmisión de información. En el caso de la televisión digital se incluyen no solo los datos activos sino

también los datos que se transmiten en los borrados horizontal y vertical.

Estas cifras son los anchos de banda que se deberían tener en cuenta en el cableado, manipulación, distribución, grabación, etc., dentro de la estación en el caso de no usarse ninguna compresión.

Ancho de Banda = Líneas Totales por Cuadro x Muestra totales por Línea x Frecuencia de Cuadro x Bits de Cuantificación x 2

Por ejemplo:

- 720 p 4:2:2,10 Bits: $750 \times 1650 \times 60 \times 2 \times 10 = 1485$ Mbps
- 1080i 4:2:2,10 Bits: $1125 \times 2200 \times 30 \times 2 \times 10 = 1485$ Mbps
- 480p60 4:2:2,10 Bits: $525 \times 858 \times 60 \times 2 \times 10 = 540$ Mbps
- 1080p24 4:2:2,10 Bits: $1125 \times 2750 \times 24 \times 2 \times 10 = 1485$ Mbps

2.8. Compresión de Vídeo Digital

En 1.998 se creó un grupo de trabajo con el nombre de MPEG (Moving Pictures Experts Group). Su objetivo era crear una norma para la compresión de señales de vídeo y datos enfocada a su almacenamiento y recuperación en equipos digitales. El primer estándar MPEG-1 fue publicado en 1.993 por OSI. Sin embargo, ya había empezado a trabajar, en 1.990, en un nuevo estándar capaz de codificar señales entrelazadas de alta calidad. El resultado fue

publicado en 1.994 como la norma ISO/IEC 13818. MPEG-2 fue el sistema adoptado por DVB para la codificación de señales de audio y vídeo, además de servir como sistema de transporte.

El sistema MPEG-2 controla todo tipo de señales de televisión de Baja Definición (LDTV), Alta Definición (HDTV), Definición Estándar (SDTV) y Definición mejorada (EDTV). Además es capaz de negociar con cualquier formato de pantalla, desde la 4/3 a la 16/9.

2.8.1. Obtención de la señal Digital y Compresión

La imagen digital está dividida en un conjunto de píxeles, de esta manera MPEG-2 escribe en la cabecera de cada paquete la dirección del píxel al que va destinado y en su interior unos códigos que informan del brillo y color del píxel elegido. Cada píxel de la imagen se define por una expresión matemática que requiere de tres números, uno correspondiente a la señal de luminancia, **Y**, y otros dos a la de crominancia, **Cr** (diferencias respecto del color rojo) y **Cb** (diferencias respecto del azul).

Para la señal de **Luminancia Y**, necesitamos una frecuencia de muestreo de 13.5MHz. Para la señal **diferencia de color**

B-Y (Cb), necesitamos una frecuencia de muestreo de 6.75MHz y para la señal **diferencia de color R-Y (Cr)**, necesitamos una frecuencia de muestreo de 6.75MHz. Obteniéndose un total de 27.000 muestras por segundo.

Por facilidad, el muestreo se representa con tres números **n:p:q**; esto significa que por cada n muestras de luminancia se toman p muestras de Cr y q muestras de Cb. Por ejemplo, el muestreo 4:1:1, significa que se toma una muestra de cada señal de crominancia por cada cuatro de luminancia.

A partir de la señal muestreada, obtenemos la señal digital codificando con 10 bits cada muestra, la misma que puede ser enviada por una interfaz digital paralelo o serial.

El formato MPEG-2 dispone de códigos correctores y detectores de errores, que protegen la información.

Si transmitiésemos la señal digital tal cual, alcanzaríamos anchos de banda demasiado grandes por tanto lo que hacemos es una compresión. La compresión equivale a la reducción de datos a transmitir o grabar, es posible la

compresión porque las señales de audio y las de vídeo contienen redundancia. En el caso de la televisión digital, la redundancia puede ser espacial, temporal o estadística.:

- **Redundancia Espacial:** Un fotograma puede tener grandes áreas de un mismo color, áreas de cielo o de césped. Si la información se repite en los siguientes fotogramas, tal vez sea mejor no enviar toda la información y por lo tanto reducir la cantidad de bits. Así se describe el código del primer pixel y se puede decir que lo repita tantas veces durante la línea de la imagen. De esta manera solo se envía un pixel y un código con las veces que se desea repetir.
- **Redundancia Temporal:** No es necesario transmitir imágenes un total de 25 o 30 veces por segundo, solo las diferencias entre imágenes sucesivas son enviadas.
- **Redundancia Estadística:** Las señales de televisión, contienen gran cantidad de información repetida, incluyendo líneas y fotogramas, así como señales de sincronismo. La probabilidad estadística, de los datos de la próxima muestra nos puede hacer reducir la información enviada.

2.8.2. La Compresión MPEG-2

Es el estándar utilizado para la compresión de televisión, en todas sus vías de transmisión. La compresión en MPEG-2 utiliza una serie de técnicas y complicados algoritmos que procesan gran cantidad de datos, las cinco técnicas que utiliza para la compresión son las siguientes:

1. Algoritmo de compresión basada en la DCT (Discrete Cosine Transform).
2. Segmentación de Imágenes, imágenes divididas en diversos bloques de muestras.
3. Estimación del movimiento y compensación.
4. Interpola y predice temporalmente utilizando:

I Frames (fotogramas): Para decodificación intraframe

P Frames: Una reconstrucción previa del fotograma para la predicción temporal.

B Frames: Para Bidireccionalidad en la predicción interpolada usando las anteriores o próximas secuencias.

5. Almacenamiento de datos en memoria.

2.8.2.1. La Compresión Interframe

Basada en la redundancia temporal, esta compresión permite enviar solo la información que ha cambiado entre

una escena y la siguiente. En la siguiente figura puede verse dos movimientos consecutivos, que para ser transmitidos utilizamos una gran cantidad de elementos de redundancia. El cambio entre las dos escenas es relativo ya que si nos fijamos, se mueven los ojos y la boca, pero que pasa con el pelo, las mejillas, cara, etc. Esta información no ha cambiado por lo que se la considera redundante.

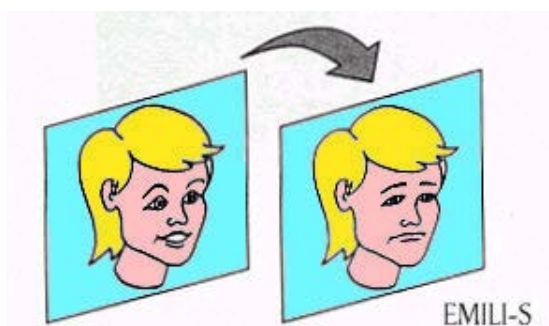


Figura # 2.3 Información Redundante

La esencia de esta comprensión, es mirar elemento por elemento individualmente entre escenas. Para ello utiliza la DCT, que divide en bloques (matrices de 8x8 pixeles) los elementos de la imagen. Un bloque que esta compuesto por un grupo de 8x8 contiene valores que representan información de la crominancia y luminancia de parte de la imagen.

Los bloques de información son agrupados dentro de macrobloques consistentes en cuatro bloques de información de luminancia, por lo tanto cada macrobloque está formado por 16 pixeles x16 líneas con valores de luminancia y un número de bloques de 8 pixeles x 8 líneas de crominancia, que representan cada una de las diferencias de color (Cb) o (Cr).

Para el formato de crominancia 4:2:0 son usados dos bloques de crominancia, uno para (Cb) y otro para (Cr). Para el formato de crominancia 4:2:2, son usados cuatro bloques de crominancia, dos para (Cb) y dos para (Cr).

Varios de los macrobloques son agrupados en secuencias conocidas como Slices (divisiones). Estos slices combinados crean un fotograma y son usados para posibles detecciones de errores.

2.8.2.2. Diferentes Tipos de Frames (Fotogramas)

El sistema MPEG utiliza tres tipos de memorias para fotogramas, que son guardados para posibilitar una

predicción temporal de perdidas o fotogramas incompletos que recibe el receptor.:

- **I Frames:** Usa decodificación intraframe para el cálculo de los detalles contenidos en un único e individual fotograma comprimido antes de la transmisión, no está por lo tanto por las demás adyacentes escenas. No depende de otros fotogramas y es el punto donde comienzan los decodificadores a trabajar con un grupo de escenas que contienen una secuencia.
- **P Frames:** Usa una sencilla reconstrucción previa de los fotogramas basada en cálculos de predicción temporal, por lo que se necesitan una memoria donde almacenar más de una escena. La P frame utiliza el fotograma previo más próximo (I o P) el cual es base para sus predicciones y es llamada Forward Prediction (Predicción Adelantada). El fotograma P servirá como referencia para los futuros fotogramas P o B, pero si existieran errores en un particular fotograma P, iría a buscar futuros fotogramas derivados del él.

- **B Frames:** Usan Interpolación bidireccional de predicción del movimiento para permitir al decodificador reconstruir un fotograma que está alojado entre dos fotogramas reconstruidos. Los fotogramas B utilizan los fotogramas pasados y futuros para hacer predicciones, para ello necesitan más de dos fotogramas en memoria.

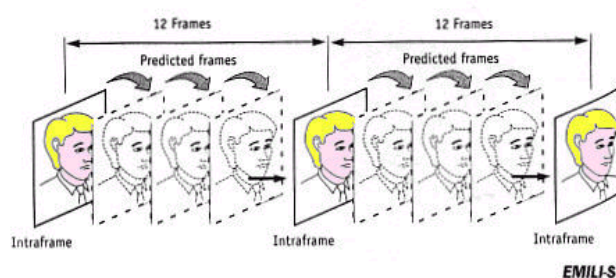


Figura # 2.4 Estructura del Sistema MPEG

2.8.2.3. Compensación del Movimiento

Cuando secuencias contienen movimiento, grandes cantidades de datos de compresión pueden ser archivados para un nuevo proceso conocido como Motion Compensation (Compensación del movimiento). Utiliza el hecho de que los 25 fotogramas que aparecen durante 1 segundo, pueden dar la posibilidad de identificar la velocidad y dirección en la cual una parte de la imagen se está moviendo en un fotograma, además de

donde acabará 25 fotogramas después es decir un segundo más tarde. Los Macrobloques son utilizados como las partes apropiadas de este tipo de codificación.

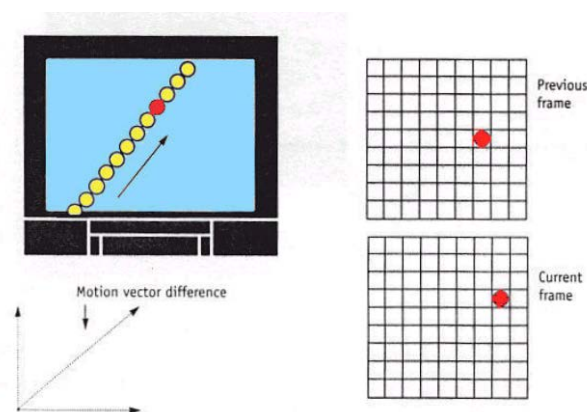


Figura # 2.5 Macrobloques

El movimiento de la figura muestra la técnica de compensación del movimiento, mientras que en el diagrama se muestra los movimientos de los macrobloques.

Aplicando la compensación del movimiento a los fotogramas P se generan dos partes de la información:

La primera son los I e B Frames, la diferencia entre los valores contenidos en los bloques crean los macrobloques con los campos previstos y los actuales.

Unos cuantos bits solo serán necesarios para describir la diferencia.

La segunda son los vectores de dos dimensiones, los mismos que representan las posiciones entre los macrobloques en la referencia de fotograma y próximo fotograma. Si por ejemplo se calculara que el macrobloque x se está moviendo en la dirección y con una velocidad z, el decodificador calcularía las posiciones correctas de cada uno de los macrobloques en los siguientes fotogramas.

El flujo de datos MPEG consiste en una continua serie de fotogramas codificados en varios números de escenas predecidas y referencias de intraframes.

Algunos de los fotogramas predecidos, pueden ser codificados muy eficientemente mediante mucha compresión más que los intraframes, por lo que sería más deseable transmitir fotogramas de este tipo.

Algunos de los fotogramas transmitidos en el flujo de datos son críticamente dependientes de los predecesores y sucesores, por lo tanto no se los puede saltar aleatoriamente y comenzar la decodificación.

2.8.2.4. La redundancia Espacial para Reducir la Transmisión de bits.

Una imagen puede contener una gran cantidad de redundancia espacial, información innecesaria, la cual puede ser borrada antes de la transmisión. En una imagen donde vemos el cielo, se puede tomar un pequeño bloque de 8x8 donde se encuentran muestras idénticas de luminancia y crominancia.

Un complejo proceso matemático DCT, convierte los valores de los pixeles del bloque de datos desde el tiempo de dominio a la frecuencia de dominio. El proceso se aprovecha de la correlación que existe entre muestras del mismo bloque.

Estos resultados están situados en una matriz, donde los datos representan los coeficientes de los componentes de la frecuencia, cada coeficiente representa la amplitud de un patrón específico dentro del bloque.

La real reducción de bits, comienza cuando cada componente de frecuencia es cuantificada y situado dentro de una progresión de valores enteros. Dependiendo de estos niveles, se tendrá un nivel de resolución.

El sistema visual humano no necesita los infinitos valores de brillo que nos ofrece una imagen analógica, solamente serían necesarios unos cuantos. No es necesario transmitir niveles de luminancia con un alto nivel de precisión y el rango de valores que necesitamos codificar para los coeficientes que han de salir de la DCT, pueden estar restringidos a un limitado número de pasos.

Después del proceso de cuantificación de amplia precisión de la DCT, algunos coeficientes se habrán perdido, pero no es demasiado importante, hay suficiente información para producir una buena calidad de la imagen. Si por ejemplo los resultados numéricos son

1.88, 3.92, 7.96 después de la cuantificación retomarán otros valores discretos como 2, 4 y 8.

La cuantificación no es lineal y es diferente dependiendo de cual es la posición de cada coeficiente en la matriz. El ojo y el cerebro humano son tolerantes a los errores de cuantificación, normalmente se cogen patrones de no mucha resolución debido al ruido en las altas frecuencias, por lo que los coeficientes pueden resultar un poco redondeados.

La información en las bajas frecuencias es llevada con mucho detalle y los valores en la parte superior izquierda de la matriz (representan la componente DC de la imagen) son enviados con un alto nivel de resolución. Desde las altas frecuencias el ruido es menos visible, un alto nivel de errores pueden ser tolerado por los coeficientes que representan las componentes en alta frecuencia.

Para dar la importancia que se merece a cada frecuencia, cada uno de los coeficientes son escalados un factor, antes de la cuantificación. Y así dar mayor

peso a unos u otros coeficientes. Luego estos coeficientes son dinámicamente variados encima de los datos que hay en el buffer en ese mismo instante.

Finalmente después de la cuantificación y el proceso de escalado, muchos de los coeficientes del bloque de 8x8 llegarán a valer 0, particularmente los relativos a las altas frecuencias. Se produce entonces una transformación de una matriz de dos dimensiones a una serie unidimensional, para ello se usa un proceso de escaseo llamado Zig-Zag.

Así la importancia de los coeficientes de la matriz depende de cuanto más situados a la izquierda y arriba de la matriz están. Las primeras partes del flujo de bits resultante serán muy importantes para la reconstrucción de la imagen. Algunos de los bits son cero, por lo que podrán ser codificados minimizando la cantidad de información.

2.8.2.5. La redundancia Estadística para reducir aun más la Transmisión de Bits

Los datos resultantes de la DCT, cuantificación, escalado y después del escaneo Zig-Zag pueden ser ampliamente reducidos aplicando la variable de longitud y técnicas de codificación de la longitud. Analizando imágenes de televisión se muestra que pequeños valores de los coeficientes y pequeñas series de ceros, ocurren más frecuentemente que grandes valores de los coeficientes y largas series de ceros.

Así, símbolos especiales son asignados para indicar la longitud de la serie o bien el número de ceros. Un ejemplo de código sería el siguiente (6,2), puede significar (0000002).

CAPITULO 3

3. TEORIA DE LA TRANSMISION VIA MICROONDAS

3.1. Introducción

En un sistema de televisión el tema de Broadcast o la radiodifusión de la señal mediante microondas es una de las partes fundamentales del sistema. Con el pasar de los años el sistema de transmisión de una señal vía microondas ha ido evolucionando hacia la tecnología digital obteniendo avances en la transmisión de vídeo digital.

Para realizar un enlace de microondas se debe tener presente varios parámetros que son muy importantes en el desarrollo del mismo.

3.2. Parámetros

Los parámetros más importantes que se deben consideración en el diseño de radioenlaces son: Pérdidas de espacio libre, Ganancia, Factor, Zonas de Fresnel

3.2.1. Perdida del espacio libre (L)

La pérdida de espacio libre de una onda electromagnética esta dada por la separación de la forma de onda que irradia la fuente, tal como sucede con la ondulación del agua en un lago. Esta perdida es independiente de los efectos de la superficie de la tierra o de la atmósfera y esta dado por la siguiente ecuación para antenas isotrópicas:

$$L(dB) = 32.5 + 20 \log F (MHz) + 20 \log D (Km)$$

Donde:

F= Frecuencia de operación

D= Distancia

Existen otros factores adicionales que pueden afectar a la perdida del espacio libre, entre ellos están:

- Multipath (Señales que se interfieren con la señal deseada por el reflejo del agua, montañas, edificios o discontinuidades atmosféricas)

- Rebote Atmosférico (Se da por cambios anormales de la temperatura o humedad del ambiente)
- Lluvia, Nieve o Granizo

Para evitar estos efectos, la señal debe ser diseñada para dar un nivel más elevado que el ideal en condiciones sin pérdidas de espacio libre. Este exceso de señal sobre el mínimo requerido de satisfacción se denomina *Margen de Falla*.

3.2.2. Ganancia (G)

Es muy importante tomar en consideración la ganancia de las antenas de microondas que se estén utilizando, la misma se mide en Dbi a través de la siguiente ecuación:

$$G(dBi) = 20 \log D (\text{pies}) + 20 \log F (\text{MHz}) - 25.6$$

Donde:

D= Distancia

F= Frecuencia de operación

3.2.3. La potencia de transmisión (Pr-Pt)

Es la potencia que se transmite entre dos antenas alineadas y se la puede obtener mediante la siguiente ecuación:

$$Pr-Pt (db) = G1 - 32.5 - 20\log F - 20\log D + G2$$

Donde:

G_1 = Ganancia de la Antena de transmisión

G_2 = Ganancia de la Antena de recepción

F = Frecuencia de operación

D = Distancia entre las Antenas

3.2.4. Factor K: Radio Equivalente De La Tierra

A pesar que la energía de las ondas electromagnéticas tiende a viajar en línea recta, normalmente se curva hacia abajo debido a la refracción atmosférica. La magnitud del radio de esta curvatura varía con las condiciones atmosféricas. El grado y la dirección de la curvatura se puede definir convenientemente por un factor de radio equivalente de la tierra (k). Este factor, multiplicado por el radio real de la tierra (R_0), es llamado radio ficticio de la curvatura de la tierra. La curvatura resultante es igual a la curvatura relativa del haz de microondas respecto a la curvatura de la tierra, o sea, equivalente a la curvatura real de la tierra menos la curvatura del haz.

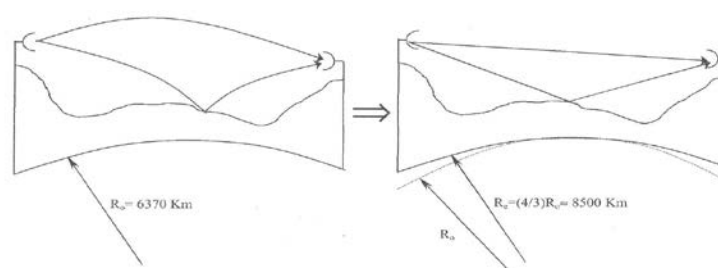


Figura # 3.1 Representación gráfico del radio equivalente de la tierra

Bajo condiciones normales el rebote es menor que la curvatura de la tierra pero sin embargo las microondas viajaran más lejos por la simple geometría. La forma conveniente de realizar esto es incrementando el radio de la tierra de tal manera que se consiga que las microondas viajen en línea recta.

El radio efectivo de la tierra se conoce como k y su valor es aproximadamente $4/3$ o 1.33 en casi todas las partes del mundo. El factor k puede tomar el valor de 0.45 hasta el infinito dependiendo de la curvatura.

3.2.5. Primera Zona de Fresnel (FZC)

Consideremos la situación mostrada en la figura 3-2, donde se han dibujado las torres que soportan las antenas de un radioenlace, además de un elipsoide.

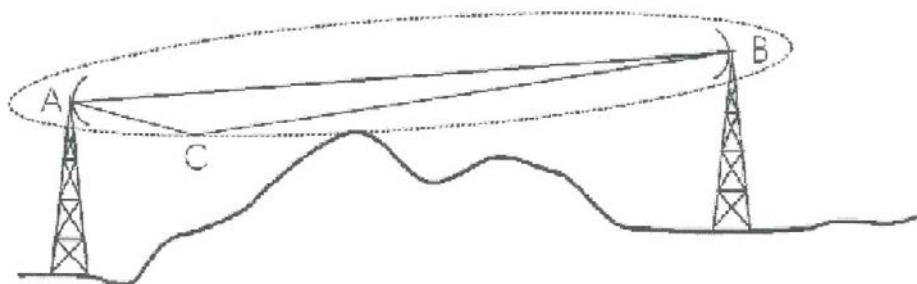


Figura # 3.2 Modelo de Radioenlace

Si hacemos un corte transversal a dicho elipsoide, podemos considerar el plano resultante como dividido por círculos concéntricos como en la figura 3.3. Los puntos del plano que están a igual distancia del receptor (punto R) llegan con la misma fase y contribuyen al campo de la misma forma. El plano se puede considerar como dividido en círculos concéntricos y el campo resultante en el receptor como la suma de las contribuciones de estos círculos con sus respectivas fases.

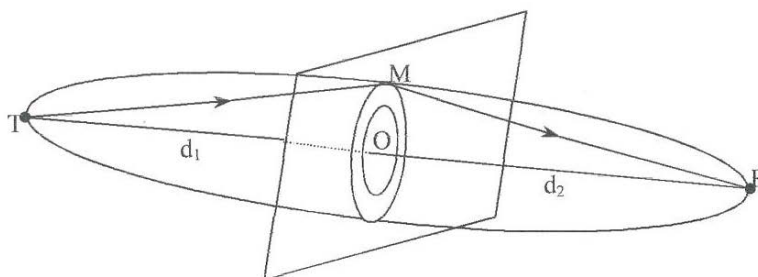


Figura # 3.3 Elipsoide de Fresnel

La referencia de fase es la trayectoria TOR, de modo que un rayo emitido en T que pasa por el punto M recorre una trayectoria TMR mayor que la del rayo directo en una cantidad ΔT , tal como se muestra:

$$\Delta T = TMR - TOR$$

Los puntos del plano que recorren la misma distancia ΔT contribuyen con la misma fase al campo en R. Si el plano se

desplaza ortogonalmente a la trayectoria TOR y se conserva el mismo valor de ΔT , el círculo que contiene a los puntos de igual fase generará un elipsoide de revolución con focos en T y R. Las diferencias de recorridos pueden asociarse al radio de los círculos; si expresamos esta diferencia como:

$$\Delta T = n\lambda / 2$$

tenemos que los valores enteros de n definen una familia de elipsoides homofocales conocidos como Elipsoides de Fresnel y las zonas circulares en el plano ortogonal TOR conocidas como Zonas de Fresnel.

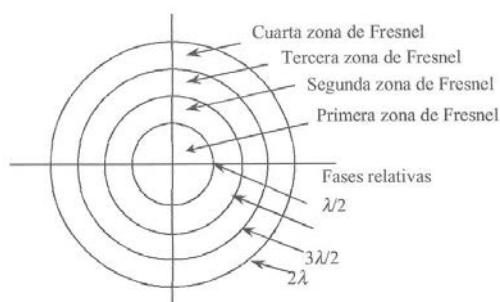


Figura # 3.4 Sección transversal del frente de ondas

Las ondas que llegan al receptor con diferente fase respecto a TOR aumentan o disminuyen la intensidad de la señal dependiendo de la zona de Fresnel a la que pertenecen; el campo total recibido está dado por la contribución de cada una de las zonas de Fresnel, es decir:

$$E_R = E_1 - E_2 + E_3 - E_4 + \dots = \sum (-1)^{i-1} E_i$$

Como el campo debido a las diferentes zonas disminuye monótonamente, el campo resultante es igual a la mitad del de la primera zona de Fresnel. Por lo tanto, si en el enlace existe una obstrucción entre el transmisor y el receptor, es mejor graduar la altura de las antenas hasta dejar pasar solamente la primera zona de Fresnel. Esto permite definir la condición de propagación con visibilidad, la cual establece que es suficiente con dejar libre el 55% (generalmente el 60%) del radio de la primera zona de Fresnel para que el nivel de la señal en el receptor sea igual al que se recibiría en el espacio libre.

3.2.6. Deducción del radio de las zonas de Fresnel

De acuerdo a la figura 3-3 tenemos que:

$$TM^2 = d_1^2 + r_n^2 = d_1^2 \left[1 + \left(\frac{r_n}{d_1} \right)^2 \right] \text{ y } MR^2 = d_2^2 + r_n^2 = d_2^2 \left[1 + \left(\frac{r_n}{d_2} \right)^2 \right]$$

Además:

$$TM + MR = \frac{n_\lambda}{2} + d$$

Para la enésima zona:

$$\Rightarrow d_1 \left[1 + \left(\frac{r_n}{d_1} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} + d_2 \left[1 + \left(\frac{r_n}{d_2} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} = \frac{n\lambda}{2} + d$$

Pero como $r_n \ll d_1, d_2$ y sustituyendo f en MHz y d, d_1, d_2 en km,

$$r_n = 547.72 \sqrt{\frac{nd_1 d_2}{fd}}$$

3.2.7. El Despeje

El despeje es la distancia entre la línea de vista y el perfil del terreno a lo largo de un vano que permita la recepción el 60% de la primera zona de Fresnel.

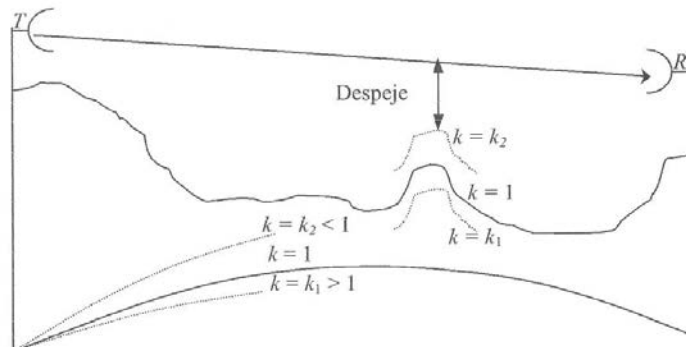


Figura # 3.5 Ilustración del concepto de despeje y de su variación con respecto a k

Sin embargo para garantizar que tengamos libre este porcentaje de la primera zona de Fresnel es necesario tomar en cuenta las variaciones atmosféricas y el factor de corrección de radio de la tierra.

Para vanos sobre la tierra se usa la expresión:

$$C(\text{metros}) = 19 \sqrt{\frac{\lambda d_1 d_2}{d} + \frac{d_1 d_2}{39}}$$

y el despeje para vanos sobre el agua debe ser

$$C(\text{metros}) = 19 \sqrt{\frac{\lambda d_1 d_2}{d} + \frac{d_1 d_2}{21}}$$

con d_1 , d_2 , d en kilómetros y λ en metros.

3.2.8. Reflexiones del Terreno

Las reflexiones en el terreno pueden causar efectos muy importantes sobre la señal recibida. El caso más simple de reflexión es el de reflexión sobre tierra plana. La señal en el receptor R consiste en la combinación del rayo directo ER y el reflejado MR.

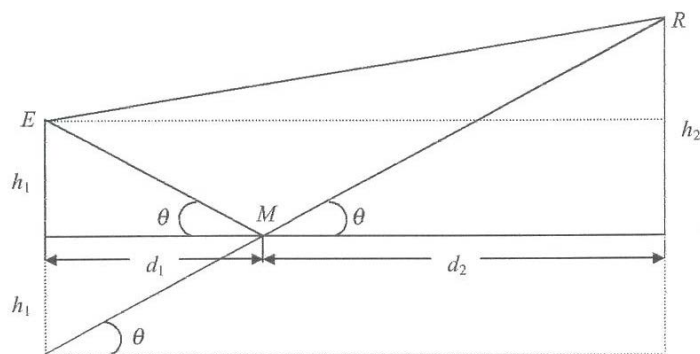


Figura # 3.6 Reflexión sobre superficie plana

La diferencia de camino queda expresada por:

$$\Delta l = \overline{EMR} - \overline{ER} = \frac{(h_2 + h_1)^2}{2d} - \frac{(h_2 - h_1)^2}{2d} = \frac{2h_1h_2}{d}$$

3.2.9. Cálculo de la ubicación del punto de reflexión

La deducción de una ecuación para el cálculo del punto de reflexión es un procedimiento largo que conduce a una ecuación entrelazada de tercer orden. Para el diseño de radio enlaces, expondremos un método práctico para el cálculo de la ubicación del punto de reflexión. La figura 3-6 representa un enlace en el cual se recibe una onda reflejada en tierra, observando esta figura definamos los siguientes parámetros:

$$q = |h_1 - h_2| / (h_1 + h_2)$$

$$Q = 25.6 \text{ k} \times (h_1 + h_2) / d^2$$

Donde:

h_1 es la altura de la antena 1 respecto al punto de reflexión

h_2 es la altura de la antena 2 respecto al punto de reflexión

k es el factor de corrección del radio de la tierra

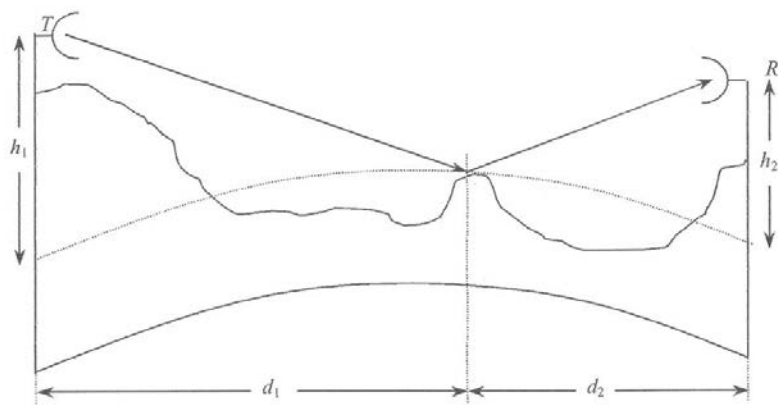


Figura # 3.7 Determinación del punto de reflexión

Con estos dos parámetros se busca en la figura los valores de A_1 y A_2 , obteniéndose d_1 y d_2 mediante las siguientes relaciones:

$$d_1 = A_1 \times d / 2$$

$$d_2 = A_2 \times d / 2$$

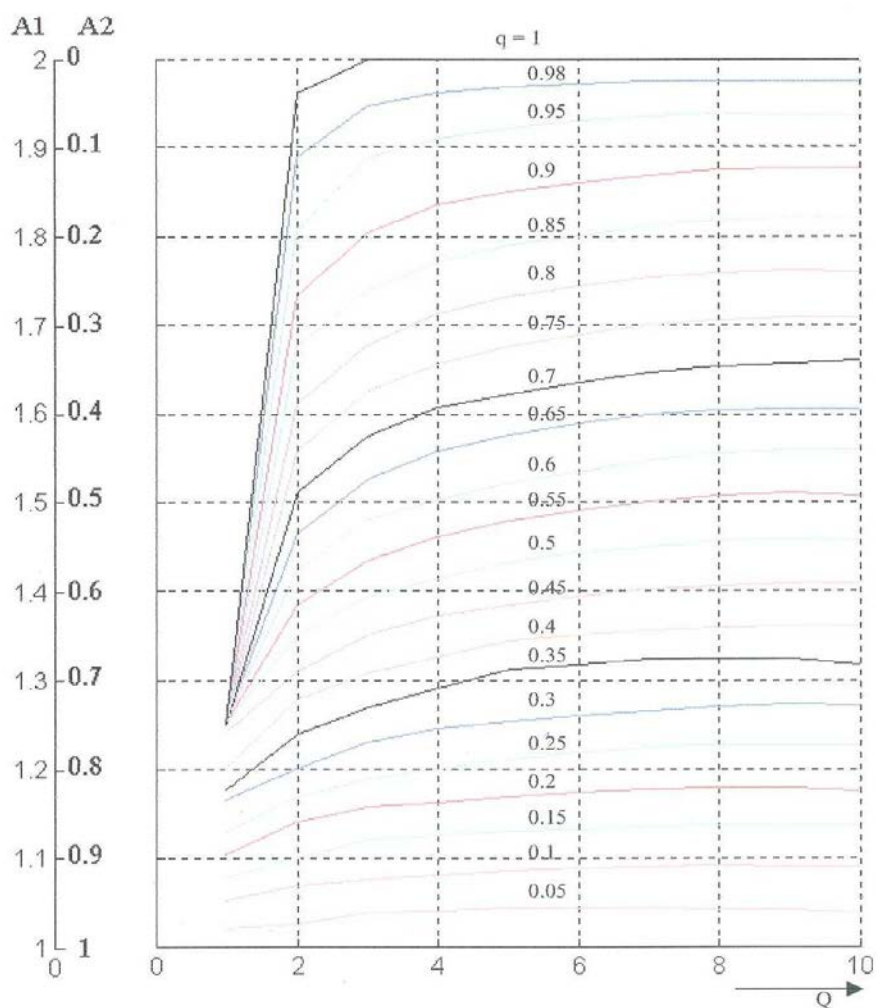


Gráfico # 3.1 Relación entre la distancia y la altura de las antenas

Nótese que para calcular q y Q , necesitamos saber cuales son las alturas de las antenas relativas al punto de reflexión, por lo que necesitamos conocer la ubicación de este, que es lo que queremos conseguir. Por lo tanto este problema debe

solucionarse en forma iterativa, concluyendo el cálculo cuando la diferencia sea menos a un determinado valor.

3.2.10. Energía de Bit por densidad de ruido (E_b/N_0)

Además de examinar los parámetros de modulación entre las señales, se debe examinar la utilización de equipos para resolver la interferencia del ruido térmico, factor externo que se puede añadir a una señal digital durante la modulación de la misma y se lo puede medir mediante la relación de energía de bit por densidad de ruido (E_b/N_0), donde E_b es la energía de bit y N_0 es la densidad espectral del ruido.

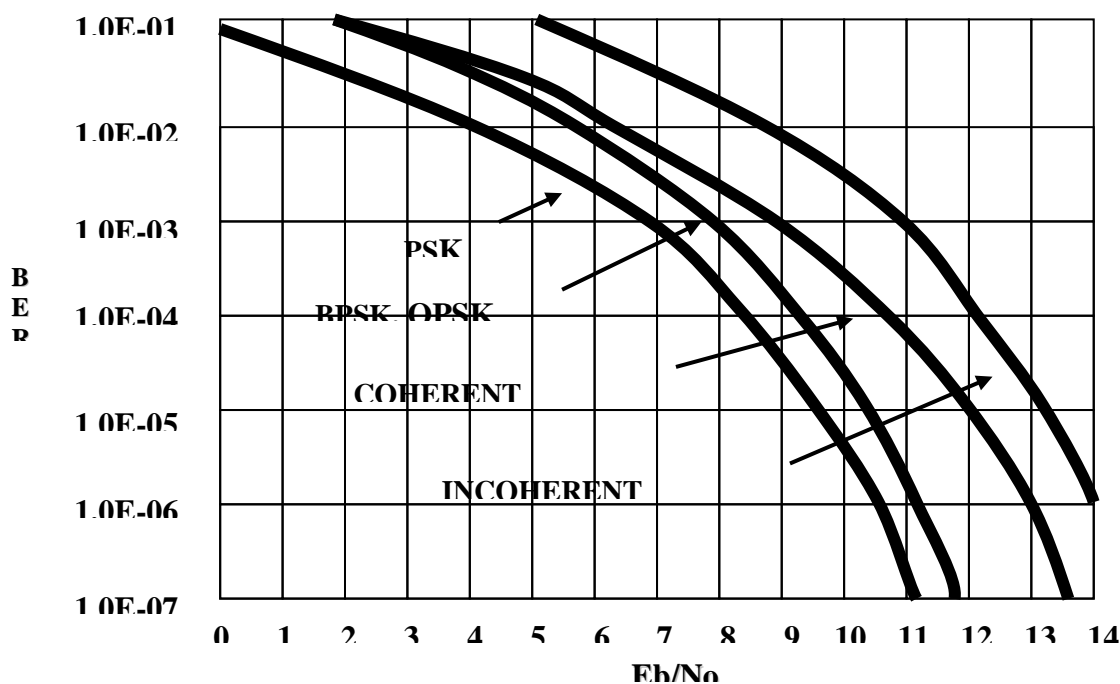


Gráfico # 3.2 Relación E_b/N_0 vs. B.E.R.

3.3. Tipo de Modulación

El último factor importante en un enlace de microondas son los equipos de radio. Existen dos técnicas de transmisión de radio utilizada actualmente. Para sistemas analógicos se utiliza Frecuencia Modulada (FM) y para sistemas digitales se usa Modulación en Fase (PSK) y la Modulación de Amplitud en Cuadratura (QAM) típico de 16-QAM hasta 512-QAM.

Durante los últimos 50 años la transmisión de vídeo y de audio se ha realizado mediante frecuencia modulada a través de microondas, siendo esto una señal totalmente análoga. Ahora que los equipos utilizados en los estudios han cambiado a tecnología digital, los estándares de vídeo y audio para la televisión digital están firmemente establecidos, por lo tanto se requiere un nuevo diseño de transmisión para la televisión digital.

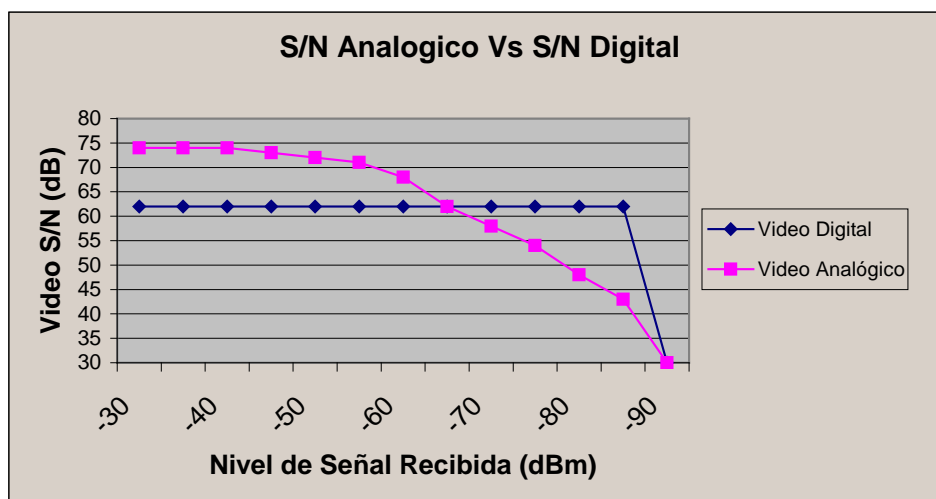


Gráfico # 3.3 Relación señal a ruido (S/N) Análogo vs. Digital

En un sistema digital la amplitud, frecuencia y fase, propiedades de un radioenlace, son cuantificadas por la modulación de la señal. La forma de onda de una señal de radio digital puede asumir entonces un arreglo discreto para niveles de amplitud, frecuencias o fase como resultado de la modulación de la señal, es así, como se obtiene las modulaciones FSK, PSK, BPSK y QPSK.

3.3.1. FSK (Frequency Shift Keying)

Consiste en el control del desplazamiento de frecuencia de la portadora sinusoidal de una frecuencia dada que corresponde a un valor binario igual a 1 hasta una frecuencia

que corresponde a un valor binario igual a 0, expresado de la siguiente forma:

$$f_{c1}(t) = a \cos w_1 t$$

$$f_{c0}(t) = a \cos w_2 t$$

donde:

a = Amplitud de una señal modulada, el binario 1 corresponde a la frecuencia f_1 y el binario 0 a la frecuencia f_2 . Una representación alternativa de la onda FSK consiste en:

$$f_1 = f_c - \Delta f \quad y \quad f_2 = f_c + \Delta f$$

Las dos frecuencias se diferencian en $2\Delta f$ Hertz, por lo que se puede decir que

$$f_{c(t)} = a \cos (W_c \pm \Delta w)t$$

donde $\Delta w = 2\pi\Delta f$, donde la frecuencia se deriva en $\pm\Delta f$ de f_c . Δf es comúnmente denominada frecuencia de desviación.

3.3.2. PSK (Phase Shift Keying)

Consiste en el control del desplazamiento de la fase de una portadora sinusoidal de 180 grados con señal binario unipolar. Se lo puede expresar de la siguiente manera:

$$f_{c(t)} = \pm \cos W_c t$$

3.3.3. BPSK (Binary Phase Shift Keying)

Control del desplazamiento binario de la fase consiste en que el 1 binario corresponde la polaridad positiva y el cero binario a la polaridad negativa en la banda base del canal binario de datos. Se utilizan valores de 0 y 180 grados para maximizar la distancia deseada.

3.3.4. QPSK (Quaternary Phase Shift Keying)

Consiste en el desplazamiento de cuatro estados de fase separados en 90 grados cada uno. Se lo puede expresar de la siguiente manera:

$$S_i(t) = a_i \cos W_c t + b_i \sin W_c t$$

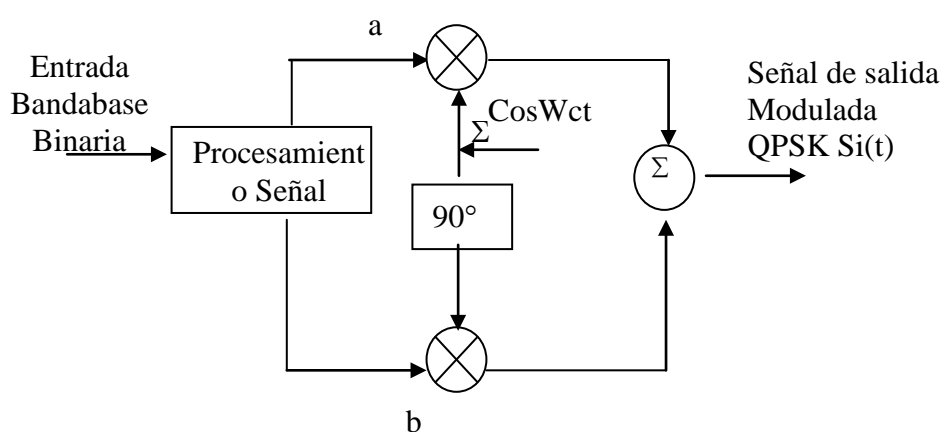


Figura # 3.8 Modulador QPSK

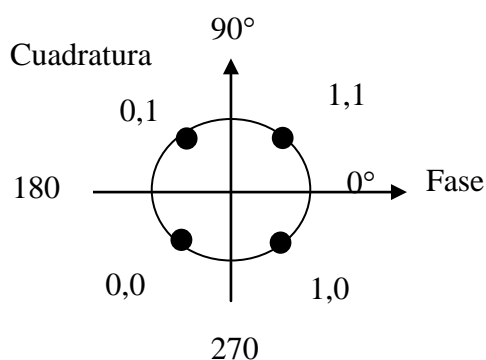


Figura # 3.9 Constelación QPSK

De este esquema le podemos dar múltiples valores a los parámetros a_i y b_i , de tal forma que nos da como resultado la señal QAM (Quadrature Amplitude Modulation) que puede ser interpretada como una modulación de amplitud multinivel aplicada independientemente en cada una de las portadoras de cuadratura. La salida de esta modulación se la puede expresar como:

$$S_1(t) = r_i \cos(W_c t + \theta_i)$$

Siendo r_i la amplitud y θ_i el ángulo de fase dado de la combinación de (a_i y b_i). Este tipo de modulación puede ser de 4, 16 y 64 niveles.

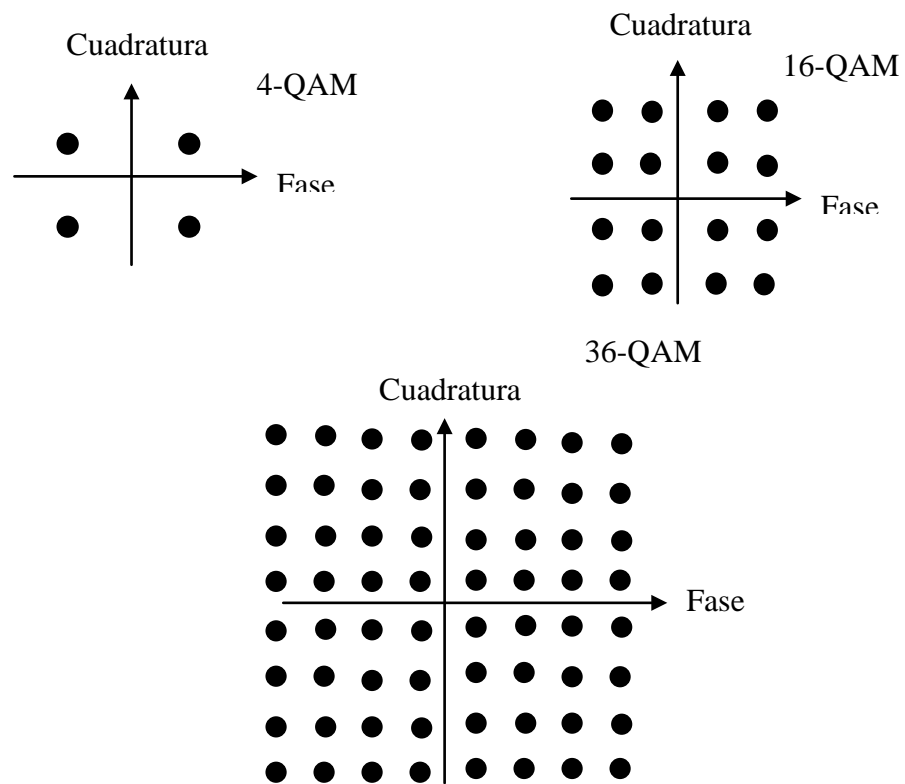


Figura # 3.10 Modulación QAM

3.4. Arquitectura de un Sistema de Microondas Digital

La arquitectura de un sistema de Microondas Digital es muy similar al sistema de Microondas análogo con ciertas variaciones en el tipo de modulación requerida para transmitir la información de vídeo digital.

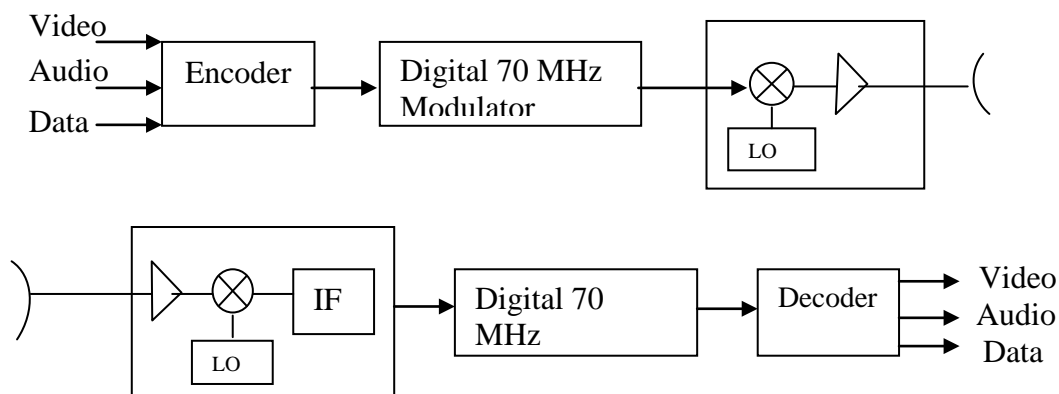


Figura # 3.11 Arquitectura de un Sistema de Microondas Digital

3.4.1. Modulador

El modulador digital convierte la señal banda base a 70 MHz de señal radio frecuencia. Las técnicas de modulación digital que se utiliza comercialmente son PSK, QPSK y QAM, que usan una combinación de fase y de amplitud para modular la señal de 70 MHz. Algunos fabricantes incorporan el decodificador, el multiplexor y el modulador de 70 MHz en un solo equipo, permitiendo así que las señales de entrada de vídeo y audio sean comprimidos, digitalizados y multiplexados para producir una secuencia de transporte digital. Consiguiendo un rango de datos de 1.5 a 34Megabits

por segundo (Mbps) que dependerán de la compresión y del FEC (Forward Error Correction).

La señal de 70 MHz de salida del modulador digital se convierte en una señal heterodina a una frecuencia de microondas RF y es amplificada internamente en un amplificador lineal, para luego ser enviada directamente a una antena.

3.4.2. Transmisor

La señal IF es generada por la modulación del sistema que la convierte a una frecuencia típica de 70 o 140 MHz, esta señal debe ser convertida finalmente a una frecuencia de portadora RF, esto se realiza mediante una operación de mezcla o multiplicación entre dos frecuencias. A esta señal se suma o resta, dependiendo del requerimiento, la frecuencia LO (Low Phase Noise) que es requerida cuando se implementa modulación. Este ruido cerca de una portadora puede degradar la señal y por ende el BER (Bit Error Rate), además que mientras más ruido se induce a una señal modulada IF la recuperación de la señal se hace más

difícil, por tanto mientras más compleja sea la modulación necesita que el ruido sea el menor posible.

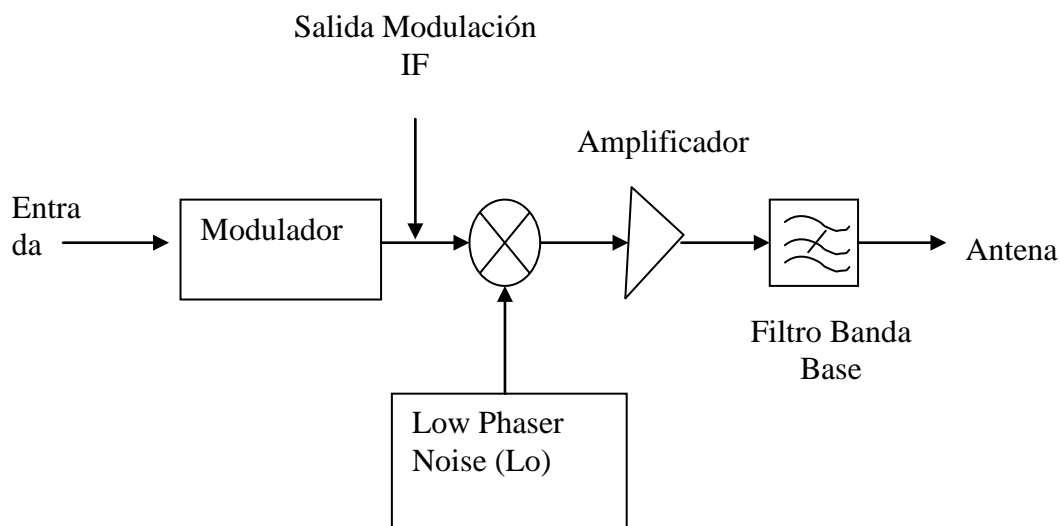


Figura # 3.12 Diagrama de Bloques de Transmisión de Microondas Digital

3.4.3. Receptor

El receptor en un radio enlace digital es el dispositivo que recibe la señal modulada y realiza el proceso inverso de la señal de Radio Frecuencia que recibe de la antena, la misma que la filtra, la amplifica y la convierte a una señal IF para distribuirla al demodulador para ser procesada de nuevo a banda base.

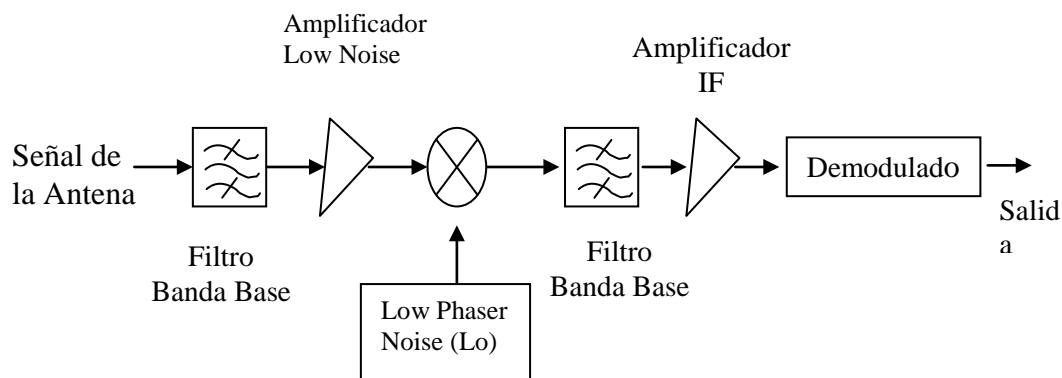


Figura # 3.13 Diagrama de Bloques de Recepción de Microondas Digital

El receptor es susceptible a las distorsiones externas que tienden a deteriorar el correcto funcionamiento del sistema. Debe ser capaz de resolver que punto de la transmisión tiene errores por presencia de distorsión en el transmisor y receptor, estos errores pueden ser debido a ruido Gaussiano, distorsiones de multitrayectos e interferencia del canal adyacente.

La distorsión en el transmisor y receptor pueden ser eliminados colocando osciladores de bajo ruido y amplificadores. Los canales adyacentes en muchos de los casos pueden ser evitados colocando filtros. Las distorsiones de multitrayecto, son causadas por el mismo canal de transmisión y se puede disminuir diseñando un enlace que evite las reflexiones de la tierra.

3.5. Consideraciones del sistema de Microondas

En un enlace de microondas, se debe considerar la medida del BER (Bits Error Rate) antes que la acumulación de la Relación Señal-Ruido (S/N). El BER es una relación entre los bits errados y el total de bits recibidos en un determinado intervalo de tiempo. En un sistema digital de radio el BER es de aproximadamente 10^{-6} (este criterio esta establecido en los equipos de codificación y decodificación del vídeo).

Para obtener la relación Señal a Ruido (C/N) en función del BER utilizamos la siguiente formula:

$$C/N = E_b/N_o \times F_b / BW$$

Donde:

F_b = Tasa de Transmisión

BW = Ancho de banda

Se debe tener en cuenta la potencia de ruido que esta dado por la siguiente ecuación.

$$N = k TBW$$

Donde:

k = Constante de Boltzmann (1.380650×10^{-23})

T = Temperatura en grados Kelvin

BW = Ancho de banda

3.5.1. Margen de Falla.-

En los sistemas análogos el margen de falla esta determinado por el ruido térmico mientras que en un sistema digital el margen de falla esta dado por el ambiente y consisten en cuatro factores.

1. *Margen de falla Térmico (TFM)*: Es la diferencia algebraica del radio enlace y el valor del BER de 10^{-6}

2. *Margen de falla Disperso (DFM)*: esta definido por el fabricante del equipo de radio, esta determinado por el tipo de modulación y la efectividad de la ecualización empleada en el receptor.

3. *Margen de Falla de Interferencia Externa (EIFM)*: Es la degradación del umbral de recepción dado por el sistema externo e independiente del ruido térmico.

4. *Margen de Falla de la Interferencia del canal adyacente (AIFM)*: es la degradación del umbral de recepción dado por la interferencia de los transmisores del canal adyacente. Este es un parámetro negligente excepto en casos en que existe diversidad de frecuencia y un sistema stand-by.

3.5.2. Margen de Desvanecimiento.-

Es la medida de cuanta atenuación de la señal del sistema pueda soportar sin caer de un nivel mínimo de BER, se interpreta como el valor diferencia entre la potencia nominal y la potencia del umbral de receptor.

La potencia nominal de recepción consiste en restar a la potencia de la transmisión las atenuaciones del circuito de microondas teniendo en cuenta las ganancias de las antenas y la atenuación del espacio libre.

$$P_{RX} = P_{TX1} - A_{fc1} - A_{g1} + G_1 - A_{12} + G_2 - A_{g2} - A_{fc2}$$

A_{fc} = Atenuación de filtros y circuladores

A_{g1} = Atenuación de guías de onda

G = Ganancia de las antenas

A_{12} = Atenuación del espacio libre en dB

La potencia mínima de una señal se la obtiene de la siguiente ecuación:

$$P_{TX\text{ mínima}} = C/N + N + L + FM - G_{Tx}$$

Donde:

C/N = Relación Señal a Ruido

N = Potencia de Ruido

L = Perdidas de espacio libre

FM = Margen de Desvanecimiento

GTx = Ganancia de Transmisión

El margen de desvanecimiento se expresa como:

$$FM = P_{RX} - U$$

Donde:

U = Umbral de Recepción del equipo

3.5.3. Umbral del Receptor

El umbral de Receptor es la mínima potencia con la que el receptor puede operar y debe estar siempre sobre el nivel de equilibrio para que no interfiera. Mientras menos es el umbral, el equipo a utilizarse es más sensible.

$$U_x (dBw) = 10 \log (V_{in}^2 (V) / Z_{in} (\Omega))$$

Donde:

V_{in} = Voltaje de entrada

Z_{in} = Impedancia de entrada

3.5.4. Confiabilidad del Sistema

Para saber la confiabilidad del sistema de radio enlaces utilizados en nuestro proyecto se debe calcular la No Disponibilidad (ND) de una trayectoria dado un desvanecimiento de multitrayectos.

$$ND = a \times b \times 2,5 \times 10^{-7} \times f \times D^3 \times 10^{-(FM/10)}$$

Donde:

A= Factor de clima

0.10 Clima seco

0.25 Clima Templado

0.5 Clima Caliente

b= Factor de terreno

0.25 Montañoso

1 Promedio

4 Planicie

f= Frecuencia en GHz

D= Longitud de la trayectoria en Km

FM= Margen de desvanecimiento en dB.

La disponibilidad (A) de un enlace se calcula :

$$A = (1 - ND) \times 100\%$$

3.5.5. Ancho de Banda

El Ancho de Banda es la cantidad de información que puede pasar por una línea de comunicación al mismo tiempo. Es uno de los factores más importantes que determina la velocidad de transmisión de un sistema de radio enlaces. El ancho de banda esta en función de la Modulación, el FEC y la Velocidad de transmisión con la que viaja la información.

$$\text{Ancho de Banda} = [(1 + \alpha) \sum Z_a] / (\text{FEC} * M)$$

Donde;

$\sum Z_a$ = La suma de todas las velocidades de transmisión de los decodificadores en Mbit/seg.

FEC= Forward Error Correction = VC * RS

VC= Codificación Viterbi (Típicos :1/2, 2/3, 5/6, 3./4, 7/8)

RS= Codificación Reed Salomon (Típicos: 188/204, 192/208)

M = Nivel de codificación del Modulador (2, 3, 4, 5, 6, 7, 8)

α = Factor Espectral

El parámetro α relaciona los pulsos con la forma del espectro, obteniéndose así solo tres diferentes formas de pulso.

El espectro debe estar entre $0.13 < \alpha < 0.50$

Extremadamente eficiente ($\alpha = 0.13$)

Espectro Típico ($\alpha = 0.2$)

CAPITULO 4

4. TEORIA DE LA TRANSMISION VIA FIBRA OPTICA

4.1. Historia de la Fibra Óptica

En 1.959 comenzaron los estudios en física enfocados a la óptica y es cuando se descubrió una nueva utilización de la luz, a la que se denominó rayo láser, que fue aplicado a las telecomunicaciones con el fin de que los mensajes se transmitieran a velocidades inusitadas y con amplia cobertura. Sin embargo esta utilización del láser era muy limitado debido a que no existían los conductores y canales adecuados para hacer viajar ondas electromagnéticas provocadas por la lluvia de fotones originados en la fuente del láser.

Fue entonces cuando los científicos y técnicos especializados en óptica dirigieron sus esfuerzos a la producción de un ducto o canal, conocido hoy como la fibra óptica.

En poco más de 10 años la fibra óptica se ha convertido en una de las tecnologías más avanzadas que se utilizan como medio de transmisión de información. Este novedoso material vino a revolucionar los procesos de las telecomunicaciones en todos los sentidos, desde lograr una mayor velocidad en la transmisión y disminuir casi en su totalidad los ruidos y las interferencias hasta multiplicar las formas de envío en comunicaciones y recepción por vía telefónica.

4.2. Concepto de la Fibra Optica

Las fibras ópticas son filamentos de vidrio de alta pureza extremadamente compactos, el grosor de una fibra es similar a la de un cabello humano. Fabricadas a alta temperatura con base en silicio, su proceso de elaboración es controlado por medio de computadoras, para permitir que el índice de refracción de su núcleo, que es la guía de la onda luminosa, sea uniforme y evite las desviaciones. Entre sus principales características se puede mencionar que son compactas, ligeras, con bajas pérdidas de

señal, amplia capacidad de transmisión y un alto grado de confiabilidad debido a que son inmunes a las interferencias electromagnéticas de radio-frecuencia.

Las fibras ópticas no conducen señales eléctricas por lo tanto son ideales para incorporarse en cables sin ningún componente conductivo y pueden usarse en condiciones peligrosas de alta tensión. Tienen la capacidad de tolerar altas diferencias de potencial sin ningún circuito adicional de protección y no hay problemas debido a los cortos circuitos. Tienen un gran ancho de banda, que puede ser utilizado para incrementar la capacidad de transmisión con el fin de reducir el costo por canal.

4.3. Concepto de Transmisión

En un sistema de transmisión por fibra óptica existe un transmisor que se encarga de transformar las ondas electromagnéticas en energía óptica, por ello se le considera el componente activo de este proceso. Una vez que es transmitida la señal luminosa por las minúsculas fibras, en el otro extremo del circuito se encuentra un tercer componente al que se le denomina detector óptico o receptor, cuya misión consiste en transformar la señal luminosa en energía electromagnética, similar a la señal original. El sistema

básico de transmisión se compone en este orden, de señal de entrada, amplificador, fuente de luz, corrector óptico, línea de fibra óptica (primer tramo), empalme, línea de fibra óptica (segundo tramo), corrector óptico, receptor, amplificador y señal de salida.

En resumen, se puede decir que en este proceso de comunicación, la fibra óptica funciona como medio de transportación de la señal luminosa, generado por el transmisor de LED'S (diodos emisores de luz) y láseres.

4.4. Componentes de una Fibra Optica

La fibra óptica esta compuesta de tres elementos: el núcleo, el revestimiento y el recubrimiento.

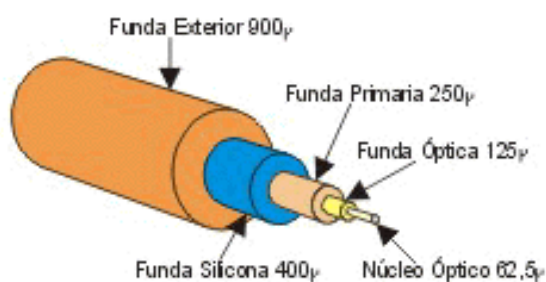


Figura # 4.1 Fibra Optica

4.4.1. Núcleo

El núcleo es un guía cilíndrica que lleva la luz de diámetros muy pequeños. Están formados frecuentemente por vidrio de sílice o cuarzo fundido. El índice de refracción del núcleo es de alrededor de 1,5.

4.4.2. Revestimiento

El revestimiento cubre al núcleo y confina la luz dentro del mismo. Esta formado frecuentemente por vidrio de sílice, pero con un índice de refracción ligeramente menor que en el núcleo, alrededor de 1,48.

4.4.3. Recubrimiento

El recubrimiento dota de protección al revestimiento. Esta formado de un plástico o una cubierta acrílica, es normalmente coloreada usando códigos de colores estándar del fabricante que facilitan la identificación de la fibra.

4.5. Parámetro a considerar en una Fibra Optica

Existen dos tipos de parámetros que se deben considerar cuando se trabaja con fibras ópticas, los parámetros estructurales y los parámetros de transmisión.

4.5.1. Parámetros Estructurales

Los parámetros estructurales se refieren a la composición de la fibra y como esta afecta a la transmisión.

4.5.1.1. El perfil de índice de refracción

Se define como la variación radial del índice de refracción del conductor de fibra óptica desde el eje del núcleo hacia la periferia del recubrimiento.

La propagación de los modos en el conductor de Fibra óptica depende de la forma de este perfil de refracción.

$$n^2(r) = n_1^2 [1 - 2A(r/a)^g] \text{ para } r < a \text{ en el núcleo}$$

$$n^2(r) = n_2^2 \text{ para } r \geq a \text{ en el recubrimiento}$$

n_1 = índice de refracción

n_2 = diferencia normalizada de índice de refracción

r = distancia en μm desde el eje del conductor de Fibra Óptica

a = radio del núcleo en μm

g = exponente del perfil

A = Area del conductor

4.5.1.2. El diámetro del núcleo

Las fibras ópticas que se usan en telecomunicaciones se fabrican en cinco grupos principales, atendiendo a los diámetros del núcleo y revestimiento.

<i>GRUPO</i>	<i>NUCLEO (μm)</i>	<i>REVESTIMIENTO (μm)</i>	<i>RECUBRIMIENTO</i>	<i>TUBO O PROTECCION</i>
I	8 a 10	125	250 o 500	900 o 2000
II	50	125	250 o 500	900 o 2000
III	62.5	125	250 o 500	900 o 2000
IV	85	125	250 o 500	900 o 2000
V	100	140	250 o 500	900 o 2000

Tabla # 4.1 Tipos de Fibra según su diámetro

Núcleo 8/125 μm : es una fibra monomodo, puede propagar la mayor tasa de datos y tiene la atenuación más baja. Se utiliza frecuentemente para aplicaciones de transmisión de datos a alta velocidad o para largas distancias. Los equipos ópticos a utilizarse son mas caros por la alta precisión y fuentes láser que se requieren, sin embargo el cable de fibra es más económico.

Núcleo 50/125 μm : es la primera fibra de telecomunicaciones en venderse en grandes cantidades

y es bastante común hoy en día. Su apertura numérica y el tamaño del núcleo hacen que la potencia de la fuente acoplada a la fibra sea la menor de todas las fibras multimodo. Sin embargo es la que tiene mayor ancho de banda potencial.

Núcleo 62,5/125 μm : es una fibra más popular para transmisiones multimodo y se está convirtiendo en estándar para muchas aplicaciones. La fibra tiene un ancho de banda potencial menor que la fibra 50/125, pero es menos susceptible a las pérdidas por microcurvaturas. Su mayor apertura numérica y su mayor diámetro del núcleo proporcionan un acoplamiento de luz ligeramente mayor que la fibra 50/125.

Núcleo 85/125 μm : es una fibra de tamaño europeo y no es popular en Norteamérica, tiene una buena capacidad para acoplar la luz, similar a la del núcleo de 100 μm y usa un revestimiento de diámetro estándar de 125 μm . Esto permite la utilización de conectores y empalmes estándar de 125 μm con esta fibra.

Núcleo 100/140 μ m: es la fibra mas fácil de conectar, es la menos sensible a tolerancias del conector y a la acumulación de suciedades en los conectores. Acopla la mayor cantidad de luz de la fuente pero tiene un ancho de banda potencial significativamente mas bajo que otras de tamaños de núcleo pequeños. Se puede encontrar de longitudes intermedias y con muchos conectores que tienen requerimientos de baja velocidad de datos. No es muy común y puede ser muy difícil de obtener.

<i>GRUPO</i>	<i>NÚCLEO (μm)</i>	<i>APERTURA NUMERICA</i>	<i>PERDIDAS</i>	<i>ANCHO DE BANDA</i>	<i>LONGITUD DE BANDA</i>
I	8 a 10	La más pequeña	Las más bajas	El mayor	1.310 o 1550
II	50	Más pequeña	Más bajas	Más grande	850 o 1.310
III	62.5	Media	Baja	Medio	850 o 1.310
IV	85	Grande	Altas	Más pequeño	850 o 1.310
V	100	La más grande	Más Altas	El más pequeño	850 o 1.310

Tabla # 4.2 Características de los grupos de Fibra ópticas

4.5.1.3. La apertura numérica

La apertura numérica (AN) de la fibra esta relacionada matemáticamente con el máximo ángulo de acoplamiento.

$$A = AN / 2n_1^2$$

$$A = (n_1^2 - n_2^2) / 2n_1^2$$

Los ángulos máximos de acoplamiento típico para una fibra multimodo varían desde 10 a 30 grados, obteniendo así valores típicos de apertura numérica desde 0,2 a 0,5. Normalmente se debe especificar el valor de AN para una fibra óptica.

4.5.2. Parámetro de transmisión

Los parámetros de transmisión se refieren a todos los parámetros que se deben considerar en la transmisión de la luz en la fibra.

4.5.2.1. Atenuación

La atenuación que presenta la fibra es independiente de la velocidad de transmisión lo cual no ocurre en cables convencionales, ya que en ellos es tanto mayor la atenuación cuanto mayor es el régimen binario o velocidad de transmisión (Mbps). La fibra óptica es totalmente adecuada en virtud de estas características para transmitir las más altas jerarquías digitales. Sin

embargo, presenta cierta atenuación, función de sus características físicas, que además, es variable con la longitud de onda de la señal que atraviesa.

Para medir la atenuación de un conductor de Fibra Optica en estado estacionario, se verifica que la potencia luminosa **P_o** decrece en forma exponencial con la longitud del conductor.

$$P_{(1)} = P_o \times 10^{-1\alpha}$$

P₍₁₎ = Potencia luminosa en el conductor acabo de la longitud de 1 Km.

P_o = Potencia luminosa que se acopla al comienzo del conductor de Fibra Optica

α = Es el coeficiente de atenuación por unidad de longitud (db x Km)

La atenuación es causada principalmente por fenómenos físicos como la Perdida por Absorción y las Perdidas por Fuga.

- **Las pérdidas por Absorción:** están relacionadas con las impurezas intrínsecas del material.

- **Las pérdidas por Fugas:** esta relacionado con las pérdidas sufridas por la radiación en todas direcciones a través de la Fibra. Estas fugas son causadas por fluctuaciones intrínsecas del índice de refracción y de las variaciones en la densidad y composición de la fibra.

La atenuación neta de una fibra de vidrio de sílice tiene tres ventanas de operación a 850,1.310 y 1.550nm

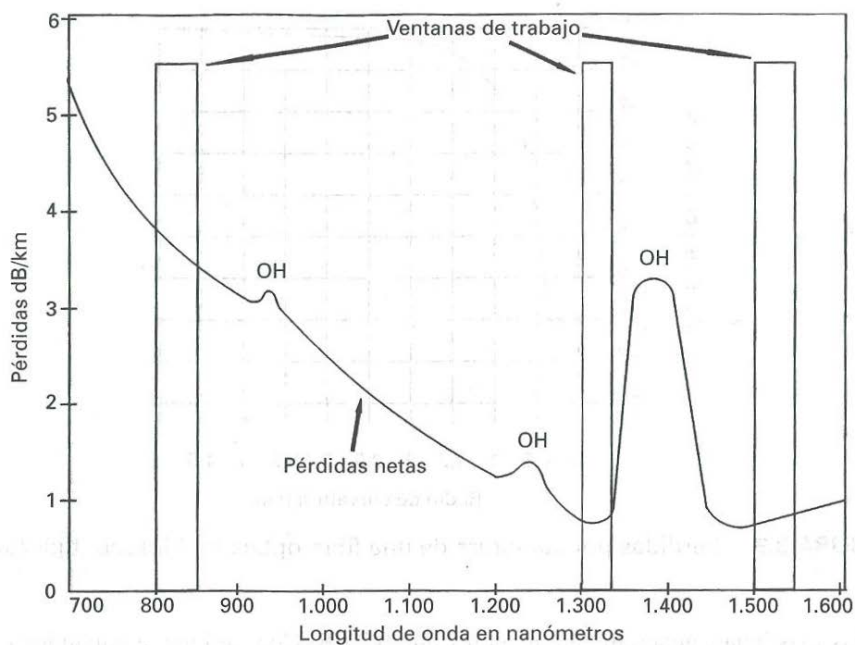


Figura # 4.2 Longitud de Onda de las Fibras Ópticas

Para transmisiones a larga distancia se utilizan las ventanas de 1.310 o 1.550nm, La ventana de 1.550nm tienen una atenuación ligeramente menor que la de 1.310nm. La comunicación a 850nm es frecuente en instalaciones de distancias más cortas y de costo mas bajo.

4.5.2.2. Ancho de banda

El ancho de banda de una fibra óptica es una medida de su capacidad de transmisión de información, limitado por la dispersión total de la fibra.

El ancho de banda total de una fibra esta especificado por el fabricante en la forma del producto de la distancia por el ancho de banda modal normalizado (MHz x km). Este producto del ancho de banda da cuenta solo del ensanchamiento del pulso debido a la dispersión modal, pero se debe también considera los efectos de la dispersión cromática.

4.5.2.3. Dispersión

La dispersión es un fenómeno que afecta al ancho de banda limitando la capacidad de transmisión de

información porque los pulsos se distorsionan y se ensanchan, interpolándose uno con los otros haciéndose indistinguibles para el equipo receptor. Para evitar que esto ocurra, los pulso se deben transmitir a una frecuencia menor, reduciendo por tanto la velocidad de transmisión de datos.

Existen dos tipos de dispersión: la modal y la cromática.

- **La dispersión modal:** es también conocida como dispersión multimodo, afecta solo a la fibra multimodo y esta causada por los diferentes caminos o modos que siguen un rayo de luz de la fibra. Esto da como resultado que los rayos recorran distancias diferentes y lleguen al otro extremo de la fibra en tiempos diferentes.
- **La dispersión cromática del material:** ocurre porque el índice de refracción de una fibra varia con la longitud de onda de la luz en la fibra. Debido a que la fuente de la luz esta compuesta de un espectro de mas de una longitud de onda, los rayos de luz de diferentes longitudes de onda viajan a diferentes

velocidades, dando como resultado un ensanchamiento del pulso.

- **La dispersión cromática guía de onda:** es debida a la anchura espectral de la fuente de luz, cuando el índice de refracción permanece constante. La razón de esto es que la geometría de la fibra causa que la constante de propagación de cada modo cambie con la longitud de onda de la luz.

4.6. Tipos básicos de fibras ópticas

Existen dos tipos básicos de fibras ópticas: Monomodo y Multimodo

4.6.1. Fibra Monomodo

Esta fibra óptica es la de menor diámetro y solamente permite viajar al rayo óptico central y por esto ofrece la mayor capacidad de transporte de información. Tiene un ancho de banda del orden de los 100 GHz/km. Por lo que se consiguen los mayores flujos pero también es la más compleja de implantar.

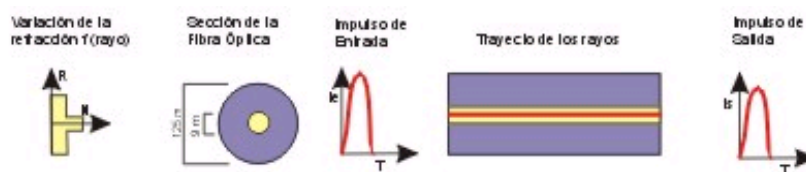


Figura # 4.3 Fibra Monomodo

Son fibras que tienen el diámetro del núcleo en el mismo orden de magnitud que la longitud de onda de las señales ópticas que transmiten, es decir, de unos 5 a 8 mm. Si el núcleo está constituido de un material cuyo índice de refracción es muy diferente al de la cubierta, entonces se habla de fibras monomodo de índice escalonado. Los elevados flujos que se pueden alcanzar constituyen la principal ventaja de las fibras monomodo.

4.6.2. Fibra Multimodo

Se pueden encontrar otros tipos de fibras Multimodo:

- multimodo de índice de gradiente gradual
- multimodo de índice escalonado

4.6.2.1. Fibra Multimodo con gradiente gradual

Las fibras multimodo de índice de gradiente gradual tienen un ancho de banda que llega hasta los 500MHz por kilómetro. Su principio se basa en que el índice de refracción en el interior del núcleo no es único y decrece cuando se desplaza del núcleo hacia la cubierta.

Los rayos luminosos se encuentran enfocados hacia el eje de la fibra, como se puede ver en el dibujo. Estas fibras permiten reducir la dispersión entre los diferentes modos de propagación a través del núcleo de la fibra.

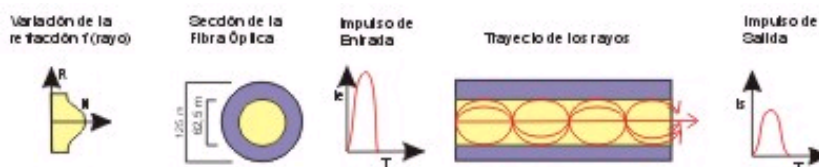


Figura # 4.4 Fibra multimodo gradiente gradual

La fibra Multimodo de índice de gradiente gradual de tamaño 62,5/125 μm (diámetro del núcleo/diámetro de la cubierta) está normalizado.

4.6.2.2. Fibra Multimodo con índice escalonado

Las fibras Multimodo de índice escalonado están fabricadas a partir de vidrio, con una atenuación de 30 dB/km, o plástico con una atenuación de 100 dB/km. Tienen un ancho de banda que llega hasta los 40 MHz por kilómetro. En estas fibras, el núcleo está constituido por un material uniforme cuyo índice de refracción es claramente superior al de la cubierta que lo rodea. El paso desde el núcleo hasta la cubierta conlleva por tanto

una gran variación del índice, de ahí su nombre de índice escalonado.

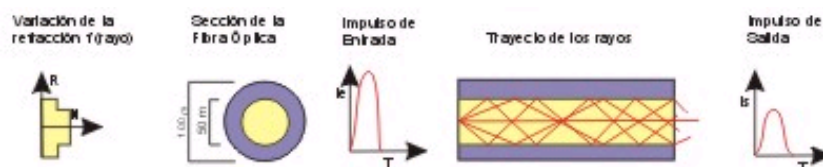


Figura # 4.5 Fibra Optica Multimodo gradiente escalonado

Comparación de los diferentes tipos de Fibra Optica

Características	Fibra Multimodo		Fibra Monomodo
	índice escalonado	Índice gradual	
Diámetro del núcleo	$100\mu\text{m} < \varnothing < 600\mu\text{m}$	$50\mu\text{m} < \varnothing < 100\mu\text{m}$	$8\mu\text{m} < \varnothing < 10\mu\text{m}$
Diámetro de cubierta	$140\mu\text{m} < \varnothing < 1000\mu\text{m}$	$25\mu\text{m} < \varnothing < 150\mu\text{m}$	125 μm
Índice del núcleo	Constante	Carece del centro a la periferia	creciente o decreciente muy pequeña $l=0$
Apertura numérica	0.30	0.20 a 0.27	
Banda de Paso	20 a 10 MHz/Km	200 a 1200 MHz/km	>10Ghz/Km,
Atenuación según las ventanas			
0,85μm	8 a 20 dB/Km		
1,3μm		2,5 a 4 dB/Km	0,3 a 0,5 dB/Km
1,55μm		0,6 a 1,5 dB/Km	0,150 a 0,3dB/KM

Tabla # 4.3 Comparación entre fibras monomodo y multimodo

4.7. Requisitos para un enlace de Fibra Optica

Para realizar los análisis de un enlace de fibra óptica se necesita saber las especificaciones técnica de la fibra y de los conectores a utilizarse para poder obtener los cálculos de potencia, perdidas y ancho de banda de la fibra.

4.7.1. Conectores

En la actualidad existe una variedad de conectores disponibles debido a que los equipos ópticos aun no están estandarizados, es importante requerir al fabricante el tipo de conector que sea el adecuado a utilizar. El conector se compone de un casquillo o férula, un cuerpo, una cápsula o corona y un manguito descargador de tensión.

En la siguiente tabla se describen los conectores más comunes que se utilizan para terminar una fibra óptica.

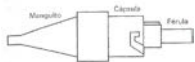
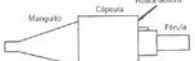
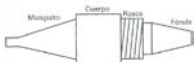

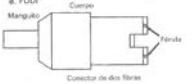
Modelo	Especificación	
ST		<p>Popular para conexiones de fibra monomodo y multimodo, con pérdidas en promedio de 0,5 dB. Tiene una conexión con cierre en giro que no pierde en ambientes con vibraciones.</p>
FC		<p>Popular para fibras monomodo, también conocido como FC-PC. Tiene bajas pérdidas con un promedio de 0,4dB. Es común en industrias de televisión por cable</p>
Bicónico		<p>Es un conector de estilo anticuado utilizado para fibras multimodo. Tienen una repetitividad pobre y es susceptible a las vibraciones y tiene altas pérdidas</p>
SMA		<p>Es un viejo conector pero que todavía se usa en algún equipo. Tiene altas pérdidas, aproximadamente de 0,9dB</p>
D4		<p>Se usa para fibras monomodo</p>
SC		<p>Nuevo conector modular de alta densidad. Tiene bajas pérdidas (por debajo de 0,5dB) y es bastante común en instalaciones monomodo</p>
FDDI		<p>Es el conector estándar de fibra FDDI, es de tipo dúplex con llave conectando dos fibras a la vez.</p>
Fibra Desnuda		<p>Utilizada para conectar fibras inacabada. Se utiliza cuando se desea una conexión temporal para probar fibras desnudas.</p>

Tabla # 4.4 Tipos de Conectores

4.7.2. Cálculos de Potencia

Para realizar los cálculos de potencia se debe hacer un balance entre las pérdidas obtenidas en el enlace, la potencia emitida por el transmisor, la mínima potencia necesaria para el receptor y el margen deseado.

Las pérdidas debido al enlace son las pérdidas de los conectores utilizados, los empalmes requeridos y la atenuación propia de la fibra a utilizar en función de la distancia del cable utilizado.

El margen esperado es la potencia en exceso por sobre el nivel de sensibilidad con la cual se llega al receptor óptico.

Las potencias emitidas por el transmisor y la mínima potencia necesaria por el receptor son parámetros que nos dan los fabricantes de los equipos a ser utilizados.

Una vez obtenida toda esta información se realiza una simple suma de datos, ya que las pérdidas están dadas en dB y las potencias en dBm.

$$L = \alpha d + NcLc + NeLe$$

L = Pérdida por distancia de Fibra utilizada más los empalmes necesarios y los conectores requeridos.

α = Atenuación de la fibra óptica [db/Km] a una determinada longitud de onda

d = Distancia entre el transmisor y el receptor

N_c = Numero de conectores necesarios en el sistema

L_c = Atenuación típica del conector dado en db

N_e = Numero de empalmes necesarios en el enlace

L_e = Atenuación típica del empalme dado en db

$$P_{RX} = P_{TX} - L$$

P_{RX} = Potencia del receptor

P_{TX} = Potencia del transmisor

4.7.3. Umbral de Recepción

Es la mínima potencia de señal de luz requerida en la entrada del receptor óptico para que cumpla con las especificaciones de BER del fabricante para un sistema digital o las especificaciones de la señal/ruido para sistemas análogos.

Este valor puede utilizarse para controlar las características del receptor y determinar el margen óptico del enlace.

$$M = P_{RX} - P_{min_{RX}}$$

$P_{min_{RX}}$ = es la potencia mínima necesaria en el receptor

4.7.4. Cálculos de Ancho de Banda

Para los sistemas digitales, el ancho de banda dependerá de la velocidad de datos y el formato de código utilizado.

$$**BW requerido = R/K**$$

Donde K= 104 para formatos NRZ y 1 para formatos RZ

CAPITULO 5

5. UBICACIÓN GEOGRAFICA DEL PROYECTO

Para la elaboración de este estudio se han analizado varios puntos donde se podría realizar la conmutación de los enlaces de televisión, las antenas receptoras de las señales de microondas como el master de televisión y la antena satelital para llevar esta señal a Galápagos y al resto del mundo. Uno de los requisitos indispensable de los enlaces es conocer las ubicaciones de los cinco canales de televisión que vamos a enlazar.

5.1. Canales de Televisión

5.1.1. Ecuavisa

Ubicado en el Cerro del Carmen

Las coordenadas geográficas son:

Latitud 02° 10' 47.47" S

Longitud 79° 52' 47.90" O

Nivel Sobre el Mar	98 m
Distancia al Edificio Centum	1.8 Km

5.1.2. Teleamazonas

Ubicado en el Cerro del Carmen

Las coordenadas geográficas son:

Latitud	02° 10' 47.47" S
Longitud	79° 52' 47.90" O
Nivel Sobre el Mar	98 m
Distancia al Edificio Centrum	1.8 Km

5.1.3. Telesistema

Ubicando en la avenida Juan Tanca Marengo Km 4.5

Las coordenadas geográficas son:

Latitud	02° 08' 21.03" S
Longitud	79° 54' 33.99" O
Nivel sobre el Mar	5 m
Distancia al Edificio Centrum	2.5 Km

5.1.4. TC Televisión

Ubicando en la avenida de las Américas frente al

Aeropuerto Simón Bolívar

Las coordenadas geográficas son:

Latitud: 02° 09´ 15.35" S
 Longitud: 79° 53´ 09.79" O
 Nivel sobre el Mar: 5 m
 Distancia al Edificio Centrum 871m (Línea Recta)
 Distancia al Edificio Centrum 1.4Km (Canalización de Pacifictel)

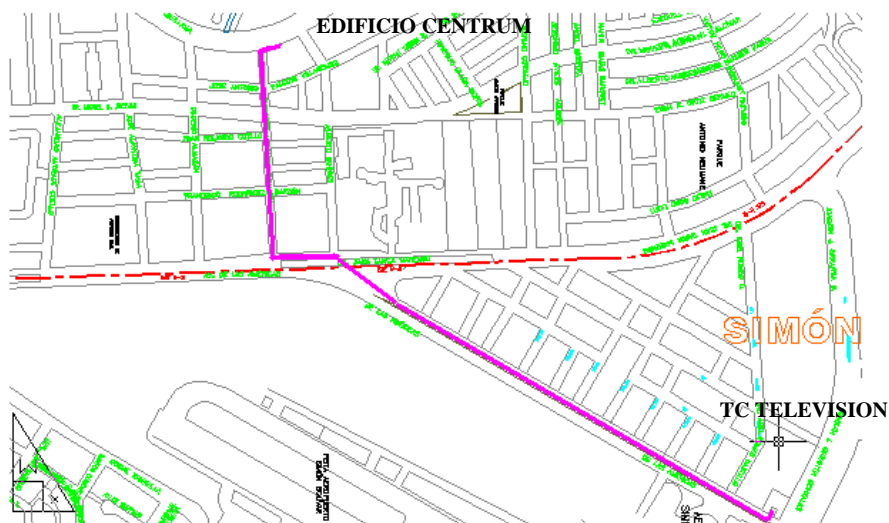


Gráfico # 5.1 Localización del enlace de fibra entre TC Televisión y el edificio Centrum

5.1.5. Gamavision

Ubicando en la ciudadela Adace, calle 11 y Avenida de las Américas

Las coordenadas geográficas son:

Latitud 02° 09´ 15.03" S

Longitud 79° 53´ 15.30" O

Nivel Sobre el Mar 5 m

Distancia al Edificio Centrum 838m (Línea Recta)

Distancia al Edificio Centrum 1.3Km (Canalización de Pacifictel)

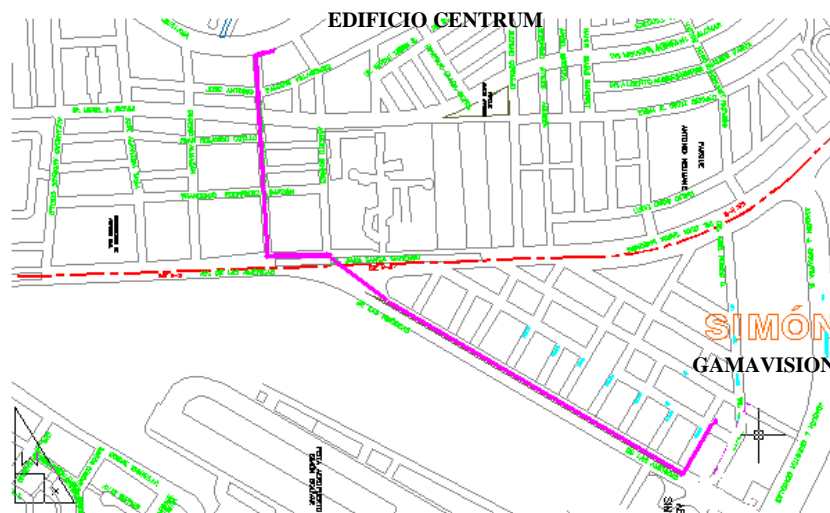


Gráfico # 5.2 Localización del enlace de fibra entre Gamavision y el edificio Centrum

5.2. Ubicación de la Conmutación y Antenas Receptoras

Para poder realizar la conmutación de los enlaces que se reciben de los cinco canales de televisión se ha analizado tres ubicaciones diferentes tratando de utilizar la infraestructura que actualmente existe en nuestra ciudad.

5.2.1. Torre de Pacifictel y Estación Terrena

Pacifictel la empresa de telecomunicaciones con mayor infraestructura en la ciudad de Guayaquil, se ha considerado analizar la utilización de sus instalaciones para el desarrollo de los radioenlaces necesarios. Dentro de la infraestructura actual, hemos decido analizar la factibilidad de desarrollar nuestro enlace entre la Torre del Cerro del Carmen y la Estación Terrena, siendo la Torre del Cerro del Carmen el lugar donde converjan las señales de los cinco canales de televisión y enviar una señal a la Estación Terrena para aprovechar su infraestructura satelital para en un futuro enviar esta señal al satélite.

	Torre de Pacifictel	Estación Terrena de Pacifictel
Ubicación	Cerro del Carmen	Km 22 ½ Vía a la Costa
Latitud	02° 10´ 47.47" S	02° 12´ 02.88" S
Longitud	79° 52´ 47.90" O	80° 05´ 01.39" O
Nivel Sobre el Mar	98 mts.	63mts.

Tabla # 5.1 Localización de la Estación Terrena de Pacifictel

Después de haber realizado el análisis respectivo en las cartas topográficas, se concluye que no es factible instalar un enlace entre el Cerro El Carmen y la Estación Terrena de

Pacifictel ya que no existe Línea de Vista entre los dos puntos de enlace.

Se hizo el estudio tratando de ubicar las antenas en la parte más alta de las torres para ver si es posible tener línea de vista, pero esto no es suficiente y más aun no es factible la transmisión ni de la primera y segunda zona de Fresnel. Se puede concluir que esta ser la razón por la cual Pacifictel no tiene un enlace directo entre estos dos sitios sino que se enlazan a través de la estación de tránsito del Correo.

Si deseamos utilizar la infraestructura de Pacifictel se debe tomar en cuenta el enlace con la estación de transito del correo lo que implicaría una mayor inversión económica tanto en equipo, como en mano de obra y en contingencia para poder garantizar siempre el enlace.

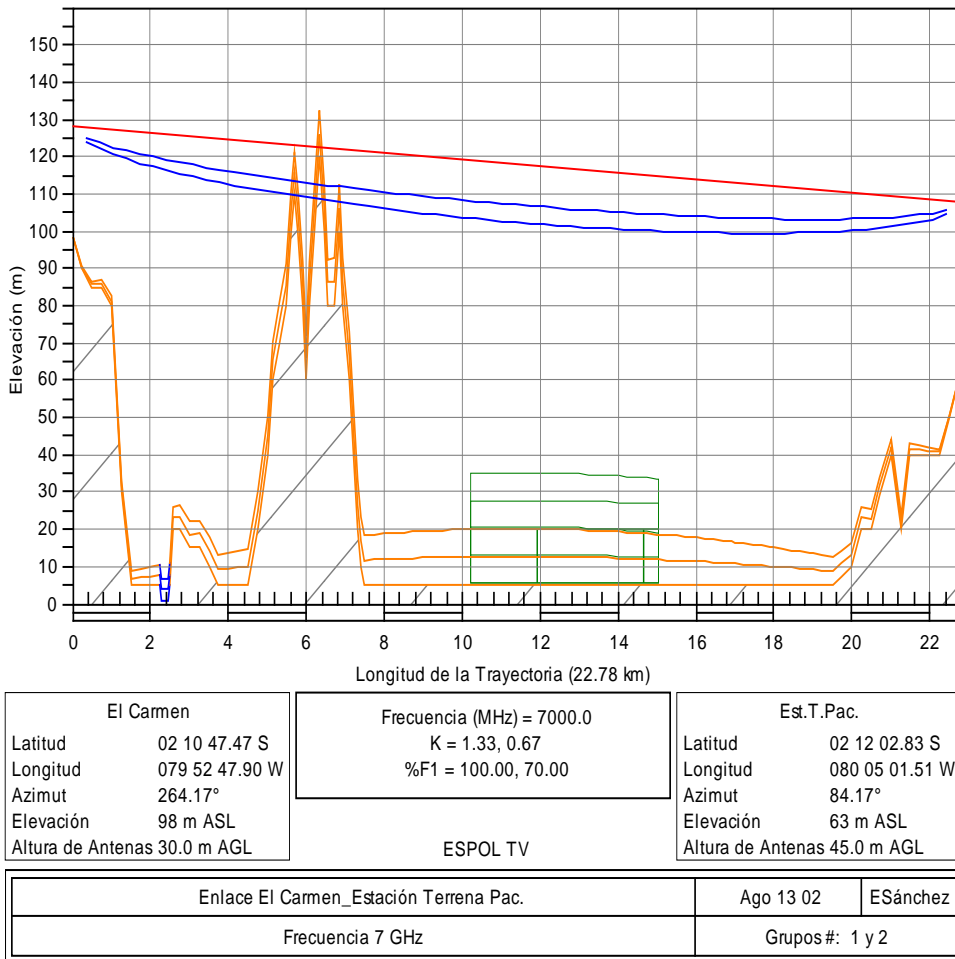


Gráfico # 5.3 Trayectoria entre la Torre del Cerro del Carmen y la Estación Terrena de Pacifictel

5.2.2. Torre de Pacifictel en el Cerro del Carmen.

Realizamos el análisis para utilizar la Torre de Pacifictel como centro de conmutación de los canales de televisión sabiendo que todos los canales llevan sus señales al Cerro del Carmen, donde tienen sus antenas broadcast para difundir la señal a toda la ciudad.

Considerando este factor importante y que no hay ningún inconveniente con las líneas de vistas de cada uno de los canales, se analizó la posibilidad de ubicar el master del nuevo canal en el cuarto de radio.

Adicionalmente se debe analizar la creación de un telepuerto para la transmisión de la señal vía satélite, lo cual no es posible en la Torre de Pacifictel por falta de espacio físico. Por esta razón no es beneficioso utilizar la infraestructura de la Torre de Pacifictel en el Cerro del Carmen.

Torre de Pacifictel

Ubicación	Cerro del Carmen
Latitud	02° 10' 47.47" S
Longitud	79° 52' 47.90" O
Nivel Sobre el Mar	98 mts.

Tabla # 5.2 Ubicación de la Torre de Pacifictel

5.2.3. Edificio Centrum

Se ha considerado para el análisis de la ubicación del master y del telepuerto el Edificio Centrum, ubicado en la Avenida Francisco de Orellana y Alberto Borges, en el norte de la ciudad de Guayaquil como el lugar ideal para que sea el

punto de conmutación de todos los canales de televisión. Principalmente porque en las instalaciones del edificio se encuentra las oficinas de la Asociación de Canales de Televisión, institución que controlará y administrará el canal internacional.

Se comprobó que existe línea de vista con todos los canales y que no se afectaban ni la primera ni la segunda zona de Fresnel adicionalmente la infraestructura del edificio permite instalar en la terraza las antenas tanto para los enlaces de microondas como la antena para el enlace satelital.

Edificio Centrum

Ubicación	Av. Francisco de Orellana y Albergo Borges
Latitud	02° 09´ 40.29" S
Longitud	79° 53´ 39.70" O
Nivel Sobre el Mar	5 mts.
Altura	54 mts.

Tabla # 5.3 Ubicación del Edificio Centrum

CAPITULO 6

6. EQUIPOS UTILIZADOS PARA EL DISEÑO DEL PROYECTO

Para la elaboración de los enlaces que necesitamos para realizar nuestro proyecto, hemos elegido equipos que cubran todas las características necesarias para transmitir una señal de vídeo y audio digital a través de un medio óptico y de microondas.

6.1. Equipos para el enlace de Microondas Digital

Para realizar los enlaces de Microondas Digitales de audio y vídeo de tres canales de televisión hacia el edificio Centrum, se decidió utilizar los siguientes equipos:

6.1.1. Tipos de Cables

6.1.1.1. Tipo de Cable Coaxial

Dentro la gran variedad de cables coaxiales que existen en el mercado elegimos trabajar con la Marca Andrew que ofrecen menores pérdidas, flexibilidad y bajos costos, para las interconexiones en la banda de Radiofrecuencia.

El cable coaxial que se va a utilizar es el HELIAX LDF5-75 de $7/8$ " , con las siguientes especificaciones técnicas:

Especificaciones	
Máxima Frecuencia (GHz)	5.3
Impedancia (Ohms)	75 ± 3
Resistencia Interna (Ohms /1000 mts)	1.11
Resistencia Externa (Ohms/1000 mts)	1.05
Capacitancia (pF/m)	49.5
Inductancia (μ H/m)	0.19
Pico de Potencia (KW)	70
Peso del cable (Kg/m)	0.284
Frecuencia (MHz)	Atenuación (db/100mts):
3400 MHz	9.23
4000 MHz	10.3

Tabla # 6.1 Especificaciones del Cable Coaxial Heliax LDF5-75



Gráfico # 6.1 Cable coaxial heliax LDF5-75

6.1.1.2. Tipo de Cable para IF

Para los enlaces de los equipos en bandabase e IF se requiere utilizar un cable que permita realizar las interconexiones en estas frecuencias y que deben cumplir con los requerimientos y características que solicitan los equipos a ser utilizados.

El cable a utilizarse es el RG59/U (1505A) de Marca Belden, el mismo que tiene las siguientes características técnicas.

Especificaciones

Tipo de Cable:	RG 59
Impedancia en Ohms	75
Diámetro Exterior en mm	4.90 mm
Factor de velocidad	66%
Atenuación por cada 100 mts.	5.9 dB
Conductor Interno	11(0.108)
Aislamiento	Polietileno
Blindaje	Malla cobriza 95% de Blindaje

Tabla # 6.2 Especificaciones del cable RG59/U

6.1.2. Tipo de conector

Se han diseñado varios tipos de conectores para enlaces de Microondas, los mismos que dependerán del tipo de cable que se utilicen y de los equipos de radio.

Utilizaremos conector Andrew N L5PNF-7570 para la parte RF de nuestro radioenlace con perdidas de 0.1dB, una longitud máxima de 75.7 mm y un diámetro máximo de 21.8mm.

El conector Andrew BNC UG-88C/U se utilizara para la entrada de vídeo de las interconexiones de frecuencia IF.

El conector F para la entrada del equipo de transmisión.



Gráfico # 6.2 Conectores tipo BNC, F y N (Respectivamente)

6.1.3. Equipo de Modulador y Codificador MPEG-2

Dentro de la variedad de marcas y modelos de equipos para compresión MPEG-2 que existen del mercado, hemos

elegido un equipo que por sus características técnicas cubren nuestras necesidades del radio enlace.

El equipo seleccionado es un codificador MPEG -2 de Marca NUCOMM Modelo Newscoder TX1 para Transmisión con las siguientes características:



Gráfico # 6.3 Codificador MPEG-2

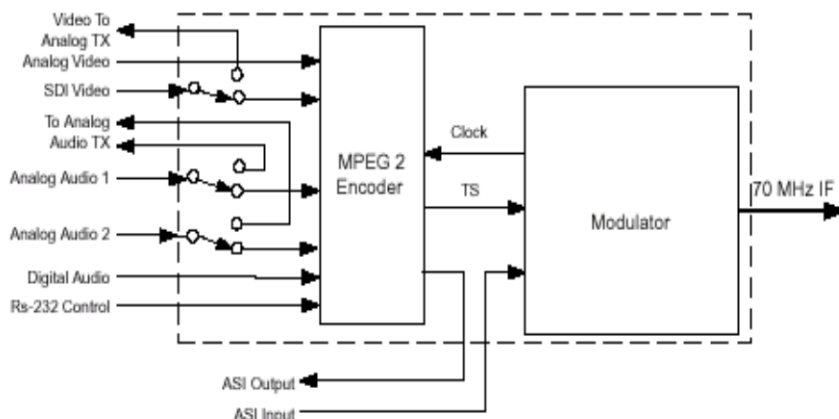


Gráfico # 6.4 Diagrama de Bloques del Codificador MPEG-2

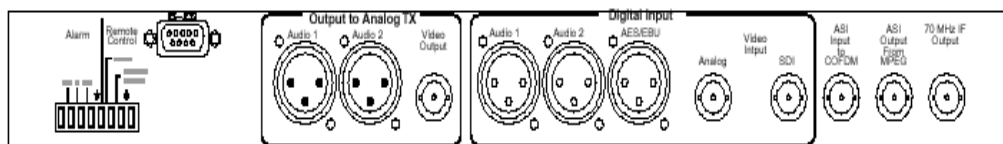


Gráfico # 6.5 Vista de la parte posterior del Codificador MPEG-2

Especificaciones	
Modulación:	QPSK, 16 QAM, 64 QAM
FEC	$\frac{1}{2}$, $\frac{2}{3}$, $\frac{5}{6}$, $\frac{3}{4}$ y $\frac{7}{8}$
Intervalo de Guarda	$\frac{1}{32}$, $\frac{1}{16}$, $\frac{1}{8}$ y $\frac{1}{4}$
Velocidad	32 Mbps
Entradas de Vídeo	SDI, ASI y Vídeo Analógico NTSC y PAL
Impedancia de entrada	75 Ohms
Frecuencia IF	70 MHz
Potencia de entrada	-20 a 5 dB
Entradas de Audio:	2 Canales de Audio Analógico y 1 canal de Audio Digital
Decodificación del Vídeo	MPEG-2 4:2:0 MP.@.ML 1.5 to 15 Mbit/s
Control y Monitoreo	Interface RS232

Tabla # 6.3 Especificaciones del Codificador MPEG-2

6.1.4. Equipo de Demodulador y Decodificador MPEG-2

El equipo seleccionado como decodificador en la parte de recepción para MPEG -2 es Newscoder RX1 de marca NUCOMM con las siguientes características:



Gráfico # 6.6 Decodificador MPEG-2

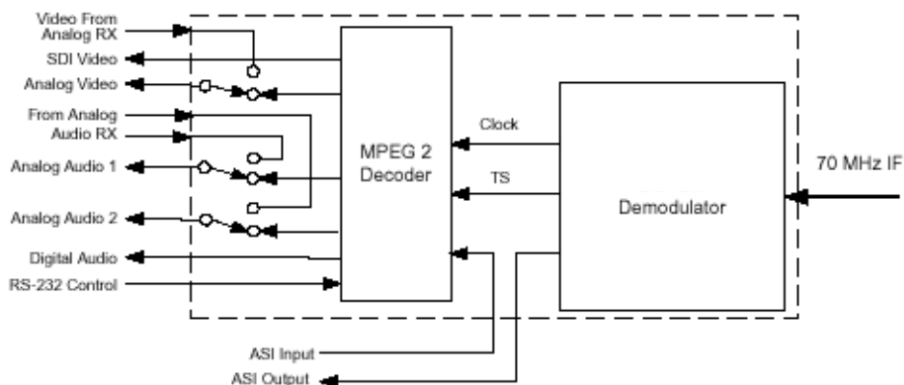


Gráfico # 6.7 Diagrama de Bloque del Decodificador MPEG-2

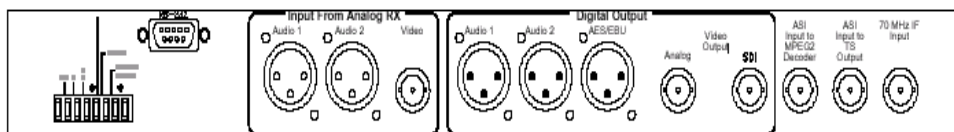


Gráfico # 6.8 Vista posterior del Decodificador MPEG-2

Especificaciones

Modulación:	QPSK, 16 QAM, 64 QAM
FEC	$\frac{1}{2}$, $\frac{2}{3}$, $\frac{5}{6}$, $\frac{3}{4}$ y $\frac{7}{8}$
Intervalo de Guarda	$\frac{1}{32}$, $\frac{1}{16}$, $\frac{1}{8}$ y $\frac{1}{4}$
Velocidad	32 Mbps
Salidas de Vídeo	SDI, ASI y Vídeo Analógico NTSC y PAL
Impedancia de salida	75 Ohms
Frecuencia IF	70 MHz
Potencia de entrada	-20 a 5 dB
Salidas de Audio:	2 Canales de Audio Analógico y 1 canal de Audio Digital
Codificación del Vídeo	MPEG-2 4:2:0 MP.@.ML 1.5 to 15 Mbit/s
Control y Monitoreo	Interface RS232

Tabla # 6.4 Especificaciones del Decodificador MPEG-2

6.1.5. Equipos del sistema de radio enlace digital

Seleccionamos el sistema de radio de la serie FT6 / FR6 de Marca Nucomm diseñado específicamente para el transporte del vídeo digital con las siguientes características:

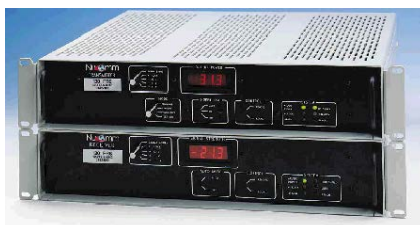


Gráfico # 6.9 Equipo de Radio

Especificaciones

Frecuencia IF (Entrada/Salida)	70 MHz
Nivel IF (Entrada/Salida)	5dB Mínimo \pm 1dB
Ancho de Banda IF de Recepción	30 MHz hasta 45 MHz
Perdidas en la Salida IF	26 dB Mínimo \pm 15MHz a 75 Ohm
S/N	67 dB

Tabla # 6.5 Especificaciones del Equipo de Radio

Model No		Frequency Range* (MHz)	Power Output		Analog/Digital (BER 10*) Threshold (dBm)	RK Noise Figure	RF Output Connector
Xmit	Rec		Analog Mode (dBm)	Digital Mode (dBm)			
23FT6	23FR6	1,990-2,700	33/37	30/34	87/87	2.0	Type N
36 FT6	36 FR6	3,400-3,800	33/37	30/34	87/87	2.0	Type N
70 FT6	70 FR6	6,475-7,125	33/37	30/34	86/86	3.0	WR137
75 FT6	75 FR6	7,125-7,750	33/37	30/34	86/86	3.5	WR112
80 FT6	80 FR6	7,750-8,400	33/37	30/34	86/86	3.5	WR112
110 FT6	110 FR6	10,700-11,200	30/35	27/32	84/84	4.0	WR90
115 FT6	115 FR6	11,200-11,700	30/35	27/32	84/84	4.0	WR90
130 FT6	130 FR6	12,700-13,250	30/35	27/32	84/84	4.0	WR75
150 FT6	150 FR6	14,500-15,350	30	27	84/84	4.0	WR62

Tabla # 6.6 Rango de frecuencias del Equipo

CON FEC		M	Tipo de Modulación	Ancho de Banda	Banda de Frecuencia	Potencia (dB)
Velocidad (Mbit/Seg)	M-FEC (Bit/seg/Hz)					
21.80	1.28	2.0	QPSK	17MHZ	2GHZ	10
32.60	1.92	3.0	8PSK	17MHZ	2GHZ	14
43.50	2.56	4.0	16QAM	17MHZ	2GHZ	17
65.30	3.84	6.0	64QAM	17MHZ	2GHZ	23
87.00	5.12	8.0	256QAM	17MHZ	2GHZ	28
19.20	1.28	2.0	QPSK	15MHZ	2GHZ	10
28.80	1.92	3.0	8.00	15MHZ	2GHZ	14
38.40	2.56	4.0	16QAM	15MHZ	2GHZ	17
57.60	3.84	6.0	64QAM	15MHZ	2GHZ	23
76.80	5.12	8.0	256QAM	15MHZ	2GHZ	28
32.00	1.28	2.0	QPSK	25MHZ	7/13 GHZ	10
48.00	1.92	3.0	8PSK	25MHZ	7/13 GHZ	14
63.90	2.56	4.0	16QAM	25MHZ	7/13 GHZ	17
65.30	3.84	6.0	64QAM	25MHZ	7/13 GHZ	23
87.00	5.12	8.0	256QAM	25MHZ	7/13 GHZ	28

Nota: 1.- Potencia Normalizada a un B.ER 1×10^{-6}

2.- Asuma $R = 5/6$ y $RS = 188/204$

3.- Asuma $\alpha = 0.20$

Tabla # 6.7 Utilización del Ancho de Banda según la modulación y el FEC del equipo de Radio

6.1.6. Antena

La antena seleccionada para nuestro diseño es de marca Andrew modelo KP2F-34 de tipo estándar de 2 pies, con ganancia de 23.7 dB, esta selección se debe al tipo de radioenlaces que se realizarán, los mismos que no requieren de mucha directividad ni de alta ganancia por las cortas distancias que cubren.

La banda de frecuencia en la cual trabajaremos es 3.4 – 3.7 GHz ya que esta es una banda abierta en la cual podemos trabajar para transmitir video.

6.2. Equipos para el enlace de Fibra Opticas

Para realizar un enlace se debe primero definir el tipo de fibra que se va a utilizar para ello se debe tomar en cuenta las siguientes ventajas de la fibra Monomodo como Multimodo.

6.2.1. Selección de la Fibra

6.2.1.1. Ventajas de la Fibra Monomodo

- Dentro de las ventajas de la Fibra Monomodo podemos destacar que esta fibra tiene la capacidad de transmitir el mayor ancho de banda posible y son ideales para enlaces de transmisión a larga distancia.
- Poseen una atenuación por Kilometro más baja que las fibras Multimodo.
- Los cables de fibra Monomodo son más económicos
- Las fibras Monomodo tienen longitud de onda óptica de 1310 y1550nm.

6.2.1.2. Ventajas de la Fibra Multimodo

- Este tipo de fibra se adapta mejor a distancias por debajo de los 2 km.

- El ancho de banda de un sistema de fibra multimodo es más dependiente de su longitud
- El equipo óptico multimodo es generalmente más económico que el de monomodo, debido a que se utiliza a menudo diodos Led como generadores de luz.
- El cable de fibra multimodo es generalmente mas caro que el de monomodo, pero para distancias cortas el ahorro en el equipo óptico equilibra el costo.
- Este tipo de fibra es adecuado para longitudes de onda de 850 y 1310 nm.

6.2.1.3. Especificaciones técnicas de la Fibra Multimodo

Para nuestro proyecto se ha determinado que se utilizará la fibra Multimodo, principalmente por el bajo costo de la misma, la distancia de los enlaces y el ancho de banda disponible. Las características de la fibra a utilizarse se detalla en el cuadro siguiente, las cuales nos ayudaran para el desarrollo del proyecto.

Especificaciones		Explicación
Tipo de Fibra:	Multimodo	
Cantidad de Hilos	2	
Diámetro del núcleo:	$62.5 \pm 3 \mu\text{m}$	Diámetro del núcleo de una fibra Multimodo
Diámetro del revestimiento:	$125 \pm 2 \mu\text{m}$	Diámetro del revestimiento que no incluye el recubrimiento
Diámetro del recubrimiento:	$245 \pm 10 \mu\text{m}$	Recubrimiento de plástico coloreado
Apertura Numérica	0.275 ± 0.015	
Atenuación	0.2 dB/Km	Perdidas en las perdidas por kilometros
Máxima Atenuación a:		
850 nm	3.5 dB/Km	Perdidas máximas por kilometro
1.310 nm	1.5 dB/Km	Menor atenuación a mayores longitudes de onda
Ancho de Banda:		
850nm	200 MHz.Km	Especificación del ancho de banda modal de una fibra óptica Multimodo a 850nm
1.310nm	500 MHz. Km	Especificación del ancho de banda modal de una fibra óptica Multimodo a 1.310nm
Dispersión Cromática	0.1 ns/nm x Km	Factor que limita el ancho de banda de una fibra Multimodo
Longitud de la Fibra:	3,0 Km	Longitud del Fabricante
Fabricante de la Fibra:	FURUKAWA	

Tabla # 6.8 Especificaciones Técnicas de una Fibra Optica

6.2.2. Especificaciones Técnicas del conector para la Fibra

Se utilizara un conector ST, para fibras Monomodo y Multimodo, con perdidas en promedio de 0,5 dB. Tiene una conexión con cierre en giro que no pierde en ambientes con vibraciones y tiene las siguientes características:

Especificaciones	
Material:	Cuerpo de Metal con Terminal de cerámica
Perdidas (dB)	0.5
Rango de Temperatura de Operación (°C)	-10 hasta 70
Durabilidad Mecánica	> 500 Inserciones
Resistencia (N)	> 100
Fabricante del Conector	FURUKAWA

Tabla # 6.9 Especificaciones Técnicas de los conectores de Fibras Opticas

6.2.3. Selección de equipo de Transmisión y Recepción de la Señal de fibra

El equipo seleccionado es una Interface Serial Digital que permitirá recibir una señal de vídeo digital entregada por los canales de televisión y convertirla en la señal óptica que se transmitirá hacia el edificio Centrum.

Especificaciones

Tipo de Conector:	BNC
Señales Compatibles	SMPTE 259M, 294M
Tipo de Fibra que se utiliza:	Multimodo o Monomodo
Interfaces:	SDI
Data Rate:	143, 177, 270 y 360 Mbps
Distancia Máxima:	71 Km
Durabilidad Mecánica	> 500 Inserciones
Sensibilidad del Receptor S/N para un BER 10^{-6}	-25dBm
Potencia Media de Transmisión	-15dBm
Margen Dinámico Recepción	-20 hasta -25 dBm
Resistencia (N)	> 100
Fabricante del Equipo	OPTELECOM
Modelo del equipo	9815T-LD-ST

Tabla # 6.10 Especificaciones del Equipo de Transmisión y Recepción de
Fibra Optica



Gráfico # 6.10 Equipo de Fibra Optica

Este equipo convierte las señales eléctricas en una señal óptica para la transmisión sobre la fibra, lográndose extender

la distancia y dando inmunidad a la interferencia ambiental. En el lado remoto, la señal óptica es convertida de vuelta en una señal eléctrica.

El equipo cumple con los estándares ITU G.703, G.921 y G.956, el módulo de interfaces incluye circuitos para recuperar los datos y el reloj.

Esta disponible para diferentes interfaces ópticas:

- Longitud de onda de 850 nm para fibras Multimodo hasta 2Km limitado por el ancho de banda de la fibra.
- Longitud de onda de 1310 nm para fibras Multimodo hasta 51 Km.
- Longitud de onda de 1310 nm para fibras Monomodo hasta 71 Km.

Todos los equipos tanto de Fibra Óptica y los de Microondas Digitales antes expuestos que son necesarios para nuestro proyecto estarán distribuidos en un solo RAC como se indica en el siguiente gráfico, el mismo está ubicado en el 5to Piso del edificio Centrum en la oficina de la Asociación de Canales de Televisión.

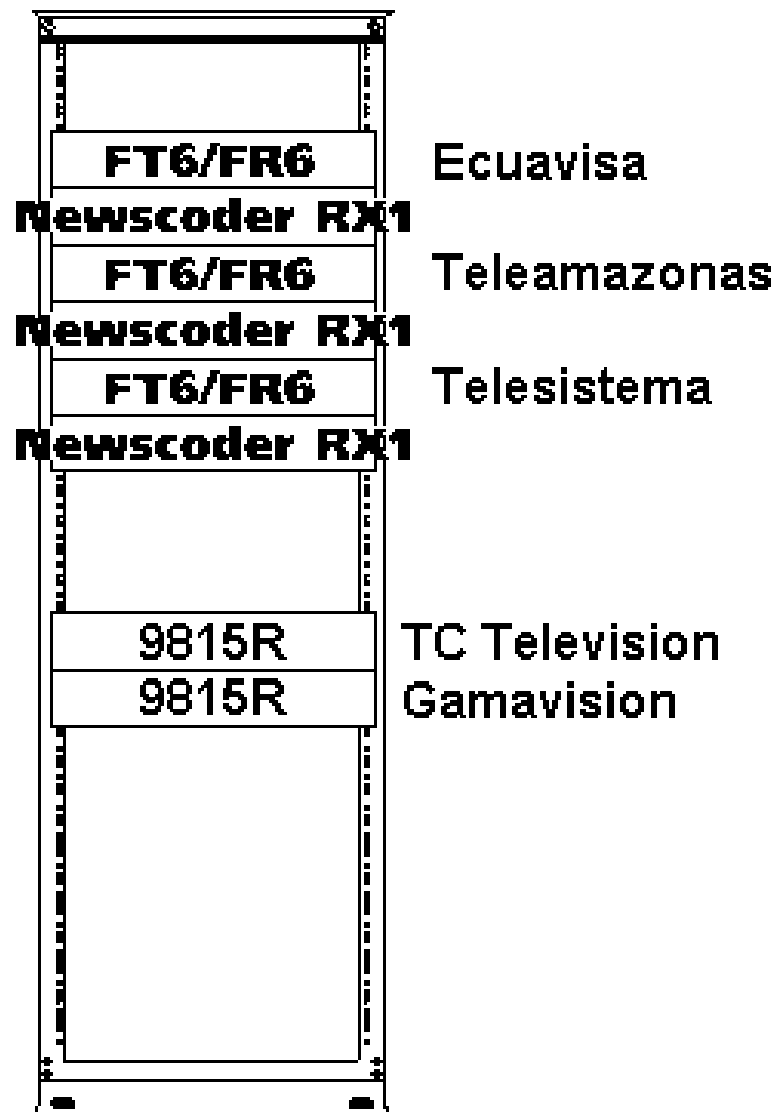


Gráfico # 6.11 Ubicación de los equipos en el Rack

CAPITULO 7

7. DISEÑO DEL PROYECTO

El objetivo de nuestro proyecto es entregar la programación de 5 canales de televisión en vídeo Digital a la Asociación de Canales de Televisión que se encuentra en el Edificio Centrum y que luego de ser procesada en el Master de esta Asociación sea conmuta a una sola señal para su retransmisión a nivel internacional a través del satélite.

Para la entrega de las señales de los diferentes canales de televisión se ha decidido transmitir las señales de Ecuavisa, Teleamazonas y Telesistema por medio de Radioenlaces Digitales y la de Gamavision y TC Televisión por medio de Fibra óptica.

Estos enlaces de microondas se realizan con equipos de radio marca Nucomm de la serie FT6/FR6 que trabajan en un rango de 1.30 a 15.4

GHz para la transmisión y recepción de la señal RF, de lo cual hemos optado por trabajar a 3.6 GHz.

Debido que los Radioenlaces son de corta distancia no es necesario trabajar con antenas de gran ganancia, además que trabajamos a una frecuencia de 3.6 GHz lo cual no produce tantas pérdidas por espacio libre. Se transmitirá con Polarización Vertical en los enlaces contra Telesistema y Teleamazonas, el enlace contra Ecuavisa tendrá polarización Horizontal, esto es para evitar interferencias con el otro enlace hacia el Cerro del Carmen ya que se encuentran a la misma frecuencia.

Para la ubicación de las antenas se utilizarían las torres ya instaladas en los canales de Televisión, y solo se instalara en el edificio Centrum 3 mástiles de 1m c/u, ya que por políticas de la administración de este edificio no se puede colocar mas altas.

El cable coaxial de los 3 enlaces bajaría a través de los conductos del edificio desde la terraza hasta el 5to piso donde se encuentra la oficina de la Asociación de Canales.

Para poder transportar el vídeo digital debemos comprimirlo a una menor tasa de datos para lo cual utilizaremos encoders y decoders MPEG-2

también de marca Nucomm denominados Newscoder RX1 y TX1 que codificarán la señal de vídeo digital SDI de 270Mbps (standard SMPTE 259) a una tasa de hasta 32 Mbps ya sea de formato 4:2:2 como 4:2:0, con esto los canales de televisión tienen la libertad de elegir el formato de vídeo digital que desean entregarnos.

Como la Fibra Óptica maneja un gran ancho de banda para la transmisión y recepción de señales digitales no necesitaremos comprimir la tasa de datos del vídeo digital en estos enlaces obviaremos la parte de compresión MPEG-2 por lo que los equipo elegidos Optelecom 9815T y 9815R recibirán y entregaran respectivamente señal SDI de 270 Mbps La fibra óptica usada es de tipo Multimodo debido a que se adapta mejor a distancias cortas menores a 2 Km.

7.1. Enlace de Microondas Digital

Para realizar los enlaces de microondas digitales se requieren conocer principalmente los puntos de conexión y determinar su distancia, se ha revisado el nivel topográfico del área para poder determinar la línea de vista del enlace.

La frecuencia de operación, la frecuencia y la potencia son datos obtenidos por los equipos seleccionados que nos ayudan a determinar si es o no factible la realización de los mismos.

7.1.1. Radio enlace Ecuavisa – Edificio Centrum

7.1.1.1. Datos Generales

Frecuencia de operación	F(GHz) =	3.6
Distancia entre antenas	D(km) =	1.8
Altura Topográfica de TX	H (Topográfica) TX =	98
Altura de Edificio TX	H (Edificio) TK =	4
Altura de Torre de TX	H (Torre) TX =	18
Altura Total TX	HTX =	120
Altura Topográfica de RX	H (Topográfica) RX =	5
Altura de Edificio de RX	H (Edificio) RK =	54
Altura de Torre de RX	H (Torre) RX =	1
Altura Total de RX	HRX =	60
Diferencia entre Alturas de Antenas	H (TX-RX) =	60

Tabla # 7.1 Datos Generales del Enlace de Microondas entre Ecuavisa y el

Edificio Centrum

7.1.1.2. Cálculo del Punto de Reflexión

Punto Inicial (mts) = 1000

	Nomenclatura	Iteración 1	Iteración 2	Iteración 3
Distancia (Km)	D_i	1000	1.098	1.107
Altura del Punto de Reflexión (m)	h_i	5	8	7
Altura de TX (m)	h_1	115	112	113
Altura de RX (m)	h_2	55	52	53
Relaciones de Alturas	q	0.352941176	0.365853659	0.361445783
Relaciones de Distancias	Q	1.7865	1.7234	1.7444
Factor de Distancia en TX y el Punto de Reflexión	A_1	1.22	1.23	1.24
Factor de Distancia en RX y el Punto de Reflexión	A_2	0.78	1.24	0.76
Punto de Reflexión respecto a TX	D_1	1.098	1.107	1.116
Punto de Reflexión respecto a RX	D_2	0.702	1.116	0.684

Tabla # 7.2 Cálculo del Punto de Reflexión

7.1.1.3. Cálculo de Radio Frecuencia

Distancia	Elevación	Curvatura	Altura S.N.M.	Línea Vista	RR1	RR2	Zona de Fresnel R1	
0.000	102	0.000	102.000	120.000	120.000		120.000	120.000
0.100	60	0.010	60.010	116.667	110.860		118.709	114.624
0.200	30	0.019	30.019	113.333	101.720		116.135	110.531
0.300	20	0.026	20.026	110.000	92.581		113.323	106.677
0.400	10	0.033	10.033	106.667	83.441		110.373	102.960
0.500	15	0.038	15.038	103.333	74.301		107.327	99.340
0.600	10	0.042	10.042	100.000	65.161		104.203	95.797
0.700	12	0.045	12.045	96.667	56.022		101.013	92.320
0.800	12	0.047	12.047	93.333	46.882		97.764	88.903
0.900	5	0.048	5.048	90.000	37.742		94.458	85.542
1.000	5	0.047	5.047	86.667	28.602		91.097	82.236
1.100	10	0.045	10.045	83.333	19.462		87.680	78.987
1.107	10	0.045	10.045	83.100	18.823	18.823	87.438	78.762
1.200	8	0.042	8.042	80.000		24.441	84.203	75.797
1.300	7	0.038	7.038	76.667		30.367	80.660	72.673
1.400	12	0.033	12.033	73.333		36.294	77.040	69.627
1.500	12	0.026	12.026	70.000		42.220	73.323	66.677
1.600	12	0.019	12.019	66.667		48.147	69.469	63.865
1.700	10	0.010	10.010	63.333		54.073	65.376	61.291
1.800	59	0.000	59.000	60.000		60.000	60.000	60.000

Tabla # 7.3 Cálculos del Radio frecuencia entre Ecuavisa y el Edificio

Centrum

7.1.1.4. Gráfico del Radio Enlace

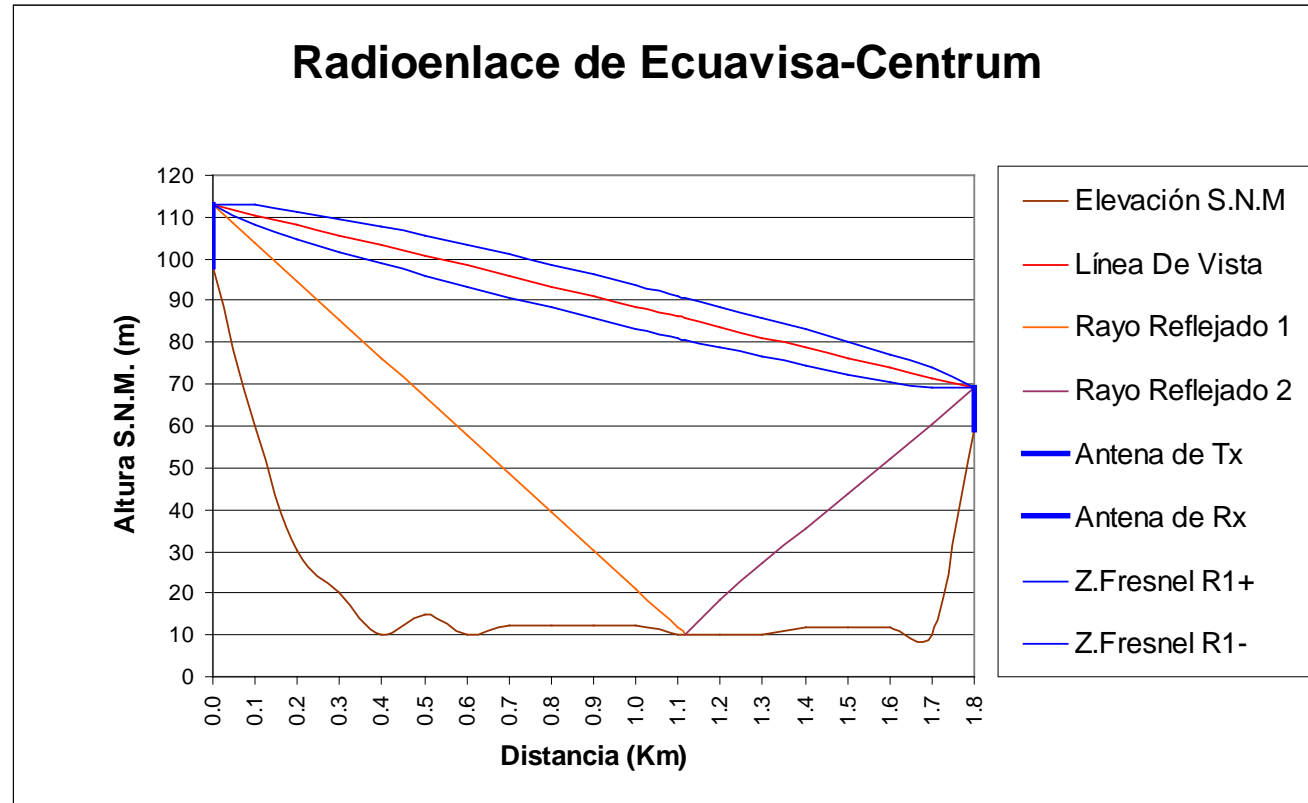


Gráfico # 7.1 Radio Enlace de ECUAVISA-Centrum

7.1.1.5. Cálculos del Radio Enlace

DATOS GENERALES	
Frecuencia (MHz)	3600
Distancia de Enlace (Km)	1.8
Potencia de Transmisión (dBm)	30
Diámetro de la Antena (m)	0.6
Ganancia de las Antenas (dBi)	23.7
Umbral de Recepción (dB)	-87
Sensibilidad (dB)	-110
Perdidas por lluvia	2
Factor de Forma del Espectro	0.2
Tasa de Transmisión (Mbps)	32
FEC	0.81
Tipo de Modulación	QPSK
BER	1E-06
Nivel de Codificación Modular	2
Figura de Ruido (Funcionamiento del equipo)	2.7
Temperatura del ambiente (°K)	290
DATOS TX	
Perdida por Cable Coaxial TX (dB)/100 (M)	10
Distancia del Cable de TX (M)	22
Perdidas de los Conectores TX (dB)	0.1
DATOS RX	
Perdida por Cable Coaxial RX (dB)/100 (M)	51.8
Distancia del Cable de RX (M)	64
Perdidas de los Conectores RX (dB)	0.1

Tabla # 7.4 Datos del Enlace Ecuavisa y el Edificio Centrum

Perdidas del Cable (dB)=	Perdidas del Cable x Distancia del Cable
Perdidas cable de TX (dB) =	2.2
Perdidas cable de RX (dB) =	6.4
Ganancias Totales (dB)=	Potencia de Transmisión + Ganancia TX de la Antena + Ganancia Rx de la Antena
Ganancias Totales (dB) =	77.4
Perdidas por conectores (dB) =	Perdidas de Conector x Numero de Conectores
Perdidas por conectores (dB)=	0.4
Perdidas por espacio libre (dBm)=	$36.6+20\log f(\text{MHz})+20\log D(\text{km})$
Perdidas por espacio libre (dBm)=	112.83
Perdidas Totales (dB) =	Perdida por cable+Perdida por conector+Perdida por lluvia+Perdida por espacio Libre
Perdidas Totales (dB) =	123.83
Potencia de Recepción (dBm) =	Ganancias Totales – Perdidas Totales
Potencia de Recepción (dBm) =	-46.43
Margen de Desvanecimiento (dB)=	Potencia de RX – Umbral
Margen de Desvanecimiento (dB)=	40.57

No Disponibilidad =	Factor clima x Factor Terreno x 2.5 x f x Distancia x 1E(Margen de Desvanecimiento/10)
No Disponibilidad =	2.41E-4
Confiabilidad =	(1- No Disponibilidad)x100
Confiabilidad =	99.9759%
Ancho de Banda (MHz)=	((1+Factor de Forma del Espectro)xVelocidad de TX)/(FECxNivel de Codificación del Modular).
Ancho de Banda (MHz)=	23.8
Relación Señal a Ruido (dB) =	(Eb/No) + 10 Log (Tasa de Transmisión / Ancho de Banda)
Relación Señal a Ruido (dB)=	12.28
Temperatura Equivalente (°K)=	(Figura de Ruido -1)x Temperatura del ambiente
Temperatura Equivalente (°K)=	250.00526
Potencia de Ruido (dBm)=	Constante de Boltzmann x Ancho de Banda x Temperatura
Potencia de Ruido (dBm)=	-98.948
Potencia de Transmisión Mínima (dBm) =	Relación Señal a Ruido + Potencia de Ruido +Perdidas del espacio libre + Margen de Desvanecimiento – Ganancia de la Antena de Transmisión
Potencia de Transmisión Mínima (dBm)=	19.34

Con los cálculos obtenidos de Potencia Mínima de Transmisión de 19.34 dBm podemos concluir que nuestro enlace se podrá realizar debido a que estamos utilizando la mitad de la potencia que provee el equipo; si ocurre en el enlace alguna pérdida adicional que disminuya el nivel de potencia de recepción, estamos en capacidad de aumentar nuestra potencia para garantizar el enlace.

Para comprobar que la transmisión de datos digitales sea la óptima y no tener pérdidas en la recepción, se realizará el cálculo del Eb/No

mediante las fórmulas que han sido detalladas en el capítulo 3, obteniendo así el siguiente valor:

$$N = KTeB$$

$$C/No = C/N + B$$

$$Eb/No = C/No - \text{Bit Rate}$$

$$Eb/No = C/N + B - \text{Bit Rate}$$

$$Eb/No = 51.23\text{db}$$

Según el dato de B.E.R. de 1.0E-06 indicado en las especificaciones del equipo nuestra relación de Eb/No será de 11db, mediante los cálculos antes realizados podemos determinar que en nuestro enlace el Eb/No es de 51.23db con un B.E.R. superior al requerido.

7.1.2. Radio enlace Teleamazonas – Edificio Centrum

7.1.2.1. Datos Generales

Frecuencia de operación	f(GHz) =	3.6
Distancia entre antenas	D(km) =	1.8
Altura Topográfica de TX	H (Topográfica) TX =	98
Altura de Edificio TX	H (edificio) TK =	6
Altura de Torre de TX	H (Torre) TX =	6
Altura Total TX	HTX =	110
Altura Topográfica de RX	H (topográfica) RX =	5
Altura de Edificio de RX	H (edificio) RK =	54
Altura de Torre de RX	H (Torre) RX =	1
Altura Total de RX	HRX =	60
Diferencia entre Alturas de Antenas	H (TX-RX) =	50

Tabla # 7.5 Datos Generales del Enlace de Microondas entre Teleamazonas y el Edificio Centrum

7.1.2.2. Cálculo del Punto de Reflexión

Punto Inicial (mts) =	1000			
	Nomenclatura	Iteración 1	Iteración 2	Iteración 3
Distancia (Km)	D _i	1000	1.098	1.098
Altura del Punto de Reflexión (m)	h _i	5	8	7
Altura de TX (m)	h ₁	105	102	103
Altura de RX (m)	h ₂	55	52	53
Relaciones de Alturas	q	0.3125	0.324675325	0.320512821
Relaciones de Distancias	Q	1.6814	1.6183	1.6393
Factor de Distancia en TX y el Punto de Reflexión	A ₁	1.21	1.22	1.23
Factor de Distancia en RX y el Punto de Reflexión	A ₂	0.79	0.78	0.77
Punto de Reflexión respecto a TX	D ₁	1.089	1.098	1.107
Punto de Reflexión respecto a RX	D ₂	0.711	0.702	0.693

Tabla # 7.6 Cálculo del Punto de Reflexión

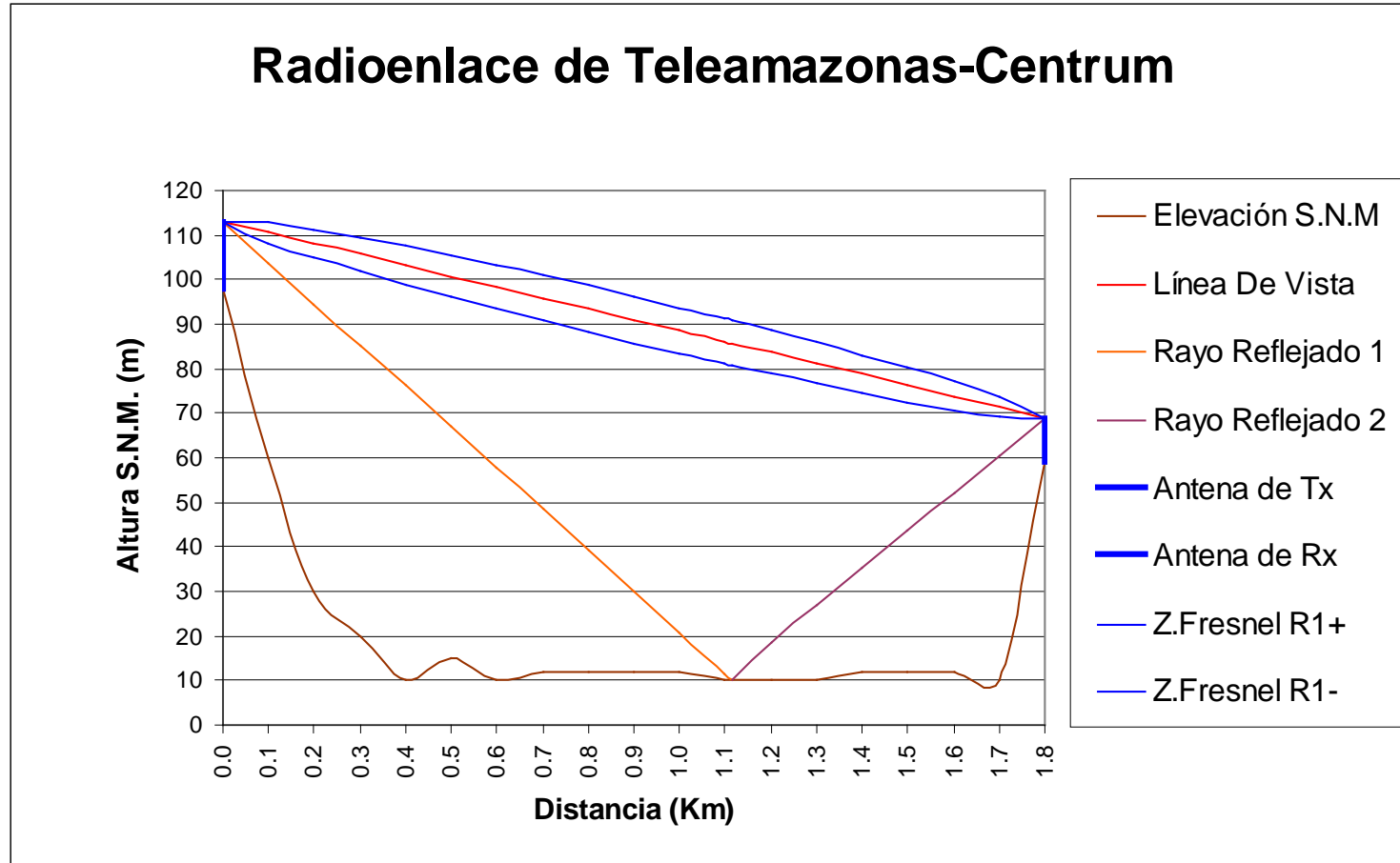
7.1.2.3. Cálculos de Radio Frecuencia

Distancia	Elevación	Curvatura	Altura S.N.M.	Línea Vista	RR1	RR2	Zona de Fresnel R1	
0.000	98	0.000	98.000	110.000	110.000		110.000	110.000
0.100	60	0.010	60.010	107.222	100.605		109.264	105.180
0.200	30	0.019	30.019	104.444	91.210		107.246	101.642
0.300	20	0.026	20.026	101.667	81.816		104.989	98.344
0.400	10	0.033	10.033	98.889	72.421		102.596	95.182
0.500	15	0.038	15.038	96.111	63.026		100.105	92.118
0.600	10	0.042	10.042	93.333	53.631		97.536	89.130
0.700	12	0.045	12.045	90.566	44.237		94.902	86.209
0.800	12	0.047	12.047	87.778	34.842		92.208	83.347
0.900	5	0.048	5.048	85.000	25.447		89.458	80.542
1.000	5	0.047	5.047	82.222	16.052		86.653	77.792
1.100	10	0.045	10.045	79.444	6.658		83.791	75.098
1.107	10	0.045	10.045	79.250	6.000	6.000	83.588	74.912
1.200	8	0.042	8.042	76.667		13.816	80.870	72.464
1.300	7	0.038	7.038	73.889		21.513	77.882	69.895
1.400	12	0.033	12.033	71.111		29.211	74.818	97.404
1.500	12	0.026	12.026	68.333		36.908	71.656	65.011
1.600	12	0.019	12.019	65.556		44.605	68.358	62.754
1.700	10	0.010	10.010	62.778		52.303	64.820	60.736
1.800	59	0.000	59.000	60.000		60.000	60.000	60.000

Tabla # 7.7 Cálculos del Radio frecuencia entre Teleamazonas y el Edificio Centrum

7.1.2.4. Gráfico del Radio Enlace

Gráfico # 7.2 Radioenlace de Teleamazonas-Centrum



7.1.2.3. Gráfico del Radio Enlace

7.1.2.5. Cálculos del Radioenlace

DATOS GENERALES	
Frecuencia (MHz)	3600
Distancia de Enlace (Km)	1.8
Potencia de Transmisión (dB)	30
Diámetro de la Antena (m)	0.6
Ganancia de las Antenas (dBi)	23.7
Umbral de Recepción (dB)	-87
Sensibilidad (dB)	-110
Perdidas por lluvia (dB)	2
Factor de Forma del Espectro	0.2
Tasa de Transmisión (Mbps)	32
FEC	0.81
Tipo de Modulación	QPSK
BER	1E-06
Nivel de Codificación Modular	2
Figura de Ruido (Funcionamiento del equipo)	2.7
Temperatura del ambiente	290
DATOS TX	
Perdida por Cable Coaxial TX (dB)/100 (M)	10
Distancia del Cable de TX (M)	20
Perdidas de los Conectores TX (dB)	0.1
DATOS RX	
Perdida por Cable Coaxial RX (dB)/100 (M)	10
Distancia del Cable de RX (M)	64
Perdidas de los Conectores RX (dB)	0.1

Tabla # 7.8 Datos del Enlace Teleamazonas y el Edificio Centrum

Perdidas del Cable (dB)=	Perdidas del Cable x Distancia del Cable
Perdidas cable de TX (dB)=	2
Perdidas cable de RX (dB)=	6.4
Ganancias Totales (dB)=	Potencia de Transmisión + Ganancia TX de la Antena + Ganancia Rx de la Antena
Ganancias Totales (dB)=	77.4
Perdidas por conectores (dB) =	Perdidas de Conector x Numero de Conectores
Perdidas por conectores (dB)=	0.4
Perdidas por espacio libre (dB)=	$36.6+20\log f(\text{MHz})+20\log D(\text{km})$
Perdidas por espacio libre (dB)=	112.83
Perdidas Totales (dB) =	Perdida por cable + Perdida por conector +Perdida por lluvia+Perdida por espacio Libre
Perdidas Totales (dB) =	123.63
Potencia de Recepción (dBm) =	Ganancias Totales – Perdidas Totales
Potencia de Recepción (dBm) =	-46.23
Margen de Desvanecimiento (dB)=	Potencia de RX – Umbral
Margen de Desvanecimiento (dB)=	40.77

No Disponibilidad =	Factor clima x Factor Terreno x 2.5 X f x Distancia x 1E(Margen de Desvanecimiento/10)
No Disponibilidad =	2.30E-4
Confiabilidad =	(1 – No Disponibilidad) x 100
Confiabilidad =	99.9770%
Ancho de Banda (MHz)=	((1+Factor de Forma del Espectro)xVelocidad de TX)/(FECxNivel de Codificación del Modular).
Ancho de Banda (MHz) =	23.8
Temperatura Equivalente (°K) =	(Figura de Ruido –1) x Temperatura del ambiente
Temperatura Equivalente (°K)=	250.00526
Relación Señal a Ruido =	(Eb/No) + 10 Log (Tasa de Transmisión / Ancho de Banda)
Relación Señal a Ruido =	12.28
Potencia de Ruido (dBm)=	Constante de Boltzmann x Ancho de Banda x Temperatura
Potencia de Ruido (dBm)=	-98.95
Potencia de Transmisión Mínima (dBm)=	Relación Señal a Ruido + Potencia de Ruido +Perdidas del espacio libre + Margen de Desvanecimiento – Ganancia de la Antena de Transmisión
Potencia de Transmisión Mínima (dBm) =	19.54

Con los cálculos obtenidos de Potencia Mínima de Transmisión de 19.54 dBm podemos concluir que nuestro enlace se podrá realizar debido a que estamos utilizando la mitad de la potencia que provee el equipo; si ocurre en el enlace alguna pérdida adicional que disminuya el nivel de potencia de recepción, estamos en capacidad de aumentar nuestra potencia para garantizar el enlace.

Para comprobar que la transmisión de datos digitales sea la óptima y no tener pérdidas en la recepción, se realizará el cálculo del Eb/No mediante las fórmulas que han sido detalladas en el capítulo 3, obteniendo así el siguiente valor:

$$N = KTeB$$

$$C/No = C/N + B$$

$$Eb/No = C/No - \text{Bit Rate}$$

$$Eb/No = C/N + B - \text{Bit Rate}$$

$$Eb/No = 51.43 \text{ db}$$

Según el dato de B.E.R. de 1.0E-06 indicado en las especificaciones del equipo nuestra relación de Eb/No será de 11db, mediante los cálculos antes realizados podemos determinar que en nuestro enlace el Eb/No es de 51.43db con un B.E.R. superior al requerido.

7.1.3. Radio enlace Telesistema – Edificio Centrum

7.1.3.1. Datos Generales

Frecuencia de operación	f(GHz) =	3.6
Distancia entre antenas	D(km) =	2.5
Altura Topográfica de TX	H (Topográfica) TX =	5
Altura de Edificio TX	H (edificio) TK =	6
Altura de Torre de TX	H (Torre) TX =	5
Altura Total TX	HTX =	16
Altura Topográfica de RX	H (topográfica) RX =	5
Altura de Edificio de RX	H (edificio) RK =	54
Altura de Torre de RX	H (Torre) RX =	1
Altura Total de RX	HRX =	60
Diferencia entre Alturas de Antenas	H (TX-RX) =	-44

Tabla # 7.9 Datos Generales del Enlace de Microondas entre Telesistema y el Edificio Centrum

7.1.3.2. Cálculo del Punto de Reflexión

Punto Inicial (mts) =	500			
	Nomenclatura	Iteración 1	Iteración 2	Iteración 3
Distancia (Km)	D _i	500	1.9125	1.9625
Altura del Punto de Reflexión (m)	h _i	4	5	4
Altura de TX (m)	h ₁	12	11	12
Altura de RX (m)	h ₂	56	55	56
Relaciones de Alturas	q	0.647058824	0.666666667	0.647058824
Relaciones de Distancias	Q	3.7044	3.5955	3.7044
Factor de Distancia en TX y el Punto de Reflexión	A ₁	1.53	1.57	1.54
Factor de Distancia en RX y el Punto de Reflexión	A ₂	0.47	0.43	0.46
Punto de Reflexión respecto a TX	D ₁	1.9125	1.9625	1.925
Punto de Reflexión respecto a RX	D ₂	0.5875	0.5375	0.575

Tabla # 7.10 Cálculo del Punto de Reflexión

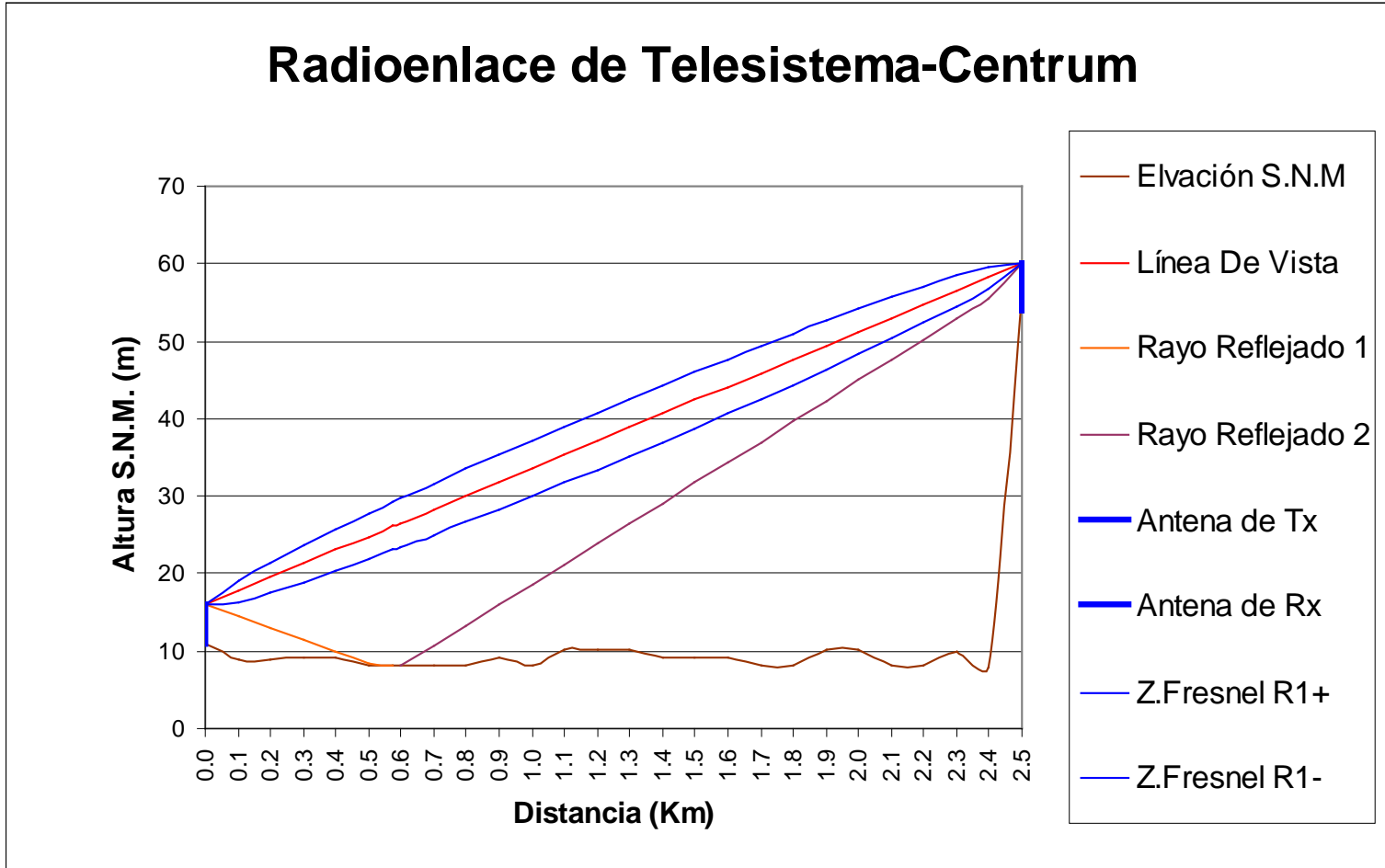
7.1.3.3. Cálculos de Radio Frecuencia

Distancia	Elevación	Curvatura	Altura S.N.M.	Línea Vista	RR1	RR2	Zona de Fresnel R1	
0.000	11	0.000	11.000	16.000	16.000		16.000	16.00
0.100	5	0.014	5.014	17.760	15.429		19.819	15.701
0.200	10	0.027	10.027	19.520	14.857		22.371	16.669
0.300	5	0.039	5.039	21.280	14.286		24.695	17.865
0.400	8	0.049	8.049	23.040	13.714		26.892	19.188
0.500	10	0.059	10.059	24.800	13.143		29.003	20.597
0.575	10	0.065	10.065	26.120	12.714	12.714	30.542	21.698
0.600	8	0.067	8.067	26.560		13.751	31.048	22.072
0.700	5	0.074	5.074	28.320		16.186	33.038	23.602
0.800	8	0.080	8.080	30.080		18.620	34.981	25.179
0.900	10	0.085	10.085	31.840		21.054	36.884	26.796
1.000	10	0.088	10.088	33.600		23.488	38.748	28.452
1.100	8	0.091	8.091	35.360		25.922	40.576	30.144
1.200	5	0.092	5.092	37.120		28.356	42.370	31.870
1.300	8	0.092	8.092	38.880		30.790	44.130	33.630
1.400	10	0.091	10.091	40.640		33.224	45.856	35.424
1.500	10	0.088	10.088	42.400		35.659	47.548	37.252
1.600	8	0.085	8.085	44.160		38.093	49.204	39.116
1.700	5	0.080	5.080	45.920		40.527	50.821	41.019
1.800	8	0.074	8.074	47.680		42.961	52.398	42.962
1.900	10	0.067	10.067	49.440		45.395	53.928	44.952
2.000	10	0.059	10.059	51.200		47.829	55.403	46.997
2.100	8	0.049	8.049	52.960		50.263	56.812	49.108
2.200	12	0.039	12.039	54.720		52.698	58.135	51.305
2.300	12	0.027	12.027	56.480		55.132	59.331	53.629
2.400	10	0.014	10.014	58.240		57.566	60.299	56.181
2.500	59	0.000	59.000	60.000		60.000	60.000	60.000

Tabla # 7.11 Cálculos del Radio frecuencia entre Telesistema y el Edificio Centrum

7.1.3.4. Gráfico del Radio Enlace

Gráfico # 7.3 Radioenlace de Telesistema-Centrum



7.1.3.4 Gráfico del Radio Enlace

7.1.3.5. Cálculos del Radio Enlace

DATOS GENERALES	
Frecuencia (MHz)	3600
Distancia de Enlace (Km)	2.5
Potencia de Transmisión (dB)	30
Diámetro de la Antena (m)	0.6
Ganancia de las Antenas (dBi)	23.7
Umbral de Recepción (dB)	-87
Sensibilidad (dB)	-110
Perdidas por lluvia (dB)	2
Factor de Forma del Espectro	0.2
Tasa de Transmisión (Mbps)	32
FEC	0.81
Tipo de Modulación	QPSK
BER	1E-06
Nivel de Codificación Modular	2
Figura de ruido (Funcionamiento de equipo)	2.7
Temperatura del ambiente (°K)	290
DATOS TX	
Perdida por Cable Coaxial TX (dB)/100 (M)	10
Distancia del Cable de TX (M)	18
Perdidas de los Conectores TX (dB)	0.1
DATOS RX	
Perdida por Cable Coaxial RX (dB)/100 (M)	10
Distancia del Cable de RX (M)	64
Perdidas de los Conectores RX (dB)	0.1

Tabla # 7.12 Datos del Enlace Telesistema y el Edificio Centrum

Perdidas del Cable (dBm)=	Perdidas del Cable x Distancia del Cable
Perdidas cable de TX (dBm)=	1.8
Perdidas cable de RX (dBm)=	6.4
Ganancias Totales (dBm) =	Potencia de Transmisión + Ganancia TX de la Antena + Ganancia R _x de la Antena
Ganancias Totales (dBm)=	77.4
Perdidas por conectores (dBm)=	Perdidas de Conector x Numero de Conectores
Perdidas por conectores (dBm)=	0.4
Perdidas por espacio libre (dBm)=	$36.6+20\log f(\text{MHz})+20\log D(\text{km})$
Perdidas por espacio libre (dBm)=	115.68
Perdidas Totales (dB) =	Perdida por cable+Perdida por conector+Perdida por lluvia+Perdida por espacio Libre
Perdidas Totales (dB) =	126.28
Potencia de Recepción (dBm) =	Ganancias Totales – Perdidas Totales
Potencia de Recepción (dBm) =	-48.88
Margen de Desvanecimiento (dB)=	Potencia de RX – Umbral
Margen de Desvanecimiento (dB)=	38.12

No Disponibilidad =	Factor clima x Factor Terreno x 2.5 X f x Distancia x 1E(Margen de Desvanecimiento/10)
No Disponibilidad =	4.38E-4
Confiabilidad =	(1-No disponibilidad) x 100
Confiabilidad =	99.9562%
Ancho de Banda (MHz)=	((1+Factor de Forma del Espectro)xVelocidad de TX)/(FECxNivel de Codificación del Modular).
Ancho de Banda (MHz)=	23.8
Relación Señal a Ruido =	(Eb/No) + 10 Log (Tasa de Transmisión / Ancho de Banda)
Relación Señal a Ruido =	12.28
Temperatura Equivalente (°K)=	(Figura de Ruido -1)x Temperatura del ambiente
Temperatura Equivalente (°K)=	250.00527
Potencia de Ruido (dBm)=	Constante de Boltzmann x Ancho de Banda x Temperatura
Potencia de Ruido (dBm) =	-98.95
Potencia de Transmisión Mínima (dBm) =	Relación Señal a Ruido + Potencia de Ruido +Perdidas del espacio libre + Margen de Desvanecimiento - Ganancia de la Antena de Transmisión
Potencia de Transmisión Mínima (dBm)=	19.74

Con los cálculos obtenidos de Potencia Mínima de Transmisión de 19.74 dBm podemos concluir que nuestro enlace se podrá realizar debido a que estamos utilizando la mitad de la potencia que provee el equipo; si ocurre en el enlace alguna pérdida adicional que disminuya el nivel de potencia de recepción, estamos en capacidad de aumentar nuestra potencia para garantizar el enlace.

Para comprobar que la transmisión de datos digitales sea la óptima y no tener pérdidas en la recepción, se realizará el cálculo del Eb/No

mediante las fórmulas que han sido detalladas en el capítulo 3, obteniendo así el siguiente valor:

$$N = KTeB$$

$$C/No = C/N + B$$

$$Eb/No = C/No - \text{Bit Rate}$$

$$Eb/No = C/N + B - \text{Bit Rate}$$

$$Eb/No = 48.78\text{db}$$

Según el dato de B.E.R. de 1.0E-06 indicado en las especificaciones del equipo nuestra relación de Eb/No será de 11db, mediante los cálculos antes realizados podemos determinar que en nuestro enlace el Eb/No es de 48.78db con un B.E.R. superior al requerido.

7.2. Enlaces de Fibra Optica

7.2.1. Diseño del Enlace TC Televisión – Edificio Centrum



Longitud del Tramo (Km)	1.4
Longitud de la onda (nm)	1310
Perdida en la fibra óptica (dB/Km)	2.1
Numero de Empalmes	0
Perdidas por cada empalme (dB)	0
Numero de Conectores	2
Perdidas por cada conector (dB)	1.0
Perdidas por otros componentes (dB)	1.0
Margen Optico de diseño (dB)	2.0
Perdida Total del Enlace (dB)	6.1
Potencia Media de Salida del transmisor (dBm)	-15
Potencia de entrada del receptor (dBm)	-21.1
Rango Dinámico del receptor	-20 a -25
Sensibilidad del Receptor S/N (dBm)	-25
Margen Restante (dB)	3.90

Tabla # 7.13 Datos Generales de Enlace entre TC Televisión y el Edificio Centrum

Perdidas en la Fibra = Atenuación de la Fibra x Distancia

Perdidas en la Fibra = 1.5 dB/Km x 1.4 km

Perdidas en la Fibra = 2.1 dB

**Perdida Total del Enlace = Perdidas en la Fibra óptica +
Perdidas conexión + Margen óptico + Perdidas en empalmes +
Perdidas por otros componentes**

**Perdida Total del Enlace = 2.1 dB/Km + 1.0 dB + 2.0 dB + 0
dB. + 1.0 dB**

Perdida Total del Enlace = 6.1 dB

Potencia entrada Receptor = Potencia Media de Salida del Transmisor - Perdida Total del Enlace

Potencia entrada Receptor = -15dB – 6.1 dB

Potencia entrada Receptor = -21.1 dB

Margen Restante = Potencia de entrada del receptor – Sensibilidad del receptor

Margen Restante = -21.1 dB -(-25) dBm

Margen Restante = 3.9 dB

Atenuación del Sistema = Perdidas Total del enlace / Longitud del Tramo

Atenuación del Sistema = 6.1 dB / 1.4 Km

Atenuación del Sistema = 4.35 dB/Km

El margen restante de perdidas es la perdida adicional de potencia óptica que el enlace de fibra tolera sin que se vean afectadas sus características de potencia de entrada del receptor menos el equipo del enlace óptico, este valor debe ser siempre mayor a cero.

El margen óptico del diseño es el nivel de perdidas estimadas que nos proporcionara la suficiente confianza para mantener el debido funcionamiento del equipo de comunicaciones a lo largo de la vida del sistema. Con el

tiempo, todos los sistemas se degradan de manera apreciable, este aspecto ha sido considerado en el diseño del sistema con el fin de maximizar la vida del mismo. Este valor incluye factores que contribuyen a la degradación de la potencia del generador de luz, el decrecimiento de la sensibilidad del receptor y el incremento de las pérdidas debido a la contaminación.

Se considero las pérdidas de los conectores del equipo de transmisión 1dB entre las pérdidas por otros componentes.

Se puede concluir que una Fibra óptica Multimodo de 62,5/125 con Apertura Numérica (AN) de 0.275 para ser utilizada en la instalación debe tener una atenuación no mayor a 2.1 dB/Km para una ventana de operación de 1310nm de esta manera aseguramos que nuestra instalación funcione con una atenuación de 4.35 dB/Km

7.2.2. Diseño del Enlace Gamavisión – Edificio Centrum



Longitud del Tramo (Km)	1.3
Longitud de la onda (nm)	1310
Perdida en la fibra óptica (dB/Km)	1.95
Numero de Empalmes	0
Perdidas por cada empalme (dB)	0
Numero de Conectores	2
Perdidas por cada conector (dB)	1.0
Perdidas por otros componentes (dB)	1.0
Margen Optico de diseño (dB)	2.0
Perdida Total del Enlace (dB)	5.95
Potencia Media de Salida del transmisor (dBm)	-15
Potencia de entrada del receptor (dBm)	-20.95
Rango Dinamico del receptor	-20 a -25
Sensibilidad del Receptor S/N (dBm)	-25
Margen Restante (dB)	4.05

Tabla # 7.14 Datos Generales de Enlace entre Gamavisión y el

Edificio Centrum

Perdidas en la Fibra = Atenuación de la Fibra / Distancia

Perdidas en la Fibra = 1.5 dB/Km x 1.3 km

Perdidas en la Fibra = 1.95 dB

**Perdida Total del Enlace = Perdidas en la Fibra óptica +
Perdidas conexión + Margen óptico + Perdidas en empalmes +
Perdidas por otros componentes**

**Perdida Total del Enlace = 1.95 dB/Km + 1.0 dB + 2.0 dB + 0
dB. + 1.0 dB**

Perdida Total del Enlace = 5.95 dB

**Potencia entrada Receptor = Potencia Media de Salida del
Transmisor - Perdida Total del Enlace**

Potencia entrada Receptor = -15dB - 5.95 dB

Potencia entrada Receptor = -20.95 dB

**Margen Restante = Potencia de entrada del receptor –
Sensibilidad del receptor**

Margen Restante = -20.95 dB -(-25) dBm

Margen Restante = 4.05 dB

**Atenuación del Sistema = Perdidas Total del enlace /
Longitud del Tramo**

Atenuación del Sistema = 5.95 dB / 1.1 Km

Atenuación del Sistema = 5.40 dB/Km

El margen restante de pérdidas es la pérdida adicional de potencia óptica que el enlace de fibra tolera sin que se vean afectadas sus características de potencia de entrada del receptor menos el equipo del enlace óptico, este valor debe ser siempre mayor a cero.

El margen óptico del diseño es el nivel de pérdidas estimadas que nos proporcionara la suficiente confianza para mantener el debido funcionamiento del equipo de comunicaciones a lo largo de la vida del sistema. Con el tiempo, todos los sistemas se degradan de manera apreciable, este aspecto ha sido considerado en el diseño del sistema con el fin de maximizar la vida del mismo. Este valor incluye factores que contribuyen a la degradación de la potencia del generador de luz, el decrecimiento de la sensibilidad del receptor y el incremento de las pérdidas motivo a la contaminación.

Se considero las pérdidas de los conectores del equipo de transmisión 1dB/Km entre las pérdidas por otros componentes.

Se puede concluir que una Fibra óptica Multimodo de 62,5/125 con Apertura Numérica (AN) de 0.275 para ser utilizada en la instalación debe tener una atenuación no mayor a 1.95 dB/Km para una ventana de operación de 1310nm de esta manera aseguramos que nuestra instalación funcione con una atenuación de 5.40 dB/Km.

CAPITULO 8

8. ESTUDIO ECONOMICO DEL PROYECTO

8.1. Costo de los Equipos a utilizarse

A continuación se presenta una tabla donde se detallan los costos de los equipos si los mismos se adquirieran al contado y con un leasing financiero al 18 % de tasa de interés, de tal manera que se pueda realizar un análisis del costo real o financiado del proyecto.

EQUIPO	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	AL CONTADO		LEASING BANCARIO (A8% de Interes a 36 meses)	
			PRECIO VENTA UNITARIO	PRECIO VENTA TOTAL	PRECIO VENTA UNITARIO	PRECIO VENTA TOTAL
LDF5-75 A	Bobina de 304 mts Cable Coaxial de ½"	1	\$6414.40	\$6414.40	\$7569.00	\$7569.00
RG-59	1 mts Cable para IF	20	\$0.74	\$14.71	\$0.87	\$17.36
N	Conectores N	6	\$51.00	\$306.00	\$60.18	\$361.18
BNC	Conectores BNC	6	\$8.00	\$48.00	\$9.44	\$56.64
F	Conector F	3	\$10.00	\$30.00	\$11.80	\$35.40
Newscoder TX1	Modular y Codificador MPEG	3	\$38,000.00	\$114,000.00	\$44,840.00	\$134,520.00
Newscoder RX1	Demodulador y Decodificador MPEG	3	\$38,000.00	\$114,000.00	\$44,840.00	\$134,520.00
FT6	Equipo de Transmisión de microondas	3	\$22,500.00	\$67,500.00	\$26,550.00	\$79,650.00
FR6	Equipo de recepción de microondas	3	\$22,500.00	\$67,500.00	\$26,550.00	\$79,650.00
KP2F-34	Antena de Grilla	6	\$650.00	\$6,500.00	\$767.00	\$7,670.00
	Bobina de 2.7 Km Fibra Optica Multimodo	1	\$13,230.00	\$13,230.00	\$15,611.40	\$15,611.40
ST	Conectores ST para Fibra	4	\$50.00	\$200.00	\$59.00	\$236.00
9815T-LD-ST	Modem transmisor de Fibra Optica	2	\$2,500.00	\$5,000.00	\$2,950.00	\$5,900.00
9815R-LD-ST	Modem receptor de Fibra Optica	2	\$2,500.00	\$5,000.00	\$2,950.00	\$5,900.00
	Rack para equipos	1	\$ 200.00	\$200.00	\$200.00	\$200.00
	Mestil de 3 mts para la Antena	3	\$100.00	\$300.00	\$118.00	\$900.00
TOTAL CONTADO				\$400,243.11	TOTAL LEASING	\$472,286.86

Tabla # 8.1 Costos de los equipos

8.2. Costo Total del Proyecto

Descripción	AL CONTADO	LEASING BANCARIO (18% de Interés a 38 meses)
	Precio Venta Total	Precio Venta Total
Costo Total de Equipos de Microonda	374,013.20	436,343.60
Costo Total de Equipos de Fibra Optica	23,530.00	27,765.40
Configuración de equipos de microonda	2,100.00	1,800.00
Configuración de Equipos de Fibra Óptica	1.000.00	300.00
Gastos Varios (Por adecuación o imprevistos)	2,000.00	2,000.00
TOTAL FINAL CONTADO		\$406,143.20
TOTAL FINAL LEASING		\$468,209.00

8.3. Cronograma del Proyecto

Se ha elaborado un cronograma de trabajo del proyecto en el cual se considera desde la presentación del proyecto a la Asociación de Canales de Televisión, hasta la puesta en marcha del mismo en un periodo de 3 meses, el mismo que se desglosa de la siguiente manera.

Actividad	Tiempo Estimado de Duración
• <i>Presentación del proyecto a la Asociación de Canales de televisión</i>	1 semana
• <i>Presentación del proyecto a cada uno de los canales involucrados previa aprobación de la Asociación de Canales de Televisión.</i>	1 semana
• <i>Definición de la programación de los canales</i>	1 mes
• <i>Ejecución del proyecto</i>	2 meses y medio

Los trabajos que se deben realizar para la ejecución del proyecto se detallan a continuación:

- | | |
|-----------------------------------|---------|
| • Compra e importación de equipos | 35 días |
| • Obtención de los permisos de | 45 días |

funcionamiento de los equipos de radio
de la Conartel.

- Instalación de Antenas y equipos de radio 1 semana
- Tendido de Fibra Optica 1 mes
- Establecimiento de Radio frecuencias 1 Semana
- Configuración de equipos de Fibra Optica 3 días
- Adecuación de la oficina de la Asociación de Canales de Televisión donde se ubica el RAC con los equipos. 1 Semana
- *Etapas de Pruebas de los enlaces* 2 semanas

CAPITULO 9

9. CONCLUSIONES

Este proyecto nos da a conocer el proceso necesario para la transmisión de video digital a través de medios de comunicación inalámbricos y de fibra óptica.

Con lo cual se logra transmitir la programación de los 5 canales locales de televisión hasta la Asociación de Canales dentro de los parámetros y valores establecidos en los cálculos realizados en el estudio.

Para los radioenlaces realizados se utilizo un ancho de banda espectral de 23.8 MHz, con un FEC de $7/8$ y una modulación QPSK, de tal forma que se aprovecha casi al máximo el ancho de banda con una velocidad de transmisión de 32 Mbps.

Debido a las distancias de los canales de televisión TC y Gamavision al edificio Centrum, se decido utilizar fibra óptica como medio de transmisión y gracias al ancho de banda de la fibra, no fue necesario la compresión de la señal y la misma es transmitida a 270 Mbps, según el estándar SMPTE259M.

Los equipos utilizados son de tecnología digital y presentan mucha confiabilidad para cada enlace tanto los de radiofrecuencia como de fibra óptica a diferencia de un enlace analógico en el cual se presentaría problemas típicos como desvanecimiento multitrayectoria entre otros.

Para poder brindar un mejor servicio con tecnología Digital en el campo de la televisión, es necesario una gran inversión inicial tanto en equipos como en capacitación de personal, lo mismo que conlleva a la demora de la implantación de esta tecnología en nuestro medio.

BIBLIOGRAFÍA

- BOB CHOMYCZ (1998), “ Instalación de Fibra óptica- Fundamentos y Aplicaciones”, Mac Graw Hill
- RAPPAPORT THEODORE (1999) “Wireless Communication, principles and practice” IEEE Press, Prentice Hall PTR
- LENKURT ELECTRIC C.O. Inc. (2002) “Engineering Consideration for Microwave Communications Systems”.
- TOMASI WAYNE (1999) “Sistemas de comunicación electrónica” 2nd Edition, Prentice Hall Hispanoamericana
- JOSÉ BENITO (2002), “Diseño de Radioenlaces por microondas”, Universidad de los Andes.
- National Association of Broadcasters Engineering Handbook, 9th Edition

Varios sitios Web, tales como:

<http://www.andrew.com> / Catálogos de las Atenas

<http://www.nucomm.com> / Catálogos de equipos de radio

<http://www.tandbeg.com> / Catálogos de equipos de radio

<http://www.fibraoptica.com> / Especificaciones y catalogos de las Fibra Optica

<http://rccfiber.com>, / Catálogos de Equipos de Fibra Optica

[http //www.optelecom.com](http://www.optelecom.com) / Catálogos de equipos de compresión y modulación digital

<http://www.continentalmicrowave.com> / Catálogos de equipos de radio