

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

DISEÑO DE UN ENLACE DE MICROONDAS Y ESTACION TELEDIFUSORA MECEDORES-AGUA FRIA-CARICUAO PARA LA C.A. VENEZOLANA DE TELEVISION

Presentado ante la ilustre
Universidad Central de Venezuela
Por el Br. Fernandez J. Julian
Para optar al Título de Ingeniero Electricista.

Caracas, 2008

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

DISEÑO DE UN ENLACE DE MICROONDAS Y ESTACION TELEDIFUSORA MECEDORES-AGUA FRIA-CARICUAO PARA LA C.A. VENEZOLANA DE TELEVISION

Prof. Guía: Lic. Franklin Martínez.
Tutor Industrial: Ing. Xiomara Hernández.

Presentado ante la ilustre
Universidad Central de Venezuela
Por el Br. Fernandez J. Julian
Para optar al Título de Ingeniero Electricista.

Caracas, 2008

CONSTANCIA DE APROBACION



UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA ELECTRICA
DEPARTAMENTO DE COMUNICACIONES



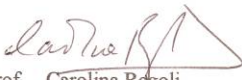
CONSTANCIA DE APROBACIÓN

Caracas, 08 de abril de 2008

Los abajo firmantes, miembros del Jurado designado por el Consejo de Escuela de Ingeniería Eléctrica, para evaluar el Trabajo Especial de Grado presentado por el Bachiller Fernández J. Julián., titulado:

**““DISEÑO DE UN ENLACE DE MICROONDAS Y ESTACIÓN
TELEDIFUSORA MECEDORES-AGUA FRÍA-CARICUAO PARA LA C.A.
VENEZOLANA DE TELEVISIÓN”**

Consideran que el mismo cumple con los requisitos exigidos por el plan de estudios conducente al Título de Ingeniero Electricista en la mención de Comunicaciones, y sin que ello signifique que se hacen solidarios con las ideas expuestas por el autor, lo declaran APROBADO.


Prof. Carolina Regoli
Jurado


Prof. Rafael Arruebarrena
Jurado


Prof. Franklin Martínez
Prof. Guía



Edificio Escuela de Ingeniería Eléctrica, piso 1, oficina 201, Ciudad Universitaria, Los
Chaguaramos, Caracas 1051, D.F.
TELÉFONOS. (VOZ) +58 212 6053300 (FAX) +58 212 6053105
Mail: eie-com@elecristo.ing.ucv.ve

DEDICATORIA

A mi madre, por ser infante su esfuerzo y apoyo.

RECONOCIMIENTOS Y AGRADECIMIENTOS

Agradezco en especial a mi profesor Guía Franklin Martínez por su paciencia, comprensión y guía a lo largo de este trabajo.

A la Ing. Xiomara por su apoyo y comprensión en la ejecución de este trabajo.

A Juan Pablo Sánchez por ser un apoyo en todos aquellos momentos difíciles.

A Tahina, la mujer que ha creído en mí y me ha dado animo a lo largo del tiempo.

A todos aquellos que de una u otra forma han estado en mi camino dándome una mano amiga en el momento oportuno.

Fernandez J., Julian

**DISEÑO DE UN ENLACE DE MICROONDAS Y ESTACION
TELEDIFUSORA MECEDORES-AGUA FRIA-CARICUAO PARA
LA C.A. VENEZOLANA DE TELEVISION**

Profesor Guía: Lic. Franklin Martínez. **Tutor Industrial:** Ing. Belkys Hernandez. **Tesis.** Caracas. U.C.V. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Eléctrica. **Ingeniero Electricista. Opción:** Comunicaciones. **Institución:** C.A. Venezolana de Televisión, **trabajo de grado 2008. 93h + anexos.**

Palabras claves: Método FCC(Federal Communications Commission), microondas, enlaces digitales, radioenlace, patrón de radiación, estudio interferencia, sistema de radiación, antena, paneles, etc.

Resumen. Se plantea el diseño de un sistema de transporte por microondas para una señal analógica, y una señal digital usando para ello el método de calculo propuesto por la UIT-R, además se calcula la capacidad del sistema de transporte en cuanto a la tasa de transmisión máxima que puede ser transportada por dicho sistema y la cantidad de programas de televisión que se pueden enviar en formato digital. También se plantea el diseño de un sistema de radiodifusión analógico que permita dar cobertura a las zonas de Caricuaao y las Adjuntas haciendo para ello el análisis de cobertura e interferencia para las zonas antes mencionadas, usando el método de la FCC, que es exigido por el ente regulador de las telecomunicaciones en Venezuela (CONATEL).

INDICE GENERAL

DEDICATORIA	IV
RECONOCIMIENTOS Y AGRADECIMIENTOS	V
LISTAS DE FIGURAS	XII
LISTAS DE TABLAS	XIII
SIGLAS O ABREVIATURAS	XIV
INTRODUCCION	1
CAPITULO I	3
1.1 JUSTIFICACIÓN	3
1.2 OBJETIVOS	4
1.2.1 OBJETIVO GENERAL.....	4
1.2.2 OBJETIVO ESPECÍFICOS	4
1.3 METODOLOGÍA.....	5
CAPITULO II	6
CONSIDERACIONES TEORICAS SOBRE EL SISTEMA DE TRANSPORTE DE MICROONDAS DE LA SEÑAL DE TELEVISION Y EL ESTUDIO DE COBERTURA	6
2.1 CONSIDERACIONES TEÓRICAS PARA EL DISEÑO DE ENLACES DE MICROONDAS TANTO ANALÓGICOS COMO DIGITALES.....	6
2.1.1 POTENCIA DE RECEPCIÓN	6
2.1.2 PÉRDIDAS POR LLUVIA, GASES Y VAPORES ATMOSFÉRICOS	7
2.1.3 PÉRDIDAS DE ESPACIO LIBRE	7
2.1.4 PÉRDIDAS EN LOS RADIOENLACES DE MICROONDAS.....	8
2.1.5 MODELO DE TIERRA PLANA.....	8
2.1.6 CALCULO DEL PUNTO DE REFLEXIÓN EN EL MODELO DE TIERRA PLANA 8	
2.1.7 ZONAS DE FRESNEL	10
2.1.8 INDISPONIBILIDAD POR EQUIPOS	12
2.1.9 INDISPONIBILIDAD POR PROPAGACIÓN: BARNETT –VIGANTS.....	14
2.1.10 INDISPONIBILIDAD DE LOS RADIOENLACES DE MICROONDAS.....	15
2.2 CONSIDERACIONES TEÓRICAS PARA RADIOENLACES ANALÓGICOS	17
2.2.1 ANCHO DE BANDA DE RADIOENLACES ANALÓGICOS DE TV.....	17
2.2.2 MARGEN DE DESVANECIMIENTO.....	18
2.2.3 RELACIÓN SEÑAL A RUIDO PARA RADIOENLACES DE TELEVISIÓN	18
2.3 CONSIDERACIONES TEÓRICAS PARA RADIOENLACES DIGITALES	20
2.3.1 UMBRAL.....	20

2.3.2	MARGEN BRUTO DE DESVANECIMIENTO.....	20
2.3.3	PARÁMETROS DE CALIDAD DE ERROR.....	20
2.3.4	DESVANECIMIENTOS	22
2.3.5	DESVANECIMIENTO PLANO Y SELECTIVO.....	22
2.3.6	DESVANECIMIENTO POR MULTITRAYECTORIA	23
2.3.7	FIRMA O SIGNATURA DE UN RECEPTOR.....	23
2.3.8	FACTOR DE APARICIÓN DE DESVANECIMIENTO	23
2.3.9	CALIDAD DE FIDELIDAD DE UN RADIOENLACE DIGITAL	25
2.3.10	ANCHO DE BANDA EMPLEADO POR RADIOENLACES DIGITALES	30
2.4	CONSIDERACIONES TEÓRICAS DE LOS PROCESOS DIGITALES APLICADOS A LA SEÑAL DE TELEVISIÓN.....	31
2.4.1	MODULACIÓN DIGITAL MULTINIVEL M-PSK Y M-QAM	31
2.4.2	ECUALIZACIÓN ADAPTATIVA DE LOS CANALES	34
2.4.3	PROCESOS DE DIGITALIZACIÓN	36
2.4.3.1	MUESTREO	36
2.4.3.2	CUANTIFICACIÓN	36
2.4.3.3	CODIFICACIÓN.....	36
2.4.4	ESTÁNDARES DE COMPRESIÓN DE VIDEO DIGITAL	37
2.4.4.1	MPEG-1	37
2.4.4.2	MPEG-2	38
2.4.4.3	MPEG-4	41
2.5	CONSIDERACIONES TEORICAS SOBRE EL ESTUDIO DE COBERTURA	42
2.5.1	CONTORNOS DE SERVICIO	42
2.5.2	MÉTODO DE PREDICCIÓN DE PROPAGACIÓN DE LA FCC	43
2.5.2	ESTUDIO DE INTERFERENCIA CON OTRAS ESTACIONES DE RADIODIFUSIÓN DE TV	44
	CAPITULO III.....	45
	DISEÑO DEL ENLACE DE MICROONDAS ANALOGICO Y DIGITAL	45
3.1	CONSIDERACIONES GENERALES PARA EL DISEÑO DEL ENLACE DE MICROONDAS EN FORMATO ANALÓGICO Y DIGITAL	45
3.2	UBICACIÓN DE LOS SITIOS DE TRANSMISIÓN Y RECEPCIÓN.....	45
3.3	ALTURA DE LAS ANTENAS	48
3.4	CALCULO DEL PUNTO DE REFLEXIÓN	48
3.4.1	PUNTO DE REFLEXIÓN DEL VANO MECEDORES – VOLCÁN:	49
3.4.2	PUNTO DE REFLEXIÓN DEL VANO VOLCÁN - CARICUAO:.....	49
3.5	DESCRIPCIÓN DE COMPONENTES A USAR EN EL DISEÑO	50

3.5.1	RADIO	50
3.5.2	GUÍA DE ONDAS.....	51
3.5.3	ANTENA	51
3.5.4	EQUIPAMIENTO DE ACOPLAMIENTO ENTRE EL RADIO Y LA ANTENA.....	51
3.6	ESTUDIO DE INTERFERENCIA.....	52
3.7	CALCULO DE LAS PERDIDAS EN LOS SISTEMAS DE MICROONDAS	52
3.7.1	PÉRDIDAS POR EQUIPOS EN LOS SISTEMAS DE MICROONDAS DE TRANSMISIÓN/RECEPCIÓN	52
3.7.1.1	PERDIDAS DEL SISTEMA DE TRANSMISIÓN (L_{TX}):.....	53
3.7.1.2	PERDIDAS DEL SISTEMA DE RECEPCIÓN (L_{RX}):.....	53
3.7.2	PÉRDIDAS DE PROPAGACIÓN	53
3.7.2.1	PERDIDAS EN ESPACIO LIBRE PARA EL VANO MECEDORES - VOLCÁN: $L_{BF(MV)}$	54
3.7.2.2	PERDIDAS EN ESPACIO LIBRE PARA EL VANO VOLCÁN - CARICUAO: $L_{BF(VC)}$	54
3.7.3	PERDIDAS TOTALES DEL ENLACE MECEDORES – VOLCÁN: $L_{G(MV)}$	54
3.7.4	PERDIDAS TOTALES DEL ENLACE VOLCÁN – CARICUAO: $L_{G(VC)}$	55
3.8	CALCULO DE LA INDISPONIBILIDAD POR FALLAS DE EQUIPOS	55
3.9	ASPECTOS A CONSIDERAR EN EL ENLACE DE MICROONDAS EN FORMATO ANALÓGICO.....	57
3.9.1	CALCULO DE LA POTENCIA DE RECEPCIÓN.....	57
3.9.1.1	POTENCIA DE RECEPCIÓN EN EL VANO MECEDORES - VOLCÁN: $P_{RX(MV)}$	57
3.9.1.2	POTENCIA DE RECEPCIÓN EN EL VANO VOLCÁN - CARICUAO: $P_{RX(VC)}$	58
3.9.2	CALCULO DEL ANCHO DE BANDA OCUPADO POR EL RADIOENLACE ANALÓGICO DE TV	58
3.9.3	CALCULO DEL MARGEN DE DESVANECIMIENTO.....	58
3.9.3.1	MARGEN DE DESVANECIMIENTO DEL VANO MECEDORES – VOLCÁN: FM_{MV}	59
3.9.3.2	MARGEN DE DESVANECIMIENTO DEL VANO VOLCÁN - CARICUAO: $FM_{(VC)}$	59
3.9.4	CALCULO DE LA INDISPONIBILIDAD POR PROPAGACIÓN.....	59
3.9.4.1	INDISPONIBILIDAD POR PROPAGACIÓN DEL VANO MECEDORES – VOLCÁN: $U_{P(MV)}$	59
3.9.4.2	INDISPONIBILIDAD POR PROPAGACIÓN DEL VANO VOLCÁN - CARICUAO: $U_{P(MV)}$	60
3.9.5	CALCULO DE LA INDISPONIBILIDAD TOTAL DE LA RUTA DE ENLACES DE MICROONDAS.....	60

3.9.6	CALCULO DE LA RELACIÓN SEÑAL A RUIDO	61
3.9.6.1	RELACIÓN SEÑAL A RUIDO DEL VANO MECEDORES – VOLCÁN ..	61
3.9.6.2	RELACIÓN SEÑAL A RUIDO DEL VANO VOLCÁN - CARICUAO	62
3.10	ASPECTOS A CONSIDERAR EN EL ENLACE DE MICROONDAS EN FORMATO DIGITAL	63
3.10.1	CALCULO DE LA POTENCIA DE RECEPCIÓN.....	63
3.10.1.1	POTENCIA DE RECEPCIÓN EN MECEDORES Y VOLCÁN: $P_{RX(V)}$...	63
3.10.1.2	POTENCIA DE RECEPCIÓN VOLCÁN - CARICUAO: $P_{RX(VC)}$	64
3.10.2	CALCULO DEL MARGEN BRUTO DE DESVANECIMIENTO.....	64
3.10.2.1	MARGEN BRUTO DE DESVANECIMIENTO DEL VANO MECEDORES – VOLCÁN	64
3.10.2.2	MARGEN BRUTO DE DESVANECIMIENTO DEL VANO VOLCÁN- CARICUAO.....	65
3.10.3	CALCULO DE LA INDISPONIBILIDAD POR PROPAGACIÓN.....	65
3.10.3.1	INDISPONIBILIDAD POR PROPAGACIÓN DEL VANO MECEDORES – VOLCÁN: $U_{P(MV)}$	65
3.10.3.2	INDISPONIBILIDAD POR PROPAGACIÓN DEL VANO VOLCÁN - CARICUAO: $U_{P(MV)}$	66
3.10.4	CALCULO DE LA INDISPONIBILIDAD TOTAL DE LA RUTA DE ENLACES DE MICROONDAS.....	66
3.10.5	TASA DE TRANSMISIÓN DEL ENLACE DE MICROONDAS.....	67
3.10.5.1	CALCULO DE LA MÁXIMA TASA DE TRANSMISIÓN SEGÚN LAS RECOMENDACIONES DE CALIDAD DE FIDELIDAD	67
3.10.5.2	CALCULO DE LA MÁXIMA TASA DE TRANSMISIÓN PARA UN ANCHO DE BANDA DE 28MHZ	69
3.10.5.3	ESTIMACIÓN DE LA INFORMACIÓN A TRANSMITIR POR EL SISTEMA DE MICROONDAS.....	70
CAPITULO IV		73
DISEÑO DE LA ESTACION TELEDIFUSORA.....		73
4.1	UBICACIÓN DEL TRANSMISOR.....	73
4.2	GANANCIA DE LA ANTENA	74
4.3	ALTURA DE LA ANTENA	76
4.4	CANAL DE OPERACIÓN DEL TRANSMISOR.....	76
4.5	CALCULO DE LA POTENCIA DEL TRANSMISOR.....	76
4.6	ESTUDIO DE COBERTURA	79
4.7	CALCULO DE INTERFERENCIA.....	81
4.8	DETALLE DEL SISTEMA DE RADIODIFUSIÓN DE TELEVISIÓN A PLANTEARSE.	82
4.8.1	CASETA	83

4.8.2	TRANSMISOR	83
4.8.3	LÍNEA DE TRANSMISIÓN	83
4.8.4	TORRE	83
4.8.5	ANTENA DE TRANSMISIÓN	84
4.8.6	SISTEMA DE MONITOREO	84
4.8.7	SISTEMA DE TIERRA.....	84
4.8.8	AIRE ACONDICIONADO.....	84
4.8.9	RECEPTOR PARA TRANSMISIÓN EN CADENA NACIONAL.....	85
4.8.10	PLANTA DE EMERGENCIA	85
CONCLUSIONES.....		86
RECOMENDACIONES.....		88
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....		89
BIBLIOGRAFÍAS		90
GLOSARIO		92
ANEXOS		

LISTAS DE FIGURAS

Fig. 2.1 Rayo reflejado en el modelo de tierra plana	9
Fig. 2.2 Representación de los radios de Fresnel.....	10
Fig. 2.3 Despeje del rayo de microondas	12
Fig. 2.4 Obstrucción del rayo de microondas	12
Fig. 2.5. Representación de regiones de decisión en una “constelación bidimensional I-Q”	33
Fig. 2.6 Diagramas de las constelaciones BPSK y QPSK	33
Fig. 2.7 Ejemplos de constelaciones QAM.....	34
Fig. 2.8 Redundancia espacial.....	39
Fig. 3.1 Perfil Mecedores – Agua Fría.....	46
Fig. 3.2 Perfil Agua Fría - Caricuaao.....	46
Fig. 3.3 Disposición espacial de los vanos	47
Fig. 3.4 Perfil Mecedores – Volcán	48
Fig. 3.5 Perfil Volcán Caricuaao	48
Fig 3.7 Variación de la calidad de fidelidad ante cambios en los parámetros en el sistema de transporte	68
Fig 3.8 Esquema del sistema de transmisión	72
Fig 3.9 Esquema del sistema de recepción	72
Fig. 4.1 Ubicación de la estación radiodifusora de televisión	74
Figura 4.2 Radial para el cálculo de la potencia de transmisión.....	78
Figura 4.3 Contornos de servicio	79
Figura 4.4 Contornos de protección.....	82

LISTAS DE TABLAS

Tabla 2.1 Factor de rugosidad “a”	15
Tabla 2.2 Factor climático “b”	15
Tabla 2.3 Constante de signatura	27
Tabla 2.4 Contornos de servicio establecidos por CONATEL [7]	42
Tabla 3.1 Ubicación de los sitios	45
Tabla 3.2 MTTR y MTBF del sistema.....	56
Tabla 3.3 Indisponibilidad de los equipos	56
Tabla 3.4 Velocidades de transferencia del radioenlace.....	69
Tabla 3.5 Condicionamiento de la velocidad de transmisión por el AB_{mod}	70
Tabla 3.6 Numero de programas de televisión	71
Tabla 4.1 Datos de ubicación de la estación radiodifusora.....	74
Tabla 4.2 Ganancia del sistema radiante en los 18 radiales.....	75
Tabla 4.3 Distancias desde el transmisor hasta el NSE = 77dB μ	80
Tabla 4.4 Distancias desde el transmisor hasta el NSE = 71dB μ	80
Tabla 4.5 Distancias desde el transmisor hasta el NSE = 60dB μ	81

SIGLAS O ABREVIATURAS

C.A.V.T.V. :	Compañía Anónima Venezolana de Televisión
dB:	Decibelio
dBμ:	Decibelio referido a 1μV/m
UIT:	Unión Internacional de Telecomunicaciones
UIT-R:	Unión Internacional de Telecomunicaciones- Sector de Radiocomunicaciones
UIT-T:	Unión Internacional de Telecomunicaciones- Sector de Telecomunicaciones
SDI:	Interfaz Digital Serie
ASI:	Interfaz Serie Asíncrono
Km:	Kilómetro
m:	Metro
CANTV:	Compañía Anónima Nacional de Teléfonos de Venezuela
CONATEL:	Comisión Nacional de Telecomunicaciones
W:	Vatio
MHz	Mega Hertz
GHz	Giga Hertz
FI	Frecuencia Intermedia
BB	Banda Base
WGS84	World Geodetic System 1984
Tns	Tonelada por Segundo

INTRODUCCION

Las primeras emisiones públicas de televisión fueron realizadas por la BBC(*British Broadcasting Corporation*) y CBS(*Columbia Broadcasting System*) en Inglaterra para 1927 y la NBC(*National Broadcasting Company*) en Estados Unidos para 1930. Las emisiones de programas se iniciaron en Inglaterra en 1936 y en Estados Unidos en 1939.

A medida que han pasado los años, la televisión se ha convertido a nivel mundial en una de las mejores fuentes, no solo de entretenimiento, sino también informativa de gran alcance y en forma masiva, superando los niveles de penetración de cualquier otro medio de información.

Por tal motivo, es una herramienta de gran importancia para cualquier ente que desee difundir información masivamente y de manera instantánea. La infraestructura que se requiere para llegar hasta el televisor en los hogares es muy variada, pudiéndose sustentar en tecnologías digitales o analógicas, a través de sistemas satelitales, por fibra óptica, cable coaxial o por difusión de ondas de radio.

En el país actualmente opera una empresa del estado denominada Compañía Anónima Venezolana de Televisión que da el servicio de radiodifusión de televisión a todo el territorio nacional, transmitiendo una única señal, por donde se expresan contenidos de noticias, programas culturales y de opinión, la cual desde su salida al aire en 1964, ha tenido como uno de sus objetivos poder ofrecer a toda la ciudadanía la señal de televisión, por tanto, en diferentes puntos del país se incorporaron los sistemas de radiodifusión de televisión que permitieran dar el servicio, siendo uno de estos una estación ubicada en la zona de Caricua la cual lleva muchos años operando con un equipamiento antiguo y que ya ha dado las prestaciones requeridas.

En miras de mejorar el servicio de radiodifusión de televisión que presta al público la Compañía Anónima Venezolana de Televisión, en las zonas de Caricua y Las Adjuntas la misma requiere una propuesta de diseño del sistema transporte de la señal de televisión y del sistema de radiodifusión de televisión operante en la zona.

En el presente trabajo, el Capítulo I abordara los aspectos generales del trabajo, el Capítulo 2 está orientado a explicar las bases teóricas que serán necesarias para el desarrollo de los diseños a plantearse. En el Capítulo 3 se presentara el diseño del sistema de transporte propuesto para llevar la señal de televisión hasta la estación radiodifusora y en el Capítulo 4 se planteara un diseño del sistema de radiodifusión de televisión.

CAPITULO I

1.1 Justificación

Actualmente la Compañía Anónima Venezolana de Televisión (C.A.V.T.V.) cuenta con una Red de Microondas, en la cual la señal es transportada en formato analógico, significando esto que no se obtiene la máxima eficiencia del espectro radioeléctrico asignado a cada enlace de microondas, por lo cual se requiere hacer un análisis de las bondades que ofrecen los sistemas digitales de tecnología actual aplicados a enlaces de microondas. Lo que incluye la posibilidad de enviar por el mismo sistema de transporte más de una señal de TV utilizando un procesamiento digital.

Existen estaciones teledifusoras que se encuentran aisladas de la red de microondas de CAVTV, a las cuales la señal de TV llega por satélite. Dado que el Estado debe garantizar el cumplimiento de la Constitución Bolivariana de Venezuela (artículo 58: "... Toda persona tiene derecho a la información oportuna, veraz e imparcial, sin censura..."), se requiere llevar la señal de televisión de la empresa por medio de enlaces de microondas, además de analizar la posibilidad de llevar varias señales de televisión de diferentes televisoras del Estado hasta la estación teledifusora.

Esta situación se desea cambiar en estaciones que presentan un servicio a una gran densidad de población, debido a políticas de seguridad y confiabilidad de la red, a fin de mantener en manos de CAVTV el control de la señal que sale desde los estudios hasta la estación teledifusora, además de disponer como respaldo un sistema satelital.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general

Elaborar una propuesta del diseño de un sistema de transporte de microondas (analógico y digital) para una señal de TV y una estación radiodifusora con el fin de mejorar el servicio de teledifusión en la zona de Caricuao y Las Adjuntas para la C.A.V.T.V.

1.2.2 Objetivo Específicos

- Realizar los cálculos de los enlaces de microondas tanto en formato analógico como en formato digital, para el transporte de la señal de TV hasta la estación teledifusora.
 - Estimar la máxima tasa de transmisión del radioenlace digital.
 - Adecuar al modelo a plantearse el equipamiento propuesto por la empresa.

- Realizar el diseño para multiplexar más de un canal de TV por el mismo enlace de microondas en formato digital.
 - Estimar Según la capacidad del radioenlace la máxima cantidad de canales de televisión que pueden ser transportados hasta la estación radiodifusora.

- Diseño de la estación radiodifusora audiovisual, lo cual comprende ingeniería de detalle de la estación y estudio de cobertura.
 - Adecuar el diseño a plantearse a especificaciones propuestas por la empresa en cuanto a equipamiento.

- Establecer la compatibilidad entre el sistema a plantearse y el equipamiento existente en la empresa CAVTV.

- Elaborar un estudio factibilidad técnico –económico de la variedad en equipos y accesorios que hay en el mercado para estaciones teledifusoras y enlaces de microondas asociados al diseño a plantearse

1.3 Metodología

La realización de este proyecto contempla las siguientes fases:

1. *Estudios Preliminares*: Revisión de la reglamentación establecida por CONATEL para la realización de enlaces de microondas y estaciones radiodifusoras audiovisuales, así como la recopilación de información mediante informes, manuales, Internet, entrevistas, etc., concernientes a los diseños a plantear.
2. *Diseño Etapa de Transporte*: Se realizara según los condicionamientos del ente regulador CONATEL y las recomendaciones de la UIT .
3. *Diseño del Sistema de Radiodifusión*: Se realizara según las especificaciones del ente regulador CONATEL y las especificaciones de la FCC para sistemas de radiodifusión de televisión.

CAPITULO II

CONSIDERACIONES TEORICAS SOBRE EL SISTEMA DE TRANSPORTE DE MICROONDAS DE LA SEÑAL DE TELEVISION Y EL ESTUDIO DE COBERTURA

Los conceptos presentados a continuación son esencialmente los que serán usados en el diseño de los enlaces de microondas analógicos y digitales a especificar en el Capitulo III los cuales están basados en las recomendaciones UIT-T y UIT-R. Las consideraciones teóricas a desarrollar correspondientes a enlaces de microondas se presentan en el siguiente orden: las comunes tanto a enlaces de microondas analógicos como digitales, las correspondientes a enlaces de microondas analógicos y los concernientes a enlaces de microondas digitales.

Posteriormente se desarrollaran los conceptos necesarios para el análisis de cobertura correspondiente al diseño del sistema de radiodifusión de televisión a plantearse en el capitulo IV. El modelo a emplear es el especificado por la FCC (Federal Communications Commission) para predicción de cobertura correspondiente a los canales 7-13 de VHF para servicio de televisión abierta recomendado por el ente regulador en el país (CONATEL).

2.1 Consideraciones Teóricas para el Diseño de Enlaces de Microondas tanto Analógicos como Digitales

2.1.1 Potencia de Recepción

La potencia de disponible en el receptor depende de la potencia entregada por el transmisor y las diferentes pérdidas y ganancias que aparecen en el trayecto del transmisor al receptor. Al considerar todas estas variables se tiene la siguiente ecuación que es conocida como ecuación general del radioenlace.

$$P_R = P_{TX} + G_T + G_R - L_G \quad \text{Ec. 2.1}$$

P_R = Potencia recibida en dBm.

P_{TX} = Potencia del transmisor en dBm.

L_G = Pérdidas totales del radioenlace.

2.1.2 Pérdidas por Lluvia, Gases y Vapores Atmosféricos

La energía contenida en las ondas electromagnéticas al propagarse a través de un medio sufre pérdidas debido a características inherentes al mismo. Estos son estimados para enlaces de microondas troposféricos en las recomendaciones de la UIT-R PN 676 para gases y vapores atmosféricos, UIT-R PN 530 para lluvia.

2.1.3 Pérdidas de Espacio Libre

La siguiente ecuación permite hallar las pérdidas por propagación en el espacio en ausencia de obstáculos:

$$L_{bf} = 92,45 + 20 \cdot \log f(\text{GHz}) + 20 \cdot \log d(\text{Km}) \quad \text{Ec. 2.2}$$

Donde:

L_{bf} = Pérdidas en espacio en ausencia de obstáculos

d = Distancia entre transmisor y receptor en Km.

f = Frecuencia en GHz.

2.1.4 Pérdidas en los Radioenlaces de Microondas

Las pérdidas totales de cada vano se hallan mediante la sumatoria (en unidades logarítmicas) de las pérdidas introducidas por los equipos del sistema de microondas (que son atribuidas a los guías de onda, conectores, filtros y las inherentes a la antena) y las pérdidas de propagación que están conformadas por; las pérdidas por gases y vapores atmosféricos, las pérdidas por rayo reflejado y las pérdidas de espacio libre.

$$L_G = L_{TX} + L_{RX} + L_P \quad \text{Ec. 2.3}$$

L_G = Pérdidas totales del radioenlace de microondas.

L_{TX} = Pérdidas del sistema de transmisión de microondas.

L_{RX} = Pérdidas del sistema de recepción de microondas.

L_P = Pérdidas por espacio libre, gases y vapores atmosféricos en dB.

2.1.5 Modelo De Tierra Plana

Al hacer representaciones de algún perfil o trayectoria de la superficie de la tierra debe considerarse que la misma es esférica, mas dependiendo de las exigencias del análisis que se este haciendo y por motivos de simplicidad del mismo suele despreciarse el radio de curvatura terrestre, dando origen a lo que se conoce como *modelo de tierra plana*, y que en el caso de estudios de enlaces de microondas troposféricos es considerado para distancias inferiores a los 15Km.

2.1.6 Calculo del Punto de Reflexión en el Modelo de Tierra Plana

En el cálculo del punto de reflexión, cuando la distancia entre la antena transmisora y receptora no excede los 15Km, debe considerarse que el arco terrestre comprendido entre ambas antenas es muy pequeño, por tal motivo se considera plano el terreno, en este caso se aplicara el siguiente análisis geométrico:

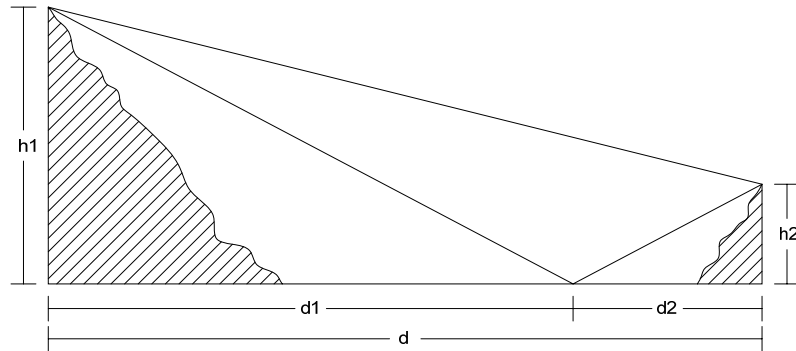


Fig. 2.1 Rayo reflejado en el modelo de tierra plana

En donde se halla el punto de reflexión mediante las siguientes ecuaciones:

$$d1 = \frac{h1}{h1 + h2} d \quad \text{Ec. 2.4}$$

$$d2 = \frac{h2}{h1 + h2} d \quad \text{Ec. 2.5}$$

d: Distancia entre los extremos del vano

d1: Distancia del transmisor (T_x) al punto de reflexión.

d2: Distancia del punto de reflexión al receptor (R_x).

h1: Altura de la antena transmisora (T_x)

h2: Altura de la antena receptora (R_x)

Se expone en el anexo N° 6 un método de cálculo para hallar el punto de reflexión según las ecuaciones planteadas anteriormente.

2.1.7 Zonas de Fresnel [1]

El frente de onda propagado por la antena transmisora experimenta un desfase a medida que se aleja el eje longitudinal de propagación diferenciando las llamadas *zonas de Fresnel*. Consideremos el trayecto radioeléctrico en el espacio libre TR. El campo en R es e_o , es la resultante de contribuciones de campo producidas por anillos de radios R_{n-1} , R_n dispuestos en planos ortogonales al eje TR, como el indicado en la figura 1.2, situados a distancias d_1 y d_2 de T y R, respectivamente. Cada anillo define y delimita una zona de Fresnel.

Los radios de los anillos cumplen la condición:

$$R_n = 548 \cdot \sqrt{\frac{n \cdot d_1 \cdot d_2}{f \cdot d}} \quad \text{Ec. 2.6}$$

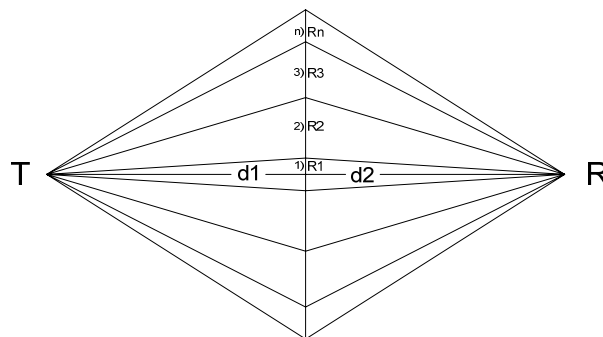


Fig. 2.2 Representación de los radios de Fresnel

Donde:

R_n : radio de la n-sima zona de Fresnel

f: frecuencia (MHz).

d_1 : distancia del transmisor al plano considerado (Km).

d_2 : distancia del plano considerado al receptor (Km).

d: distancia del transmisor-receptor (Km).

Las zonas de Fresnel son elipsoides concéntricos formados por la revolución de la figura 1.2 alrededor del eje TR. Su foco son los puntos T y R. Las secciones de los elipsoides normales al trayecto de propagación TR son círculos concéntricos.

El análisis de la influencia de los obstáculos se realiza mediante los elipsoides de Fresnel, considerándose que la propagación se efectúa en condiciones de visibilidad directa si no existe ningún obstáculo dentro el primer elipsoide. Debido al carácter oscilatorio del campo es innecesario que el trayecto pase muy por encima de los obstáculos. Basta trabajar en el entorno de la primera zona de Fresnel, por lo que se utilizara como parámetro de referencia el radio R_1 , haciendo $n=1$ en la ecuación 2.6 queda:

$$R_1 = 548 \cdot \sqrt{\frac{d_1 \cdot d_2}{f \cdot d}} \quad \text{Ec. 2.7}$$

Cuando el rayo pasa cerca de un obstáculo o es interceptado por este, experimenta una pérdida debida a la difracción. Se denomina despeje a la distancia h entre el rayo y el obstáculo (figura 1.3 y 1.4).

En la recomendación UIT-R PN 526, se recomienda por convenio, $h > 0$ cuando hay interceptación del rayo, y $h < 0$ cuando el rayo pasa por encima del obstáculo. Se utiliza en la práctica el despeje normalizado h/R_1 . La zona correspondiente a la propagación por difracción es la comprendida entre $-1 \leq h/R_1 < \infty$. El radioenlace suele trabajarse en la gama de $-0,6 \leq h/R_1 \leq 0,5$.

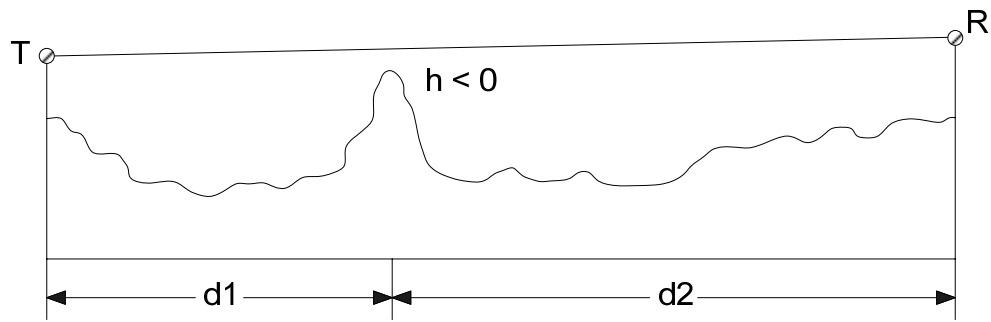


Fig. 2.3 Despeje del rayo de microondas

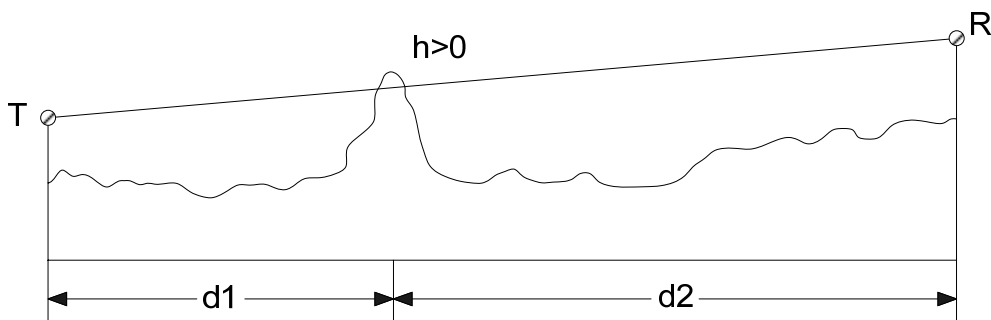


Fig. 2.4 Obstrucción del rayo de microondas

2.1.8 Indisponibilidad por Equipos [2]

La confiabilidad puede definirse como la capacidad de un componente, equipo o sistema de no fallar durante un periodo de tiempo. Existe una relación matemática entre la confiabilidad de las partes, componentes y el sistema.

La confiabilidad distingue 3 tipos o periodos de fallas: a) Fallas que ocurren al iniciarse el periodo de vida operativo y que suceden generalmente por defecto de fabricación, control de calidad o instalación; b) Fallas debidas al desgaste y que dependen del mantenimiento y c) Fallas aleatorias distribuidas al azar y que no depende de pruebas o del mantenimiento.

Las fallas aleatorias tienen una distribución uniforme, y por ello la confiabilidad responde a una ley exponencial. Por conveniencia se utiliza la inversa

de la tasa de fallas aleatorias denominada **Tiempo Medio Entre Fallas (MTBF)** expresado en horas.

La mantenibilidad puede definirse como la probabilidad de restituir o volver a poner en marcha en un tiempo determinado a un sistema que ha sufrido una falla o interrupción. El tiempo de interrupción comprende el tiempo logístico de movilidad y el administrativo. Se expresa a través del **Tiempo Medio de Reparación (MTTR)** indicado en horas.

La disponibilidad D se define como la probabilidad que el sistema se encuentre trabajando en forma satisfactoria y equivale a:

$$D = 1 - I \quad \text{Ec. 2.8}$$

$$I = \frac{MTTR}{MTTR + MTBF} \quad \text{Ec. 2.9}$$

Dado que MTBF es mucho mayor que MTTR la indisponibilidad I se puede aproximar como:

$$I = \frac{MTTR}{MTBF} \quad \text{Ec. 2.10}$$

En un enlace bidireccional con m repetidoras sin conmutación de protección, es decir, del tipo 1 + 0, se puede expresar la indisponibilidad U_{Es} como suma de los valores individuales en serie:

$$U_{Es} = 2 \cdot 100 \cdot [I_{tt} + I_{rt} + I_{pt} + m \cdot (I_{pr} + I_{rr} + I_{tr})] \quad \text{Ec. 2.11}$$

Donde el 2 indica la bidireccionalidad y m tiene en cuenta el número de repetidoras. En este caso la nomenclatura señala a:

I_{tt} = la Indisponibilidad del **Transmisor Terminal**.

I_{rt} = la Indisponibilidad del **Receptor Terminal**.

I_{pt} = la Indisponibilidad de la **Fuente Terminal**.

I_{pr} = la Indisponibilidad de **Fuente-Repetidor**.

I_{rr} = la Indisponibilidad del **Receptor-Repetidor**.

I_{tr} = la Indisponibilidad del **Transmisor-Repetidor**.

Si el valor obtenido es superior al señalado por la UIT-R, se requiere recurrir a la conmutación hot standby para la protección tipo **1 + 1** o en general **N + 1**.

En este caso se tendrá un valor muy inferior de U_{ES} , debido a que deben estar en falla ambos canales en 1 + 1 para tener una indisponibilidad efectiva. La fórmula de cálculo de la indisponibilidad ' U_E ' es:

$$U_E = [X_N + 0,5 \cdot U_{ES} \cdot I_X + I_S] \cdot 100 \% \quad \text{Ec. 2.12}$$

Donde X_N tiene en cuenta la indisponibilidad de los sistemas principales y el standby de reserva en forma simultánea y viene dada por la siguiente expresión:

$$X_N \approx (N + 1) \cdot \frac{U_{ES}^2}{2} \quad \text{Ec. 2.13}$$

Por otra parte I_X representa la indisponibilidad de las partes paralelo del sistema e I_S la indisponibilidad de las partes serie del sistema.

2.1.9 Indisponibilidad por Propagación: Barnett –Vigants

La siguiente formula basada en los estudios de Barnett y Vigants, permite calcular la indisponibilidad por propagación de un enlace de microondas sin diversidad y con línea de vista geométrica.

$$U_p = a \cdot b \cdot 6 \cdot 10^{-7} \cdot f \cdot d^3 \cdot 10^{-F/10} \quad \text{Ec. 2.14}$$

f = Frecuencia en MHz

d = Distancia en Km entre el transmisor y receptor.

F = Margen de desvanecimiento en dB.

a = Factor de rugosidad:

Tabla 2.1 Factor de rugosidad “a”

a	Tipo de terreno
4	Terreno muy suave o agua
1	Terreno promedio o con alguna irregularidad
1/4	Terreno montañoso o muy rugoso

b = Factor climático:

Tabla 2.2 Factor climático “b”

b	Tipo de terreno
1/2	Grandes lagos o similares, áreas húmedas o calientes
1/4	Áreas interiores promedio
1/8	Zonas montañosas o muy secas

2.1.10 Indisponibilidad de los Radioenlaces de Microondas

Los objetivos de indisponibilidad para radioenlaces digitales y analógicos se definen en las recomendaciones UIT-R F.557-4 y F.695 en donde se ha propuesto como valor provisional una indisponibilidad del 0,3%. El porcentaje debe evaluarse durante un periodo de tiempo suficientemente largo, probablemente superior a un año para que sea valido estadísticamente

Se estipula que el 0.3% del tiempo se distribuya de forma proporcional a la longitud del enlace, hasta una distancia mínima de 280 Km por debajo de la cual el porcentaje de indisponibilidad se mantiene constante. Se ha procedido así para evitar cifras de indisponibilidad excesivamente pequeñas en enlaces cortos que serian difíciles de conseguir[1].

Por consiguiente, si L es la longitud del enlace, el objetivo de indisponibilidad total es:

$$U_T = \frac{0.3 * 280}{2500} \% = 0.0336\% \quad L \leq 280 \text{ Km} \quad \text{Ec. 2.15}$$

$$U_T = \frac{0.3 * L}{2500} \% \quad 280 \text{ Km} \leq L \leq 2500 \text{ Km} \quad \text{Ec. 2.16}$$

La **indisponibilidad total** (U_T) de los radioenlaces de microondas viene dada por la suma de los porcentajes debidos a la **indisponibilidad por propagación** (U_P) y la debida a **indisponibilidad por fallos de los quipos** (U_E)[1]:

$$U_T = U_P + U_E \quad \text{Ec. 2.17}$$

La indisponibilidad total de una ruta de enlaces de microondas, viene dada por la sumatoria de las indisponibilidades por propagación y por fallas de equipos de cada vano.

$$U_T = \sum U_P + \sum U_E \quad \text{Ec. 2.18}$$

2.2 Consideraciones Teóricas para Radioenlaces Analógicos

2.2.1 Ancho de Banda de Radioenlaces Analógicos de TV[1]

Los radioenlaces de televisión que transmiten la señal de video únicamente por modulación de frecuencia de la portadora, la anchura de banda es:

$$B_T = \Delta f_{cc} + 2f_v \quad \text{Ec. 2.19}$$

Donde Δf_{cc} es la excursión de frecuencia de cresta a cresta producida por la señal moduladora y f_v la frecuencia máxima de video. La recomendación UIT-R F.276 especifica $\Delta f_{cc} = 8\text{MHz}$ para televisión analógica.

Para la transmisión de una señal de video acompañada de una o mas subportadoras de audio, se constituye una señal múltiplex en banda base formada por la señal de video y las subportadoras de audio modulada en frecuencia. En la figura X un ejemplo de una señal múltiplex de de televisión con dos subportadoras de audio.

La señal múltiplex así formada, modula en frecuencia la portadora del radioenlace. La anchura de banda en este caso es:

$$B_T = \Delta f_{cmm} + 2f_{mm} \quad \text{Ec. 2.20}$$

Δf_{cmm} = Excursión de frecuencia cresta a cresta producida por la señal múltiplex.

f_{mm} = Frecuencia máxima de la señal múltiplex.

Como el índice de modulación de las subportadoras de audio es pequeño, pueden hacerse las siguientes aproximaciones:

$$\Delta f_{\text{cmm}} \approx \Delta f_{\text{cc}} \quad \text{Ec. 2.21}$$

$$f_{\text{mm}} \approx f_{\text{sm}} \quad \text{Ec. 2.22}$$

Donde f_{sm} es la frecuencia de la subportadora más alta en el espectro múltiplex. En consecuencia:

$$B_T = \Delta f_{\text{cc}} + 2f_{\text{sm}} \quad \text{Ec. 2.23}$$

2.2.2 Margen de Desvanecimiento

La diferencia entre la potencia de recepción (P_r) y el *umbral del receptor* (mínimo valor que adquiere la potencia de recepción en donde la señal de información contenida en la portadora transmitida puede ser recuperada), es denominado margen de desvanecimiento “F”, el cual suele ser generalmente de 20dB. Este parámetro (F) puede ser calculado mediante la siguiente ecuación:

$$F(\text{dB}) = P_r - U_r \quad \text{Ec. 2.24}$$

2.2.3 Relación Señal a Ruido para Radioenlaces de Televisión

La relación señal a ruido (S/N) para sistemas de microondas analógicos que transportan la señal de televisión, viene dada por la siguiente ecuación:

$$\left(\frac{S}{N}\right)(dB) = \left(\frac{C}{N}\right) + I + P + W \quad \text{Ec. 2.25}$$

$\left(\frac{C}{N}\right)$ es la relación portadora a ruido puede hallarse mediante la siguiente expresión:

$$\left(\frac{C}{N}\right)(dB) = P_r - K \cdot T - 10 \cdot \log(B_T) - F - 60 \quad \text{Ec. 2.26}$$

K = Constante de Boltzmann $1,38 \cdot 10^{-20}$ mJ/°K.

T = Temperatura de referencia 290°K.

B_T = Ancho de banda de la señal modulada.

F = Figura de ruido del sistema receptor.

I: Es la mejora obtenida por el tipo de modulación utilizada (I_{FM}) y la mejora por ancho de banda (I_B), las cuales vienen dadas por:

$$I_{FM} = 10 \log \left(3 * \left(\frac{\Delta f_{cc}}{f_{sm}} \right)^2 \right) \text{dB} \quad \text{Ec. 2.27}$$

$$I_B = 10 \log \left(\left(\frac{B_T}{f_{sm}} \right)^2 \right) \text{dB} \quad \text{Ec. 2.28}$$

Resultando en consecuencia a partir de las dos ecuaciones anteriores I (dB):

$$I(\text{dB}) = I_{FM}(\text{dB}) + I_B(\text{dB}) \quad \text{Ec. 2.29}$$

P y W: Los parámetros de P y W representan respectivamente las ganancias debidas a la preacentuación y a la ponderación sofométrica. Siendo para la norma de TV. Para la norma de TV, M-NTSC su valor conjunto, en dB (P+W), es 14,7 dB.

2.3 Consideraciones Teóricas para Radioenlaces Digitales

2.3.1 Umbral

Se define umbral $T_h(\text{dBm})$ como el valor de la potencia de recepción correspondiente a una tasa de errores BER(Bit Error Rate) determinada. Para la verificación de las Recomendaciones UIT-R sobre disponibilidad y calidad se necesita el umbral para la BER de 10^{-3} en relación con el SES (se indica en la sección 2.3.3).

2.3.2 Margen Bruto de Desvanecimiento

Se denomina margen bruto de desvanecimiento a la diferencia entre la potencia recibida y el Umbral. Designándose el margen bruto de desvanecimiento con M_3 :

$$M_3 = P_r(\text{dBm}) - T_h(\text{dBm}) \quad \text{Ec. 2.30}$$

2.3.3 Parámetros de Calidad de Error[1]

Los criterios y parámetros de calidad de error y disponibilidad se establecen en las recomendaciones UIT-T G.821 y G.826. El parámetro básico de calidad de

error de cualquier sistema de transmisión digital, entre interfaces digitales es la Tasa de Errores en los Bits (BER, Bit Error Rate). A partir de este parámetro se definen otros que son utilizados en la formulación de objetivos de calidad para los sistemas de transmisión digital. Antes de presentarlos debe resaltarse que la calidad de error de un sistema únicamente se define y se evalúa cuando tal sistema se encuentra en estado disponible. Cumplida esta condición previa se definen en primer lugar las situaciones de error, como sigue:

- 1.- Segundo con errores (ES, Errored Second): Periodo de tiempo de 1 segundo en el que hay uno o más bit erróneos.
- 2.- Segundo con muchos errores (SES, Severely Errored Second): Periodo de 1 segundo en el que la tasa de errores BER es mayor que 10^{-3} .
- 3.- Segundo sin errores (EFS, Error Free Second): Periodo de 1 segundo en que no hay errores de bit.

A partir de estas magnitudes, se han definido los siguientes parámetros de calidad de error:

- Relación de segundos con errores (ESR: Errored Second Ratio). Cociente entre ES y el numero total de segundos de un intervalo de tiempo de medición.
- Relación de segundos con muchos errores (SESR: Severely Errored Second Rattio): Cociente entre SES y el numero total de segundos de un intervalo de tiempo de medición.

Las recomendaciones UIT-R F.594, F.634, F.696 y F.697 establecen los objetivos de calidad de error para los radioenlaces digitales, en condiciones de disponibilidad.

En el caso de un radioenlace digital real, de longitud L(Km), la recomendaron UIT-R F.634 establece, para el grado alto, la siguiente distribución de objetivos de calidad:

$$\text{ESR: } \frac{L}{2500} 0,0032 \text{ de cualquier mes} \quad \text{Ec. 2.31}$$

$$\text{SESR: } \frac{L}{2500} 0,00054 \text{ de cualquier mes} \quad 280 < L < 2500 \text{ Km} \quad \text{Ec. 2.32}$$

$$0,0005 + \frac{L}{2500} 0,00004 \text{ de cualquier mes} \quad L > 2500 \text{ Km} \quad \text{Ec. 2.33}$$

Si L es menor a 280 Km los parámetros ESR y SESR consideran a L igual a 280 Km.

2.3.4 Desvanecimientos

Se conoce con el nombre de desvanecimiento a toda disminución de la potencia recibida de señal con relación a su valor nominal. La diferencia entre este nivel nominal y el nivel recibido en condiciones de desvanecimiento se llama profundidad de desvanecimiento y se expresa en dB. Al intervalo de tiempo entre la disminución y la recuperación del nivel nominal, se le llama duración del desvanecimiento.

2.3.5 Desvanecimiento Plano y Selectivo

Un desvanecimiento es plano, cuando la caída de nivel afecta por igual a todas las componentes del espectro de una portadora modulada. En cambio los desvanecimientos selectivos producen distorsión en el espectro de la señal modulada

al afectar de modo diferente a unas frecuencias y a otras. Ello provoca una degradación en la señal demodulada.

2.3.6 Desvanecimiento por Multitrayectoria

Los desvanecimientos multitrayecto se originan por la aparición de varios caminos de propagación entre el transmisor y el receptor, de forma que se produce una interferencia entre el rayo directo y los rayos que alcanzan la antena receptora con diversos ángulos, tras recorrer otros trayectos de propagación (reflexión en el suelo o en capas atmosféricas). La señal resultante es la suma de una componente prácticamente constante (señal directa) y otras componentes de amplitudes variables y fases aleatorias, creando esto una señal resultante que puede tener una amplitud variable en función de las amplitudes y fases instantáneas de las componentes interferentes.

2.3.7 Firma o Signatura de un Receptor

La *firma o signatura de un receptor* de radio digital, es una característica de <<personalización>>, que indica la medida en que el equipo introducirá errores cuando reciba una señal afectada por distorsión debida a desvanecimiento selectivo.

2.3.8 Factor de Aparición de Desvanecimiento [3]

El *Factor de aparición de desvanecimiento* “ P_0 ” es un parámetro que depende de la longitud del enlace, de la frecuencia, de la rugosidad del terreno y del clima.

Existen métodos alternativos para hallar P_0 descritos en la Rec. UIT-R P.530-10, de los cuales se expondrá a continuación el que se utilizara en los cálculos

correspondientes al diseño del enlace de microondas digital a realizar en el presente trabajo:

Paso 1: En el trayecto del radioenlace, se estima el factor geoclimático “ K ” correspondiente al mes más desfavorable medio, a partir de los datos de desvanecimiento de la zona geográfica que interesa. Si no se dispone de datos medidos para K , y se necesita un cálculo rápido de K para aplicaciones de planificación puede obtenerse una estimación bastante precisa a partir de la fórmula:

$$K = 10^{-4,2-0,0029 \cdot dN_1} \quad \text{Ec. 2.34}$$

En la que dN_1 es el gradiente de refractividad puntual que es especificado en la recomendación UIT-R P.453 según la zona del planeta donde se encuentre el trayecto del radioenlace.

Paso 2: A partir de las alturas de las antenas de transmisión “ h_t ” y recepción “ h_r ” medidas en metros sobre el nivel del mar, se calcula la magnitud de la inclinación del trayecto “ $|\varepsilon_p|$ ” (medida en mrad), mediante la siguiente ecuación:

$$|\varepsilon_p| = \frac{|h_r - h_t|}{d} \quad \text{Ec. 2.35}$$

En la que d es la longitud del trayecto del vano medida en km, y h_t como h_r vienen dadas por:

$h_t =$ Altura del sitio del transmisor + Altura de la torre

$h_r =$ Altura del sitio del receptor + Altura de la torre

Paso 3: Para aplicaciones de diseño del enlace, el factor de aparición de desvanecimiento “ P_o ” viene dado por la siguiente expresión:

$$P_o = K \cdot d^3 \cdot (1 + |\varepsilon_p|)^{-1,2} \cdot 10^{0,033 \cdot f - 0,001 \cdot h_L} \quad \text{Ec. 2.36}$$

Donde f es la frecuencia en GHz, h_L es la altitud de la antena inferior (es decir, el valor menor de h_e y h_t), y donde el factor geoclimático "K" se obtiene de la ecuación dada en el paso 1.

2.3.9 Calidad de Fidelidad de un Radioenlace Digital [4]

La evaluación de la calidad de fidelidad se realiza para cada vano, con la finalidad de sumar los porcentajes hallados y comparar el total con el rango especificado en la recomendación UIT-R F.634.

Para el cálculo de la proporción de segundos con muchos errores " P_{TT} " (en donde el calculo del mismo en el presente trabajo se hace aplicando el método B descrito en la recomendación UIT-R F.1093-1), se hará mediante la suma de los porcentajes P_{TP} y P_{TS} correspondientes a los desvanecimientos plano y selectivo, respectivamente:

$$P_{TT} = P_{TP} + P_{TS} \quad \text{Ec. 2.37}$$

El porcentaje de tiempo total para la ruta es la suma de los porcentajes para cada vano:

$$P = \sum_{i=1}^N P_{TT}(i) \quad \text{Ec. 2.38}$$

Donde P_{TT} es proporción de segundos con muchos errores para el vano i -ésimo y N es el número total de vanos.

Para el cálculo de los porcentajes de tiempo que intervienen en la evaluación de la calidad, se distinguen dos casos:

a) Para radioenlaces digitales de pequeña capacidad (<34Mbit/s), se evalúa solamente el porcentaje para desvanecimiento plano:

$$P_{TT} = P_{TP} = P_0 \cdot 10^{-M_3/10} \cdot 100 \% \quad \text{Ec. 2.39}$$

Donde M_3 es el margen bruto de desvanecimiento para el umbral considerado y P_0 es el factor de aparición de desvanecimiento.

b) Para radioenlaces de capacidad media y alta, debe calcularse el porcentaje de tiempo de interrupción debido al desvanecimiento plano y selectivo. Siendo P_{TS} hallada mediante el método de la signatura, y finalmente P_{TT} con el método del margen de desvanecimiento:

- **Método de la signatura:** La probabilidad de interrupción debida a desvanecimiento selectivo, viene dada por el producto de la probabilidad de desvanecimiento multitrayecto η y la probabilidad condicional de que, en estas condiciones haya interrupción:

$$p_s = \eta \cdot p(o/\eta) \quad \text{Ec. 2.40}$$

El porcentaje de tiempo P_{TS} es:

$$P_{TS} = p_s \cdot 100 \% \quad \text{Ec. 2.41}$$

Se han propuesto distintos métodos que proporcionan expresiones muy parecidas para el cálculo de la probabilidad condicional $p(o/\eta)$. La recomendación UIT-R F.1093-1 propone:

$$p(o/\eta) = \frac{C \cdot P_b(1) \cdot k \cdot \langle \tau^2 \rangle}{T_s^2} \quad \text{Ec. 2.42}$$

En donde:

C: Factor Constante

$p_b(1)$: Valor de la densidad de probabilidades de b, para $b=1$.

k: Constante de signatura normalizada, la cual puede obtenerse a partir de la curva de signatura del receptor. En la siguiente tabla figuran los valores de k típicos para receptores sin ecualización adaptativa. La utilización de ecualizadores transversales adaptativos en banda base mejora la calidad de funcionamiento del sistema de forma que las cifras para la zona de signatura normalizada k se reducen normalmente a 1/10, aproximadamente, de los valores señalados a continuación.

Tabla 2.3 Constante de signatura

Método de Modulación	k	
	Teórica (Sin Ecualización Adaptativa)	Con ecualización
64 QAM	15,4	1,54
16 QAM	5,5	0,55
8 PSK	7,0	0,7
4 PSK	1,0	0,1

$\langle \tau^2 \rangle$: Momento de segundo orden de la distribución del retardo del eco.
 Para los retardos con distribución exponencial:

$$\langle \tau^2 \rangle = 2 \cdot \tau_m^2 \quad \text{Ec. 2.43}$$

Donde τ_m es el valor medio del retardo, que según la Recomendación UIT-R P.530-10 se define como:

$$\tau_m = 0,7 \cdot \left(\frac{d}{50} \right)^{1,3} \text{ ns} \quad \text{Ec. 2.44}$$

Siendo d la longitud del trayecto en (Km).

T_s : Periodo del símbolo que depende del tipo de modulación “M” usada y la velocidad de transmisión V_b , y viene dada por:

$$T_s = \frac{\log_2(M)}{V_b} \quad \text{Ec. 2.45}$$

η : Denominado *factor de actividad multitrayecto* y representa la fracción de tiempo (del mes mas desfavorable) en que se produce desvanecimiento multitrayecto y viene dado según la Rec. UIT-R F.1093-1 para el método B como:

$$\eta = 1 - \exp[-0,2 \cdot P_o^{3/4}] \quad \text{Ec. 2.46}$$

Utilizando el valor de Mojoli para $C \cdot p_b(1) = 2,16$, correspondiente al método B propuesto en la Rec. UIT-R F.1093-1, entonces, se tiene que el porcentaje de tiempo para desvanecimiento selectivo esta dado por la expresión:

$$P_{TS} = 100 \cdot \eta \cdot 4,32 \cdot k \cdot (\tau_m / T_s)^2 \% \quad \text{Ec. 2.47}$$

Cabe destacar que según se puede observar que P_{TS} no depende del margen bruto M_3 , por lo que no puede reducirse su valor aumentando la potencia. La disminución de P_{TS} solo se logra mediante la ecualización en FI o en BB, utilizando diversidad, o empleando una combinación de estas técnicas.

- **Método del Margen Neto de Desvanecimiento:** La probabilidad total de interrupción P_{TT} puede escribirse en términos de un margen efectivo o neto de desvanecimiento M_e que es un valor teórico elegido de forma que P_{TT} pueda expresarse mediante una ley similar a la del desvanecimiento plano:

$$P_{TT} = P_o \cdot 10^{-M_e/10} \quad \text{Ec. 2.48}$$

En donde, el margen neto deducido de las ecuaciones Ec. 2.37 y Ec. 2.39, arrojan la siguiente expresión para M_e :

$$M_e(\text{dB}) = M_3 - 10 \log \left(1 + \frac{P_{TS}}{P_o} \cdot 10^{M_3/10} \right) \quad \text{Ec. 2.49}$$

Donde M_3 es el margen bruto de desvanecimiento y tanto P_o como P_{TS} están dadas en forma porcentual.

Para valores pequeños de M_3 , resulta $M_e \approx M_3$. En cambio para valores grandes de M_3 , el margen neto tiende a un límite dado por:

$$\lim_{M_3 \rightarrow \infty} M_e = 10 \cdot \log \left(\frac{P_o}{P_{TS}} \right) \quad \text{Ec. 2.50}$$

Esto se debe a que, cuando el margen bruto es muy alto, no hay ulterior mejora cuando se incrementa la potencia, quedando las interrupciones controladas por el desvanecimiento selectivo.

2.3.10 Ancho de Banda Empleado por Radioenlaces Digitales [5]

En los radioenlaces digitales, la anchura de banda de transmisión se calcula mediante la siguiente expresión:

$$B_T = \frac{(1 + \alpha) \cdot V_b}{FEC \cdot \log_2(M)} \quad \text{Ec. 2.51}$$

B_T: Ancho de banda espectral empleado en la modulación.

α: Es el valor del parámetro de caída progresiva del filtro variando el mismo en el rango 0 a 1 ($0 \leq \alpha \leq 1$). Su rango de valores prácticos oscilan entre 0,13 y 0,5 ($0.13 < \alpha < 0.50$) siendo típico el valor de 0.2.

V_b: Velocidad de la señal binaria antes del proceso de modulación (bit/s).

FEC: “Forward error correction”. Parámetro conocido como corrección de error por anticipo tomando el valor de uno si no es usado y en caso contrario viene dado por la siguiente expresión:

$$FEC = VC \cdot RS \quad \text{Ec. 2.52}$$

- **VC**: Código de Viterbi, que toma valores típicos de 1/2, 2/3, 5/6, 3/4, 7/8.

- **RS:** Reed Solomon, que toma valores típicos de 188/204, 192/208

M: Es el numero de niveles del tipo de modulación multinivel.

2.4 Consideraciones Teóricas de los Procesos Digitales Aplicados a la Señal de televisión

La señal de televisión en formato analógico es una señal, que ocupa gran ancho de banda espectral al momento de ser modulada y transmitida a través de radioenlaces además se ve expuesta a degradaciones que afectan la calidad de la señal que llega al receptor. Los procesos de digitalización de la señal analógica, compresión y modulación multinivel permiten hacer más eficiente el proceso de transporte de la señal minimizando las degradaciones de la misma y haciendo un mejor uso del espectro radioeléctrico.

2.4.1 Modulación Digital Multinivel M-PSK y M-QAM

Las técnicas de modulación digital pueden agruparse en tres grupos, dependiendo de la característica que se varíe en la señal portadora. Cuando se varía la amplitud, la técnica de modulación digital que se utiliza se conoce como **Conmutación por Corrimiento en Amplitud** (ASK, por sus siglas en inglés). Si se varía la frecuencia o la fase, las técnicas empleadas serían la **Conmutación por Corrimiento en Frecuencia** (FSK) o la **Conmutación por Corrimiento en Fase** (PSK), respectivamente. Cualquiera que sea la técnica de modulación digital empleada, la amplitud, la frecuencia o la fase de la señal portadora podrá tomar únicamente un número finito de valores discretos.

Debido a que permite una visualización muy clara del ambiente de modulación digital que se utilice, resulta muy práctico representar una fuente discreta de señales a partir de su "**espacio de señal**" o "**constelación**". Una "constelación" es una representación geométrica de señales en un espacio de n dimensiones, en donde se visualizan todos los símbolos de salida posibles que puede generar un modulador. Gracias a que en una constelación cada símbolo tiene asociado un valor de magnitud y uno de fase (como sucede en una representación polar), salvo en el caso de la modulación FSK, todos los demás esquemas de modulación digital pueden representarse en un plano de dos dimensiones.

La amplitud y la fase de una señal pueden modularse simultáneamente o por separado, aunque esto resulta difícil de generar y principalmente de detectar. En vez de ello, es muy práctico separar la señal en dos componentes independientes conocidos como I (componente "**en fase**") y Q (componente "**en cuadratura**"), ambos ortogonales entre sí. Cuando nos referimos a comunicaciones digitales, es común expresar la modulación en términos de estas dos componentes, razón por la cual, la representación de una **constelación bidimensional I-Q** es particularmente útil y puede asociarse a la mayor parte de los métodos de modulación digital. En una "constelación I-Q", la componente "en fase" se proyecta en el eje de las abscisas (eje x) y la componente "en cuadratura" se proyecta en el eje de las ordenadas (eje y) de un plano cartesiano.

En esta representación I-Q, cada señal que se mapea en una constelación tendrá asociada una posición precisa. (Esto es, un punto de coordenadas (I,Q).) Es con base en esta posición que los equipos receptores pueden determinar qué señal se transmitió. Para ello, cada señal mapeada en la constelación tiene asociada una "**región de decisión**" (Ver figura 2.5). Sin embargo, conforme una señal se propaga a través del canal de comunicación, ésta se verá afectada por ruido, provocando una modificación en la posición de los símbolos mapeados en la constelación. Cuando uno de estos símbolos se ubica más allá de la "región de decisión" que le corresponde, éste se confundirá con alguno de los símbolos adyacentes y, en consecuencia, provocará un error de bits.

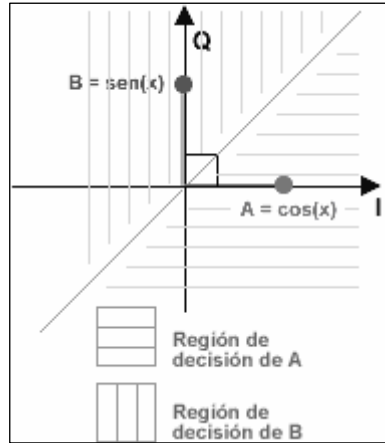


Fig. 2.5. Representación de regiones de decisión en una “constelación bidimensional I-Q”

En la modulación conocida como Conmutación por Corrimiento en Fase (**PSK**), la característica que varía de la señal portadora es la fase, manteniéndose la amplitud y la frecuencia constantes. Para una modulación multinivel (**M-PSK**), la señal PSK podrá contar con tantos valores distintos de fase como símbolos se tengan mapeados en la "constelación I-Q". Debido a que entre cada señal existe una diferencia de fase de $2\pi/m$ radianes, donde π es constante y m es el número de símbolos posibles, cada símbolo mapeado podrá componerse de una componente "en fase" y una componente "en cuadratura". Obsérvese en la figura 2.6 los diagramas de las constelaciones **BPSK** y **QPSK**.

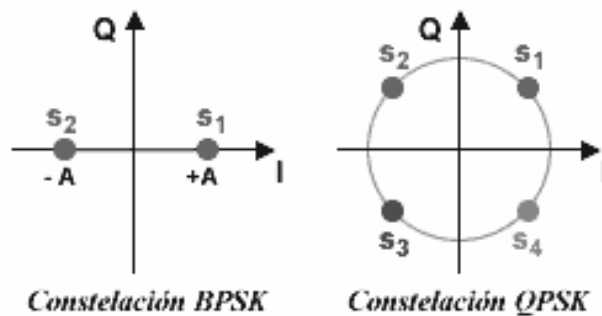


Fig. 2.6 Diagramas de las constelaciones BPSK y QPSK

Entre los formatos de modulación digital destaca el método conocido como **Modulación en Amplitud por Cuadratura** (QAM, por sus siglas en inglés) que es un esquema de modulación multinivel en donde se envían señales, con distintas combinaciones de amplitud y fase. Utilizando múltiples niveles, tanto en la modulación en amplitud como en la modulación en fase, es posible la transmisión de grupos de bits, de manera que cada uno de estos grupos será representativo de un conjunto nivel-fase característico de la portadora de la señal, mismo que dará cabida a un símbolo.

Una de las características principales de la modulación QAM es que modula la mitad de los símbolos con una frecuencia y la otra mitad con la misma frecuencia, pero desfasada 90° . El resultado de las componentes después se suma, dando lugar a la señal QAM. De esta forma, QAM permite llevar dos canales en una misma frecuencia mediante la transmisión ortogonal de uno de ellos con relación al otro. Representándose lo anteriormente expuesto a manera ilustrativa en las constelaciones de la figura 2.7.

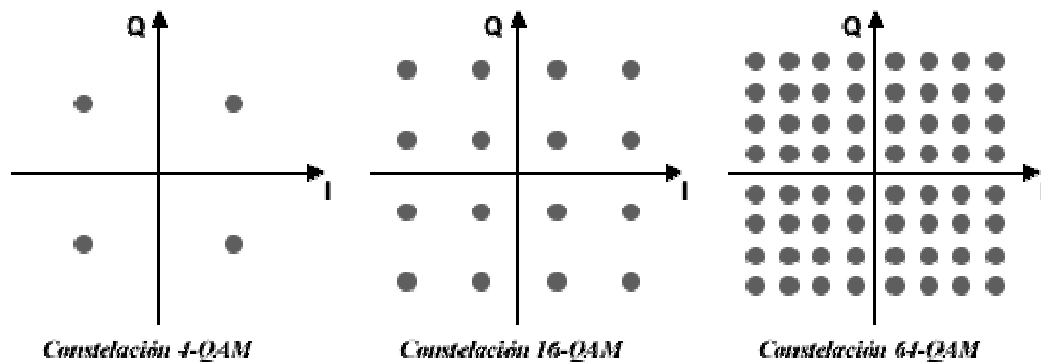


Fig. 2.7 Ejemplos de constelaciones QAM.

2.4.2 Ecuación Adaptativa de los Canales [4]

Normalmente, el radiocanal necesita algún tipo de ecualización en recepción. El ecualizador debe controlarse de forma adaptativa para seguir las variaciones de las

características de transmisión a medida que varían las condiciones de propagación. Las técnicas de ecualización utilizadas pueden clasificarse en dos grupos, dependiendo de que su modo de funcionamiento se describa de forma más natural en el dominio de la frecuencia o en el dominio del tiempo:

- 1) Ecualización en el dominio de la frecuencia.
- 2) Ecualización en el dominio del tiempo.

1) Ecualización en el Dominio de la Frecuencia

Este tipo de ecualizador comprende una o más redes lineales diseñadas para producir respuestas de amplitud y de retardo de grupo que compensen las degradaciones de transmisión que se considera que provocarán más probablemente una degradación de la calidad de funcionamiento del sistema durante periodos de desvanecimiento multitrayecto.

2) Ecualización en el Dominio del Tiempo

Para los sistemas digitales, el procesamiento de la señal en el dominio del tiempo puede considerarse la técnica de ecualización más natural, puesto que trata de combatir directamente la interferencia entre símbolos. La información de control se obtiene correlacionando la interferencia que aparece en el instante de la decisión con los diversos símbolos adyacentes que la producen, y se utiliza para ajustar redes de línea de retardo con tomas a fin de proporcionar señales de supresión apropiadas. Este tipo de ecualizador tiene la capacidad de tratar simultánea e independientemente las distorsiones producidas por las desviaciones de amplitud y de retardo de grupo en el canal con desvanecimiento, proporcionando así compensación para las características de fase mínima o de fase no mínima.

2.4.3 Procesos de Digitalización [10]

La digitalización es el proceso a través del cual se obtiene una señal de naturaleza digital a partir de una señal analógica. El proceso es el mismo para cualquier tipo de señal (audio, vídeo, etc...). Esta operación se realiza en tres pasos bien diferenciados los cuales se reseñan brevemente a continuación:

2.4.3.1 Muestreo

Con esta operación se consigue obtener niveles de la señal analógica en intervalos regulares de tiempo, es decir, se toma una muestra. El dispositivo que muestrea la señal se compone de dos elementos, un circuito que mantiene y genera las muestras, y un reloj que define los instantes en que las muestras son obtenidas. Analíticamente esta operación equivale a multiplicar la señal analógica por un tren de impulsos, los cuales se modulan en amplitud por la amplitud de la señal analógica.

2.4.3.2 Cuantificación

El siguiente paso para la digitalización, una vez muestreada la señal, consiste en cuantificar los valores de cada muestra. En este proceso el valor numérico de la muestra se aproxima a un valor dentro de un número finito de amplitudes posibles. Evidentemente se introduce una distorsión por el error que se comete al aproximar, que es lo que se conoce como error o ruido de cuantificación.

2.4.3.3 Codificación

Tras cuantificar las muestras de una señal, éstas se representan mediante secuencias de bits de longitud fija denominados palabras código o caracteres.

Sabemos que con n bits se pueden representar $L = 2^n$ niveles. Se pueden asignar cualquier combinación de n bits a cada nivel de cuantificación con la única condición de que no haya dos niveles con la misma palabra código.

2.4.4 Estándares de compresión de video digital

Existen varios métodos de compresión de video digital en donde los más utilizados se derivan de las investigaciones realizadas por la Organización Internacional de Estándares ISO, por medio del Grupo de Expertos en Imágenes Móviles (MPEG, sus siglas en ingles). El cual tiene como finalidad estandarizar las representaciones codificadas de audio y video para el almacenamiento y la transmisión digital. El objetivo de MPEG ha sido desarrollar un estándar de codificación genérico que pueda ser utilizado en diferentes implementaciones de video digital. [8]

Actualmente MPEG ha desarrollado dos estándares, conocidos como MPEG-1 y MPEG-2. Además de estos se sigue desarrollando métodos y aplicaciones para futuros estándares, como el MPEG-4. A continuación se expondrá una reseña de estos métodos:

2.4.4.1 MPEG-1

MPEG ha completado el “Estándar de MPEG fase 1”, coloquialmente llamado MPEG-1. Este define un flujo de bits para comprimir en forma optimizada el video y audio por medio de un procesamiento, todo esto dentro de un ancho de banda de 1,5Mbps. Este rango es especial porque es el rango de transferencia de datos una unidad lectora de CD. El estándar esta en tres partes: video, audio y sistemas, donde la última parte da la integración de los flujos de audio y video con el propio sello de tiempo que permite la sincronización de los dos. Podemos encontrar la parte del sistema (en el estándar ISO en el IS 11172-1) que trata información de sincronización

y multiplexaje de audio y video, en tanto que las partes de video (IS 11172-2) y audio (IS 11172-3) tratan las técnicas de compresión de video y audio respectivamente [9].

2.4.4.2 MPEG-2

Los estándares MPEG contemplan la compresión y descompresión de imágenes en movimiento y de sonido, y la formación de una estructura multiplexada de datos en forma de señal digital serie que incluya tanto al video y al audio, comprimidos como a los datos de cualquier otro servicio auxiliar añadido. Además, contempla la sincronización adecuada durante la reproducción del video, el audio y los datos entre si.

Se desarrollo la recomendación ITU-H.262 o ISO/IEC-13818 conocida como MPEG-2, que es una familia de protocolos que definen:

- La forma de codificar, comprimir, almacenar y transmitir video (ISO/IEC 13838-2) y audio (ISO/IEC 13838-3) digital.
- Una arquitectura de software extremo a extremo (ISO/IEC 13838-1) para la transmisión de datos; información de control de los decodificadores, información asociada a los programas, datos de usuario.

El proceso de codificación MPEG-2 da lugar a una señal digital serie cuya interpretación no es directa, pero cuyo procesado adecuado en el decodificador da lugar a la recuperación de las señales de video y audio originales, a la vez que también se pueden recuperar una serie de datos auxiliares.

Las señales originales que usa el codificador MPEG-2 son señales en banda base tanto para video como para audio, pudiendo ser las mismas de definición estándar o de alta definición. El uso de señales en banda base analógicas exige la

existencia de conversores A/D en el codificador MPEG-2, lo que hace mas complejos los equipos.

Características principales del estándar MPEG-2:

- *Compresión MPEG-2:* Debido a que la calidad en la compresión de vídeo en el estándar MPEG-1 era de baja calidad y no servia para otras aplicaciones, se creo la norma ISO/IEC 13818, mucho más conocida con el nombre de MPEG-2. Esta norma permite obtener en la compresión de un canal de televisión convencional (NTSC, PAL, etc.), una muy buena calidad de imagen y sonido empleando tasas de 4 a 6Mbps, pudiendo también operar en tasas mayores dependiendo de la aplicación.
- *Redundancia Espacial:* La redundancia espacial ocurre porque en un cuadro individual los píxeles cercanos (contiguos) tienen un grado de correlación, es decir, son muy parecidos (por ejemplo, en una imagen que muestre un prado verde bajo un cielo azul, los valores de los píxeles del prado serán muy parecidos entre ellos y del mismo modo los del cielo).

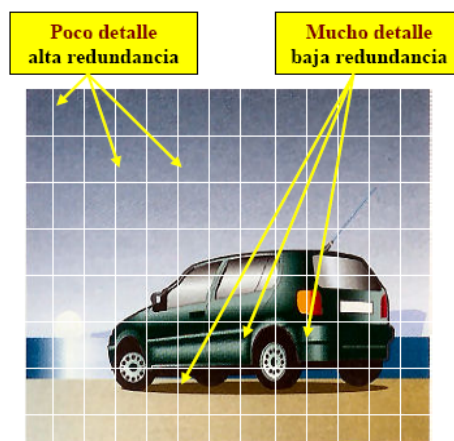


Fig. 2.8 Redundancia espacial

- *Codificación Espacial*: Cuando las imágenes individuales son comprimidas sin referencia a las demás, el eje del tiempo no entra en el proceso de compresión, esto por lo tanto se denomina codificación espacial. A medida que la codificación espacial trata cada imagen independientemente, esta puede emplear ciertas técnicas de compresión desarrolladas para las imágenes fijas, en donde se elimina de una imagen la redundancia debida a la “similitud” entre píxeles adyacentes y aquellas características no percibidas desde el punto de vista del ojo humano.
- *Redundancia Temporal*: En los videos hay una correlación significativa entre las imágenes sucesivas que lo conforman, es decir, presentan pocas variaciones entre una y otra, aprovechándose este hecho para la compresión.
- *Codificación Temporal*: También llamada codificación Inter, aprovecha la ventaja que existe cuando las imágenes sucesivas son similares. En lugar de enviar la información de cada imagen por separado, el codificador envía la diferencia existente entre la imagen previa y la actual. El codificador necesita de una imagen, la cual fue almacenada con anterioridad para luego ser comparada entre imágenes sucesivas y de forma similar se requiere de una imagen previamente almacenada para que el decodificador desarrolle las imágenes siguientes. Mediante la compresión temporal se consigue una reducción mucho mas importante que con la compresión espacial.
- *Redundancia Estadística*: La redundancia estadística tiene que ver con las características del ojo humano, el cual posee una limitada respuesta para fijarse en los detalles espaciales y es menos sensitivo al distinguir detalles en las esquinas o los cambios rápidos. Por tanto, el proceso de codificación puede ser capaz de minimizar aun mas la compresión del video, mientras se mantiene constante la calidad a la que el ojo humano ve las imágenes decodificadas.

2.4.4.3 MPEG-4

El MPEG-4 o H.264 es una norma desarrollada en conjunto por la UIT-T y la ISO/IEC por medio del MPEG (el mismo grupo que desarrollo los estándares MPEG-1 y MPEG-2), cuyo nombre formal es ISO/IEC 44196. El principal objetivo de este nuevo estándar es ofrecer al usuario final un mayor grado de interactividad y control de los contenidos multimedia, teledifusión y aplicaciones Web y medios audiovisuales.

MPEG-4 toma muchas de las características de MPEG-1 y MPEG-2 así como de otros estándares relacionados. Este estándar otorga una mayor importancia y relevancia al receptor y decodificador, que operan inteligentemente a diferencia de sus predecesores. La principal aportación del MPEG-4 es una mayor eficiencia del uso de las tasas de transmisión muy necesaria en determinadas aplicaciones audiovisuales, en la emisión de televisión, transmisión bidireccional por videófono, etc.

La mayoría de las características que conforman el estándar MPEG-4 no tienen que estar disponibles en todas las implementaciones, al punto que es posible que no hayan implementaciones completas del estándar MPEG-4. Para manejar esta variedad, el estándar incluye el concepto de perfil y nivel, lo que permite definir conjuntos específicos de capacidades que pueden ser implementados para cumplir con objetivos particulares. El MPEG-4 no encontrara en un tiempo cercano tomar la vanguardia como la técnica de compresión por excelencia en el uso de la teledifusión, antes debe esperar que se masifique la compatibilidad en los equipos que podrían interactuar con el estándar.

2.5 CONSIDERACIONES TEORICAS SOBRE EL ESTUDIO DE COBERTURA

2.5.1 Contornos de Servicio

Se denomina *contornos de servicio* a la cobertura de un transmisor que viene dada por contornos que delimitan regiones que presentan determinados niveles de intensidad de campo eléctrico. Estos niveles son establecidos por CONATEL según el servicio de radiodifusión a prestar, bien sea, de TV o radiodifusión sonora. Para efectos de este trabajo se pueden visualizar en la siguiente tabla las especificaciones emitidas por el ente regulador para la radiodifusión VHF a través de la *Guía para la Obtención de la Habilitación de Radiodifusión Sonora y Televisión Abierta, sus Atributos y Concesiones de Radiodifusión*.

Tabla 2.4 Contornos de servicio establecidos por CONATEL [7]

Servicio	Contorno de Servicio Primario	Contorno de Servicio Secundario	Contorno de Servicio Terciario
TV VHF (canales 2 al 6)	74dB μ	68dB μ	54dB μ
TV VHF (canales 7 al 13)	77dB μ	71dB μ	60dB μ

Se determinan según CONATEL tres contornos de servicio:

- **Contorno de Servicio Primario:** Es aquel que es aplicado a núcleos densamente poblados dentro de una zona urbana. Destacándose este contorno por tener un alto nivel de campo eléctrico que ocasiona una imagen nítida y de buena calidad.
- **Contorno de Servicio Secundario:** Este contorno es aplicable a las zonas no tan

densamente pobladas pero que requieren un nivel de intensidad de campo adecuado para obtener una imagen satisfactoria en el receptor.

- **Contorno de Servicio Terciario:** Esta destinado a zonas poco pobladas o rurales donde el nivel de campo eléctrico proporciona una señal que es tolerable.

2.5.2 Método de Predicción de Propagación de la FCC [6]

Los *Métodos de Predicción de Propagación* se fundamentan en herramientas de cálculo matemático, y modelos estadísticos que permitan predecir cuales van a ser los niveles de intensidad de campo eléctrico en las regiones circundantes al transmisor, con lo cual se delimitan los *contornos de servicio*, obteniendo así la cobertura de la emisora.

El Método de la FCC es esencialmente un procedimiento para estimar la intensidad de campo y la cobertura. Se fundamenta en un análisis estadístico proveniente de una cantidad considerable de datos experimentales obtenidos a través de mediciones realizadas en Norte América, en conjunto con las reglas y regulaciones de la FCC.

Todos los datos estadísticos antes mencionados constituyen las llamadas cartas de Carey, las cuales contienen una serie de curvas desarrolladas para VHF y UHF, utilizadas para servicios de broadcasting de radio y televisión. Las mismas representan gráficamente como es el comportamiento de la intensidad de campo en función de la distancia y de la altura del sitio de recepción sobre el promedio del terreno, tomando en cuenta los distintos factores que influyen en la propagación de una señal de radio.

En Venezuela, el organismo que funciona como ente regulador es CONATEL, y exige la utilización de este método para los cálculos de cobertura que le sean presentados. Se expone en el anexo 10 el método de cálculo de la FCC para predicción de cobertura para la señal de televisión.

2.5.2 Estudio de Interferencia con Otras Estaciones de Radiodifusión de TV

Internacionalmente se han establecido 82 canales para el servicio de radiodifusión de Televisión, 12 para la transmisión en la llamada banda VHF (Very High Frequency) y 70 canales en la banda UHF(Ultra High Frequency), todos estos canales tienen un ancho de banda de 6MHz [6]. En el país las frecuencias portadoras sobre las que se transmite la señal de una estación radiodifusora, son asignadas por el ente regulador CONATEL, mediante un proceso administrativo, en el cual le es otorgado o no, a quien solicite un canal determinado para que opere en una región.

CONATEL pide respetar unas distancias mínimas entre estaciones que transmitan sobre la portadora de un mismo canal y de canales adyacentes para evitar interferencias. En el caso de interferencia co-canal esta distancia debe ser no menor de 304,9Km y en el caso de canal adyacente la distancia debe ser de 95,7Km.

Mas lo expuesto en el párrafo anterior no se cumple en todos los casos de las estaciones de radiodifusión de televisión, por tanto CONATEL propone realizar el procedimiento que se expone en el anexo N° 22, para analizar las interferencias entre estaciones radiodifusoras de televisión.

CAPITULO III

DISEÑO DEL ENLACE DE MICROONDAS ANALOGICO Y DIGITAL

3.1 Consideraciones Generales para el Diseño del Enlace de Microondas en Formato Analógico y Digital

El transporte de la señal de televisión hasta la estación teledifusora se hace por medio de ondas de radio (microondas). Se desea diseñar el sistema de transporte digital y en analógico, evaluando cual de ambos tipos de transporte ofrece más bondades para la empresa. En donde para ambos diseños se comparten características comunes presentadas en los puntos siguientes.

3.2 Ubicación de los Sitios de Transmisión y Recepción

La ubicación de las estaciones tanto terminales como repetidoras, del sistema de microondas en diseño es de gran importancia ya que el adecuado posicionamiento permitirá cumplir el objetivo de llevar la señal de televisión a su destino. Los sitios a mencionarse en el análisis realizado se resumen en la tabla siguiente:

Tabla 3.1 Ubicación de los sitios

Sitio	Latitud (Datum: WGS84)	Longitud (Datum: WGS84)
Mecedores	10° 31' 40,6''	66° 52' 38,9''
Agua Fría	10° 21' 56,6''	67° 8' 37,7''
Caricuaó	10° 26' 33,7''	66° 59' 3''
Volcán	10° 25' 00''	66° 51' 5''

Al momento de realizar el anteproyecto del presente trabajo se planearon dos vanos tentativos, y debido a que los puntos terminales de los mismos pertenecían a la empresa CAVTV, permitían un ahorro en el diseño del enlace a plantearse.

Los dos vanos a analizarse Mecedores – Agua Fría y Agua Fría – Caricuao presentan las siguientes características: El primero posee línea de vista geométrica (ver figura 3.1) y el segundo no la presenta (ver figura 3.2) y por tal motivo sería necesario colocar torres en los extremos del vano de 80m como mínimo para subsanar el inconveniente, lo cual, es inviable debido al costo de las mismas, por tal, motivo se debe explorar otro sitio alternativo para sustituir el punto de repetición de agua Fría.

Los perfiles mostrados en las figuras 3.1 y 3.2 son ajustados de acuerdo a la curvatura terrestre para así poder hacer el análisis de línea de vista geométrica, verificándose la obstrucción del vano Agua Fría – Caricuao. Las cotas verdaderas y su ajuste correspondiente de acuerdo a la curvatura terrestre se muestran en el anexo N° 4.

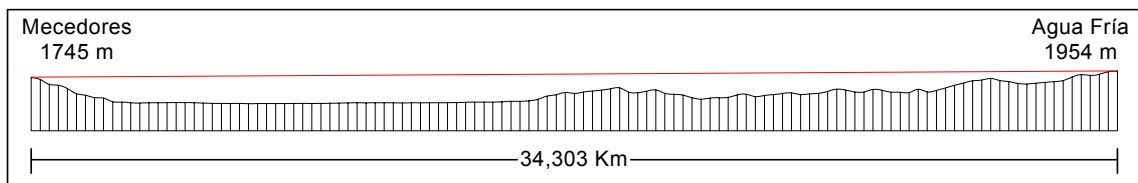


Fig. 3.1 Perfil Mecedores – Agua Fría

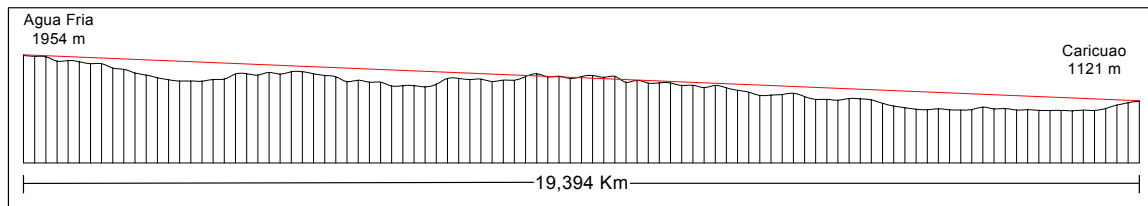


Fig. 3.2 Perfil Agua Fría - Caricuao

El punto para establecer la estación de repetición nueva es una zona denominada Volcán, con coordenadas especificadas en la tabla 3.1, allí existe una infraestructura que puede ser usada para poner los equipamientos del enlace de microondas siendo la misma el conjunto de torre, caseta, escalerillas y vías de acceso. Este sitio no es propiedad de CAVTV pero actualmente con la compra por parte del Estado de CANTV la cual es la propietaria de las instalaciones, proporciona ventajas en el transmite de instalación de este enlace en cuanto al marco legal correspondiente al sitio dado que ambas empresas son del Estado.

A continuación se presentan los perfiles de los vanos Mecedores – Volcán en la figura 3.4, y Volcán – Caricuao en la figura 3.5, los cuales presentan línea de vista geométrica y radioeléctrica además de no estar obstruida la primera zona de Fresnel (anexo N° 7) y de acuerdo a la longitud de ambos vanos los análisis posteriores se hacen mediante el modelo de tierra plana.

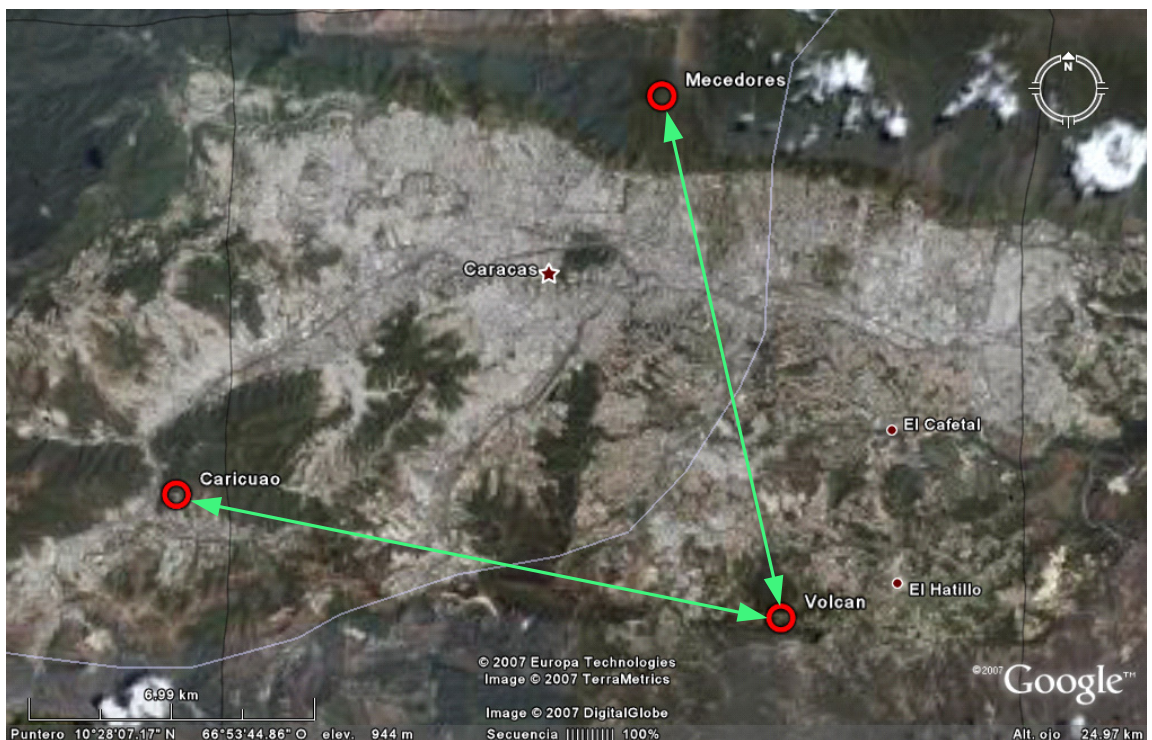


Fig. 3.3 Disposición espacial de los vanos

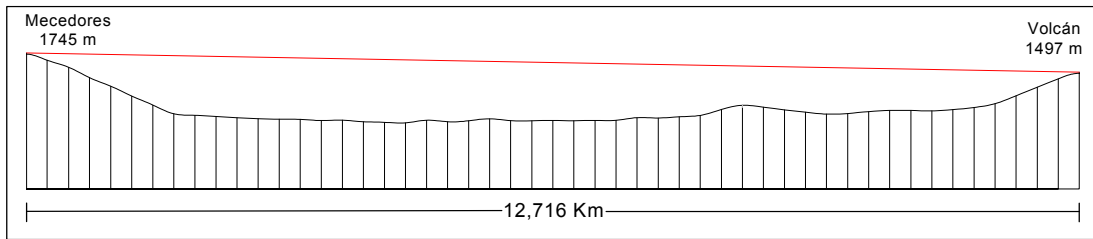


Fig. 3.4 Perfil Mecedores – Volcán

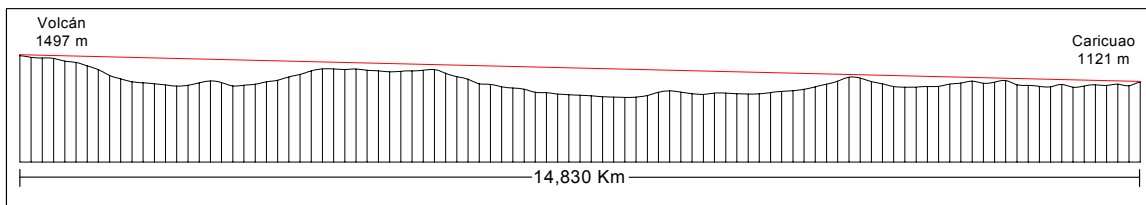


Fig. 3.5 Perfil Volcán Caricuao

3.3 Altura de las Antenas

Se asume una altura tanto para el transmisor como para el receptor de 15 metros, misma que es relativamente baja y puede conseguirse fácilmente en las torres auto-soportadas donde se proyecta implementar el sistema de microondas. La elección de esta altura obedece al hecho de que no existen obstrucciones en el trayecto del rayo de microondas, permitiendo esto que haya línea de vista geométrica entre los extremos de los vanos que se están analizando.

3.4 Calculo del Punto de Reflexión

Según el método descrito en la sección 2.1.6 se hallara el punto de reflexión de la onda reflejada. Se ha considerado para este análisis el modelo de tierra plana debido a que ninguna de las dos trayectorias; Mecedores – Volcán y Volcán –

Caricua, no sobrepasa los 15Km de longitud, que es la máxima distancia donde el modelo es valido.

3.4.1 Punto de reflexión del vano Mechedores – Volcán:

- Distancia del vano: $d = 12,716\text{Km}$
- Altura sobre el nivel del mar de Mechedores: $h_{\text{sitiol}} = 1745\text{m}$
- Altura sobre el nivel del mar de Volcán: $h_{\text{sitiol2}} = 1497\text{m}$
- Altura de la antena transmisora: $h_{\text{Tx}} = 15\text{m}$
- Altura de la antena Receptora: $h_{\text{Rx}} = 15\text{m}$

Se encontró que el punto de reflexión esta a 7485,67m de Mechedores. Al representar la onda reflejada en el perfil mostrado en la figura 3,6, se observa que la misma esta obstruida por el relieve, haciendo esto que su contribución perjudicial sea despreciable. La ejecución de los cálculos asociados a la búsqueda del punto de reflexión se presenta en el anexo N° 6.1.

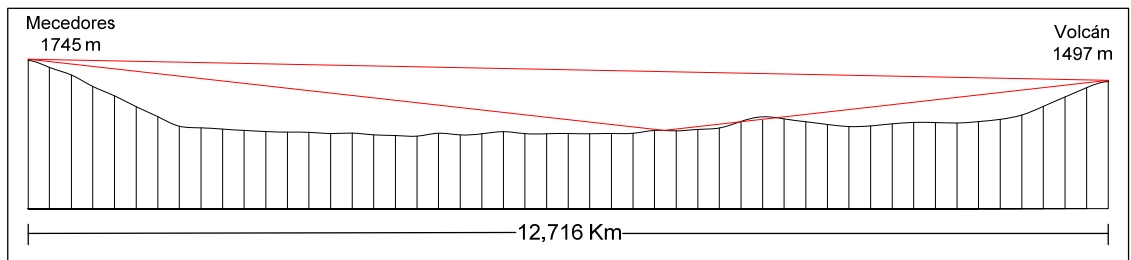


Fig. 3.6 Rayo reflejado en el perfil Mechedores Volcán

3.4.2 Punto de reflexión del vano Volcán - Caricua:

La topografía del terreno ocasiona que no haya onda reflejada ya que la misma es obstruida y en consecuencia no existe contribución perjudicial de esta en los receptores.

3.5 Descripción de Componentes a Usar en el Diseño

3.5.1 Radio

Se hace uso del radio Dar Plus 7HP que es utilizado masivamente en la red de microondas de CAVTV, el cual permite configurarse como transmisor o receptor. Se elige este radio debido a que puede ser usado para operar en formato analógico o digital, además de ser conocido su desempeño al funcionar en formato analógico en la red de la empresa y estar el personal técnico familiarizado con el mismo, también se requiere predecir el desempeño de este al operar en formato digital. Las demás especificaciones técnicas de este equipo se encuentran en el anexo N° 9.

Los parámetros a considerar en los cálculos del diseño del modelo analógico son los siguientes:

- Potencia de Transmisión = 34 dBm
- Umbral del Receptor = -85 dBm
- Figura de Ruido = 3,5 dB
- Señal a Ruido = 67 dB (Señal a ruido mínima en el receptor para garantizar que la señal de televisión cumpla con todas las características de calidad video)

Los parámetros a considerar en los cálculos del modelo digital son los siguientes:

- Potencia de Transmisión = 27 dBm
- Figura de Ruido = 3,5 dB
- Umbral del Receptor = -81 dBm

3.5.2 Guía de ondas

Se asume para el diseño del sistema de microondas unas pérdidas de 6 dB/100m como un valor típico para las guías de ondas a emplear en la banda de 7GHz (anexo N° 2), siendo estas del tipo rectangular. Se estima una longitud promedio de las guías de onda para los tres sitios (Mecedores, Volcán y Caricuao) donde funcionarían los enlaces de microondas, de aproximadamente 25m de longitud, medidos estos desde el radio hasta la antena.

3.5.3 Antena

La antena usada es del tipo parabólica con un diámetro 2,4 m, típica para operar en la banda de 7GHz y con una ganancia que oscila entre los valores mostrados a continuación, tomándose para efectos de cálculos de diseño la ganancia mínima y unas pérdidas de 0,7dB. Las características de la misma se exponen en el anexo N° 1.

- Ganancia Mínima: 42,4 dB
- Ganancia Media: 42,9 dB
- Ganancia Máxima: 43,2 dB

3.5.4 Equipamiento de Acoplamiento entre el Radio y la Antena

El equipamiento de acoplo entre el transmisor y la antena esta compuesto por filtros, circuladotes y conectores que al estar implementados en el sistema de microondas poseen pérdidas típicas de 2dB, 0,25dB y 0,6dB respectivamente.

3.6 Estudio de Interferencia

Se realizo la solicitud de información ante CONATEL de las portadoras de microondas libres en los sitios de Mecedores, Volcán y Caricuao, ante lo cual el ente regulador responde que debe presentarse un proyecto de diseño de los enlaces de microondas y proponer las frecuencias de operación de los mismos para así aprobar o rechazar el uso de estas, según estén disponibles o no. El departamento técnico de transmisores de CAVTV informo que los sitios antes mencionados existen portadoras libres en la banda de 7GHz en las portadoras de 7,442GHz para ida y 7,624GHz en el retorno. Para efectos de los cálculos a realizarse en el diseño de los enlaces de microondas se usara la frecuencia central de la banda, siendo esta de 7575 MHz (ver anexo N° 3)

3.7 Calculo de las Perdidas en los Sistemas de Microondas

3.7.1 Pérdidas por Equipos en los Sistemas de Microondas de Transmisión/Recepción

A continuación se enumeran una serie de pérdidas cuantificadas con valores típicos, introducidas por los equipos que conforman el sistema de microondas de transmisión y recepción para cada vano.

- Perdidas del Filtro: $L_{\text{filtro}} \approx 2 \text{ dB}$

- Perdidas por el Circulador: $L_{\text{circulador}} \approx 0.25 \text{ dB}$

- Pérdidas de la Antena: $L_{\text{antena}} \approx 0.7 \text{ dB}$
- Pérdidas de Conectores: $L_{\text{conectores}} \approx 0.6 \text{ dB}$
- Pérdidas de Alimentadores o Línea de Transmisión: $L_{\text{transmision}} \approx 1,5 \text{ dB}$

$$L_{\text{transmision}} = \frac{\text{longitudde linea} * 6 \text{ dB}}{100\text{m}} = \frac{20\text{m} * 7,6 \text{ dB}}{100\text{m}} = 1,5 \text{ dB}$$

La longitud de la guía de ondas se estima en 20m, obteniendo el valor de la atenuación de la grafica presentada en el anexo N° 2.

3.7.1.1 Pérdidas del Sistema de Transmisión (L_{Tx}):

Las pérdidas que introducen los equipos en el sistema de transmisión a diseñar se pueden totalizar como:

$$L_{\text{Tx}} = L_{\text{filtro}} + L_{\text{circulador}} + L_{\text{antena}} + L_{\text{conectores}} + L_{\text{transmision}} \approx 5,05 \text{ dB}$$

3.7.1.2 Pérdidas del Sistema de Recepción (L_{Rx}):

Análogamente a las pérdidas del sistema de transmisión halladas en el ítem anterior se tiene para el sistema de recepción:

$$L_{\text{Rx}} = L_{\text{filtro}} + L_{\text{circulador}} + L_{\text{antena}} + L_{\text{conectores}} + L_{\text{transmision}} \approx 5,05 \text{ dB}$$

3.7.2 Pérdidas de Propagación

En el análisis de las pérdidas por propagación se omiten las ocasionadas por lluvia gases y vapores atmosféricos, debido a que los enlaces de microondas operan

en una banda (7GHz) donde estas son despreciables, y las perdidas causadas por la onda reflejada según lo expuesto en la sección 2.1.2, también son despreciables. Siendo lo anteriormente expuesto valido para los dos vanos a diseñarse; Mecedores – Volcán y Volcán – Caricuaao, se considera solamente para la evaluación de las perdidas de propagación las debidas a espacio libre.

3.7.2.1 Perdidas en espacio libre para el vano Mecedores - Volcán: $L_{bf(MV)}$

Donde:

- Distancia del vano: $d = 12,716\text{Km}$
- Frecuencia de Operación: $f = 7,575 \text{ GHz}$

$$L_{bf(MV)} = 92.45 + 20\log 7575(\text{GHz}) + 20\log 12.716(\text{Km})$$

$$L_{bf(MV)} = 132.12 \text{ dB}$$

3.7.2.2 Perdidas en espacio libre para el vano Volcán - Caricuaao: $L_{bf(VC)}$

Donde:

- Distancia del vano: $d = 14.830\text{Km}$
- Frecuencia de Operación: $f = 7,575 \text{ GHz}$

$$L_{bf(VC)} = 92,45 + 20\log 7,575(\text{GHz}) + 20\log 14,830 (\text{Km})$$

$$L_{bf(VC)} = 133,46 \text{ dB}$$

3.7.3 Perdidas Totales del Enlace Mecedores – Volcán: $L_{G(MV)}$

Según lo expuesto en la sección 2.1.4, se tiene que las perdidas totales del vano en estudio son:

- Perdas del sistema de transmisión de microondas: $L_{Tx} = 5,05 \text{ dB}$
- Perdas del sistema de recepción de microondas: $L_{Rx} = 5,05 \text{ dB}$
- Perdas por propagación: $L_P = 132,12 \text{ dB}$

$$L_{G(MV)} = 5,05 \text{ dB} + 5,05 \text{ dB} + 132,12 \text{ dB}$$

$$L_{G(MV)} = 142,22 \text{ dB}$$

3.7.4 Perdas Totales del Enlace Volcán – Caricua: $L_{G(VC)}$

- Perdas del sistema de transmisión de microondas: $L_{Tx} = 5,05 \text{ dB}$
- Perdas del sistema de recepción de microondas: $L_{Rx} = 5,05 \text{ dB}$
- Perdas por propagación: $L_P = 133,46 \text{ dB}$

$$L_{G(VC)} = 5,05 \text{ dB} + 5,05 \text{ dB} + 133,46 \text{ dB}$$

$$L_{G(VC)} = 143,56 \text{ dB}$$

3.8 Calculo de la Indisponibilidad por Fallas de Equipos

Según el departamento técnico encargado de atender las fallas en la red de microondas, estiman que el tiempo medio de reparación (MTTR) de los equipos tanto para las estaciones terminales como para las repetidoras en donde operaran los enlaces de microondas en diseño, es el especificado en la tabla 3.2.

El tiempo medio entre fallas (MTBF), para los equipos analizados se estiman en valores típicos, mismos que son expresados en la tabla 3.2.

Tabla 3.2 MTTR y MTBF del sistema

Descripción	Tiempo Medio de Reparación (MTTR)	Horas (hs)	Tiempo Medio Entre Fallas (MTBF)	Horas (hs)
Transmisor Terminal	MTTR _{tt}	3	MTBF _{tt}	200.000
Receptor Terminal	MTTR _{rt}	3	MTBF _{rt}	200.000
Fuente Terminal	MTTR _{pt}	3	MTBF _{pt}	400.000
Fuente Repetidor	MTTR _{pr}	3	MTBF _{pr}	400.000
Receptor Repetidor	MTTR _{rr}	3	MTBF _{rr}	200.000
Transmisor Repetidor	MTTR _{tr}	3	MTBF _{tr}	200.000

Se calcula la indisponibilidad de cada uno de los equipos en la tabla 3.3 por medio de la ecuación 2.10.

Tabla 3.3 Indisponibilidad de los equipos

$I_{tt} = \frac{MTTR_{tt}}{MTBF_{tt}} = \frac{3 \text{ hr}}{200.000 \text{ hr}} = 15 \cdot 10^{-6}$	$I_{pr} = \frac{MTTR_{pr}}{MTBF_{pr}} = \frac{3 \text{ hr}}{400.000 \text{ hr}} = 7,5 \cdot 10^{-6}$
$I_{rt} = \frac{MTTR_{rt}}{MTBF_{rt}} = \frac{3 \text{ hr}}{200.000 \text{ hr}} = 15 \cdot 10^{-6}$	$I_{rr} = \frac{MTTR_{rr}}{MTBF_{rr}} = \frac{3 \text{ hr}}{200.000 \text{ hr}} = 15 \cdot 10^{-6}$
$I_{pt} = \frac{MTTR_{pt}}{MTBF_{pt}} = \frac{3 \text{ hr}}{400.000 \text{ hr}} = 7,5 \cdot 10^{-6}$	$I_{tr} = \frac{MTTR_{tr}}{MTBF_{tr}} = \frac{3 \text{ hr}}{200.000 \text{ hr}} = 15 \cdot 10^{-6}$

Según lo expuesto en la sección 2.1.8 se encuentra que la indisponibilidad por fallos de equipos, considerando: el tipo de conmutación hot standby (), el parámetro m igual a 2 (por ser dos vanos hasta la estación terminal de Caricuao) y la bidireccionalidad del enlace se obtiene entonces:

$$U_{Es} = 2 \cdot 100 \cdot [15 + 15 + 7,5 + 2 \cdot (7,5 + 15 + 15)] \cdot 10^{-6}$$

$$U_{Es} = 0,0226$$

La indisponibilidad por fallos de equipos calculada no sobrepasa los valores recomendados por la UIT-R, indicando esto que hace falta determinar la indisponibilidad por propagación para hallar la indisponibilidad total de los dos vanos en estudio y confirmar si cumplen estos con lo indicado en las recomendaciones UIT-R.

3.9 ASPECTOS A CONSIDERAR EN EL ENLACE DE MICROONDAS EN FORMATO ANALÓGICO

3.9.1 Cálculo de la Potencia de Recepción

La potencia de recepción se calcula mediante lo expuesto en la sección 2.1.1, y se tiene que para ambos vanos la potencia de recepción es:

$$P_{Rx} = P_{Tx} + G_{Tx} + G_{Rx} - L_G$$

3.9.1.1 Potencia de Recepción en el vano Mecedores - Volcán: $P_{Rx(MV)}$

- Potencia de Transmisión: $P_{Tx(MV)} = 34 \text{ dBm}$
- Ganancia de las Antenas Transmisora y Receptora: $G_{Tx(MV)}, G_{Rx(MV)} = 42,4 \text{ dB}$
- Pérdidas totales del vano Mecedores - Volcán: $L_{G(MV)} = 142,22 \text{ dB}$

$$P_{Rx(MV)} = 34 \text{ dBm} + 42,4 \text{ dB} + 42,4 \text{ dB} - 142,22 \text{ dB}$$

$$P_{Rx(MV)} = -23,62 \text{ dBm}$$

3.9.1.2 Potencia de Recepción en el vano Volcán - Caricua: $P_{Rx(VC)}$

- Potencia de Transmisión en Mecedores: $P_{Tx(VC)} = 34 \text{ dBm}$
- Ganancia de las antenas en Mecedores y Volcán: $G_{Tx(VC)}, G_{Rx(VC)} = 42,4 \text{ dB}$
- Perdidas totales del vano: $L_{G(VC)} = 143,56 \text{ dB}$

$$P_{Rx(VC)} = 34 \text{ dBm} + 42.4 \text{ dB} + 42.4 \text{ dB} - 143,56 \text{ dB}$$

$$P_{Rx(VC)} = -24,96 \text{ dBm}$$

3.9.2 Calculo del Ancho de Banda Ocupado por el Radioenlace Analógico de TV

El ancho de banda empleado en el radio enlace analógico de televisión según lo expuesto en la sección 2.2.1 viene dado por:

- Excursión de frecuencia de cresta a cresta: $\Delta f_{cc} = 8 \text{ MHz}$
- Frecuencia de la subportadora más alta en el espectro múltiplex: $f_{sm} = 6 \text{ MHz}$

$$B_T = 8 \text{ MHz} + 2 * 6 \text{ MHz} = 20 \text{ MHz}$$

3.9.3 Calculo del Margen de Desvanecimiento

Para el cálculo del margen de desvanecimiento se considero lo expuesto en la sección 2.2.2, con lo cual para cada vano se tienen los siguientes márgenes de desvanecimiento:

3.9.3.1 Margen de Desvanecimiento del vano Mechedores – Volcán: FM_{MV}

- Potencia de Recepción: $P_{Rx(MV)} = -23,62$ dBm

- Umbral del Receptor: $U_{Rx(MV)} = -85$ dBm

$$FM_{MV} = -23,62 \text{ dBm} - (-85 \text{ dBm})$$

$$FM_{MV} = 61,38 \text{ dB}$$

3.9.3.2 Margen de Desvanecimiento del vano Volcán - Caricua: FM_{VC}

- Potencia de Recepción Volcán - Caricua: $P_{Rx(VC)} = -24,96$ dBm

- Umbral del Receptor Volcán - Caricua: $U_{Rx(VC)} = -85$ dBm

$$FM_{VC} = -24,96 \text{ dBm} - (-85 \text{ dBm})$$

$$FM_{VC} = 60,04 \text{ dB}$$

3.9.4 Calculo de la Indisponibilidad por Propagación

La indisponibilidad por propagación se halla según lo expuesto en la sección 2.1.9, y para cada vano es:

3.9.4.1 Indisponibilidad por Propagación del vano Mechedores – Volcán: $U_{P(MV)}$

- Margen de desvanecimiento para el vano Mechedores – Volcán: $FM_{(MV)} = 61,38$ dB

- Frecuencia de Operación: $f = 7,575$ GHz

- Distancia del vano: $d = 12,716$ Km

- Factor de Rugosidad: $a = 1$

- Factor climático: $b = 1/4$

$$U_P(\%) = 6 \cdot 1 \cdot (1/4) \cdot 10^{-5} \cdot 7,575 \cdot (12,716)^3 \cdot 10^{-61,38/10}$$

$$U_{P(MV)} = 1,7 \cdot 10^{-7} \%$$

3.9.4.2 Indisponibilidad por Propagación del vano Volcán - Caricua:

$U_{P(MV)}$

- Margen bruto de desvanecimiento Volcán - Caricua: $FM_{(VC)} = 60,04\text{dB}$

- Frecuencia de operación: $f = 7,575\text{GHz}$

- Distancia del vano: $d = 14,830\text{Km}$

- Factor de rugosidad: $a = 1/4$

- Factor climático: $b = 1/4$

$$U_P(\%) = 6 \cdot 1 \cdot (1/4) \cdot 10^{-5} \cdot 7,575 \cdot (14,830)^3 \cdot 10^{-60,04/10}$$

$$U_{P(VC)} = 3,67 \cdot 10^{-7} \%$$

3.9.5 Cálculo de la Indisponibilidad Total de la Ruta de Enlaces de Microondas

La indisponibilidad total de la ruta de enlaces de microondas, se halla según lo expuesto en la sección 2.1.10

La indisponibilidad total por propagación viene dada por la suma de la indisponibilidad por propagación de cada vano:

- Indisponibilidad por propagación del vano Mecedores – Volcán: $U_{P(MV)} = 1,7 \cdot 10^{-7} \%$

- Indisponibilidad por propagación del vano Volcán – Caricua: $U_{P(VC)} = 3,67 \cdot 10^{-7} \%$

$$\begin{aligned}U_P(\%) &= U_{P(MV)} + U_{P(VC)} \\U_P(\%) &= 1,7 \cdot 10^{-7} \% + 3,67 \cdot 10^{-7} \% \\U_P(\%) &= 5,37 \cdot 10^{-7} \%\end{aligned}$$

La indisponibilidad total de la ruta de enlaces de microondas es la suma de la indisponibilidad total por propagación con la indisponibilidad por falla de equipos total que fue hallada anteriormente:

$$\begin{aligned}U_T &= 5,37 \cdot 10^{-7} \% + 0,0226\% \\U_T &= 0,0226\%\end{aligned}$$

La indisponibilidad total del sistema hallada esta en el rango establecido por la UIT-R según se explica en la sección 2.1.10.

La disponibilidad del sistema, en consecuencia es:

$$D(\%) = 100\% - 0,0226\% = \mathbf{99,9774\%}$$

3.9.6 Cálculo de la Relación Señal a Ruido

Según se plantea en la sección 2.2.3 se tiene que para ambos vanos de microondas la relación señal a ruido viene dada por:

3.9.6.1 Relación Señal a Ruido del vano Mecedores – Volcán

Se requieren algunos parámetros para el cálculo de la relación señal a ruido tales como:

- Excursión de frecuencia de cresta a cresta: $\Delta f_{cc} = 8\text{MHz}$
- Frecuencia de la subportadora más alta en el espectro múltiplex: $f_{sm} = 6\text{MHz}$
- Ancho de banda de la modulación: $B_T = 20\text{MHz}$
- Figura de ruido: $F = 3,5 \text{ dB}$ (según las especificaciones del radio)

$$I_{FM} = 10 \log \left(3 * \left(\frac{8}{6} \right)^2 \right) \text{dB} = 7,26\text{dB}$$

$$I_B = 10 \log \left(\left(\frac{20}{6} \right)^2 \right) \text{dB} = 15,22\text{dB}$$

$$I = 7,26\text{dB} + 15,22\text{dB} = 22,48\text{dB}$$

$$\left(\frac{C}{N} \right) (\text{dB}) = -23,62 + 203,5 - 10 * \log(25) - 3,5 - 60 = 102,4 \text{ dB}$$

$$\left(\frac{S}{N} \right) (\text{dB}) = 102,4\text{dB} + 22,48\text{dB} + 14,7\text{dB} = 139,58\text{dB}$$

3.9.6.2 Relación Señal a Ruido del Vano Volcán - Caricua

- Excursión de frecuencia de cresta a cresta: $\Delta f_{cc} = 8\text{MHz}$
- Frecuencia de la subportadora más alta en el espectro múltiplex: $f_{sm} = 6\text{MHz}$
- Ancho de banda de la modulación: $B_T = 20\text{MHz}$
- Figura de ruido: $F = 3,5 \text{ dB}$ (según las especificaciones del radio)

$$I_{FM} = 10 \log \left(3 * \left(\frac{8}{6} \right)^2 \right) \text{dB} = 7,26\text{dB}$$

$$I_B = 10 \log \left(\left(\frac{20}{6} \right)^2 \right) \text{dB} = 15,22 \text{dB}$$

$$I = 7,26 \text{dB} + 15,22 \text{dB} = 22,48 \text{dB}$$

$$\left(\frac{C}{N} \right) (\text{dB}) = -24,96 + 203,5 - 10 * \log(25) - 3,5 - 60 = 101,06 \text{ dB}$$

$$\left(\frac{S}{N} \right) (\text{dB}) = 101,06 \text{dB} + 22,48 \text{dB} + 14,7 \text{dB} = 138,24 \text{ dB}$$

Según las especificaciones del radio, el mismo debe tener en cada vano una relación señal a ruido de por lo menos 67dB para garantizar que existan las condiciones de calidad de imagen en la señal de televisión transportada.

3.10 ASPECTOS A CONSIDERAR EN EL ENLACE DE MICROONDAS EN FORMATO DIGITAL

3.10.1 Calculo de la Potencia de Recepción

La potencia de recepción se puede hallar mediante lo expuesto en la sección 2.1.1, considerando la especificación del radio DarPlus (anexo N° 9), en cuanto a la potencia de transmisión, las ganancias de las antenas transmisora y receptora y las pérdidas totales en el sistema calculadas en las secciones 3.7.3 y 3.7.4.

3.10.1.1 Potencia de Recepción en Mecedores y Volcán: $P_{R_x(V)}$

- Potencia de Transmisión en Mecedores - Volcán: $P_{T_x(M)} = 34 \text{ dBm}$
- Ganancia de las antenas en Mecedores - Volcán: $G_{T_x(M)}, G_{R_x(V)} = 42,3 \text{ dB}$
- Pérdidas totales del vano Mecedores – Volcán: $L_{GMV} = 142,22 \text{ dB}$

$$P_{Rx(MV)} = 27 \text{ dBm} + 42.3 \text{ dB} + 42.3 \text{ dB} - 142,22 \text{ dB}$$

$$P_{Rx(MV)} = -30,62 \text{ dBm}$$

3.10.1.2 Potencia de Recepción Volcán - Caricua: $P_{Rx(VC)}$

- Potencia de Transmisión en el vano Volcán - Caricua: $P_{Tx(V)} = 34 \text{ dBm}$

- Ganancia de las antenas en el vano Volcán - Caricua: $G_{Tx(V)}, G_{Rx(C)} = 42,3 \text{ dB}$

- Perdidas totales del vano Volcán - Caricua: $L_{GVC} = 143,56 \text{ dB}$

$$P_{Rx(VC)} = 27 \text{ dBm} + 42,3 \text{ dB} + 42,3 \text{ dB} - 143,56 \text{ dB}$$

$$P_{Rx(VC)} = -31,96 \text{ dBm}$$

3.10.2 Calculo del Margen Bruto de Desvanecimiento

En función de la potencia de recepción calculada anteriormente y el umbral especificado por el radio empleado en el diseño del presente radioenlace, se encuentra el margen de desvanecimiento de ambos vanos, utilizando la ecuación expuesta en la sección 2.3.2.

3.10.2.1 Margen Bruto de Desvanecimiento del Vano Mecedores – Volcán

- Potencia de Recepción en el vano Mecedores – Volcán: $P_{Rx(MV)} = -30,62 \text{ dBm}$

- Umbral del Receptor: $Th_{(MV)} = -81 \text{ dBm}$

$$M_{3(MV)} = -30,62 \text{ dBm} - (-81 \text{ dBm})$$

$$M_{3(MV)} = 50.38 \text{ dB}$$

3.10.2.2 Margen Bruto de Desvanecimiento del Vano Volcán- Caricuaó

- Potencia de Recepción en el vano Mecedores – Volcán: $P_{Rx(VC)} = -31,96$ dBm
- Umbral del Receptor: $Th_{(VC)} = -81$ dBm

$$M_{3VC} = -31,96 \text{ dBm} - (-81 \text{ dBm})$$

$$M_{3VC} = 49,04 \text{ dB}$$

3.10.3 Calculo de la Indisponibilidad por Propagación

La indisponibilidad por propagación se halla según los criterios expuestos en la sección 2.1.9, en donde se considera un parámetro ya calculado anteriormente como es el margen bruto de desvanecimiento y parámetros adicionales; a (factor de rugosidad), b (factor climático), distancia de los vanos y frecuencia de operación, mismos a definir en cada vano.

3.10.3.1 Indisponibilidad por Propagación del Vano Mecedores – Volcán:

$U_{P(MV)}$

- Margen Bruto de desvanecimiento Mecedores – Volcán: $M_{3(MV)} = 50.38$ dB
- Frecuencia de Operación: $f = 7,575$ GHz
- Distancia del vano: $d = 12,716$ Km
- Factor de Rugosidad: $a = 1$
- Factor climático: $b = 1/4$

$$U_P(\%) = 6 * 1 * (1/4) * 10^{-5} * 7,575 * (12,716)^3 * 10^{-50,38/10}$$

$$U_{P(MV)} = 2,14.10^{-6} \%$$

3.10.3.2 Indisponibilidad por Propagación del vano Volcán - Caricuaao:

$U_{P(MV)}$

- Margen bruto de desvanecimiento Volcán - Caricuaao: $M_{3(VC)} = 49.04$ dB

- Frecuencia de operación: $f = 7,575$ GHz

- Distancia del vano: $d = 14,830$ Km

- Factor de rugosidad: $a = 1/4$

- Factor climático: $b = 1/4$

$$U_P(\%) = 6 * 1 * (1/4) * 10^{-5} * 7,575 * (14,830)^3 * 10^{-49,04/10}$$

$$U_{P(VC)} = 4,62.10^{-6} \%$$

3.10.4 Calculo de la Indisponibilidad Total de la Ruta de Enlaces de Microondas

La indisponibilidad total por propagación es:

- Indisponibilidad por propagación del vano Mecedores-Volcán: $U_{P(MV)} = 2,14.10^{-6} \%$

- Indisponibilidad por propagación del vano Volcán-Caricuaao: $U_{P(VC)} = 4,62.10^{-6} \%$

$$U_P(\%) = U_{P(MV)} + U_{P(VC)}$$

$$U_P(\%) = 2,14.10^{-6} \% + 4,62.10^{-6} \%$$

$$U_P(\%) = 6,76.10^{-6} \%$$

La indisponibilidad total de la ruta de enlaces de microondas es la suma de las siguientes indisponibilidades: la de propagación total y la de fallas de equipos total mismas que fueron halladas anteriormente:

$$U_T = 6,76 \cdot 10^{-6} \% + 0,0226\%$$

$$U_T = 0,0226\%$$

La indisponibilidad total del sistema hallada esta en el rango establecido por la UIT-R según se explica la sección 2.1.10.

La disponibilidad del sistema, en consecuencia es:

$$D(\%) = 100\% - 0,0226\% = \mathbf{99,9774\%}$$

3.10.5 Tasa de Transmisión del Enlace de Microondas

3.10.5.1 Calculo de la Máxima Tasa de Transmisión según las Recomendaciones de Calidad de Fidelidad

Se desea conocer la máxima tasa que se puede transmitir por los enlaces de microondas, y el tipo de modulación a emplear de forma que se obtenga la mayor eficiencia del espectro del canal asignado. Para lo cual se debe partir de las recomendaciones UIT-R para calidad de fidelidad de un radioenlace digital descritas en la secciones 2.3.3 y 2.3.9, mismas que establecen una SESR(relación de segundos con muchos errores) máxima de 0,006% para la ruta en estudio que no supera los 280Km.

En el anexo N° 8 se presentan los cálculos correspondientes a la siguiente expresión que permite hallar la calidad de fidelidad total del enlace de microondas, en la cual no se especifica la tasa de transmisión “Vb” ni la constante de signatura “k”, ni el tipo de modulación multinivel “M”, para así poder hacer una grafica en donde se comparen todas estas características y concluir cuanta es la máxima tasa de

transmisión admisible por el enlace de microondas antes que el mismo deje de cumplir con la especificaciones de calidad recomendadas por la UIT- R.

$$P_{TT} = 1,607 \cdot 10^{-8} + \frac{4,236 \cdot 10^{-10} * k * V_b^2}{(\log_2(M))^2} \%$$

Donde “k” y “M” son constantes y “Vb” esta en Mbps.

A continuación la figura 3.7 se presenta graficado a P_{TT} vs. V_b y el límite máximo recomendado por la UIT para P_{TT} de 0,006%(representado con una línea roja) para diferentes tipos de modulaciones multinivel.

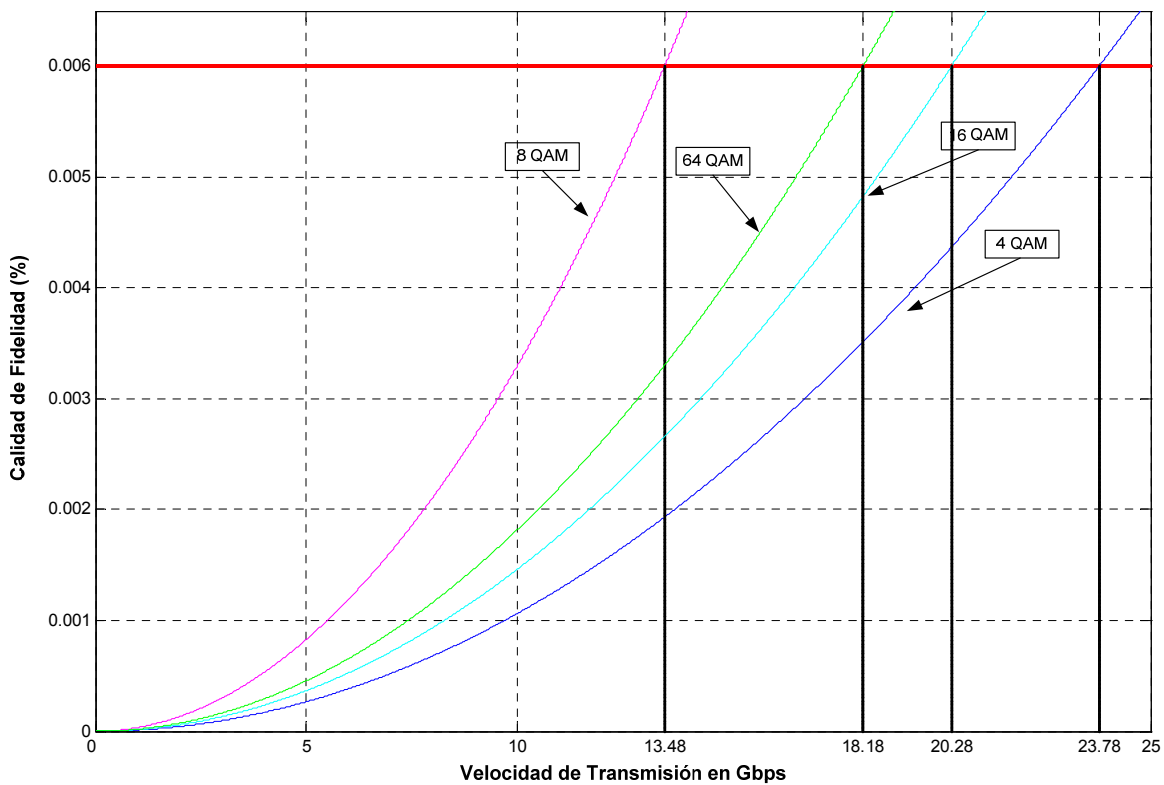


Fig 3.7 Variación de la calidad de fidelidad ante cambios en los parámetros en el sistema de transporte

En la siguiente tabla se resumen cuales deben ser las máximas tasas de transmisión antes de sobrepasar el límite recomendado por la UIT-R para la calidad

de fidelidad del radioenlace digital en diseño, siendo realizados los cálculos inherentes al mismo en los anexos y resumidos los resultados en la grafica anterior y la tabla siguiente.

Tabla 3.4 Velocidades de transferencia del radioenlace

Tipo de Modulación	Velocidad de transmisión máxima antes de sobrepasar $P_{TT} = 0.006 \%$
4 QAM	23,689 Gbps
8QAM	13,431 Gbps
16 QAM	20,202 Gbps
64 QAM	18,110 Gbps

Del análisis anterior se observan tasas de transmisión muy altas en comparación con lo que puede ofrecer el radio al cual se esta ajustando este diseño (teniendo el mismo un tope para la tasa de transmisión de 120 Mbps).

La cuantificación de la máxima tasa de transmisión admisible por el equipo viene dada por el ancho de banda del canal asignado y la eficiencia espectral de la modulación empleada, ya que las limitaciones por incumplimiento de las recomendaciones UIT-R no condicionan dicha tasa de transmisión.

3.10.5.2 Calculo de la Máxima Tasa de Transmisión para un Ancho de Banda de 28MHz

Para los diferentes tipos de modulación que pueden usarse con el radio empleado en el presente diseño, la tasa máxima de transmisión en función del ancho de banda del canal asignado al radioenlace se halla a partir de la ecuación 2.48, deduciendo de la misma la velocidad de transmisión V_b :

$$V_b = \frac{FEC \cdot B_T \cdot \log_2(M)}{(1 + \alpha)}$$

- Ancho de banda del canal asignado: $B_T = 28 \cdot 10^6$ MHz
- Parámetro de caída progresiva del filtro: $\alpha = 0.2$
- Corrección de error por anticipo: FEC = 0,460 (considerando la configuración que hace mas robusta la modulación por corrección de errores en donde VC es igual a 1/2 y RC igual a 188/204).

Tabla 3.5 Condicionamiento de la velocidad de transmisión por el AB_{mod}

Tipo de Modulación	M	Velocidad de transmisión para un de $AB_{mod} = 28\text{MHz}$
4 QAM	4	21,46 Mbps
16 QAM	16	42,93 Mbps
64 QAM	64	64,4 Mbps
128 QAM	128	75,13 Mbps

En la tabla 3.5 se especifican las velocidades de transmisión que se pueden obtener en función del tipo de modulación y del ancho de banda del canal asignado, quedando como criterio de elección el tipo de modulación de menor nivel, debido a que da mayor robustez al radioenlace en cuanto a la recuperación de los símbolos, también otro criterio de elección es la tasa máxima requerida en la transmisión de información con lo cual se decidirá cual de los tipos de modulación se empleara.

3.10.5.3 Estimación de la Información a Transmitir por el Sistema de Microondas

La información que se transmitirá por el radioenlace de microondas es de video y audio de televisión. La información correspondiente a un programa de

televisión que esta en formato NTSC-M, al ser comprimida mediante los procesos de codificación MPEG-2 tiene una tasa variable de transmisión digital, dependiendo del tipo de programa que se transmite (programas de deportes, noticias, películas, etc.), según esto es necesario configurar la tasa que se asignara en el encoder encargado de comprimir la información del programa de televisión. El estimado para transmitir un programa de televisión estándar es de alrededor de 3 a 6Mbps, siendo un valor típico una tasa de transmisión de 4,5Mbps. A continuación se presentara una tabla que describe la cantidad de programas de televisión que se pueden transportar por el radioenlace de microondas dependiendo del tipo de modulación multinivel empleado.

Tabla 3.6 Numero de programas de televisión

Tipo de Modulación	M	Velocidad de transmisión para un $AB_{mod}=28\text{MHz}$	Numero de Programas de televisión
4 QAM	4	21,46 Mbps	4-5
16 QAM	16	42,93 Mbps	9-10
64 QAM	64	64,4 Mbps	14
128 QAM	128	75,13 Mbps	16-17

El estimado de canales que se pueden transmitir presentado en la tabla anterior es considerando la modulación mas robusta que usa una FEC que incrementa aproximadamente en un 117% la tasa de transmisión que contiene la información útil. Con diferentes configuraciones en la FEC se puede incrementar el número de programas a transportar por el enlace de microondas, pero con el precio de que la información sea más susceptible a errores. A continuación se presenta un esquema del sistema digital propuesto en las figuras 3.8 y 3.9.

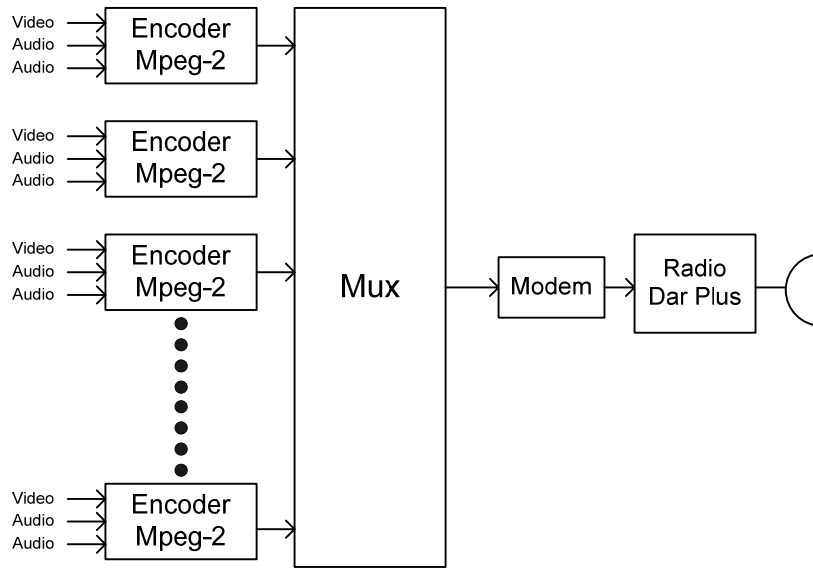


Fig 3.8 Esquema del sistema de transmisión

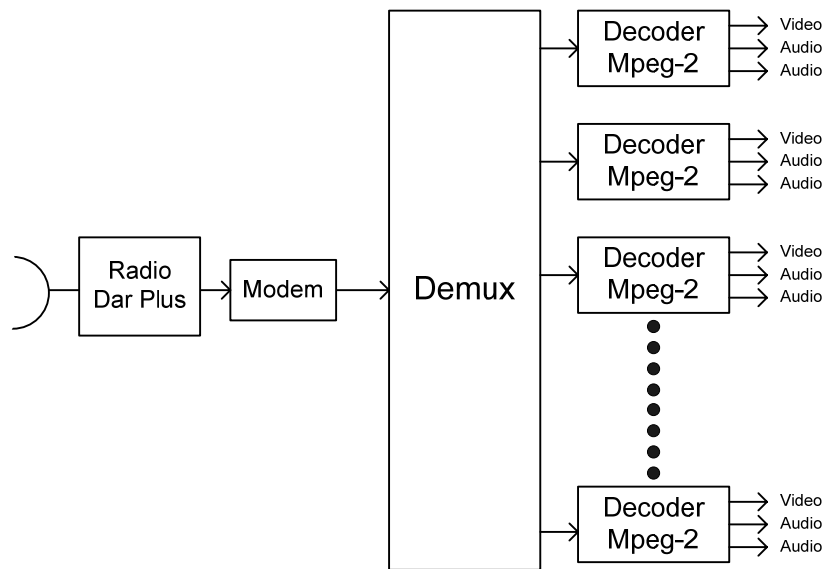


Fig 3.9 Esquema del sistema de recepción

La configuración propuesta que se acondiciona al radio Dar Plus para hacer posible la transmisión en formato digital de la señal de televisión, se presenta en el anexo 9, en la cual se sugieren los componentes indicados en el diagrama anterior (encoder, decoder, multiplexores y modem).

CAPITULO IV

DISEÑO DE LA ESTACION TELEDIFUSORA

Actualmente la zona Caricuao y las Adjuntas se le esta proporcionando la señal de televisión de la Compañía Anónima Venezolana de Televisión en la banda de VHF canal 11.

Se desea realizar una adecuación del sistema de transmisión de la estación transmisora que proporciona el servicio de televisión a las zonas ya mencionadas de forma tal que se obtenga un contorno de servicio primario en las mismas, para lo cual se siguen los lineamientos del ente regulador de los servicios de radiodifusión CONATEL.

4.1 Ubicación del Transmisor

El diseño se inicia con la ubicación del sitio donde operara el sistema de radiodifusión de televisión, siendo el mismo indicado por la empresa CAVTV en la zona de Caricuao hallándose allí las siguientes características:

- Facilidades de acceso, seguridad y servicios de energía eléctrica.
- Posición alta y adecuada para cubrir la zona a dar servicio.
- El sitio es propiedad de CAVTV.
- Caseta para la ubicación de los equipamientos del sistema de radiodifusión de televisión.
- Una torre del tipo triangular.

Las coordenadas de ubicación del sitio son:

Tabla 4.1 Datos de ubicación de la estación radiodifusora

Caricuaao	Datum WGS84	
	Latitud	Longitud
	10° 26' 33,7''	66° 59' 3''

En donde se halla que la altura del lugar es de 1121m sobre el nivel del mar.

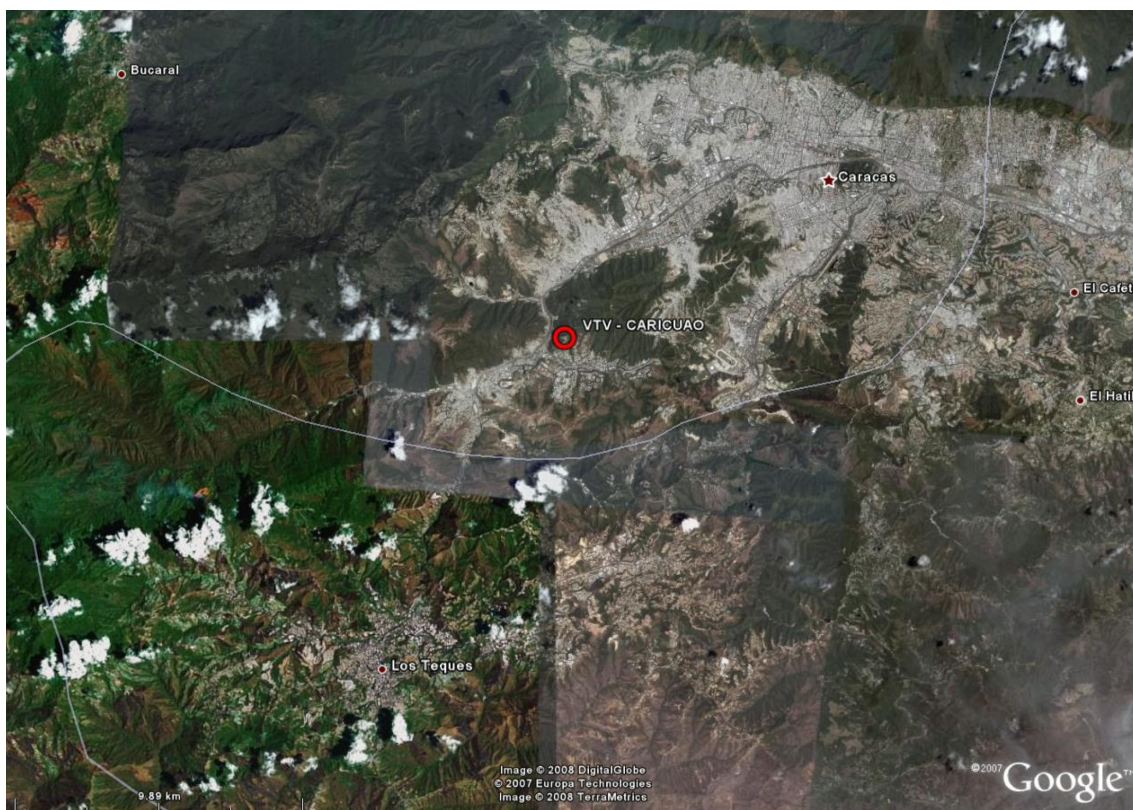


Fig. 4.1 Ubicación de la estación radiodifusora de televisión

4.2 Ganancia de la Antena

La ganancia de la antena es de 10,21dB, para el arreglo de paneles (ver anexo N° 14) conformado por 4 y 2 paneles en las direcciones de 240° y 135° correspondientemente, medidos estos desde el norte geográfico.

El patrón de radiación horizontal se ajusta de forma tal que la mayor ganancia del sistema de radiación conformado por dipolos esta en la dirección de 240°, medidos estos desde el norte geográfico y en sentido horario, coincidiendo esta dirección con la población de las adjuntas, además se ajusta el restante patrón de radiación para dar cobertura a las zonas circundantes de Caricuaao.

A continuación se presenta una tabla en la cual se indica la ganancia en la dirección de cada uno de los 18 radiales que exige CONATEL, hallándose las mismas a través de la ecuación que se explica en el anexo N° 10:

$$G_{ant} = 10 * \log [g * ({}^0/{}_1V)^2 * ({}^0/{}_1H)^2]$$

En donde se obtuvieron estos valores de; el patrón de radiación horizontal (anexo N° 13), la fracción de radiación vertical (${}^0/{}_1V$) (igual a uno en todas las direcciones), y la ganancia del arreglo de paneles que conforman la antena del transmisor.

Tabla 4.2 Ganancia del sistema radiante en los 18 radiales

Dirección del radial	Gant(dB)	Dirección del radial	Gant(dB)	Dirección del radial	Gant(dB)
0°	-10,79	120°	2,49	240°	10,21
20°	-10,79	140°	4,01	260°	9,3
40°	-10,79	160°	2,85	280°	7,28
60°	-10,79	180°	6,68	300°	2,18
80°	-10,79	200°	7,75	320°	-10,79
100°	-0,89	220°	7,92	340°	-10,79

4.3 Altura de la Antena

La altura de la antena se ajusto de acuerdo a tres parámetros: la longitud de la torre la cual posee 54m, la mayor longitud de la cara de los paneles alineados verticalmente hallándose que esta es de 12,9m y la ubicación de estos en la torre siendo la parte mas alta de la misma.

La altura a la cual se coloca la antena coincide con el centro de radiación del arreglo, mismo que se estima a aproximadamente 47m de altura medidos estos desde la base de la torre.

4.4 Canal de operación del Transmisor

El canal asignado por CONATEL para operar el servicio de radiodifusión de televisión en las zonas de Caricua y Las Adjuntas es el 11 correspondiente a la banda de VHF y que tiene un ancho de banda de 6 MHz comprendido entre las frecuencias 198 a 204 MHz.

4.5 Calculo de la Potencia del Transmisor

El área a dar servicio es la zona de Caricua y Las adjuntas, mismas que son observadas desde una foto satelital con el software EarthGoogle Pro, señalándose en esta un radial a 240° medido este desde el norte geográfico y en sentido horario (ver figura 4.2), el cual, apunta al área mas alejada del transmisor y corresponde a la zona de Las Adjuntas. Con esto se desea determinar la distancia máxima que debe cubrir la señal de televisión, para así poder estimar la potencia del transmisor, haciendo uso de las ecuaciones expuestas en el anexo N° 10.

Obteniéndose la siguiente expresión para el cálculo de la potencia de transmisión:

$$P = 10^{\left(\frac{\text{NSE}-F(50,50)-\Delta f-\text{Gant}+\text{Pa}}{10} \right)} \times 1000\text{W}$$

En donde los parámetros que permiten hallar la potencia de transmisión “P”, son hallados con respecto a uno de los radiales trazados desde el punto de ubicación del transmisor, correspondiendo este al de 240° con una longitud de 7Km.

- NSE: El nivel de señal esperado es de 77dBμ ya que se estima que a esta distancia debe garantizarse un contorno de servicio primario.
- F(50,50): Este parámetro es el nivel de campo obtenido en las curvas de la FCC para los canales 7-13 de la banda de VHF, en donde para hallar el mismo se requiere calcular la ASPT a una distancia de 7Km.

$$\text{APT} = \sum_3^7 \frac{A_i}{5} = \frac{(1010+1033+1230+1344+1428)\text{m}}{5} = 1209\text{m}$$

ASPT = 1121+47-1209 = -41m (en donde para valores menores a 30m la ASPT toma el valor de 30m)

En las curvas F(50,50) para una ASPT de 30m y a una distancia de 7Km se tiene el valor de 69dBμ.

- Δf: El factor de corrección de rugosidad del terreno según se especifica en el anexo N° 10 para una distancia menor a 10Km y en los canales del 7-13 en la banda de VHF es:

$$\Delta f = 2,5\text{dB}$$

- Gant: La ganancia de la antena en la dirección de 240°, viene dada por las fracciones de radiación horizontal y vertical y la ganancia de la antena.

$${}^0_1V = 1$$

$${}^0_1H = 0$$

$$G = 10,21\text{dBd}$$

$$G_{\text{ant}} = 10,21\text{dBd} - 0\text{dB} = 10,21\text{dB}$$

- Pa: Las pérdidas de la línea de transmisión se estiman para un conector típico que soporte una potencia de 11,3 kW, a una frecuencia de operación en el canal 11 en VHF y una longitud de 60m:

$$P_a = \frac{1,72\text{dB} * 60\text{m}}{100\text{m}} = 1,032\text{dB}$$

La potencia del transmisor es entonces según los parámetros anteriores:

$$P = 10^{\left(\frac{77\text{dBu} - 69\text{dBu} - 2,5\text{dB} - 10,21\text{dB} + 1,032\text{dB}}{10} \right)} \times 1000\text{W}$$

$$P = 428 \text{ W}$$



Figura 4.2 Radial para el cálculo de la potencia de transmisión

Se aumenta la potencia calculada del transmisor a 500W debido a una posible expansión de la población y que el transmisor comercial mas cercano se ajusta a esta potencia. Con lo cual se puede garantizar un servicio de grado 1 en la zona de las Adjuntas y Caricua.

4.6 Estudio de Cobertura

El método usado para predecir los niveles de intensidad de campo es el de la FCC mismo que pide CONATEL para tal estudio. En el anexo N° 21 se presentan los cálculos de cada una de las distancias a partir del transmisor hasta el punto donde esta el nivel de intensidad de campo eléctrico correspondiente al primer, segundo o tercer contorno de servicio que requiere el ente regulador para definir el área de servicio del canal de televisión.

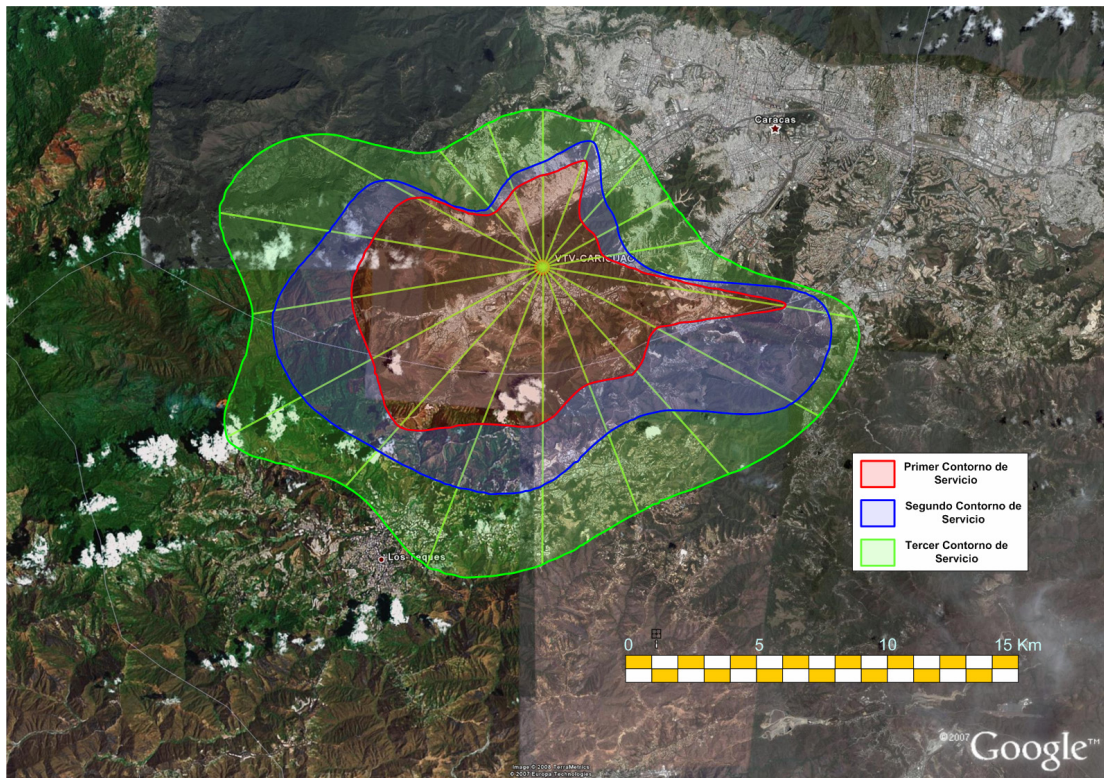


Figura 4.3 Contornos de servicio

Los datos obtenidos de los niveles de intensidad de campo con sus correspondientes distancias medidas desde el transmisor se plasman en la anterior foto satelital obtenida con el software EarthGoogle Pro para así poder tener una visión de los tres contornos de servicio (primario, secundario y terciario) en la zona a la cual se desea dar servicio.

Tabla 4.3 Distancias desde el transmisor hasta el NSE = 77dB μ

Contorno de Servicio Primario NSE = 77dBμ					
radiales	D(m)	radiales	D(m)	radiales	D(m)
0°	3530	120°	4700	240°	7100
20°	4300	140°	5200	260°	7000
40°	2200	160°	4800	280°	6200
60°	2200	180°	6000	300°	5300
80°	2200	200°	6400	320°	2700
100°	8800	220°	8000	340°	3100

Tabla 4.4 Distancias desde el transmisor hasta el NSE = 71dB μ

Contorno de Servicio Secundario NSE = 71dBμ					
radiales	D(m)	radiales	D(m)	radiales	D(m)
0°	4000	120°	10400	240°	10000
20°	5100	140°	7200	260°	9800
40°	3400	160°	6800	280°	7800
60°	3100	180°	8400	300°	6600
80°	3100	200°	9000	320°	3000
100°	10400	220°	9200	340°	3600

Tabla 4.5 Distancias desde el transmisor hasta el NSE = 60dB μ

Contorno de Servicio Terciario NSE = 60dBμ					
radiales	D(m)	radiales	D(m)	radiales	D(m)
0°	6000	120°	11400	240°	13100
20°	5900	140°	10400	260°	10600
40°	5500	160°	10000	280°	11800
60°	5200	180°	11400	300°	10000
80°	5800	200°	12200	320°	5800
100°	11400	220°	11000	340°	5800

4.7 Cálculo de interferencia

El estudio de interferencia se realizó con los canales adyacentes que dan servicio en las cercanías al canal de operación elegido para el diseño del sistema de radiodifusión de televisión, dichos canales fueron el 10 y el 12 en la banda III de VHF, según se expone en el anexo N° 22, no se puede solapar el contorno de 81dB μ del canal adyacente superior ni el de 71dB μ del canal adyacente inferior con el contorno de servicio secundario de la estación en estudio, mas según el análisis con el método de la FCC indica que ocurre un solapamiento de dichos contornos, tal como se puede apreciar en la figura 4.4, esto conlleva a que la estación teledifusora a diseñar o bien no pudiese operar en la zona o modifique tanto la potencia como las configuraciones de la antena radiante en cuanto a directividad y ganancia, pero se tiene que para el caso particular de Caricuaó aun realizando las adecuaciones correspondientes mencionadas anteriormente, debido a la topografía en la zona donde se esperaba interferencia la misma es despreciable (mediante mediciones de campo

eléctricas realizadas en la zona problema), también se considero por parte de CONATEL para poder permitir la operación a esta estación la cantidad de población solicitante del servicio en comparación con una minoría que tendría que soportar problemas de interferencia por canal adyacente en caso de presentarse en algunos sitios puntuales. En el anexo N° 23 se presenta la ejecución de los cálculos correspondientes a las dos estaciones interferentes (Canal 10 y canal 12 en la banda de VHF).

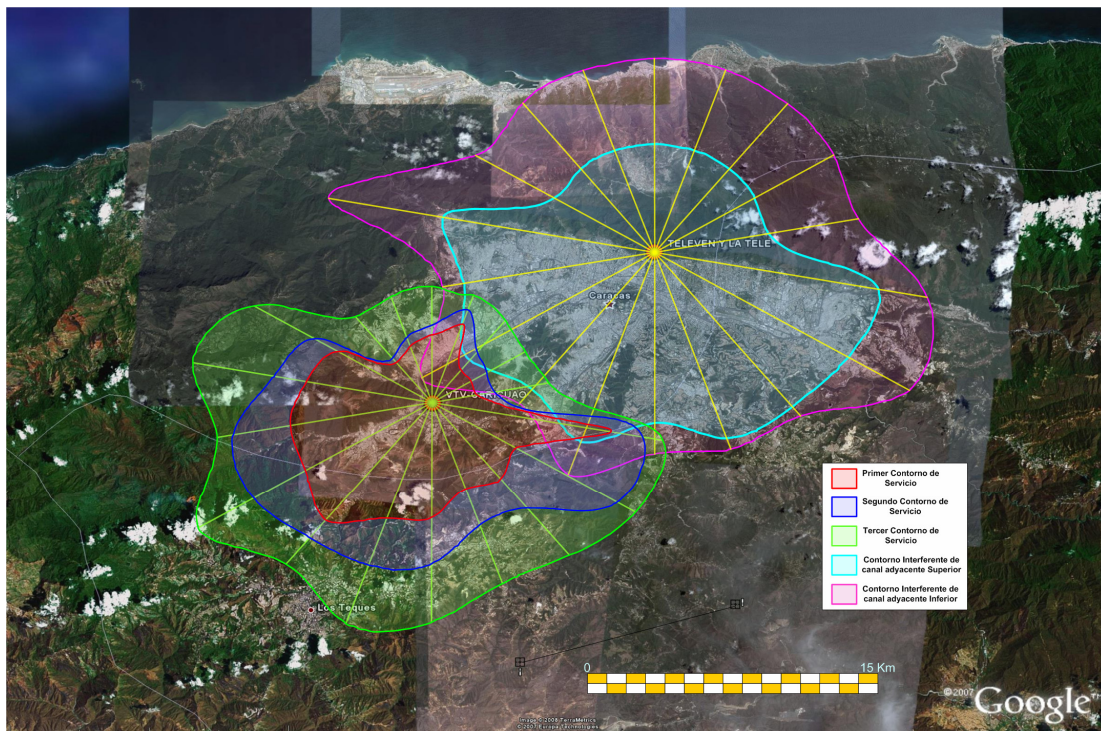


Figura 4.4 Contornos de protección

4.8 Detalle del Sistema de Radiodifusión de Televisión a Plantearse

En el sistema de radiodifusión de televisión planteado en este capítulo se especifican a continuación las características más relevantes de los elementos que conforman el mismo.

4.8.1 Caseta

La caseta destinada a albergar parte del sistema de radiodifusión de televisión tiene un espacio interno de 4,625mts de largo, 4,34mts de ancho por 3,13mts de alto además de escalerillas para el paso de los cables hacia el exterior y escalerillas de distribución internas, especificándose dichas estructuras en el anexo X.

4.8.2 Transmisor

El transmisor propuesto es un transmisor de media potencia de 500W tipo T-V-05/C-S de estado sólido que opera en la Banda III de TV, específicamente sintonizado en el canal 11 de VHF. Dicho modelo de transmisor es especificado por la empresa CAVTV para que sea usado en el diseño propuesto. Sus especificaciones técnicas se presentan en el anexo N° 16.

4.8.3 Línea de Transmisión

La línea de transmisión es del tipo coaxial (ver anexo N° 15), marca Andrew, modelo LDF7-50A de 1 y 5/8 de diámetro, con dieléctrico de foam(espuma) y posee 60m de longitud.

4.8.4 Torre

La torre existente en la estación es del tipo triangular de 1,2 m de longitud de sección y de 54 m de altura, indicándose las características de la misma en el anexo N° 17.

4.8.5 Antena de Transmisión

La antena instalada es marca RYMSA, de polarización horizontal, con paneles de 4 dipolos con reflector modelo AT13-243 (anexo N° 12) especial para ser instalada en torres triangulares y operar en la banda de VHF. Las características de configuración del arreglo y los paneles se presentan en el anexo N° 14.

4.8.6 Sistema de Monitoreo

El sistema de monitoreo de audio y video especificado en el anexo X fue diseñado por CAVTV de forma tal de poder controlar las diferentes etapas de recepción y transmisión de la señal de televisión que será radiada, siendo empleado este sistema en las diferentes estaciones de radiodifusión que posee la empresa. Estos equipos estarán distribuidos en un rack (altura 2145mm, ancho 540mm y espesor de 666mm) denominado “rack de facilidades” además allí se alojaran los equipos de transporte de la señal de televisión (radio de microondas DAR PLUS 7HP y receptor de satélite Power Vu modelo D9223 mostrado en el anexo N° 18), encontrándose su ubicación física en el plano de planta presentado en el anexo N° 24.

4.8.7 Sistema de tierra

Dentro de la caseta se dispone de una conexión a una barra de tierra para que los equipos puedan conectarse a la misma y así asegurar el aterramiento de sus sistemas eléctricos.

4.8.8 Aire Acondicionado

Para garantizar los niveles de temperatura adecuados para el buen funcionamiento de los equipos que operan dentro de los recintos de la caseta se cuenta con un sistema duplicado de 5Tns que esta coordinado mediante un sistema de control automático termorregulador.

4.8.9 Receptor para Transmisión en Cadena Nacional

Como medida de precaución en las estaciones radiodifusoras de CAVTV se incorpora un equipo receptor, que capta las señales de televisión abierta que están al aire, bien sea, canales UHF o VHF. Este equipo opera en caso de interrumpirse simultáneamente la señal de los estudios que puede llegar a la estación radiodifusora por diferentes vías (microondas, satélite, etc.), convirtiéndose así en un ultimo respaldo de forma tal que se pueda garantizar el servicio prestado por la estación radiodifusora en caso de alguna transmisión conjunta de cadena nacional. Las características técnicas de este equipo se encuentran en el anexo N° 18.

4.8.10 Planta de Emergencia

Se cuenta en la estación con un moto generador marca PowerGeneration modelo DGBC 60Hz (anexo N° 25) con capacidad de 40kVA, con switch de transferencia automático (automatic transfer switch), para alimentar la carga de los equipos que operen en las instalaciones donde esta el sistema de radiodifusión y alguna otras cargas preferenciales que pudiesen operar posteriormente.

CONCLUSIONES

En el presente trabajo se realizo una propuesta de diseño de un sistema de transporte de información de audio y video de televisión y un sistema de radiodifusión que provee la señal de televisión a la zona de Caricua y las Adjuntas, obteniéndose las siguientes conclusiones:

- El vano Agua Fría - Caricua presento obstrucción geométrica y radioeléctrica, no pudiéndose subsanar dicho inconveniente con aumentar la altura de las antenas por tanto el sitio fue cambiado a la zona denominada Volcán.
- Mediante el proceso de digitalización de la señal analógica de televisión se puede enviar por el enlace de microondas varios canales de televisión.
- La cantidad de canales que puede transportarse por el sistema de microondas depende de la configuración del FEC, modulación multinivel y tasa de transmisión asignada a cada programa de televisión, siendo un estimado la cantidad de 4 a 5 programas de televisión para obtener una señal robusta con la mayor inmunidad al ruido, pudiendo ser mayor este numero en función de la adecuación de los parámetros ya mencionados anteriormente.
- La máxima tasa de transmisión digital que puede transportarse por el sistema de microondas no esta limitada por las condiciones de calidad de fidelidad recomendadas por la UIT-R, ya que esta en el orden de los Gbps para los dos vanos analizados que llevan la información digital, siendo limitante la tasa máxima que soporta el radio misma que es de 120Mbps.
- Se determino que la potencia del transmisor que puede ofrecer un nivel de intensidad de campo eléctrico correspondiente a un servicio de grado 1 a la zona de Caricua y las Adjuntas es de 500W.

- Según el análisis de cobertura realizado con el método de predicción de intensidad de campo de la FCC, es posible dar servicio de grado 1 a las zonas de las adjuntas y Caricuaó con el sistema propuesto de radiodifusión de televisión.

RECOMENDACIONES

Se recomienda:

- Hacer un estudio de las tasas de transmisión mas optimas a ser configuradas en los encoder de forma que se obtenga la mejor calidad con la menor tasa de transmisión
- Realizar una medición de los niveles de intensidad de campo eléctrico en los contornos de cobertura predichos mediante el método de la FCC, de forma que se puedan realizar ajustes bien sea en el patrón de radiación, potencia del transmisor o en la ganancia del arreglo, después de instalado el sistema radiante o cuando el mismo este en fase de prueba.
- Realizar pruebas con las diferentes configuraciones de FEC disponibles en el radio para obtener la mejor variante que ofrezca menor BER y mayor inmunidad al ruido.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- [1] José Maria Hernando Rábanos. (1998). Transmisión por Radio. España: Editorial Centro de Estudios Ramón Areces. Tercera edición.
- [2] Roberto A. Ares. (2000). Sistemas de Radioenlaces Digitales Equipos, Mediciones y Calculo. Santiago Chile: Lenkurt Telecomunicaciones.
- [3] Recomendación UIT-R P.530. Datos de Propagación y Métodos de Predicción Necesarios para el Diseño de Sistemas Terrenales con Visibilidad Directa. 2001.
- [4] Recomendación UIT-R F.1093-1. Efectos de la Propagación Por Multitrayecto en el Diseño y Funcionamiento de los Sistemas de Radioenlaces Digitales con Visibilidad Directa
- [5] Radio Cuba. Curso de Televisión Digital. 2007. Caracas - Venezuela
- [6] Vazquez V. Luis Raul. Estudio de Cobertura de Señal de TV en VHF y Diseño de Enlaces de Microondas para la Estación Telecentro. U.C.V. Caracas – Venezuela. 2003.
- [7] CONATEL. Guía para la Obtención de la Habilitación de Radiodifusión Sonora y Televisión Abierta, sus Atributos y Concesiones de Radiodifusión. Diciembre 2007. Caracas – Venezuela.
- [8] DICTUC(Dirección de Investigación Científicas y Tecnológicas, Escuela de Ingeniería de la Pontificia Universidad de Chile). Análisis de los Estándares de Transmisión de Televisión Digital Terrestre y su Aplicabilidad al Medio Nacional. Pontificia Universidad Católica de Chile. Santiago – Chile. 2006.
- [9] José Moctesuma Hernández. Televisión Digital. Universidad de Colima. Colima – México. 1999.
- [10] Luís Diego Castro Murillo. Sistema de Transmisión de Televisión Digital Propuesta para Costa Rica. Universidad de Costa Rica. San Pedro de Montes de Oca - Costa Rica. 2004.

BIBLIOGRAFÍAS

- Rares, Telecomunicaciones en General <<www.rares.com.ar>> [Consulta: 2007]
- Principios de Radioenlaces <<<http://aniak.uni.edu.pe/sdemicro/CH%208%20-%20Link%20Design%202005-1.pdf>>> [Consulta: 2007]
- MPEG-4 <<<http://dvdnlared.com/cineencasa/20040824100258.html>>> [Consulta: 2007]
- Procesos de Digitalización <<http://www.ingleslaboral.com/index.php?option=com_content&task=view&id=32&Itemid=1>> [Consulta: 2007]
- Procesos de Digitalización <<<http://html.rincondelvago.com/codificacion-de-la-informacion.html>>> [Consulta 2006]
- Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) <<<http://www.itu.int/net/home/index-es.aspx>>> [Consulta 2006]
- Federal Communications Commission (FCC) <<<http://www.fcc.gov/>>> [Consulta 2007]
- Aponte Reyes, Luís Germen. (2004). Automatización del método propuesto por la FCC para el análisis de Cobertura e Interferencia en VHF y UHF. Universidad Central de Venezuela, Caracas.
- Francisco Javier Net Font. (1989). Teoría Básica de Radiación y Propagación Electromagnética. México: Editorial Limusa, S.A.
- Pelayo Enrique Gil Gomez. (2007). Curso de Análisis Eléctrico y Estructural de los Sistemas de Radiación. Venezuela.
- Bernard Grob. (1990). Televisión Practica y Sistemas de Video. España: McGraw Hill
- Angel Cardama Aznar. (2002). Antenas. Mexico: Editorial Alfaomega. 2da edicion.
- Gustavo Leignadeier. (2006). Curso de Entrenamiento de Sistemas de Microondas Proyecto VTV-PAT. Venezuela.

Roberto A. Ares. (2000). Sistemas de Radio Enlaces Digitales Equipos, Mediciones y Calculo. Santiago Chile: Editado por Lenkurt Telecomunicaciones.

Jose Maria Hernando Rábanos. (1998). Transmisión por Radio. España: Editorial Centro de Estudios Ramón Areces. Tercera edición.

Clemente Gooding. (1995). Apuntes de Sistemas de telecomunicaciones III. Venezuela: U.C.V.

GLOSARIO

BER(Bit Error Rate): Indica cada cuántos bits transmitidos se transmite uno erróneo.

BIT(Binary Digit): Dígito Binario (unidad mínima de información, puede tener dos estados "0" o "1").

DVB: Digital Video Broadcasting (estándar europeo de teledifusión digital).

FEC: Forward Error Correction (conjunto de dispositivos de corrección de errores de transmisión por adición de redundancia calculada en la emisión).

NTSC: National Television Standard Committee (sistema de TV en color utilizado en parte de América y Japón).

QAM: Quadrature Amplitude Modulation (modulación de amplitud en cuadratura).

QPSK: Quadrature Phase Shift Keying (modulación de fase en 4 estados).

RS (204,188,8): Notación abreviada de la codificación de Reed-Solomon utilizada en transmisión DVB.

Asíncrono: Designa el modo utilizado para transportar datos cuando el tiempo no es un factor crítico.

Eficacia Espectral: Relación entre el flujo y la banda de paso de una señal de RF modulada por un tren digital.

Multiplexado Estadístico: Modo de multiplexado de varios programas que asigna un flujo variable a cada programa del múltiplex en función de su contenido, en el límite del flujo total admitido por el canal de RF. Su finalidad es aumentar el número de programas por canal, modulando un flujo instantáneo elevado solo en los pasajes de mayor movimiento de un programa, a expensas de otros programas del múltiplex supuestamente más "calmados" en esos instantes. Correctamente utilizado, este sistema permite hasta una duplicación del número de programas transmitidos sin degradación apreciable.

Multitrayecto: Es un fenómeno consistente en la propagación de una onda por varios caminos diferentes. Ello se debe a los fenómenos de reflexión y de difracción.

Vano: El enlace radioeléctrico entre dos estaciones.

Microondas: Se denomina microondas a unas ondas electromagnéticas definidas en un rango de frecuencias determinado; generalmente de entre 300 MHz y 300 GHz.

Señal Digital: Se dice que una señal es digital cuando las magnitudes de la misma se representan mediante valores discretos en lugar de variables continuas.

Desvanecimiento: Variación temporal de la amplitud, fase y polarización de la señal recibida con relación al valor nominal debido al trayecto de propagación: multitrayecto, conductos, reflexión, difracción y dispersión.

Rugosidad: La rugosidad superficial es el conjunto de irregularidades de la superficie real, definidas convencionalmente en una sección donde los errores de forma y las ondulaciones han sido eliminadas.

Factor Geoclimático: Factor empírico estimado a partir de datos de desvanecimientos obtenidos de una determinada región para una medida del peor mes.

Gradiente: Vector que señala el cambio en cierta dirección de la magnitud escalar.

Radiodifusión. Transmisión mediante ondas electromagnéticas, siendo la aplicación principal los servicios de comunicación masiva.

Radio Propagación: Conjunto de fenómenos físicos que permiten intercambiar información entre el transmisor y el receptor a nivel de ondas electromagnéticas de radio.

Refracción: Cambio de dirección de propagación de la luz, que se produce cuando ésta pasa de un medio a otro de diferente densidad (o diferente índice de refracción).

Zona de cobertura (de una estación transmisora terrenal): Zona asociada a una región determinada y una frecuencia de operación específica en donde proporcionar un servicio, en el interior de la cual y en condiciones técnicas determinadas se puede establecer una radiocomunicación entre equipos compatibles.

Analógico: Término utilizado en contraposición de “digital”, para indicar aquellos dispositivos, variables o señales, de carácter no numérico, que representan los datos de modo continuo –analógico-, en correspondencia con un determinado fenómeno físico.

Código de Reed Solomon: Código de corrección de errores utilizado para corregir paquetes corruptos durante la transmisión.

Compresión: Proceso que limita la cantidad de datos necesarios para la transmisión de una señal digital.

Latitud: Se denomina latitud a la distancia angular, medida sobre un meridiano, entre la línea ecuatorial y el paralelo de una localización terrestre (o de cualquier otro planeta).

Longitud: expresa la distancia angular, medida paralelamente al plano del Ecuador terrestre, entre el Meridiano de Greenwich y un determinado punto de la Tierra.

Datum: El término se aplica en varias áreas de estudio y trabajo específicamente cuando se hace una relación hacia alguna geometría de referencia importante, sea ésta una línea o un plano.

Rack: Es un bastidor destinado a alojar equipamiento electrónico, informático y de comunicaciones. Sus medidas están normalizadas para que sea compatible con equipamiento de cualquier fabricante.