

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

DISEÑO DE LA PLATAFORMA PARA TRANSMISIÓN DE SEÑAL ABIERTA DEL CANAL DE TELEVISIÓN DE LA ASAMBLEA NACIONAL (ANTV) EN EL ÁREA METROPOLITANA

Prof. Guía: Ing. Zeldivar Bruzual
Tutor Industrial: Ing. Douglas Gamez

Presentado ante la ilustre
Universidad Central de Venezuela
Por el Br. Higuera P, Miguel Eloy
para optar al título de
Ingeniero Electricista

Caracas, 2007



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



CONSTANCIA DE APROBACIÓN

Caracas, 20 de junio de 2007

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 Miguel E. Higuera P. titulado:

**“DISEÑO DE LA PLATAFORMA PARA TRANSMISIÓN DE SEÑAL
ABIERTA DEL CANAL DE TELEVISIÓN DE LA ASAMBLEA
NACIONAL (ANTV) EN EL ÁREA METROPOLITANA”**

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.

Pilar Medrano

Prof. Pilar Medrano
Jurado

Franklin Martínez

Prof. Franklin Martínez
Jurado

Zeldivar Bruzual

Prof. Zeldivar Bruzual
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@elecisc.ing.ucv.ve

DEDICATORIA

Quiero dedicar este trabajo a mis padres Elsa Ifigenia Peñaloza de Higuera y Miguel Emilio Higuera Loreto, a mis abuelos Blanca Esperanza Contreras de Peñaloza y Eloy Peñaloza Clavijo, a mi madrina y tía Lysaris Coromoto Peñaloza Contreras, a mi tía Cloris Mistral Peñaloza de Jiménez, a mi madrina Luz Eneida Higuera, a mi hermano Miguel David Higuera Peñaloza, y a mi primo Eloy Humberto Jiménez Peñaloza, a quienes les tengo un profundo amor; y que además son las personas que siempre han estado a mi lado guiándome, apoyándome y aconsejándome.

Miguel Eloy (Tuto) Higuera Peñaloza

AGRADECIMIENTOS

- Agradezco en primer lugar a Dios por darme salud y bienestar con lo cual he podido desempeñar mi trabajo con la mejor disposición y dedicación.
- A mis padres Elsa y Miguel por todo el apoyo, los consejos que me han dado a lo largo de mi vida y mis estudios, por estar siempre presentes.
- A mis Abuelos Esperanza y Eloy, por sus palabras y acciones que me ayudaron a culminar con esta etapa tan importante en mi vida.
- A mi madrina y tía Lysaris, simplemente por toda su ayuda, cariño, consejos, por todo.
- A mi novia Marisa por el apoyo incondicional que me ha brindado y por la gran ayuda brindada durante el desarrollo de mi tesis de grado.
- A todo el personal de Telecom Power Systems TPS, en especial a los ingenieros Douglaz Gamez, Virginio Caeiro, Fernando Melendez, Luis Estrada, al licenciado Jhon Gonzalez, por haberme dado la oportunidad de la oportunidad de poder desempeñarme como Ingeniero en este proyecto, por la confianza depositada en mí, el apoyo y la asesoría brindada.
- Al Profesor Zeldivar Bruzual por el aporte de sus conocimientos y experiencia como tutor académico.
- A mis amigos Carlos M Roos, Carlos E Roos, Luís Márquez, Eduardo Mattioli, Sorelys Cabrera, Gabriel Medina, Jhonatan Kaliwoska, Daniel Hernández, Rafael Romero, Gerlis Caropresse, Juan Colmenares, Pedro Rodríguez, Miguel Román, y a los que me faltan por nombrar perdón pero ustedes saben quienes son; en fin a todos aquellos que me brindaron toda su ayuda y apoyo a lo largo de mi carrera y en el desarrollo de mi tesis.

Miguel Eloy Higuera Peñaloza

**DISEÑO DE LA PLATAFORMA PARA TRANSMISIÓN DE SEÑAL ABIERTA
DEL CANAL DE TELEVISIÓN DE LA ASAMBLEA NACIONAL (ANTV) EN
EL ÁREA METROPOLITANA**

**Tutor Académico: Prof. Zeldivar Bruzual. Tutor Industrial: Ing. Douglas Gamez.
Tesis. Caracas, U.C.V. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Eléctrica.
Ingeniero Electricista. Opción: Comunicaciones. Institución Telecom Power Systems.
Año 2007, 99h+ anexos.**

Palabras claves: FCC, CONATEL, Cobertura, estudio, planta, nivel de señal esperado.

Resumen. El presente proyecto es realizado bajo la tutela de Telecom Power Systems TPS, C.A, quien es una empresa de telecomunicaciones venezolana a cargo del diseño y desarrollo de la plataforma de televisión abierta del canal ANTV. En primer lugar se debe de estudiar la disponibilidad del espectro radioeléctrico en el área de interés, para la selección del canal de televisión. Seguidamente se realiza el levantamiento de la planta transmisora, y así, poder realizar los estudios de cobertura e interferencia de acuerdo a la normativa de CONATEL. Para llevar la señal de televisión desde el estudio hasta la planta (enlace estudio-planta) se necesita diseñar un medio de transporte confiable; para lo cual se realiza una selección de uno de los tres medios mas comunes, el que mejor se adapte a las necesidades del proyecto. Por último se realiza el dimensionamiento de equipos, que no es más que la selección técnica de todos los equipos involucrados en la plataforma de televisión.

INDICE GENERAL

	<i>Pág.</i>
CONSTANCIA DE APROBACIÓN.....	ii
DEDICATORIA.....	iii
AGRADECIMIENTOS.....	iv
RESUMEN.....	v
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
ÍNDICE DE TABLAS.....	xii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xiv
LISTA DE ACRONIMOS.....	xv
LISTA DE SIGLAS.....	xvi
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPITULO I	3
GENERALIDADES.....	3
1.1 Objetivo General.....	3
1.2 Objetivos Específicos.....	3
1.3 Preliminares.....	4
1.3.1 Antenas.....	4
1.3.1.1 Ganancia de una antena.....	4
1.3.1.2 Patrón de radiación de una antena.....	4
1.3.1.3 Potencia efectiva radiada (P.E.R).....	6
1.3.2 Principio de Huygens.....	6
1.3.3 Propagación de señales electromagnéticas.....	7
1.3.3.1 La atenuación en el espacio libre.....	7
1.3.3.2 La Refracción.....	9
1.3.3.3 Radio efectivo de la Tierra.....	10
1.3.3.4 La difracción.....	11
1.3.3.5 Difracción “filo de cuchillo”.....	11

1.3.3.6 Zona de Fresnel	12
1.3.3.7 La conductividad del terreno	13
1.3.3.8 La reflexión electromagnética	14
1.3.4 Área de cobertura ó cubrimiento	15
1.3.5 Nivel de señal esperado (NSE).....	15
1.3.6 Angulo horizontal de radiación (Azimut).....	15
1.3.7 Angulo vertical de radiación.....	15
1.3.8 Factor de radiación sobre los planos horizontal o vertical	16
1.3.9 Patrón de radiación horizontal o vertical.....	16
1.3.10 Factor de irregularidad del terreno (Δh)	16
1.3.11 Comunidad principal	16
1.3.12 Servicio de grado A	16
1.3.13 Servicio de grado B	16
1.3.14 Angulo de inclinación del terreno	17
1.3.15 Métodos para el cálculo de cobertura	17
1.3.15.1 Método de Okumura	18
1.3.15.2 Método de Okumura - Hata	21
1.3.15.3 Método propuesto por la UIT	22
1.3.15.4 Método de la FCC.....	25
1.3.15.5 Modelo Cost 231 (extensión del método Hata)	31
1.3.15.6 Método de Xia	31
1.3.16 Interferencia.....	32
1.3.16.1 Interferencia cocanal.....	32
1.3.16.2 Interferencia por canal adyacente	33
1.3.17 Enlace satelitales.....	33
1.3.17.1 Modelos de enlace del sistema satelital	34
1.3.17.1.1 Modelo de subida.....	34
1.3.17.1.2 El transponder.....	35
1.3.17.1.3 Modelo de bajada.....	35
1.3.18 Fibra óptica	36
1.3.18.1 Fibra monomodo.....	37
1.3.18.2 Fibra multimodo	37
1.3.19 Enlace microondas.....	38
1.3.19.1 Factores que determinan el alcance de la señal de microondas.....	39
1.3.19.2 Factores que influyen en el rendimiento del enlace	40
1.3.20 Factores que se deben tomar en cuenta al elegir un medio de transmisión para una red	40
1.3.21 Diversidad.....	41
1.3.21.1 Diversidad espacial.....	41
1.3.21.2 Diversidad por polarización.....	41
1.3.21.3 Diversidad de frecuencia.	42
1.3.22 Espectro radioeléctrico	42
CAPITULO II.....	45
DESARROLLO DE UN SISTEMA DE RADIODIFUSIÓN	45

2.1 Herramientas de cálculo a utilizar	46
2.2 Selección del canal de operación.....	47
2.3 Estudio de cobertura	48
2.3.1 Cálculo de la ganancia por radial de la antena radiodifusora	51
2.3.2 Cálculo de la potencia efectiva radiada (P.E.R.)	52
2.3.3 Cálculo de la intensidad de campo F (50,50)	54
2.3.4 Atenuación por obstrucción “filo de cuchillo”	55
2.3.4.1 Cálculo de atenuación por el modelo de Picquenard.....	57
2.3.5 Cálculo del nivel de señal esperado para los radiales con obstáculo tipo filo de cuchillo	58
2.3.5.1 Distancia de los contornos de interés para la obstrucción filo de cuchillo.....	59
2.3.6 Estudio de los radiales que no presentan atenuación tipo filo de cuchillo	61
2.3.7 Diagrama de cobertura de servicio	62
2.4 Estudio de interferencias	66
2.4.1 Relaciones de protección	66
2.4.2 Contornos de protección contra interferencias	67
2.4.3 Contornos de protección para las estaciones interferidas.....	69
2.4.4 Diagramas de interferencia.....	71
CAPITULO III	73
DISEÑO DEL ENLACE ESTUDIO-PLANTA.....	73
3.1 Escogencia del medio de transmisión para el enlace estudio-planta	73
3.2 Ubicación del Estudio de Televisión y de la Planta Transmisora	74
3.3 Selección de las bandas de frecuencia a utilizar	75
3.4 Perfil del enlace	76
3.5 Cálculos del enlace	77
3.5.1 Atenuación por espacio libre	77
3.5.2 Perdidas por absorción atmosférica.....	78
3.5.3 Perdidas en la línea de transmisión y recepción	79
3.5.4 Atenuación por lluvia	80
3.5.5 Potencia recibida en el espacio libre.....	82
3.5.6 Margen de desvanecimiento plano (<i>Flat fade margin</i>)	82
4.4.7 Indisponibilidad y confiabilidad del enlace.....	83
CAPITULO IV	85
DIMENSIONAMIENTO DE EQUIPOS	85

4.1 Plataforma de radiodifusión.....	85
4.1.1 Equipo transmisor de televisión UHF	85
4.1.2 Antena transmisora de televisión.....	86
4.1.2.1 Grado de elevación de la antena	87
4.1.2.2 Patrones de radiación.....	88
4.1.3 Equipos de procesamiento y monitoreo de la señal de audio	89
4.2 Enlace de microondas	90
4.2.1 Equipo transmisor de microondas	90
4.2.2 Antena de microondas	91
4.3 Líneas de transmisión	91
4.3.1 Características de las líneas de transmisión.....	92
4.4 Plantas eléctricas de emergencia	92
4.5 Descripción del sistema de aterramiento en planta transmisora.....	92
4.6 Diagrama de bloque de la estación de televisión.....	93
CONCLUSIONES.....	94
RECOMENDACIONES	96
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	97
BIBLIOGRAFIA.....	98
ANEXOS.....	100

ÍNDICE DE FIGURAS

	<i>Pág.</i>
Figura 1.1 Patrones de radiación de antenas.....	6
Figura 1.2 Curvatura de los rayos electromagnéticos producto de la refracción....	9
Figura 1.3a Definición del signo de despeje.....	11
Figura 1.3b Atenuación por filo de cuchillo.....	11
Figura 1.4 Primera zona de fresnel	13
Figura 1.5 Factor atenuación promedio al espacio libre A_{mu}	19
Figura 1.6 Factor de corrección para zona abierta.....	20
Figura 1.7 Factor de corrección para zona suburbana.....	20
Figura 1.8 Curvas de intensidad de campo para el método UIT	23
Figura 1.9 Intensidad de campo eléctrico (dB(μ V/m))para una zona urbana	25
Figura 1.10 Curvas F(50,50) para los canales VHF del 2 al 6.....	28
Figura 1.11 Curvas F(50,50) para los canales VHF del 7 al 13.....	29
Figura 1.12 Curvas F(50,50) para los canales UHF del 14 al 69.....	30
Figura 1.13 Modelo geométrico y parámetros asociados del método de Xia.....	32
Figura 1.14 Diagrama de bloques de la sección de subida de un satélite.....	35
Figura 1.15 Diagrama de bloques del transponder de un satélite.....	35
Figura 1.16 Diagrama de bloques de la sección de bajada de un satélite.....	36
Figura 1.17 Diagrama de bloques de un sistema de comunicación óptico.....	37
Figura 1.18 Radio enlace con estación repetidora.....	39
Figura 1.19 División de regiones establecida por la UIT.....	44
Figura 2.1 Estaciones de transmisión necesarias para cubrir el área metropolitana.....	46
Figura 2.2 Áreas elementales para el cálculo del ASPT.....	49
Figura 2.3 Modelo de Picquenard para trayecto con obstrucción filo de cuchillo..	55
Figura 2.4 Modelo de Picquenard para obstrucciones continuas tipo filo de cuchillo.....	56
Figura 2.5 Mapa de cobertura por el método FCC.....	64
Figura 2.6 Mapa de cobertura levantado en Radio Mobile para evaluar zonas de	

	sombra.....	65
Figura 2.7	Mapa de los contornos de protección por el método FCC.....	72
Figura 3.1	Ubicación geográfica del estudio de televisión y la planta transmisora.....	75
Figura 3.2	Perfil del enlace microondas por Radio Mobile.....	76
Figura 3.3	Línea de vista entre estudio y planta.....	77
Figura 3.4	Gráfica de las atenuaciones específicas del oxígeno y agua	79
Figura 3.5	Valores de las constantes k y α para el calculo de la atenuación por lluvia.....	81
Figura 4.1a	Patrón de radiación horizontal.....	88
Figura 4.1b	Patrón de radiación vertical.....	88
Figura 4.2.	Procesador de audio.....	90
Figura 4.3	Monitor de modulación.....	90
Figura 4.4	Diagrama de bloque de la estación de televisión.....	93

ÍNDICE DE TABLAS

		<i>Pág.</i>
Tabla 1.1	Bandas de operación satelital.....	33
Tabla 1.2	Espectro de frecuencias de microondas.....	38
Tabla 1.3	División del espectro radioeléctrico.....	43
Tabla 2.1	Estaciones de transmisión y coordenadas geográficas.....	45
Tabla 2.2	Espectro de frecuencias de televisión abierta para radiodifusión.....	47
Tabla 2.3	Valores de APT y ASPT en los 18 radiales para el centro de radiación ubicado en Mecedores.....	51
Tabla 2.4	Ganancia por radial y porcentajes de radiación considerando un tilt de 6° en todos los radiales.....	52
Tabla 2.5	Potencia efectiva radiada por radial.....	54
Tabla 2.6	Datos de los radiales con obstáculo tipo filo de cuchillo.....	57
Tabla 2.7	Atenuación que generan los radiales con obstáculo tipo filo de cuchillo.....	58
Tabla 2.8	Intensidad de campo F(50,50) y nivel de señal esperado para obstrucción filo de cuchillo.....	58
Tabla 2.9	Nivel de señal esperado al variar la distancia en el radial 40°.....	60
Tabla 2.10	Distancia de los contornos de servicio para los radiales con atenuación filo de cuchillo.....	61
Tabla 2.11	Coefficiente de rugosidad (Δh) y factor de corrección ΔF para los radiales de 80° a 280°.....	61
Tabla 2.12	Intensidad de campo F(50,50) y distancia de los contornos para los radiales de 80° a 280°.....	62
Tabla 2.13	Separación mínima con estaciones de televisión operativas.....	66
Tabla 2.14	Contornos de protección establecidos por CONATEL de acuerdo al tipo de interferencia.....	67
Tabla 2.15	Estaciones que no cumplen la protección de distancia mínima.....	67
Tabla 2.16	Distancia de los contornos interferentes para los radiales con atenuación filo de cuchillo.....	68
Tabla 2.17	Nivel de intensidad de campo y distancia para contornos de protección.....	69
Tabla 2.18	Características técnicas de las estaciones interferidas.....	69
Tabla 2.19	Contorno protegido de 70 dB μ V/m del canal 62 en Maracay.....	70
Tabla 2.20	Contorno protegido de 70 dB μ V/m del canal 61 en Villa de Cura.....	71
Tabla 3.1	Ubicación y altura del Estudio de televisión y de la Planta Transmisora.....	74
Tabla 3.2	Resumen de las características técnicas del enlace de microondas.....	84

Tabla 4.1	Transmisores de UHF disponibles.....	86
Tabla 4.2	Tabla 4.2 Características de la antena transmisora de televisión.....	87
Tabla 4.3	Patrón de radiación horizontal y vertical considerando un tilt de 6° en todos los radiales.....	89
Tabla 4.4	Equipos de procesamiento y monitoreo de la señal de audio.....	90
Tabla 4.5	Radios de microondas disponibles.....	90
Tabla 4.6	Características de la antena microondas.....	91
Tabla 4.7	Características de las líneas de transmisión.....	92

ÍNDICE DE ANEXOS

	<i>Pág.</i>
Anexo 1	Guía para la obtención de las habilitaciones de radiodifusión sonora y televisión abierta, sus atributos y las concesiones de radiodifusión..... 100
Anexo 2	Canales de televisión UHF en Caracas..... 111
Anexo 3	Radiales de cobertura..... 113
Anexo 4	Diagramas de cobertura con variación de potencia..... 119
Anexo 5	Perfiles con obstrucción filo de cuchillo..... 121
Anexo 6	Cálculo de los contornos de servicio..... 123
Anexo 7.1	Radiales de las estaciones interferentes..... 124
Anexo 7.2	Contorno de 42dBu de la estación canal 62 Maracay..... 136
Anexo 8	Tabla de cotas vs distancia del perfil estudio-planta..... 137
Anexo 9	Intensidad de lluvia, recomendación UIT-R P837-3..... 138
Anexo 10	Tilt de la antena transmisora UHF..... 139
Anexo 11	Transmisor UHF..... 140
Anexo 12	Catalogo de antenas UHF <i>Ryma</i> 144
Anexo 13	Equipo procesador de audio..... 145
Anexo 14	Monitor de modulación..... 152
Anexo 15	Radio transmisor-receptor de microondas..... 156
Anexo 16	Antena parabólica para microondas..... 158
Anexo 17	Cable coaxial <i>Andrew</i> 162
Anexo 18	Guía de onda elíptica..... 167
Anexo 19	Planta eléctrica <i>Cummins</i> de 80kW..... 168
Anexo 20	Planta eléctrica <i>Cummins</i> de 40kW..... 172

LISTA DE ACRONIMOS

APT: Altura Promedio del Terreno

ASNM: Altura Sobre el Nivel del Mar

ASPT: Altura Sobre el Nivel Promedio del Terreno

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

BPF: Band Pass Filter (*Filtro pasa bandas*)

CUNABAF: Cuadro Nacional de Atribución de Bandas de Frecuencia

FFH: Fast Frequency Hopping (*Salto rápido en frecuencias*)

FM: Frecuencia modulada

IF: Intermediate Frequency (*Frecuencia intermedia*)

LED: Light Emitting Diode (*Diodo emisor de luz*)

LNA: Low Noise Amplifier (*Amplificador de bajo ruido*)

NICAM: Near Instantaneous Companded Audio Multiplex

NSE: Nivel de Señal Esperado

pal: Pérdidas en los Alimentadores

PAL: Phase Alternating Line

PER: Potencia Efectiva Radiada

PSK: Phase Shift Keying (*Modulación por desplazamiento de fase*)

QAM: Quadrature Amplitude Modulation (*Modulación de amplitud en cuadratura*)

RF: Radio Frecuencia

SECAM: Séquentiel Couleur avec Mémoire (*Color secuencial con memoria*)

SFH: Slow Frequency Hopping (*Salto lento en frecuencias*)

TV: Televisión

UHF: Ultra High Frequency (*Frecuencia ultra alta*)

VHF: Very High Frequency (*Frecuencia muy alta*)

VSWR: Voltage standing wave ratio

LISTA DE SIGLAS

ANTV: Televisora Asamblea Nacional

BTSC: Broadcast Television Systems Committee

CCIR: Consejo Consultivo Internacional de las Comunicaciones de Radio

CONATEL: Comisión Nacional de Telecomunicaciones

FCC: Federal Communications Commission

MTC: Ministerio de Transporte y Comunicaciones

NTSC: National Television System(s) Committee

UIT: Unión Internacional de Telecomunicaciones

INTRODUCCIÓN

En el año de 1927 fue cuando las primeras emisiones públicas de televisión se dieron lugar, en Venezuela los inicios de la televisión datan del año 1952, siendo el primer canal creado la Televisora Nacional YVKA-TV Canal 5 (TVN-5), que surge bajo control directo del Estado. La expansión de la televisión fue lenta principalmente debido a los altos costos para su funcionamiento, pero gracias a la expansión petrolera en la década de los 70 se produce una alta concentración de capitales en la industria de la televisión. Para el año de 1979 se decretó el uso de la televisión a color en nuestro país adoptando en sistema americano NTSC-M, la TV-color entró en plena vigencia el 1ro de junio de 1980.

La televisión tanto en Venezuela como en el resto del mundo, se ha convertido en el medio de comunicación más importante, el de mayor penetración y de más movilización económica. En Caracas, por ejemplo, casi el 100 % de los hogares posee al menos un aparato de televisión y en el resto de país la cifra sobrepasa el 95 %. Se puede afirmar que la televisión es el medio de distracción e información más extendido entre las familias del país y del mundo.

La fundación Televisora de la Asamblea Nacional (ANTV), fue creada con la finalidad de poseer un canal de información, opinión y formación de carácter netamente político; en la actualidad el canal ANTV transmite su programación a través de las empresas de televisión por cable y satelital. Debido a que los costos de suscripción a estos servicios no pueden ser pagados por una gran parte de la población nacional, la programación de este canal de televisión no es vista en muchos hogares del país; por lo que es necesario independientemente de la calidad de la señal de video y audio, transmitir en señal abierta para así cumplir con la misión de llegar a todos los hogares venezolanos.

La Comisión Nacional de Telecomunicaciones (CONATEL), es la encargada de administrar el espectro radioeléctrico en el territorio nacional. La Ley Orgánica de Telecomunicaciones, exige que para la realización de actividades de telecomunicaciones se requerirá de la obtención de la correspondiente Habilitación Administrativa y sus Atributos, lo cuál no es más que la presentación de un proyecto técnico en cual se muestran todos los cálculos, equipos y estudios necesarios para la prestación de un buen servicio, cumpliendo

con las exigencias exigidas en dicha ley. Las habilitaciones administrativas en materia de telecomunicaciones son:

- De radiodifusión sonora y televisión abierta.
- De radiodifusión sonora y televisión abierta comunitarias de servicio público, sin fines de lucro.
- De radioaficionados.
- Especiales y Generales.

En este proyecto se realizara el diseño de la plataforma para televisión abierta del canal ANTV, para los municipios Libertador del Distrito Capital, Chacao, Baruta, Sucre y El Hatillo del estado Miranda, a quienes se les desea brindar un nivel de señal adecuado; cumpliendo con todos los requisitos impuestos por CONATEL en la Guía de Habilitación de Radiodifusión Sonora y Televisión Abierta.

CAPITULO I GENERALIDADES

La Asamblea Nacional es el organismo a través del cual los representantes del pueblo venezolano ejercen el poder legislativo; tiene como funciones principales legislar sobre las materias de competencia nacional y sobre el funcionamiento de las distintas ramas del Poder Nacional; también es la encargada de ejercer el control sobre el Gobierno y la Administración Pública Nacional, de conformidad con lo establecido en la Constitución Bolivariana de Venezuela.

Con la finalidad de informar sobre los acontecimientos diarios de este organismo entre otras cosas; es creada la Televisora Asamblea Nacional (ANTV) cuya visión es ser un canal de formación con señal abierta.

1.1 Objetivo General

Elaborar el diseño para una estación de radiodifusión audiovisual y sistema microondas (enlace estudio-planta) para la transmisión libre de la señal de televisión del canal de la Asamblea Nacional (ANTV); con la finalidad de poder difundir su señal a la población del área metropolitana que no cuenten con servicios de televisión por cable o satelital.

1.2 Objetivos Específicos

- Estudio de factibilidad técnica para obtener la habilitación administrativa de radiodifusión sonora y televisión abierta, lo cual incluye:
 - Estudio de Cobertura
 - Estudio de Interferencia
- Dimensionamiento de los equipos de la plataforma de radiodifusión
- Diseñar el sistema de microondas, para la interconexión desde los sitios de radiodifusión hacia el sitio master del canal.
- Dimensionamiento de los equipos de la plataforma de microondas

1.3 Preliminares

1.3.1 Antenas

Una antena es un conductor que posee una longitud o forma definida y se coloca al final de una línea de transmisión, la antena se encarga de transmitir al ambiente, o irradiar la señal suministrada por cierto equipo. Las antenas poseen un comportamiento poco predecible, debido a que ésta interacciona fuertemente con el medio que la rodea; lo que implica que no es sino hasta que se prueba la antena, que se sabe si cumple con lo deseado.

1.3.1.1 Ganancia de una antena

Se define como la relación, generalmente expresada en decibeles, que debe existir entre la potencia necesaria, a la entrada de una antena de referencia sin pérdidas y la potencia suministrada a la entrada de la antena en cuestión, para que ambas antenas produzcan en una dirección dada, la misma intensidad de campo o la misma densidad de flujo de potencia a la misma distancia; salvo que se indique lo contrario, la ganancia se refiere a la dirección de máxima radiación de la antena. [1]

Eventualmente puede tomarse en consideración la ganancia para una polarización especificada; según la antena de referencia elegida, se distingue entre:

- La ganancia isótropa o absoluta si la antena de referencia es un dipolo de media onda, aislado en el espacio.
- La ganancia con relación a un dipolo de media onda si la antena de referencia es un dipolo de media onda aislado en el espacio y cuyo plano ecuatorial contiene la dirección dada.
- La ganancia con relación a una antena vertical corta, si la antena de referencia es un conductor rectilíneo mucho más corto que un cuarto de longitud de onda y perpendicular a la superficie de un plano perfectamente conductor que contiene la dirección dada.

1.3.1.2 Patrón de radiación de una antena

Cada antena posee su forma particular de propagar una señal, existen antenas que cubren más en una dirección que en otra, así como hay antenas que radian casi por igual en todas las direcciones, y también existen las que lo hacen solo en algunas direcciones.

El patrón de radiación de una antena no es más que la forma particular que tienen las antenas de emitir una señal; en un patrón de radiación hay direcciones en las que se emite mucha energía, y direcciones en donde no se emite energía del todo, es decir donde prácticamente no se reciben señales y son llamadas direcciones “sordas”. Los patrones de radiación de una antena, por lo general son suministrados por el fabricante.

Dentro de los tipos de patrones de una antena, está el patrón azimutal que muestra la forma de radiar de la antena, es decir como si la estuviéramos observando desde arriba; y el patrón de radiación vertical o de elevación, el cual nos muestra la forma de irradiar cuando se ve la antena de lado. Estos dos patrones son de gran importancia a la hora de escoger una antena en particular, ya que el primero nos muestra que tan direccional es una antena, y el segundo que tan bajo es su nivel de radiación.

En líneas generales, el patrón de radiación¹ de una antena, es también su patrón de recepción. Cuando una antena emite, actúa como un lente que concentra su señal en ciertas direcciones; mientras que cuando recibe, actúa como un embudo que concentra la señal solo en ciertas direcciones. También es importante saber que toda antena posee una cierta impedancia la cual afecta la transferencia de energía entre las diferentes partes del sistema, y la regla general es que para lograr la máxima transferencia de energía a la antena, la impedancia de esta debe ser igual a la impedancia de la línea, y esta a su vez a la del equipo de radio. Cuando no se puede lograr el ajuste de la impedancia, se utiliza un dispositivo acoplador denominado “balún”, el cual no es más que una especie de transformador que convierte impedancias.

¹ Ver figura 1.1

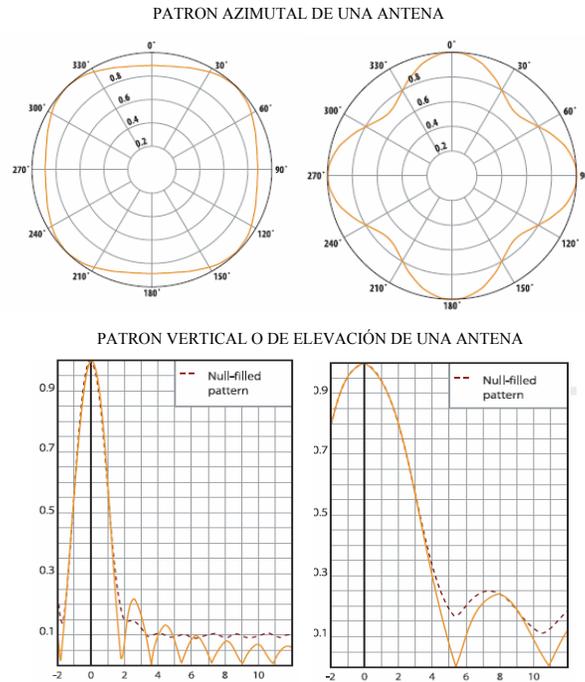


Figura 1.1. Patrones de radiación de Antenas

1.3.1.3 Potencia efectiva radiada (P.E.R)

Es la potencia suministrada a la antena multiplicada por su ganancia; para calcular esta potencia, se deben considerar las pérdidas en el sistema alimentador de la antena.

1.3.2 Principio de Huygens

Primeramente se debe conocer que un frente de onda es una superficie que pasa por todos los puntos del medio alcanzados por el movimiento ondulatorio en el mismo instante, y la perturbación en todos esos puntos tiene la misma fase.

El principio de Huygens proporciona un método geométrico para encontrar la forma que tendrá en un instante posterior un frente de onda, partiendo de una forma conocida en un cierto instante.

Este principio establece que cada punto de un frente de ondas puede considerarse como fuente de pequeñas ondas secundarias, que se propagan en todas direcciones desde sus centros con la misma velocidad de propagación. El nuevo frente de onda se encuentra construyendo una superficie tangente a las ondas secundarias; es decir, es la envolvente de estas ondas secundarias.

1.3.3 Propagación de señales electromagnéticas

1.3.3.1 La atenuación en el espacio libre

El espacio libre se define como un medio dieléctrico homogéneo, isótropo y alejado de cualquier obstáculo, lo cual hace que esta circunstancia se de pocas veces en nuestro entorno.

La superficie de la tierra como ya se conoce no es uniforme, y además la tierra presenta una curvatura; por lo tanto si las antenas están dispuestas de forma conveniente y sin ningún obstáculo entre ellas, se puede considerar que la única atenuación producida es la del espacio libre.

Para calcular las pérdidas, se supone un equipo transmisor con una potencia denominada P_T , Además de que la antena de dicho equipo radia igual en todas las direcciones del espacio y si el medio no posee pérdidas, no se produce absorción de energía.

Por lo tanto cualquier superficie esférica centrada en la antena será constante, con lo que la densidad de potencia (S) en cualquiera de las esferas centradas en la antena será proporcional al inverso del cuadrado de la distancia (R) a la antena, quedando de la siguiente manera:

$$S = \frac{P_T}{4 \cdot \pi \cdot R^2} [W / m^2] \quad \text{Ec 1.1}$$

Debido a que las antenas no son omnidireccionales, sino que concentran la energía en determinadas direcciones; llamaremos G_T a la ganancia o incremento de radiación en la dirección de interés, con lo que en dicha dirección tenemos:

$$S = \frac{P_T \cdot G_T}{4 \cdot \pi \cdot R^2} [W / m^2] \quad \text{Ec 1.2}$$

El equipo receptor tendrá una antena que captará parte de esa densidad de potencia y este la entregará al receptor. Para calcular el valor de dicha energía se debe definir el área efectiva o apertura A_E de la antena receptora como la relación de potencia captada por la antena receptora (P_R) y la densidad de potencia incidente sobre ella. Por lo tanto la potencia recibida (P_R) quedara expresada como:

$$P_R = S \cdot A_E = \frac{P_T}{4 \cdot \pi \cdot R^2} \cdot G_T \cdot A_E \quad \text{Ec 1.3}$$

Tomando en cuenta otros factores como la polarización (C_P) y las posibles pérdidas en el medio (C_M), se tiene la ecuación:

$$P_R = S \cdot A_E = \frac{P_T}{4 \cdot \pi \cdot R^2} \cdot G_T \cdot A_E \cdot C_M \cdot C_P \quad \text{Ec 1.4}$$

Existe una expresión que relaciona la apertura efectiva con la directividad de la antena receptora, la cual es:

$$A_E = \frac{\lambda^2}{4 \cdot \pi} \cdot D \quad \text{Ec 1.5}$$

Haciendo uso de la ecuación 1.3 y teniendo en cuenta la eficiencia de las antenas, se sustituye la directividad por la ganancia, se puede calcular la atenuación como el cociente entre la potencia recibida y transmitida. [2]

$$A = \frac{P_T}{P_R} = \left(\frac{4 \cdot \pi \cdot R}{\lambda} \right)^2 \frac{1}{G_R \cdot G_T} \quad \text{Ec 1.6}$$

La atenuación en el espacio libre se conoce como la atenuación sin tener en cuenta la ganancia de las antenas receptora (G_R) y transmisora (G_T), entonces la ecuación 1.6 queda de la siguiente manera:

$$A_{EL} = \frac{P_T}{P_R} = \left(\frac{4 \cdot \pi \cdot R}{\lambda} \right)^2 \quad \text{Ec 1.7}$$

La ecuación 1.7, se puede expresar también en decibeles, lo cual resulta:

$$A_{EL}(dB) = 32.45 + 20 \cdot \log f_{[MHz]} + 20 \cdot \log R_{[Km]} \quad \text{Ec 1.8}$$

donde f es la frecuencia de operación.

Si se consideran las ganancias de las antenas receptora (G_R) y transmisora (G_T), se obtiene entonces la fórmula de Friis.

$$A(dB) = 32.45 + 20 \cdot \log f_{[MHz]} + 20 \cdot \log R_{[Km]} - G_T - G_R \quad \text{Ec 1.9}$$

Conociendo el valor de la atenuación en el espacio libre, y suponiendo que no existe otro fenómeno, ya que nos encontramos en un medio ideal, se puede entonces calcular la potencia recibida.

$$10 \cdot \log P_R = 10 \cdot \log P_T - A(dB) \quad \text{Ec 1.10}$$

Se puede entonces decir que la atenuación del espacio libre se debe únicamente a la expansión de las ondas electromagnéticas en el espacio y al tamaño físico limitado de las antenas y que no tiene relación con ningún otro fenómeno.

1.3.3.2 La Refracción

La refracción no es más que el cambio de dirección del frente de onda cuando este pasa de un medio con ciertas características, a otro con características diferentes. El índice de refracción de la atmósfera está relacionado con la constante dieléctrica la cual a su vez depende de la presión, de la temperatura y de la humedad, de la siguiente forma

$$N = (n - 1) \cdot 10^6 = 77.6 \frac{p + 4810 \cdot \frac{e}{T}}{T} \quad \text{Ec 1.11}$$

En donde:

N es el índice de refracción modificado o refractividad.

n es el índice de refracción de la atmósfera.

e es la presión del vapor de agua (milibarios).

T es la temperatura absoluta (en grados Kelvin).

El índice de refracción varía con la altura debido a que las características físicas de la atmósfera varían con la altura. En una primera aproximación puede sustituirse la variación de la refractividad con la altura por una variación lineal:

$$N = N_s \cdot (1 - 0.136 \cdot h) \quad \text{Ec 1.12}$$

En la ecuación 1.26, h está en Km. y varía entre 0 y 1. Y N_s es el valor de la refractividad en la superficie. Esta aproximación que se muestra en la ecuación 1.12 donde el índice de refracción n varía con la altura linealmente, es válida siempre y cuando se trabajen con alturas menores a 1Km. Ahora tomando en cuenta lo dicho anteriormente, los rayos electromagnéticos que serían rectilíneos en la atmósfera ideal sufren ahora una curvatura, tal y como se muestra en la figura 1.2.

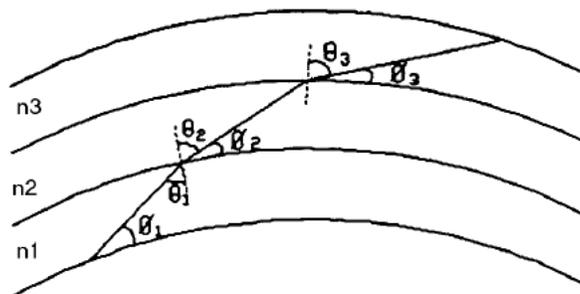


Figura 1.2. Curvatura de los rayos electromagnéticos producto de la Refracción

El cambio de inclinación del frente de onda, dependerá entonces del índice de refracción de cada uno de los medios, y este puede ser calculado con la ley de Snell, la cual se muestra en la ecuación 1.13

$$n_1 \cdot \text{sen}(\theta_1) = n_2 \cdot \text{sen}(\theta_2) \quad \text{Ec 1.13}$$

En donde:

n_1 = índice de refracción del material 1

n_2 = índice de refracción del material 2

θ_1 = ángulo de incidencia (grados)

θ_2 = ángulo de refracción (grados)

1.3.3.3 Radio efectivo de la Tierra

Como ya se conoce, los rayos electromagnéticos no viajan en línea recta, la superficie de la Tierra sobre la cual viajan no es plana, de igual manera si viajaran sobre una superficie plana como es el mar, de la misma forma se debe de tomar en cuenta la curvatura terrestre.

La Tierra no es redonda, es una esferoide ovalado, que sin embargo para aproximaciones de cálculo puede aproximarse a un arco, con un radio promedio de $R=6.371Km$. Ahora se tiene el caso en el cual la claridad del haz de radio sobre la superficie de la Tierra, depende de la distancia relativa entre dos curvas.

Es conveniente imaginar que el rayo electromagnético, viaja en una línea recta respecto al radio efectivo de la Tierra, el cual ha sido ajustado de acuerdo al gradiente de refractividad.

El radio efectivo de la Tierra, no es más que el radio terrestre real multiplicado por un factor “k” que depende del gradiente de refractividad. Se puede decir entonces que siempre que los cálculos se realicen en función del radio corregido, se podrá considerar la existencia de una atmósfera homogénea. El factor “k” está relacionado al gradiente del índice de refractividad de la siguiente manera:

$$k = \frac{1}{1 + R \cdot \frac{dn}{dh}} \quad \text{Ec 1.14}$$

En donde R es el radio real de la Tierra ($6.370Km$).

1.3.3.4 La difracción

Se conoce como difracción al fenómeno que ocurre cuando una onda electromagnética incide sobre un obstáculo. En ciertas ocasiones la Tierra y sus irregularidades pueden impedir la visibilidad entre las antenas transmisora y receptora, y la zona oculta ante la antena transmisora es la que se conoce como zona de difracción. En esta zona los campos no son nulos debido a la difracción causada por el obstáculo, y por tanto es posible la recepción, y hasta con atenuaciones superiores a las del espacio libre.

1.3.3.5 Difracción “filo de cuchillo”

El filo de cuchillo es el modelo más simple para una obstrucción aguda, que en un plano por lo general horizontal puede considerarse infinita. Para el cálculo de la atenuación producida por este obstáculo, se utiliza un parámetro que depende del despeje normalizado, al cual se le denota con el símbolo v , y su interpretación física proviene de realizar el cociente de la altura h de la cima del obstáculo sobre la línea imaginaria que une al transmisor y al receptor, entre el radio del elipsoide que delimita la primera zona de Fresnel.

Este cociente se multiplica por 2 y si la altura del obstáculo queda por encima de la línea que une al trayecto h es positiva, en caso contrario será negativa, lo que define el signo de v ; esto se puede observar en la ecuación 1.15.

$$v = h \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot (d_1 + d_2)}{\lambda \cdot d_1 \cdot d_2}}$$

Ec 1.15

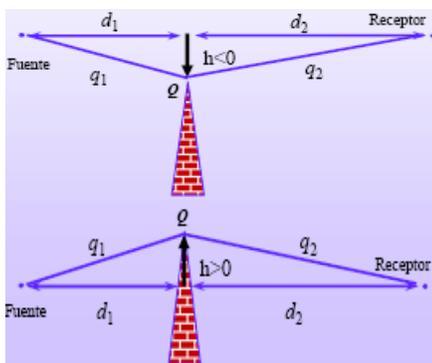


Figura 1.3a. Definición del signo de despeje

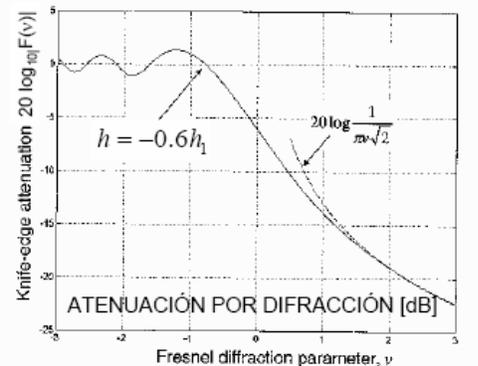


Figura 1.3b. Atenuación por filo de cuchillo

1.3.3.6 Zona de Fresnel

La zona de Fresnel llamada así en honor al físico Auguste Jean Fresnel, es uno de los elipsoides de revolución concéntricos que teóricamente son infinitos, y definen volúmenes en el patrón de radiación de la abertura circular.

Es una zona de despeje adicional de mucha importancia y que hay que tener en consideración, además de que debe existir línea de vista entre las dos antenas (emisora y receptora).

La primera zona de Fresnel contribuye a la propagación de la onda, mientras que la segunda zona posee un efecto contrario. Para el volumen de espacio que existe entre el emisor de una onda y un receptor, debe cumplirse que el desfase entre ambas ondas en dicho volumen no supere los 180° , con esto se logra que el rayo que une en línea recta al emisor y receptor tendrá la mínima fase.

Tomando su valor de fase como cero, la primera zona abarca hasta que la fase llegue a 180° , tomando la forma de un elipsoide de revolución y la segunda hasta un desfase de 360° , lo que genera que su fase sea invertida con respecto a la primera zona, resultando una contribución substractiva. En general, las zonas impares son positivas, mientras que las pares son negativas.

La zona de Fresnel proviene de la expansión de las ondas electromagnéticas al viajar en el espacio libre, dicha expansión resulta en reflexiones y cambios de fase al pasar sobre un obstáculo cualquiera, dando como resultado un aumento o disminución en el nivel de intensidad de señal recibido.

La obstrucción máxima permisible para considerar que no hay obstrucción es el 40% de la primera zona de Fresnel, pero la máxima recomendada es el 20%. Para el caso de radiocomunicaciones depende del valor de la curvatura terrestre (K), considerando que para un $K=4/3$ la primera zona de Fresnel debe estar despejada al 100% mientras que para un valor $K=2/3$ se debe tener despejado el 60% de la primera zona.

La obstrucción máxima permisible para considerar que no hay obstrucción es el 40% de la primera zona de Fresnel, pero la máxima recomendada es el 20%. Para el caso de radiocomunicaciones depende del valor de la curvatura terrestre (K), considerando que para un $K=4/3$ la primera zona de Fresnel debe estar despejada al 100% mientras que para un valor $K=2/3$ se debe tener despejado el 60% de la primera zona.

Para establecer las zonas de Fresnel, primero se debe determinar la línea de vista del enlace, que no es más que una línea recta entre la antena transmisora y la receptora; y la zona que rodea esta línea de vista es la llamada zona de Fresnel; donde el radio de la sección transversal de la primera zona tiene su máximo en el centro del enlace. La fórmula genérica de cálculo de las zonas de Fresnel es:

$$r_n = 547.723 \sqrt{\frac{n \cdot d_1 \cdot d_2}{f \cdot d}} \quad \text{Ec 1.16}$$

En donde:

r_n = radio de la n ésima zona de Fresnel.

d_1 = distancia desde el transmisor al objeto en km.

d_2 = distancia desde el objeto al receptor en km.

d = distancia total del enlace en km.

f = frecuencia en MHz.

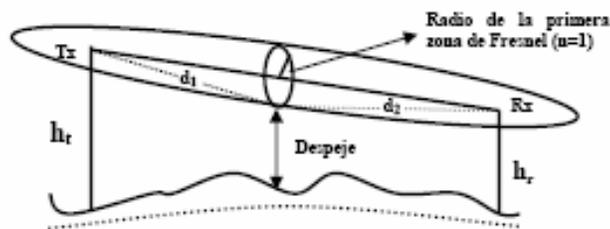


Figura 1.4 Primera Zona de Fresnel

1.3.3.7 La conductividad del terreno

Es un factor determinante en la influencia de la tierra sobre la propagación de las ondas electromagnéticas. La conductividad de la superficie de la tierra depende de la frecuencia de las ondas electromagnéticas que inciden sobre ella y del material por la que esté compuesta, comportándose como un buen conductor a bajas frecuencias y reduciendo su conductividad a frecuencias mayores.

1.3.3.8 La reflexión electromagnética

El fenómeno de reflexión ocurre cuando una onda incidente choca con una barrera de dos medios y una parte o toda la potencia no entra al segundo material, las ondas que no penetran al segundo medio se reflejan.

El coeficiente de reflexión del suelo es un parámetro relacionado con la conductividad e informa acerca de como se reflejan las ondas en él. Su valor depende del ángulo de incidencia y del material que conforma el suelo: tierra húmeda, tierra seca, lagos, mares, zona urbana, etc.

Para un determinado coeficiente de reflexión, la energía reflejada por el suelo aumenta a medida que aumenta el ángulo de incidencia respecto de la normal, siendo la mayor parte de la energía reflejada cuando la incidencia es rasante, y teniendo los campos eléctrico y magnético de la onda reflejada casi la misma amplitud que los de la onda incidente.

Si la superficie reflectora es irregular o áspera, esta puede destruir la forma del frente de onda, ya que suele dispersarse aleatoriamente en muchas direcciones, este tipo de condición es denominada reflexión difusa, mientras que la reflexión en una superficie lisa se conoce con el nombre de reflexión especular.

Una superficie reflectora intermedia se califica como semiáspera, la cual no destruye por completo el frente de onda pero puede atenuar fuertemente la intensidad de la onda reflejada.

El fenómeno de reflexión puede tener efectos muy perjudiciales para un enlace radioeléctrico si llegase a interferir de manera destructiva con la onda directa; si se considera la reflexión un proceso donde sólo se aprecia la onda directa y la onda reflejada, entonces el coeficiente de reflexión se puede definir como se muestra en la ecuación 1.17.

$$\bar{E} = \bar{E}_0(1 + \Gamma \cdot e^{-j\Delta}) \quad \text{Ec 1.17}$$

En donde:

E_0 : campo eléctrico en condiciones de espacio libre.

Γ : coeficiente de reflexión del el suelo.

Δ : ángulo de desfase entre la onda directa y la onda reflejada.

1.3.4 Área de cobertura ó cubrimiento

Se conoce como área de cobertura o cubrimiento la delimitada por el contorno de intensidad de campo, correspondiente a la señal dentro de la cual debe estar contenida la población o poblaciones a servir. Esta zona se encuentra asociada a una estación transmisora para un servicio dado y a una frecuencia específica, en el interior de la cual y en condiciones técnicas determinadas, puede establecerse un enlace de radiocomunicación con otra u otras estaciones receptoras.

Según sea el caso, pueden definirse tres tipos de zonas:

- Zona de cobertura sin interferencias: aquella únicamente delimitada por el ruido natural o industrial.
- Zona de cobertura nominal: la que se define al establecer un plan de frecuencias y que se basa en los transmisores previstos en dicho plan.
- Zona de cobertura real: determinada por los ruidos e interferencias existentes en la práctica.

Es importante definir la relación de protección en radiofrecuencia, el cual no es más que el valor mínimo producto de la relación entre la señal deseada y la señal interferente a la entrada del receptor, esta relación nos permite obtener una calidad de recepción específica de la señal deseada.

1.3.5 Nivel de señal esperado (NSE)

Es el nivel de intensidad de campo eléctrico estimado para el punto de recepción a 10m de altura sobre el terreno en un trayecto conocido. El nivel de señal esperado se mide en dB μ V/m.

1.3.6 Angulo horizontal de radiación (Azimut)

Está formado por la dirección de propagación de cada trayecto en particular, se mide con respecto al norte geográfico (verdadero). Este valor se expresa en grados positivos en sentido horario.

1.3.7 Angulo vertical de radiación

Es el ángulo que forma la línea recta entre el centro de radiación y el sitio de recepción con la horizontal que pasa por dicho centro.

1.3.8 Factor de radiación sobre los planos horizontal o vertical

Se conoce así a la relación que existe entre la intensidad de una señal emitida en una dirección dada sobre cualquiera de los dos planos y la intensidad de la señal emitida en la dirección de máxima radiación.

1.3.9 Patrón de radiación horizontal o vertical

Es la gráfica característica que establece la relación entre la ganancia máxima de la antena y la ganancia para el ángulo de radiación especificado; sea este último horizontal o vertical, según el caso.

1.3.10 Factor de irregularidad del terreno (Δh)

El factor de irregularidad, corresponde a la diferencia entre las alturas del terreno excedidas entre el 10% y el 90% del trayecto de propagación, comprendido entre 10 y 50km de distancia desde el transmisor hacia el receptor.

La forma para determinar este factor es haciendo centro en el punto de emplazamiento del sistema irradiante y trazar una corona circular con un radio menor de 10 Km. y uno mayor de 50 Km. Sobre la misma se trazan 8 radiales, uno de ellos dirigido al norte geográfico; luego se toma sobre cada radial 41 puntos separados entre sí por 1 Km².

Posteriormente se ordenan los 328 puntos según la altura descartándose los 32 puntos más altos y los 32 más bajos, la diferencia de altura entre el punto más alto y el más bajo de los 264 puntos restantes es el factor de rugosidad (Δh) del terreno para ese sitio.

1.3.11 Comunidad principal

Son núcleos densamente poblados dentro de una zona urbana donde se debe tener alta intensidad de señal de forma tal que los receptores con antenas internas proporcionen una imagen satisfactoria.

1.3.12 Servicio de grado A

Corresponde al nivel de señal que proporciona una imagen satisfactoria libre de ruido, sobre el receptor promedio de una zona urbana.

1.3.13 Servicio de grado B

Se conoce como el nivel de señal que puede resultar con ruido tolerable en la imagen, sobre el receptor promedio en una zona rural.

² Tomado de: http://www.redetel.gov.ar/normativa/Archivos%20de%20Normas/RS_0142_96_I.htm

1.3.14 Angulo de inclinación del terreno

Cuando el terreno sea plano o rugoso, y posea una inclinación a lo largo de una distancia de por lo menos 5Km, el parámetro de terreno en términos de ángulo de inclinación promedio θ_m es:

$$\theta_m = \frac{h_n - h_m}{d_n} \quad \text{Ec 1.18}$$

En donde:

h_m = altura donde comienza el terreno inclinado

h_n = altura donde termina el terreno inclinado

d_n = distancia entre h_m y h_n

Si la altura donde comienza el terreno, es mayor que donde termina, entonces el ángulo de inclinación será negativo.

1.3.15 Métodos para el cálculo de cobertura

La predicción y el modelado de los canales de radiocomunicación por lo general se hacen estadísticamente, tomando como base mediciones realizadas en una zona específica y para un determinado sistema o parte del espectro. Los modelos de propagación se han focalizado más en predecir la potencia por medio de una señal recibida a una determinada distancia del transmisor, así como también las variaciones de la potencia de la señal en la cercanía de un punto de interés.

Para el caso de los sistemas de radiodifusión se cuenta con los llamados modelos a gran escala o “Large Scale” en ingles. Estos métodos predicen la potencia de la señal para cualquier distancia de separación entre el transmisor y el receptor. Algunos de los métodos más usados para la predicción del área cobertura, son:

- Método de Okumura
- Método de Okumura-Hata
- Método Propuesto por la UIT
- Método de la FCC
- Modelo Cost 231 (Extensión del Método Hata)
- Método de Xia

1.3.15.1 Método de Okumura

Este modelo, es uno de los más usados en la predicción de señales en áreas urbanas; es aplicable para frecuencias en el rango de 150 MHz a los 1920 Mhz, es decir, comprende la banda de VHF y UHF; el método de Okumura, se puede usar para distancias de 1Km a 100Km, y para un rango de 30m a 100m en las alturas de la antena de la estación base.

Okumura desarrolló un grupo de curvas que entregan el valor de atenuación relativa del espacio libre para una zona urbana y sobre terreno casi-plano, además de basarse en parámetros predefinidos.

Estos valores que fueron obtenidos por mediciones exhaustivas usando antenas verticales y omnidireccionales, fueron graficados en función de la frecuencia dentro del rango de 100MHz a 1920MHz y como función de la distancia. La atenuación mediana por trayectoria se describe de la siguiente manera:

$$L_{50(urbando)}(dB) = L_f + A_{mu} - G(h_{te}) - G(h_{re}) - G_{AREA} \quad \text{Ec 1.19}$$

Donde:

L_f = Atenuación por espacio libre

A_{mu} = Atenuación relativa promedio

$G(h_{te})$ = Ganancia de la altura de la antena transmisora

$G(h_{re})$ = Ganancia de la altura de la antena receptora

G_{AREA} = Ganancia debida al tipo de ambiente

De la gráfica que se muestra en la figura 1.5 se puede hallar el valor de la atenuación relativa promedio, dependiendo de la frecuencia de trabajo. Estas curvas están referidas para una altura de antena transmisora de 200m y de 3m para la antena receptora.

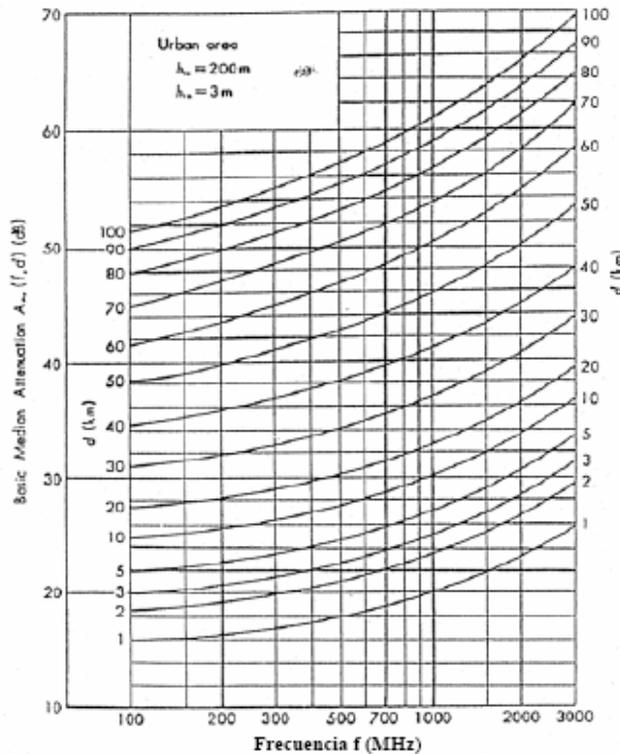


Figura 1.5. Factor atenuación promedio al espacio libre A_{μ} [3]

Okumura además, encontró que $G(h_{re})$ tiene una variación de pérdidas de 20dB/década y que $G(h_{re})$ de 10dB/década para alturas menores de 3m.

El modelo de Okumura a parte de que es bastante simple, es ideal para el cálculo de las perdidas de sistemas celulares y sistemas de radio terrestres en ambientes poblados.

La intensidad de campo resulta afectada por las edificaciones y objetos ajenos a la topografía del terreno que bloqueen la línea de vista existente, por consiguiente es necesario clasificar los distintos tipos de zonas en las que se propaga la onda que son tres.

- Zona abierta: Aquella donde los obstáculos se encuentran por lo menos a 300 metros del receptor.
- Zona suburbana: Existen obstáculos pero en poca concentración en las adyacencias al receptor.
- Zona urbana: Área con abundante existencia de edificaciones relativamente altas y flujo vehicular, en las inmediaciones del receptor.

Para el caso de las zonas no urbanas, existen curvas de corrección que permiten encontrar el valor de la ganancia dependiendo de la frecuencia de trabajo. En las figuras a 1.6 y 1.7 se muestran los factores de corrección para las zonas abierta y suburbana.

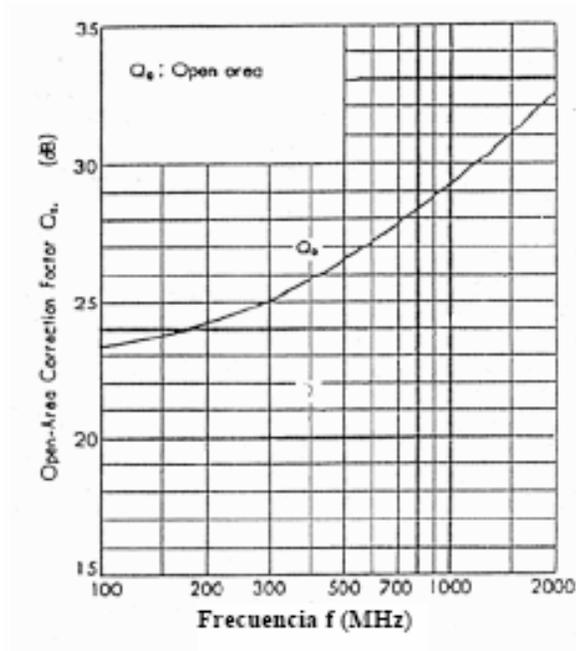


Figura 1.6. Factor de corrección para zona abierta [3]

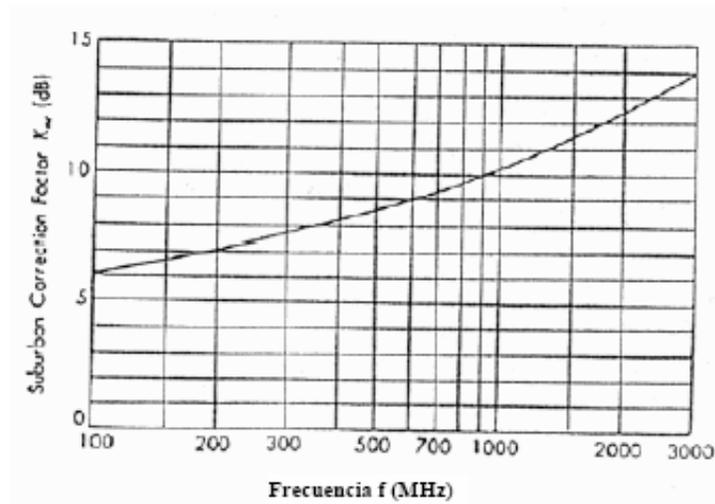


Figura 1.7 Factor de corrección para zona suburbana [3]

1.3.15.2 Método de Okumura - Hata

Fue elaborado por Masaharu Hata en 1980, quien recolectó información de las curvas de intensidad de campo eléctrico creadas por Okumura y creó un grupo de ecuaciones para calcular las pérdidas por trayecto. Consiste en una formulación empírica de los datos de las pérdidas de propagación provistos por Okumura, y es válido en el rango de frecuencias de VHF y UHF, de los 150MHz a los 1500MHz. Hata, presentó las pérdidas dentro de un área urbana como una fórmula estándar:

$$L_{50(urbando)}(dB) = 69,55 + 26,16 \cdot \log f_C - 13,82 \cdot \log h_{te} - a(h_{re}) + (44,9 - 6,55 \cdot \log h_{te}) \log d$$

Ec 1.20

Donde:

h_{re} = Altura de la antena receptora (1m < h_{re} < 10m)

h_{te} = Altura de la antena transmisora (30 m < h_{te} < 200m)

f_C = Frecuencia de la portadora (150 MHz < f_C < 1500 MHz)

$a(h_{re})$ = factor de corrección para la altura efectiva de la antena móvil que es función del tipo de área de servicio.

d = Distancia entre transmisor y receptor.

El factor de corrección para altura efectiva “ $a(h_{re})$ ”, está definido según sea el tamaño de la ciudad.

Para pequeñas y medianas ciudades:

$$a(h_{re}) = (1.1 \cdot \log f_C - 0.7) \cdot h_{re} - (1.56 \cdot \log f_C - 0.8)[dB] \quad \text{Ec 1.21}$$

Para ciudades grandes:

$$a(h_{re}) = 8.29(\log 1.54 h_{re}) \cdot 2 - 1.1[dB] \quad \text{para } f_C < 300 \text{ MHz} \quad \text{Ec 1.22}$$

$$a(h_{re}) = 3.2(\log 11.75 h_{re}) \cdot 2 - 4.97[dB] \quad \text{para } f_C > 300 \text{ MHz}$$

Para el caso en que la señal se propague en una zona suburbana:

$$L(dB) = L_{50(urbando)} - 2[\log(f_C / 28)]^2 - 5.4 \quad \text{Ec 1.23}$$

Para áreas rurales:

$$L(dB) = L_{50(urbando)} - 4.78 \cdot (\log f_C)^2 + 18.33 \cdot \log f_C - 40.94 \quad \text{Ec 1.24}$$

A pesar de que el modelo de Hata no tiene correcciones específicas para distintas rutas, lo que sí existen para el modelo de Okumura, las predicciones de Hata son muy similares a las predicciones de Okumura para distancias Tx-Rx mayores a 1km. [4]

1.3.15.3 Método propuesto por la UIT

El organismo especializado de las Naciones Unidas encargado de regular las telecomunicaciones, a nivel internacional, entre las distintas administraciones y empresas operadoras, es la UIT (*Unión Internacional de Telecomunicaciones*). La normativa generada por este organismo, está contenida en un amplio conjunto de documentos denominados *Recomendaciones* los cuales son agrupados por series, cuyo contenido a nivel de relaciones internacionales es considerado como mandatorio por las administraciones y empresas operadoras.

El método de la UIT para la predicción de cobertura, es un método empírico que predice el valor de E(dBu) en enlaces zonales; este modelo es aplicable para radiodifusión, enlaces móviles y fijos punto-multipunto.

Es válido para rangos de frecuencias entre 30MHz y 3GHz y de distancias 1 y 1000Km. Además es muy usado por las Administraciones de Telecomunicaciones, entidades de radiodifusión y operadores.

El método consiste en familias de curvas estándar aplicables a dos entornos de propagación de tierra y mares; las curvas están representadas para una potencia de emisión (P_{RA}) de 1KW, alturas efectivas de antenas de estación base de 10 a 1200m, alturas representativas de terminales de 10m y para frecuencias de 100, 600 y 2000MHz.

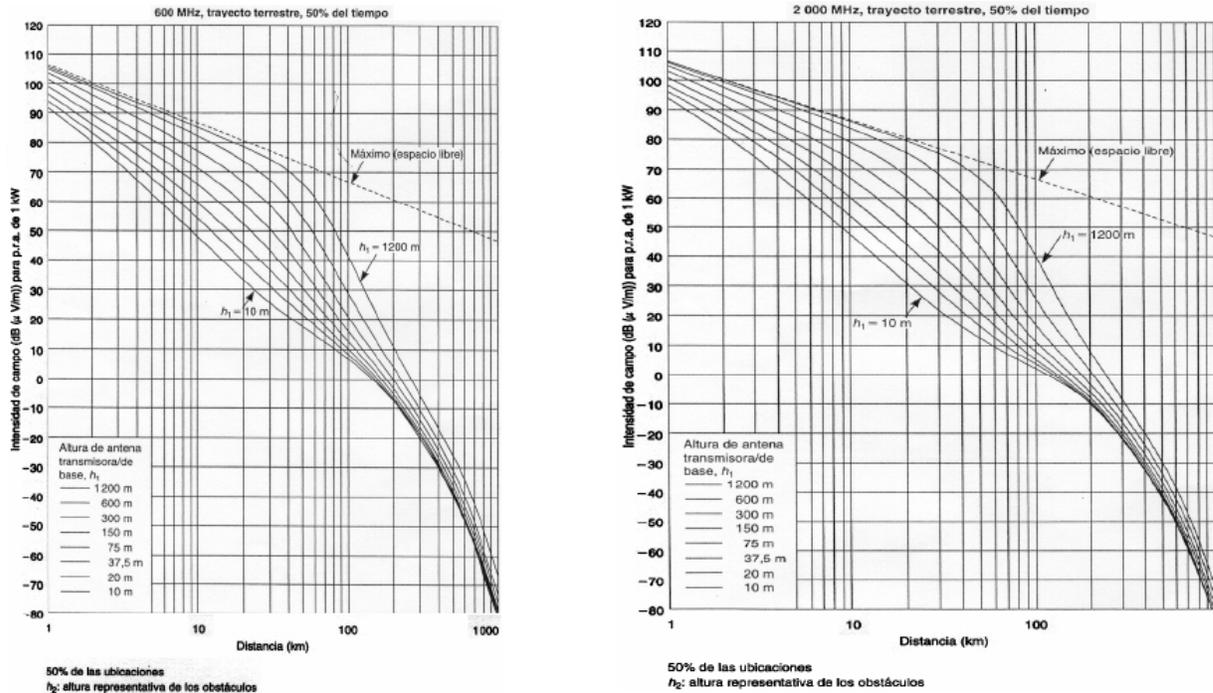


Figura 1.8. Curvas de intensidad de campo para el método UIT [5]

Para sacar el valor final de campo $E(\text{dBu})$, se interpola en las curvas en el siguiente orden:

- Interpolación en función de la altura de la antena transmisora h_1 .
- Interpolación en función de la frecuencia.
- Corrección por potencia de emisión P_{RA} .

El método se fundamenta en una amplia base de información sobre mediciones de intensidad de campo y pérdidas de trayecto que han sido formulados para alcanzar el grado de exactitud requerido para iniciar la planificación de los servicios radioeléctricos móviles que funcionan en determinadas bandas de frecuencia. Es un procedimiento de punto a zona que nos radica anticipadamente el valor intermedio de la distribución espacial del área estudiada.

El método considera los efectos que una topografía irregular tendría sobre la intensidad de campo prevista, la cual podría aumentar, al suprimir la concordancia de fase, entre la propagación con visibilidad directa y las ondas reflejadas o difractadas al chocar estas con el suelo. A medida que el terreno es más irregular, las señales se moderan por efecto de dispersión, sombra o divergencia de las ondas difractadas razón por la cual el método

requiere la aplicación de factores de corrección que consideren los efectos que puede tener un terreno irregular en la propagación.

Los datos suministrados para la predicción en el servicio móvil terrestre, fueron obtenidos a partir de un grupo de curvas provenientes de mediciones realizadas en zonas urbanas del Japón. Muestran valores ajustados para que la intensidad de campo eléctrico corresponda a una potencia radiada aparente de 1kW, referidos además a un terreno cuyo factor de irregularidad corresponda a un terreno cuasi-suave ($\Delta h=50m$), y un porcentaje de tiempo y ubicaciones de 50%.

Además, se añaden las correcciones oportunas de entre las cuales están las siguientes Corrección por ángulo de despeje: evalúa los efectos del terreno a partir del ángulo de despeje, el cual debe ser representativo de los ángulos de la zona de recepción, medidos entre la horizontal de la antena transmisora y la línea que supera los obstáculos en una distancia de 16 km en dirección del transmisor. Cuando se dispone de la información suficiente para calcular el ángulo de despeje del terreno, se puede emplear este factor en lugar de la corrección Δh .

- Corrección por presencia de vegetación: permite evaluar la atenuación en terreno boscoso en función de la frecuencia y la polarización de la onda. Se proporcionan unas curvas que permiten calcular las pérdidas asociadas a la existencia de vegetación por metro de altura de ésta.
- Corrección por altura de la antena receptora: Es un factor que se aplica en el caso que los valores de intensidad de campo a obtener, se deseen referenciar a una altura de antena móvil diferente a 1,5m.
- Corrección por porcentaje de ubicaciones de la estación móvil: se proporciona, para diversas bandas de frecuencia, una curva con información referente a la relación en dB entre las intensidades de campo para un porcentaje cualquiera de ubicaciones de recepción y la intensidad de campo para el 50% de ubicaciones de recepción. Este factor se refiere a la cantidad de puntos en recepción, expresados en porcentajes, a los cuales llega una señal considerada estadísticamente como buena.
- Corrección por trayecto mixto tierra-mar: factor que depende de la porción de trayecto acuático y la distancia total del trayecto que atraviesa la señal.

En la figura 1.6 se muestran las curvas que corresponden con la intensidad de campo eléctrico ($\text{dB}\mu\text{V/m}$) y su variación para 50% del tiempo y 50% de los emplazamientos, los valores de altura efectiva de la antena transmisora están comprendidos entre 30 y 1000m y para las frecuencias cercanas a 450MHz. Además se considera una potencia radiada aparente de 1kW y una altura de antena receptora igual a 1,5m.

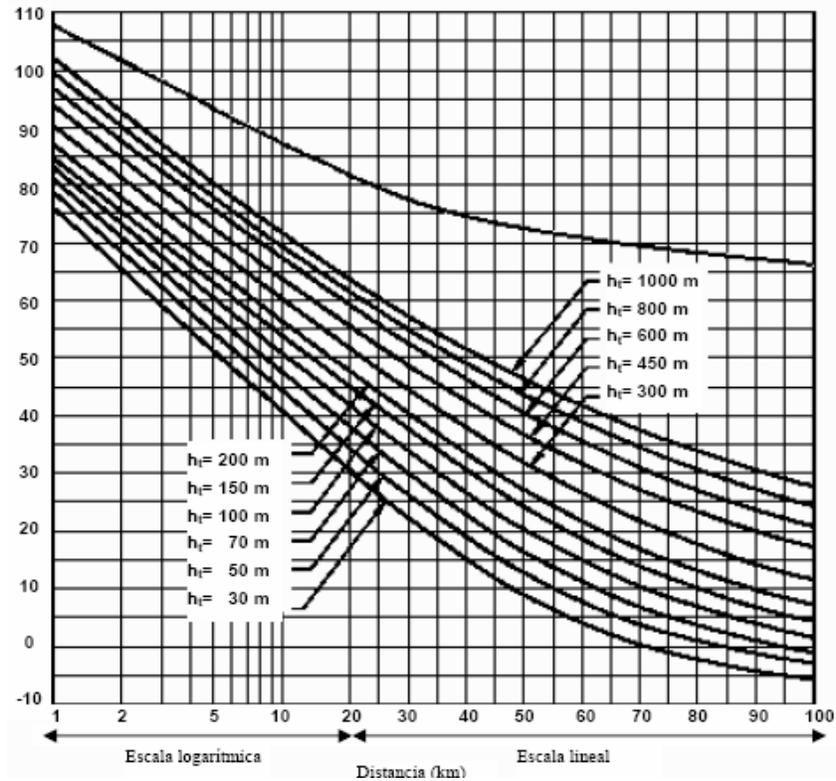


Figura 1.9. Intensidad de campo eléctrico ($\text{dB}(\mu\text{V/m})$) para una zona urbana [5]

1.3.15.4 Método de la FCC

La Comisión Federal de las Comunicaciones (*Federal Communications Commission*) es una agencia estatal independiente de Estados Unidos, bajo responsabilidad directa del Congreso. La FCC fue creada en 1934 con la Ley de Comunicaciones y es la encargada de la regulación de telecomunicaciones interestatales e internacionales por radio, televisión, redes inalámbricas, satélite y cable.

El método propuesto por la FCC para el cálculo de cobertura, se basa en el análisis de una cantidad considerable de datos experimentales obtenidos a través de mediciones realizadas en Norte América. Las curvas de predicción para la intensidad de campo se

refieren a un tipo de terreno montañoso irregular, para el cual un valor del parámetro Δh define el grado de irregularidad del terreno.

Para determinar la intensidad de campo sobre un terreno irregular, el factor de corrección de atenuación dependiente de Δh es obtenido a partir de un diagrama, el cual es restado del valor leído en la curva de intensidad básica.

En este método los efectos locales del terreno en el área de recepción no son tomados en cuenta. La familia de curvas usada en este método, fueron obtenidas en forma experimental por medio de mediciones de intensidad de campo eléctrico a diferentes distancias del centro de irradiación y para diferentes alturas de la antena de transmisión. En la práctica se fija la distancia y se obtiene una gráfica del nivel de señal en función de la altura de la antena transmisora a partir de la altura sobre nivel promedio del terreno o ASPT.

La altura sobre nivel promedio del terreno es calculada tomando cincuenta (50) puntos de elevación con igual separación (sobre el nivel del mar) junto con al menos ocho (8) radiales de igual separación desde el sitio del transmisor (comenzando en el norte verdadero). Los cincuenta puntos de elevación son distribuidos en un segmento entre 3 a 15km a lo largo de cada radial. Los puntos de elevación junto con cada radial son promediados, luego los radiales promedios se promedian para obtener así el valor final del ASPT. Las variaciones del terreno dentro de los 3km del sitio donde se ubica el transmisor usualmente no tienen un gran impacto en la cobertura de la estación.

El ASPT es usado extensivamente en radio FM y TV, y es aun más importante que la potencia efectiva radiada (PER) al determinar el rango de cobertura. Para coordinación internacional, es oficialmente medido en metros, incluso por la FCC en los Estados Unidos. Las estaciones que quieren incrementar por encima de un cierto ASPT deben reducir su potencia, basadas en la máxima distancia y la clase de la estación que permita cubrir.

La potencia efectiva radiada se fija en 1KW y se toman valores de nivel de señal en un número no menor de 100 puntos de recepción distribuidos en un área de terreno cuya dimensión no sea mayor al 1% de la distancia al sitio de transmisión.

Para una distancia fija, los niveles de señal medidos se clasifican según la altura de la antena transmisora, el número de sitios de recepción donde se ha registrado un cierto nivel de señal y según el porcentaje de tiempo durante el cual este nivel se mantiene. Con estos datos se trazan las diferentes curvas que relacionan los niveles de señal con un porcentaje

fijo de puntos de recepción y tiempo registrado; de esta forma la curva F(50,50) por ejemplo se describe como el lugar geométrico de todos los niveles de señal que para una distancia fija se miden en por lo menos el 50% de las localidades o puntos de recepción durante al menos el cincuenta por ciento del tiempo para variaciones de altura de la antena transmisora, dentro del rango específico.

La FCC recomienda una familia de curvas para predecir los niveles de señal esperados. En televisión la FCC propone usar las curvas F(50,50) ya que los niveles obtenidos por ellas son los mismos sobre los cuales un proyectista puede diseñar.

Este conjunto de curvas esta en dos familias para VHF, la primera para los canales del 2 al 6, y la segunda para el rango del 7 al 13; para el caso de UHF se tiene solo una familia de curvas que abarca desde el canal 14 hasta el 69. Las curvas fueron diseñadas para una altura de la antena transmisora de 10m, y muestra intensidades de campo eléctrico en dB referidas a $1\mu\text{V/m}$ para un kilovatio de potencia efectiva radiada por un dipolo de media onda, excedidas en el 50% de los puntos de recepción que cumplan la condición de línea de vista con los sitios de transmisión durante por lo menos la mitad del tiempo.

En las figuras a continuación se muestran las curvas F(50,50) para los rangos de canales 2 al 6, 7 al 13 y 14 al 69 respectivamente³.

³ Las graficas fueron obtenidas en:
http://www.fcc.gov/mb/audio/bickel/FM_TV_DTV_propagation_curves_graphs.html

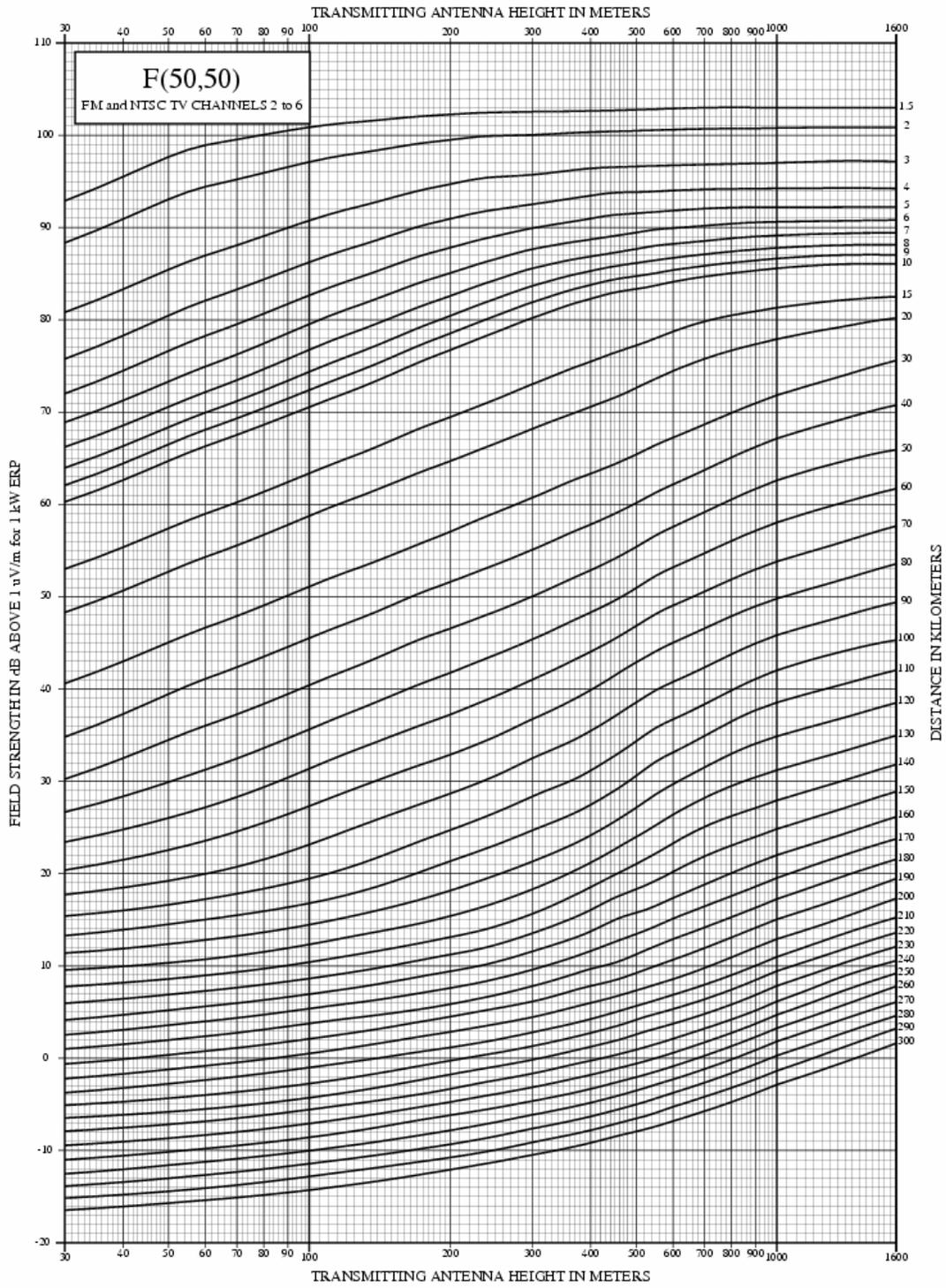


Figura 1.10. Curvas F(50,50) para los canales VHF del 2 al 6

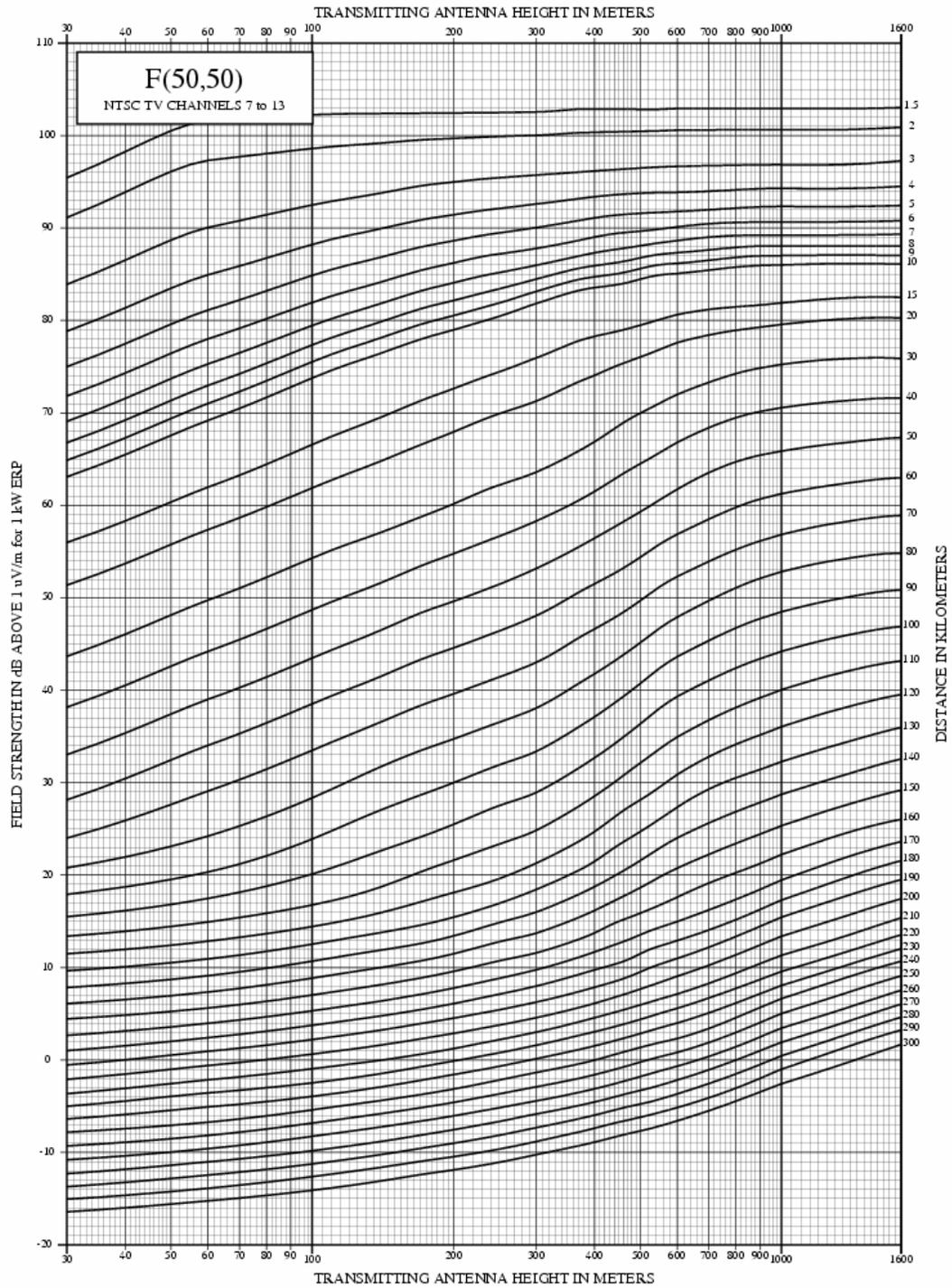


Figura 1.11. Curvas F(50,50) para los canales VHF del 7 al 13

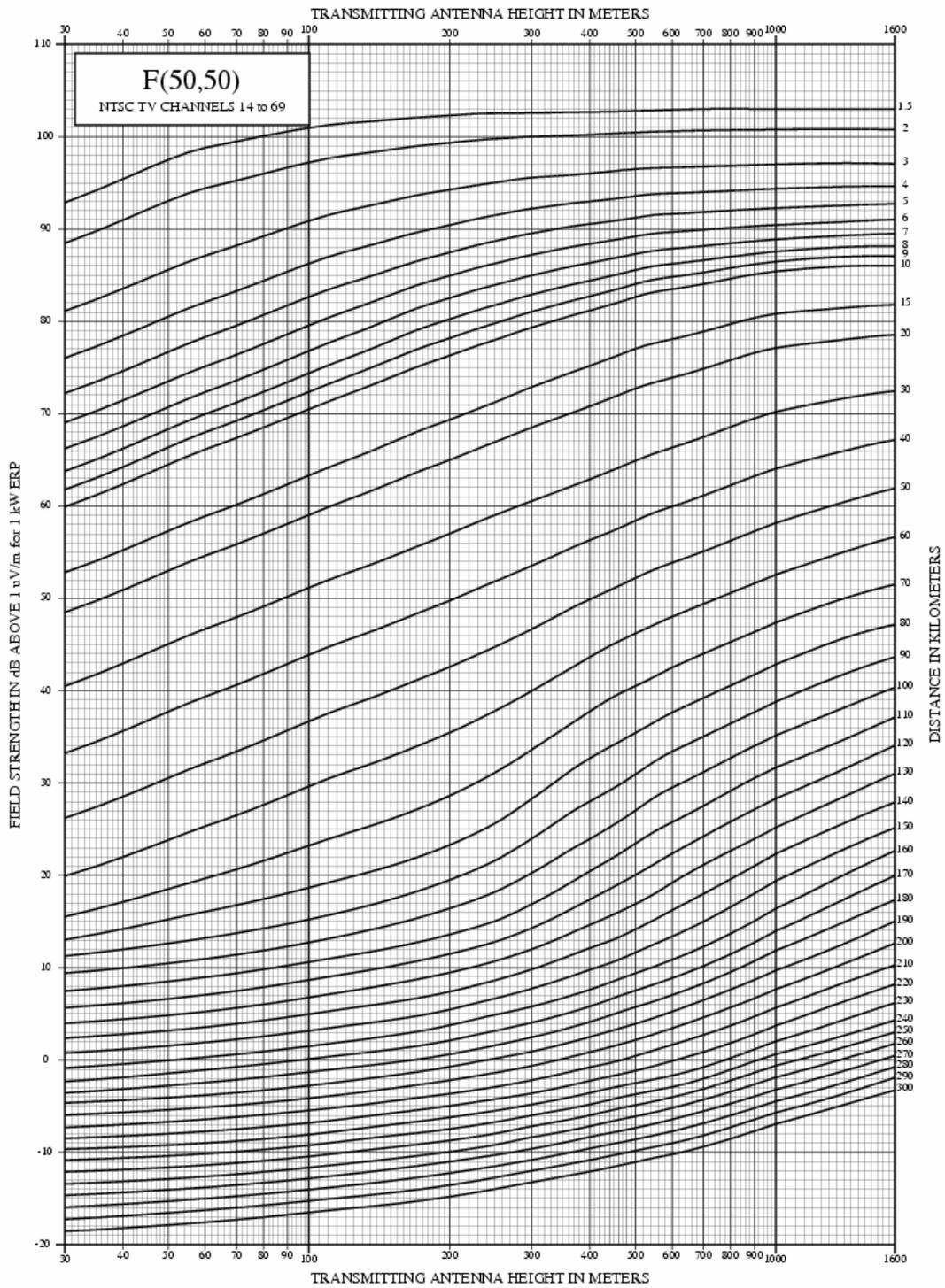


Figura 1.12. Curvas F(50,50) para los canales VHF del 14 al 69

1.3.15.5 Modelo Cost 231 (extensión del método Hata)

Este método fue desarrollado por la Cooperativa Europea para Investigación Científica y Técnica (EURO-COST), y no es más que la extensión del modelo de Hata hasta el rango de los 2 GHz, cubriendo la banda de VHF y UHF. Uno de los aportes de este modelo es que considera las pérdidas por dispersión. [4]

$$L_{50(\text{urbano})}(\text{dB}) = 46.3 + 33.9 \cdot \log f_C - 13.82 \cdot \log h_{te} - a(h_{re}) + (44.9 - 6.55 \cdot \log h_{te}) \log d + C_M$$

Ec 1.25

Donde “ C_M ” es un factor de corrección para adecuar el modelo extendiendo el rango de frecuencia para el cual opera el modelo de Hata. Dicho factor está definido como:

$C_M = 0$ dB para ciudades medianas y áreas suburbanas.

$C_M = 3$ dB para centros metropolitanos.

El rango definido para este método es el siguiente:

$f_C = 1500\text{MHz}$ a 2000 MHz

$h_{te} = 30$ m a 200 m

$h_{re} = 1$ m a 10 m

$d = 1$ km a 20 km

1.3.15.6 Método de Xia

Este método que es aplicable a medios urbanos, es de naturaleza semi-empírica. Se basa en la teoría de rayos y óptica geométrica. Para estimar la atenuación de propagación se considera la influencia de los edificios interpuestos en el trayecto entre la estación base y el móvil. Se utiliza un “perfil” de ese trayecto con alturas de edificios, separaciones entre ellos y anchuras de calles constantes. La pérdida básica de propagación viene dada por:

$$L_b(\text{dB}) = L_{bf} + L_{msd} + L_{rts} \quad \text{Ec 1.26}$$

Donde:

L_{bf} : Es la pérdida básica en condiciones de espacio libre

L_{msd} : Es la pérdida por difracción multipantalla desde la antena de la estación base hasta un punto P del edificio próximo al móvil.

L_{rts} : Es la pérdida “tejado – calle” que tiene en cuenta la difracción en el punto P y la reflexión en el edificio de enfrente.

Las ecuaciones que describen estos fenómenos de pérdidas, se describen a continuación:

$$L_{hf} = 32.45 + 20 \cdot \log d + 20 \cdot \log f \quad \text{Ec 1.27}$$

$$L_{msd} = 68.87 - 18 \cdot \log \Delta h_b + 18 \cdot \log d - 9 \cdot \log b - 9 \cdot \log f \quad \text{Ec 1.28}$$

$$L_{msd} = -11.82 + 10 \cdot \log r + 10 \cdot \log f - 20 \cdot \log \left(\frac{1}{\phi} - \frac{1}{2 \cdot \pi + \phi} \right) \quad \text{Ec 1.29}$$

Para la ecuación 1.12 se tiene:

$$r = \left[(\Delta h_m)^2 + \left(\frac{w}{2} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad \text{y} \quad \phi = \tan^{-1} \left(\frac{\Delta h_m}{w/2} \right) \quad \text{Ec 1.30}$$

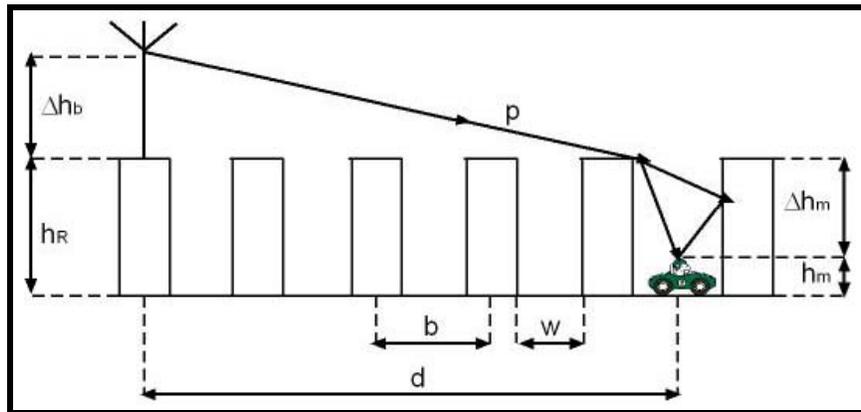


Figura 1.13. Modelo geométrico y parámetros asociados del Método de Xia [4]

1.3.16 Interferencia

Se conoce como interferencia a cualquier proceso que altere, modifique o destruya una señal cualquiera durante su trayecto en el canal existente entre el emisor y el receptor. La interferencia de las señales de televisión ocurre principalmente cuando una señal excede la máxima intensidad de campo admisible dentro del contorno protegido.

Pueden darse varios tipos de interferencias en televisión; dentro de las principales están: la interferencia cocanal y por canal adyacente. Para evitar este tipo de interferencias se puede disminuir la potencia de los transmisores o aumentar la separación de las estaciones interferidas.

1.3.16.1 Interferencia cocanal

Se presenta cuando una señal cualquiera es interferida por otra que se encuentra en la misma frecuencia o canal de la señal de trabajo.

1.3.16.2 Interferencia por canal adyacente

Ocurre debido a la presencia de una señal que se encuentra en una frecuencia contigua a la de la señal de trabajo.

1.3.17 Enlace satelitales

Un satélite puede definirse como un repetidor de radio que está ubicado en el espacio, el cual lo conforman un transponder, una estación terrestre que controla su funcionamiento, y una red de usuario de las estaciones terrestres, que es la que proporciona las facilidades para transmisión y recepción del tráfico de comunicaciones, a través del sistema de satélite.

El servicio que se da en la radiodifusión directa de televisión vía satélite, es unidireccional por lo que normalmente se requiere de una estación transmisora única, quien emitirá los programas hacia el satélite, y de varias estaciones terrenas de recepción solamente, que toman las señales provenientes del satélite.

Para servicios de telecomunicaciones se utilizan los satélites geoestacionarios que se encuentra a 35.860Km sobre el plano del Ecuador y se llaman así por que giran en torno a la tierra con la misma velocidad angular, pareciendo inmóviles frente a un punto de ella; esta órbita, permite que las antenas terrestres puedan estar orientadas en una posición relativamente estable.

Existen principalmente tres (3) bandas en las que trabajan los satélites, y por esta razón operan plataformas de dos vías. En la tabla 2.1 se puede observar cuales son estas bandas y su frecuencia de operación.

Banda	Frecuencia Uplink	Frecuencia Downlink
Banda C	6GHz	Entre 3.7 y 4,2 GHz
Banda Ku	14GHz	Entre 10.9 y 12.75 GHz
Banda Ka	30GHz	Entre 18 y 20 GHz

Tabla 1.1 Bandas de operación satelital

La banda C tiene la mayor disponibilidad a nivel mundial, y una de sus ventajas con respecto a las bandas superiores, es que posee un nivel de seguridad superior a las otras contra las interferencias producidas debido a otros servicios de transmisión que comparten las mismas frecuencias. También debe tomarse en cuenta que la banda C requiere las

antenas que van de 1 a 3 metros de diámetro, y son más grandes que las usadas en las bandas Ku y Ka que están en el rango de 0.6 a 1.8 metros; lo que implica que los costos de instalación para un enlace en banda C sean superiores con respecto a los de las otras bandas.

Las Bandas Ku y Ka hacen un mejor uso de la capacidad del satélite pero sufren significativamente un mayor deterioro por efecto de la lluvia. Para contrarrestar este problema la señal debe ser más fuerte es decir se debe elevar la potencia.

Los equipos de transmisión para televisión encriptan la señal, es decir, la codifican y la comprimen en un formato de alta eficiencia para ser enviada al satélite. Luego este la envía a la estación terrena en donde el receptor será el encargado de decodificar esa señal de video y audio que proviene del satélite para luego difundirla.

1.3.17.1 Modelos de enlace del sistema satelital

Un sistema satelital consiste al menos de cuatro elementos básicos esenciales para su funcionamiento: la estación terrena transmisora, el enlace de subida, el transponder satelital, el enlace de bajada y la estación terrena receptora.

1.3.17.1.1 Modelo de subida

Dentro de la sección de subida, de un sistema satelital, el principal componente es el transmisor de la estación terrena, el cual consiste de un modulador de IF, un convertidor de microondas de IF a RF, un amplificador de alta potencia y un filtro pasa-banda para limitar la banda del espectro de salida.

El modulador de IF se encarga de convertir las señales que entran en banda base a una frecuencia intermedia la cual estará modulada en FM, PSK o QAM según sea el caso, de una señal analógica o digital. Luego el convertidor de microondas convierte la IF a una frecuencia de portadora RF apropiada en la banda de microondas⁴. El amplificador de alta potencia suministra una estabilidad de entrada y potencia de salida adecuadas para hacer llegar la señal al transponder del satélite.

⁴ FM: *Frequency modulation* , PSK: *Phase Shift Keying*, QAM: *Quadrature amplitude modulation*

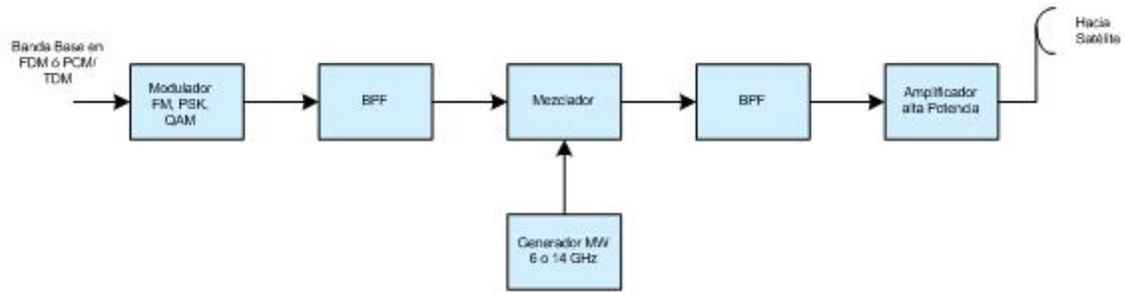


Figura 1.14. Diagrama de Bloques de la sección de subida de un satélite

1.3.17.1.2 El transponder

El transpondedor es un dispositivo que realiza la función de recepción y transmisión, esta conformado por un filtro pasa bandas (*BPF*), el cual se encarga de limpiar el ruido fuera de la banda que la señal adquiere en la trayectoria de subida, además de que cumplirá la función de un seleccionador de canal, ya que cada canal satelital requiere un transpondedor por separado. Luego se encuentra un amplificador de bajo ruido (*LNA*) y un translador de frecuencia, el cual tiene como función el convertir la frecuencia de banda alta de subida a banda baja de salida, para que luego un amplificador de baja potencia amplifique la señal de RF para el enlace de bajada, esta señal será filtrada y regresada hacia la estación terrena.

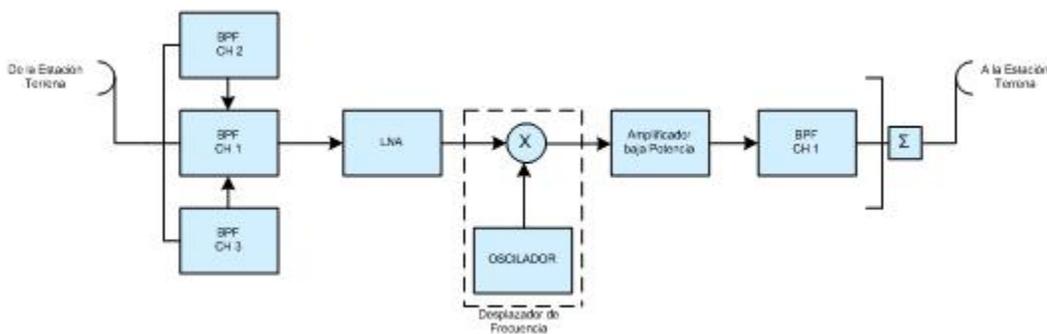


Figura 1.15. Diagrama de Bloques del Transponder de un satélite

1.3.17.1.3 Modelo de bajada

El receptor de estación terrena o sección de bajada, posee un filtro pasa-bandas (*BPF*) que limita la potencia de ruido a la entrada que recibe el *LNA* y un convertidor de RF a IF. El *LNA* es un dispositivo altamente sensible, con poco ruido el cual amplifica la

señal y la transporta al convertidor de RF a IF quien es una combinación de filtro mezcador/pasa-bandas que convierte la señal de RF a una frecuencia de IF. Luego esta señal se demodula para luego ser entregada en banda base.

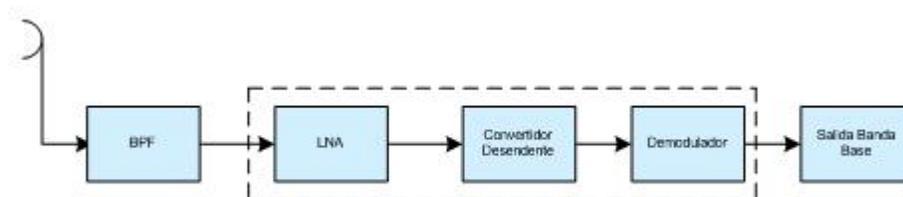


Figura 1.16. Diagrama de Bloques de la sección de bajada de un satélite

1.3.18 Fibra óptica

La fibra óptica ha representado una revolución en las telecomunicaciones a nivel mundial, desplazando a los cables de cobre en la transmisión de grandes cantidades de información; su funcionamiento se basa en transmitir un haz de luz por el núcleo de la fibra pero sin atravesarlo, sino que se refleje y se siga propagando. Esta reflexión se logra cuando el índice de refracción del núcleo es superior al índice de refracción del revestimiento, y también si el ángulo de incidencia es superior al ángulo límite. La fuente emisora de luz en el transmisor puede ser un diodo emisor de luz (*LED*) o un láser, y el detector en el otro extremo es un fotodiodo o un fototransistor.

Las redes de fibra óptica para la distribución de señales de video, son consideradas una buena opción debido a la reducida atenuación de la fibra y las largas distancias que se pueden interconectar. Pero de igual manera presentan como principal fuente de degradación la distorsión no lineal introducida por la propia fibra óptica. Esta distorsión puede verse representada como la modificación de la fase de crominancia con respecto a la amplitud de la luminancia o modificación de la amplitud de la crominancia respecto a la fase de luminancia.

Un típico sistema de comunicación está constituido por un transmisor óptico, un cabo de fibra y un receptor óptico. En la mayoría de estos sistemas, la fuente de luz es modulada directamente y la detección es hecha de la misma forma, usando fotodiodo. Otra clase de sistema son los llamados sistemas coherentes los cuales se basan en el uso de la técnica de modulación en amplitud, frecuencia o fase de la portadora luminosa. En la recepción

pueden ser utilizadas dos técnicas convencionales de detección coherente: homodina o heterodina. Los sistemas de detección coherente ofrecen posibilidades de mejoría del alcance y de la capacidad de transmisión con relación a los sistemas con detección directa. Este tipo de sistema exige fuentes luminosas bastante coherentes y estables, además de fibras ópticas especiales, capaces de mantener un único estado de polarización del modo propagado.



Figura 1.17. Diagrama de Bloques de un sistema de comunicación óptico

La trayectoria que pueda seguir el haz de luz a través de la fibra se conoce como modo de propagación, en la actualidad existen dos tipos de fibras que se diferencian en el modo de propagación empleado, estas son monomodo y multimodo.

1.3.18.1 Fibra monomodo

Es una fibra óptica en la que sólo se propaga un modo de luz; este se logra reduciendo el diámetro del núcleo de la fibra hasta lograr un tamaño que sólo permite un modo de propagación. La fibra monomodo por poseer poca atenuación, es utilizada en aplicaciones de larga distancia, para más de 300km, en donde se emplea para conectar una o más localidades.

1.3.18.2 Fibra multimodo

La fibra multimodo, puede tener más de mil modos de propagación de luz, se usan normalmente en aplicaciones de corta distancia, no mayores a 1km. El núcleo de la fibra multimodo posee un índice de refracción inferior, pero del mismo orden de magnitud, que el revestimiento, y debido al gran tamaño de su núcleo es más fácil de conectar y tiene una mayor tolerancia a componentes de menor precisión.

Existen dos tipos de fibra multimodo que se clasifican de acuerdo al tipo de índice de refracción del núcleo, estos son:

- De índice fijo: para este tipo de fibra, el núcleo posee un índice de refracción del haz de luz es muy bajo y constante en toda la sección cilíndrica, esta fibra tiene una atenuación aproximada de 10dB/Km.
- De índice gradual: el índice de refracción del núcleo no es constante es decir varía gradualmente y posee una atenuación generalmente de 5dB/Km.

1.3.19 Enlace microondas

El término microondas se usa para identificar a todas aquellas ondas electromagnéticas que comprenden el rango de frecuencias entre 3GHz y 300 GHz, y su longitud de onda va desde 1mm hasta 1m. Las microondas son usadas en radiodifusión, por su fácil penetración a través de la atmósfera con una menor interferencia que las ondas que presentan longitudes de onda mayores.

En la Tabla 1.2 se presenta como esta constituido el espectro de las frecuencias de microondas.

Banda	Frecuencia	λ (long. de onda)	Uso
EHF Extremely high frequencies	30 GHz a 300 GHz	1mm a 10 mm	Comunicaciones diversas. Radar de navegación.
SHF Super high frequencies	3 GHz a 30 GHz	10 mm a 100 mm	Radar, radio, satélite. Usos industriales. Fisioterapia.
UHF Ultra high frequencies	300 MHz a 3 GHz	100 mm a 1m	Horno microondas. Usos industriales y médicos. Fisioterapia, TV.

Tabla 1.2. Espectro de frecuencias de microondas.

Un radioenlace esta constituido principalmente por los equipos terminales (transmisor y receptor) y los repetidores intermedios. Los enlaces microondas en muchas aplicaciones es una forma eficiente de transmitir información punto a punto, tienen como una de sus principales ventajas el bajo costo del servicio, lo cual incluye: equipos, instalación, el mantenimiento y la puesta en marcha del enlace.

El ancho de banda de un radio de microondas está en el orden de 10 a 30 MHz por canal de RF, esto se debe al reducido espectro de frecuencia que está asignado a este servicio.

En los enlaces microondas el factor limitante es la distancia a cubrir entre el transmisor y el receptor, además que este trayecto debe ser libre de obstáculos, esto es debido a que las

altas frecuencias hacen que las ondas de radio se comportan como la luz, por esta razón es que en estos enlaces, el camino entre el receptor y el transmisor debe tener una altura mínima sobre los obstáculos presentes, es por esto que en ocasiones, deben colocarse las microondas en altas torres para omitir cualquier interferencia visual. Para evitar los desvanecimientos de la señal de microondas es necesario contar con suficiente margen de desvanecimiento durante condiciones pobres de propagación.

La distancia cubierta por los enlaces microondas se puede incrementar haciendo uso de repetidoras, las cuales amplifican, cambian de frecuencia el radio canal, redireccionan la señal y en otros casos regeneran la señal digital. Es recomendable debido a los costos de construcción de caminos y carreteras, ubicar las estaciones repetidoras en sitios de fácil acceso que estén cercanos a redes eléctricas de distribución.

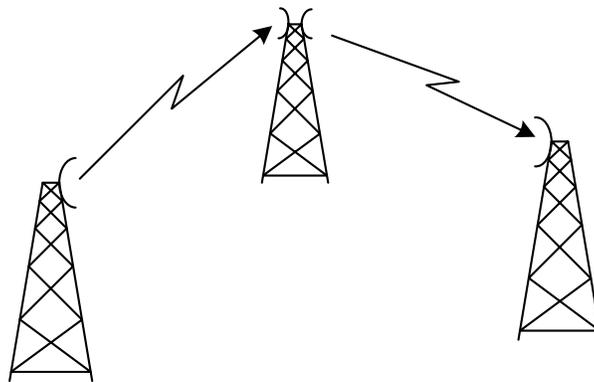


Figura 1.18. Radio enlace con estación repetidora

1.3.19.1 Factores que determinan el alcance de la señal de microondas

- La potencia de salida del transmisor.
- La sensibilidad del receptor.
- Frecuencia de operación, es decir a mayor frecuencia mayor será la atenuación de la señal.
- Ganancia de las antenas. A medida que aumenta la frecuencia, para una antena la ganancia será mayor para el mismo tamaño.
- Pérdidas en el sistema que las conforman las pérdidas en el espacio libre, los alimentadores y los conectores.

1.3.19.2 Factores que influyen en el rendimiento del enlace

Todos los enlaces pueden ser mejorados considerablemente, con simplemente aumentar la potencia del transmisor, logrando así optimizar la relación señal ruido en el receptor, pero ésta no es la forma más eficiente ya que puede llevar a la utilización de potencias inaceptables en el diseño del enlace microondas.

La calidad del canal de transmisión se ve afectada por el ruido que introduce el transmisor-receptor. Este ruido puede ser de dos tipos: ruido térmico y ruido de intermodulación.

El ruido térmico puede anular la componente generada en la antena, la cual depende del nivel de señal de entrada y de la componente desarrollada en el circuito, mientras que el ruido de intermodulación es modificado por la carga del sistema, el cual se incrementa a medida que aumenta el tráfico, pero en general no depende del nivel de portadora.

Otros factores que influyen en la calidad del enlace son la ganancia de la antena receptora y la atenuación en el espacio libre, la cual impone una restricción en la distancia máxima que puede existir entre dos antenas, esto debido a que si la atenuación es muy alta la señal no será bien recibida, es por esto que las distancias recomendadas van entre los 50Km y 80Km para los equipos existentes a nivel comercial.

1.3.20 Factores que se deben tomar en cuenta al elegir un medio de transmisión para una red

- La naturaleza de la información que viaja por el medio físico (voz, vídeo, datos, señales de control, etc) ya que este debe ser capaz de integrar todo este tipo de información.
- La estructura física de las edificaciones donde se va a implantar la red. En este caso, se deben considerar aspectos como: limitación de distancias, posibles puntos de interferencias electromagnéticas, canalizaciones externas e internas, etc.
- Evaluación de las necesidades del proyecto, debemos tener en cuenta que el medio de transmisión pueda satisfacerlas todas.
- Posibilidad de que el medio de transmisión pueda tener configuraciones redundantes, con los cual se evitan las interrupciones del sistema si se genera una falla en el canal principal de datos.

El soporte físico debe ser suficientemente económico para poder permitir que la red pueda ofrecer múltiples puntos de conexión.

1.3.21 Diversidad

Uno de los problemas que se presenta en los enlaces punto a punto cuando el canal de transmisión de una señal es el aire, son los desvanecimientos producidos por multitrayectos, existen dos métodos fundamentales para contrarrestar los efectos del multitrayecto como el emplear técnicas de diversidad en recepción y utilizar ecualizadores en los receptores que sean capaces de compensar de alguna forma los desvanecimientos que produzcan.

La ecualización nos permite compensar los multitrayectos causados por reflexiones en obstáculos lejanos al receptor, pero cuando se trata de controlar el desvanecimiento Rayleigh debido a multitrayectos por obstáculos que se encuentran cercanos al receptor entonces, se utilizan técnicas de diversidad en recepción. La idea básica consiste en obtener caminos de propagación independientes, de forma que las señales recibidas por esos caminos estén incorreladas entre sí, minimizando así la probabilidad de que coincidan en el tiempo los desvanecimientos de señal. Existen tres diferentes tipos de diversidad, los cuales son:

- Diversidad espacial
- Diversidad por polarización
- Diversidad de frecuencia.

1.3.21.1 Diversidad espacial.

Consiste en utilizar dos antenas receptoras iguales físicamente y que se encuentran separadas entre sí. La distancia a la cual están separadas las antenas, debe asegurar que las señales recibidas sean independientes entre sí, o lo que es lo mismo, que estén sometidas a distintos patrones de desvanecimiento. El valor mínimo de esta distancia depende de la frecuencia y de la diferencia de distancias entre la onda directa y las de multi-trayectoria.

1.3.21.2 Diversidad por polarización.

En este tipo de diversidad; se utiliza un arreglo de dos antenas situadas en la misma posición, donde cada una de ellas tiene una polarización distinta, siendo éstas ortogonales entre sí. De esta forma se aprovecha la despolarización que experimenta la señal como

consecuencia de las reflexiones y refracciones, obteniendo entonces dos señales incorreladas en el receptor.

1.3.21.3 Diversidad de frecuencia.

Para este caso, se intenta independizar los patrones de desvanecimiento trama a trama, aprovechando el hecho de que el desvanecimiento Rayleigh suele ser selectivo en frecuencia; también puede optarse por emplear el salto en frecuencias, es decir, cambiar la frecuencia empleada para la transmisión cada trama, de tal forma que la probabilidad de tener un desvanecimiento en un determinado momento sea menor que en el caso de utilizar una única frecuencia de transmisión.

Esta técnica se conoce con el nombre de salto lento en frecuencias, SFH (Slow Frequency Hopping). Existe otra técnica que consiste en cambiar de frecuencia bit a bit, o incluso varias veces dentro del mismo bit, esta técnica de espectro ensanchado se denomina salto rápido en frecuencias, FFH (Fast Frequency Hopping).

1.3.22 Espectro radioeléctrico

El espectro disponible es un recurso natural limitado lo cual implica que sea preciso reutilizar las frecuencias de que se dispone. El espectro radioeléctrico requiere una utilización racional, equitativa, eficiente y económica; y para ello se divide en 9 bandas de frecuencias.

La división del espectro de frecuencias fue establecida por el consejo consultivo internacional de las comunicaciones de radio (CCIR) en el año 1953. Debido a que la radiodifusión nació en los Estados Unidos de América las denominaciones de las divisiones se encuentran en inglés y de allí las abreviaturas, tal cual las conocemos, adoptadas en la Convención de Radio celebrada en Atlantic City en 1947.

Margen de Frecuencias	Designación por su Frecuencia	λ (long. de onda)	Designación por longitud
3 kHz a 30 kHz	VLF Very Low Frequency	100km a 10km	Miriamétricas
30 kHz a 300 kHz	LF Low Frequency	10km a 1km	Kilométricas
300 kHz a 3.000 kHz	MF Médium Frequency	1km a 100m	Hectométricas
3 MHz a 30 MHz	HF High Frequency	100m a 10m	Decamétricas
30 MHz a 300 MHz	VHF Very High Frequency	10m a 1m	Métricas
300 MHz a 3.000 MHz	UHF Ultra High Frequency	1m a 10cm	Decimétricas
3 GHz a 30 GHz	SHF Super High Frequency	10cm a 1cm	Centimétricas
30 GHz a 300 GHz	EHF Extremely High Frequency	1cm a 1mm	Milimétricas
300 GHz a 3.000 GHz	EHF Extremely High Frequency	1mm a 0,1mm	Milimétricas

Tabla 1.3. División del espectro radioeléctrico

De la misma manera la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) dividió al planeta en tres regiones, en las cuales la distribución de las frecuencias para los distintos usos y servicios que son similares para los países que integran una región determinada. La región 1 la componen Europa, África, el Medio Oriente, Mongolia y las Repúblicas de la ex-Unión Soviética. La región 2 son los países de América; y la región 3 el resto del mundo, principalmente Asia y Oceanía. Además, también existen diversas legislaciones sobre la potencia máxima que se puede emitir en cada una de las bandas.

Es de gran importancia el saber que la forma en la cual se asignan las frecuencias en los distintos sectores determina directamente la calidad del servicio ofrecido; ya que la calidad percibida durante las comunicaciones dependerá en su mayor parte del nivel de señales interferentes que se reciban, dicha interferencia está producida por la radiación proveniente de sectores que reutilizan la frecuencia de la zona a la cual está enganchado el móvil en ese momento, y de los sectores que utilizan las frecuencias adyacentes.

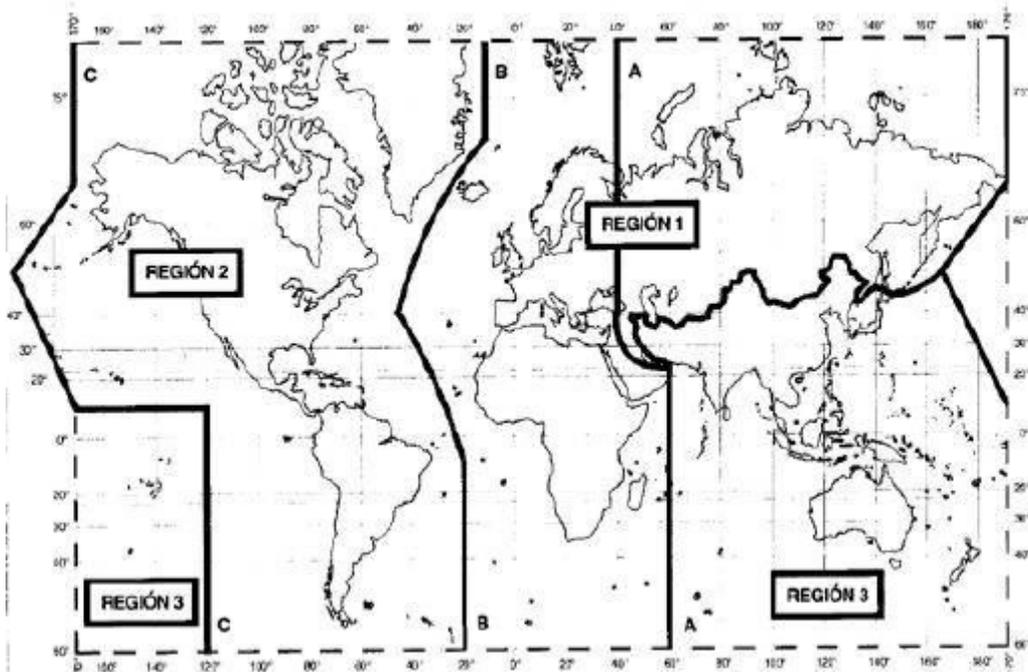


Figura 1.19 División de regiones establecida por la UIT. [6]

Por otra parte la planificación de frecuencias no es más que la asignación de los canales a utilizar por cada sector radio, y será mejor a medida que se reduzca la existencia de las interferencias cocanales y adyacentes con otros sectores; por consiguiente la planificación de frecuencias es uno de los principales factores que determinan la calidad del servicio ofrecido.

CAPITULO II

DESARROLLO DE UN SISTEMA DE RADIODIFUSIÓN

La radiodifusión es un servicio de telecomunicaciones de libre recepción, que se basa en la producción y difusión de señales radioeléctricas de audio y/o video a través de ondas o cable, cuyas transmisiones están destinadas a la recepción libre y directa por el público en general.

Una estación de radiodifusión de mínima cobertura está compuesta de:

Un estudio: que es lugar donde se genera la programación, en vivo o por grabación.

Planta Transmisora: la encargada de emitir la programación, generada desde los estudios, hacia los usuarios.

Para el diseño de un sistema de radiodifusión se deben considerar varios aspectos imprescindibles, uno de ellos es delimitar el área a cubrir. En este proyecto se requiere que el servicio de radiodifusión cubra los municipios Libertador del Distrito Capital, Chacao, Baruta, Sucre y El Hatillo del estado Miranda; todos estos pertenecientes al área metropolitana de la ciudad de Caracas.

Para poder brindar cobertura al área metropolitana de la ciudad de Caracas, es necesario el uso de tres plantas o estaciones de transmisión para que no existan sitios de sombra, o en caso contrario que sean de áreas muy reducidas. La localización geográfica de las estaciones transmisoras necesarias para dar cobertura a la zona de interés, deben ubicarse en el cerro El Ávila sector Mecedores, El Volcán, y Caricuao. Para una mayor precisión, se realiza el levantamiento de las coordenadas geográficas en donde se deben situar las plantas de transmisión, y en la tabla 2.1 se presenta esta información.

ESTACION	LATITUD	LONGITUD
Mecedores, El Ávila	10° 31' 51"	66° 52' 34"
El Volcán, Oripoto	10° 25' 0.6"	66° 51' 5.8"
Caricuao	10° 26' 33"	66° 59' 9"

Tabla 2.1. Estaciones de transmisión y coordenadas geográficas.

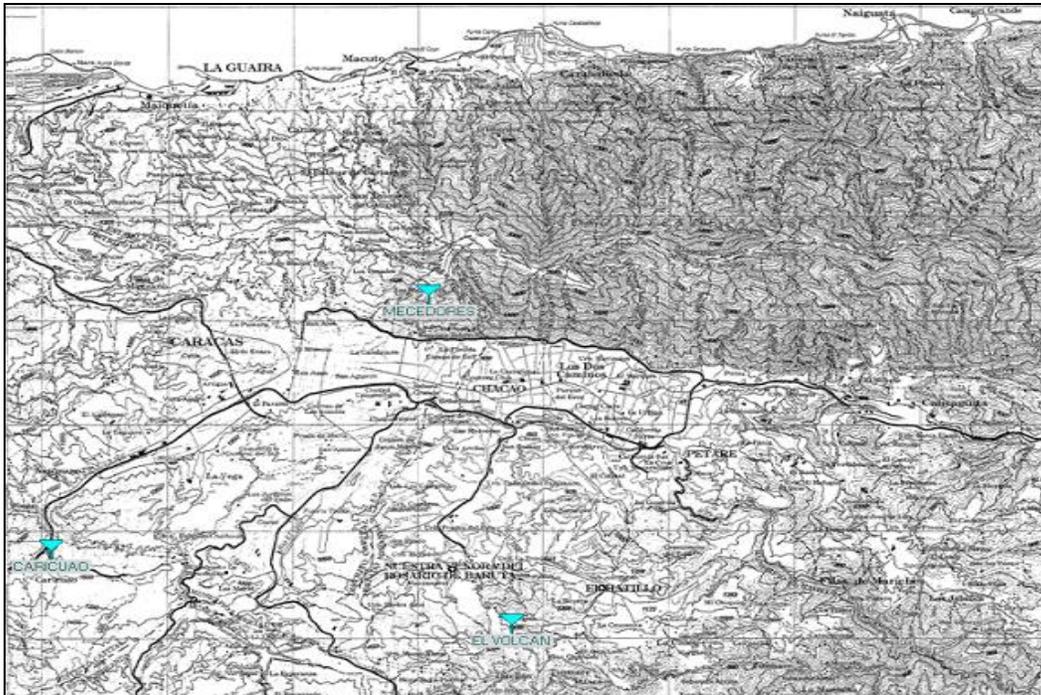


Figura .2.1. Estaciones de transmisión necesarias para cubrir el área metropolitana

La Comisión Nacional para las Telecomunicaciones (CONATEL) es la encargada de administrar el espectro radioeléctrico venezolano, y es quien reglamenta la obtención de la habilitación de radiodifusión. La guía para la obtención de habilitaciones de radiodifusión sonora y televisión abierta de CONATEL, es el documento de apoyo usado para el desarrollo del presente proyecto. En el anexo 1 se presenta dicha guía.

2.1 Herramientas de cálculo a utilizar

El cálculo de la altura sobre nivel promedio del terreno (ASPT) por radial, la evaluación de las zonas de sombra de la cobertura y el levantamiento del perfil del enlace estudio-planta, son realizados con el programa *Radio Mobile*⁵, que es un reconocido software libre; de hecho es utilizado por CONATEL para evaluar los proyectos que allí se consignan.

El programa *Radio Mobile* aparte de ser un software completamente gratuito y que además se puede conseguir fácilmente por Internet, puede ser usado para diseñar un sistema de radiodifusión, con visualización gráfica de los estudios de cobertura e interferencia; pero el método de cálculo que utiliza el mismo para el diseño, no es el expuesto por la FCC, es

⁵ Programa que puede ser encontrado en <http://www.cplus.org/rmw/english1.html>

por ello, que su uso en el presente estudio, servirá de apoyo para desarrollar el método de la FCC.

Otra herramienta con la que se cuenta para el cálculo específico del coeficiente de rugosidad (Δh), es un software desarrollado por el antiguo Ministerio de Transporte y Comunicaciones (MTC), el cual opera usando los criterios de la FCC.

2.2 Selección del canal de operación

Como es conocido, las frecuencias utilizadas en televisión abierta para radiodifusión son las que corresponden a las bandas VHF y UHF. A continuación en la tabla 2.2 se puede observar con más detalle la distribución de frecuencias en estas bandas y los canales que las componen, de acuerdo a la reglamentación de CONATEL.

BANDA	RANGO DE FRECUENCIAS	CANALES
VHF baja	54 MHz a 88 MHz	2 al 6
VHF alta	174 MHz a 216 MHz	7 al 13
UHF	470 MHz a 890 MHz	14 al 83

Tabla 2.2. Espectro de frecuencias de televisión abierta para radiodifusión

En ausencia de la planificación de CONATEL para el uso de los canales disponibles en el espectro; la elección del canal de operación, se realizó primeramente descartando los canales ocupados en los sitios donde se ubican las estaciones transmisoras actuales operativas, y evaluando por ensayo y error, cual de los restantes cumple con el objetivo del proyecto.

El espectro radioeléctrico actual de la zona de estudio se encuentra bastante congestionado; reduciendo así el grupo de canales disponibles considerablemente. La ocupación del espectro se verifica haciendo uso del listado de habilitaciones de CONATEL, el cual se puede observar en el anexo 2.

Luego de la revisión de la tabla de habilitaciones de televisión UHF, y también por asesoría de CONATEL se escoge el canal 62; que aparte de ser el único canal libre para brindar cobertura a Caracas, es un canal reservado por CONATEL para un ente público

. La planta transmisora estará ubicada en el sector Meceadores del cerro El Ávila, ya que es una de las mejores locaciones para brindar cobertura a Caracas por su altura envidiable; además de que el sitio donde se instalara la planta pertenece al estado venezolano y será

compartido con el canal Ávila TV de la Alcaldía Mayor de Caracas. Debido a que solamente fue asignado un canal, no es posible usar ni el cerro El Volcán, ni Caricuaó como estaciones de transmisión, ya que no representan la mejor opción para brindar la mayor cobertura a Caracas.

El canal 62 perteneciente a la banda UHF, corresponde a las frecuencias 765,25 MHz para video y 769,75 MHz para audio.

Para minimizar en lo posible las zonas de sombra, la única solución viable que se puede implementar, es el utilizar la mayor potencia de transmisión permitida en la estación Mecedores del cerro El Ávila, y de esta forma brindar la mayor cobertura posible.

2.3 Estudio de cobertura

El método de cálculo a usar, es el expuesto por la FCC, el cual es el sugerido por CONATEL a los solicitantes para realizar los estudios de cobertura en radiodifusión. Como se dijo en el primer capítulo, el método de la FCC se basa en datos experimentales, donde se utiliza la familia de curvas F(50,50) para la predicción de los niveles de señal esperados.

Para el estudio de cobertura es necesario realizar los cálculos del coeficiente de rugosidad (Δh) y de la altura sobre nivel promedio del terreno ASPT.

Dependiendo de la magnitud de Δh , se toma en cuenta la influencia que tiene la rugosidad del terreno en la intensidad de campo de una señal, en puntos distantes a una estación de televisión. El factor de rugosidad para un enlace específico, se determina por las características de un segmento de 40Km de longitud, los cuales son medidos entre los 10 y 50Km a partir del transmisor o entre 10 y la distancia del trayecto, si este es menor de 50Km⁶.

Cuando se utilizan las curvas de predicción de la intensidad de campo F(50,50), se debe tener en cuenta que estas fueron determinadas tomando como valor promedio representativo un $\Delta h=50m$. Cuando en coeficiente de rugosidad es distinto a 50m en el enlace a estudiar se debe aplicar entonces el factor de corrección por rugosidad (ΔF), haciendo uso de la ecuación 2.1.

$$\Delta F = C - 0.03 \cdot \Delta h \cdot \left(1 + \frac{f}{300} \right) [dB] \quad \text{Ec 2.1}$$

Donde:

⁶ Ver Capítulo I, punto 1.3.10

“ C ” es una constante con un valor específico para ser usada dependiendo del canal de trabajo.

$C= 1,9$ para los canales TV (2-6)

$C= 2,5$ para los canales TV (7-13)

$C= 4,8$ para los canales TV (14-69)

“ Δh ” es el facto de rugosidad del terreno en metros.

“ f ” es la frecuencia de la señal en MHz.

Por otro lado, la altura sobre el nivel promedio del terreno (ASPT), influye de manera significativa en la predicción de los niveles de señal en los sitios de recepción. Para efectuar este cálculo, se debe disponer de los perfiles del terreno que están bajo estudio.

El cálculo de la ASPT, entrega información numérica que permite interpretar la influencia que genera la topología del terreno sobre las condiciones de propagación. Para calcular la altura sobre nivel promedio, se debe dividir el perfil en áreas elementales (A_i) dentro de la fracción del terreno considerada (ver figura 2.2), de tal forma que la sumatoria de todas éstas fracciones den como resultado el área bajo el perfil. Una vez obtenida esta sumatoria, es dividida por la longitud del trayecto (l), y este resultado se le resta a la altura de la antena transmisora medida sobre el nivel del mar (ht). La ecuación 2.2 muestra la fórmula para el cálculo del ASPT.

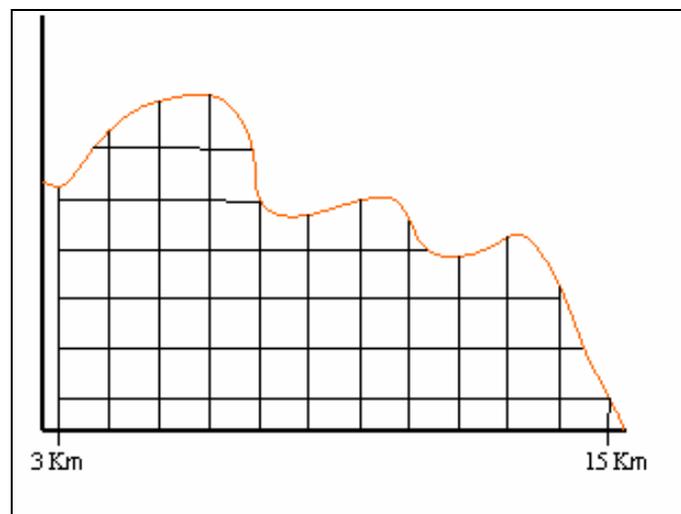


Figura .2.2. Áreas elementales para el cálculo del ASPT

$$ASPT = ht - \frac{\sum_{i=1}^n Ai}{l} [m] \quad \text{Ec 2.2}$$

En donde el coeficiente $\frac{\sum_{i=1}^n Ai}{l}$, se conoce como la altura promedio del terreno ó APT.

Para el estudio de cobertura, se divide el área de la zona a cubrir en 18 radiales, los cuales estarán espaciados en 20° (desde 0° hasta 340°) partiendo desde el Norte verdadero, luego utilizando el programa *Radio Mobile*, se levantan los perfiles del terreno para cada uno de estos radiales en el rango entre 3 y 50Km, debido a que se dispone de una base de datos topográfica de la zona de interés.

Para levantar estos perfiles con *Radio Mobile*, se ubica el comando “HAAT” el cual luego de introducir las características deseadas, genera un archivo de texto con los perfiles de cada radial. Las tablas que contienen los perfiles correspondientes a estos 18 radiales se encuentran en el anexo 3.

El acrónimo “HAAT” que significa *height above average terrain* o altura sobre promedio del terreno en español; además de presentar los perfiles por radial también calcula el valor del ASPT en cada uno de los radiales solicitados, que para el cálculo de este último se debe considerar solo la porción de terreno del perfil entre 3 y 15Km. Luego el APT se calcula restando la altura de la antena transmisora medida sobre el nivel del mar (*ht*) menos el ASPT, tal y como se muestra en la ecuación 2.3.

$$APT = h_t - ASPT \quad \text{Ec 2.3}$$

Los resultados obtenidos de los cálculos del APT y ASPT para la planta Mecedores, se muestran en la tabla 2.3, la cual se presenta a continuación.

RADIAL	APT (m)	ASPT (m)
0°	332,5	1555,5
20°	492,9	1395,1
40°	597,4	1290,6
60°	1142,5	745,5
80°	1966	-78
100°	1558,2	329,8
120°	991,5	896,5
140°	928,7	959,3
160°	1022,2	865,8
180°	1005,4	882,6
200°	957,2	930,8
220°	1034,9	853,1
240°	963,2	924,8
260°	995	893
280°	1155,2	732,8
300°	860,2	1027,8
320°	466,2	1421,8
340°	360	1528
PROMEDIO	934,95	953,04

Tabla .2.3 Valores de APT y ASPT en los 18 radiales para el centro de radiación ubicado en Mecedores

Luego se procede a utilizar el programa para el cálculo del coeficiente de rugosidad (Δh), pero en este caso de estudio en particular, el factor de rugosidad para los radiales de 0° a 60°, y de 300° a 340°, no puede ser calculado por el programa, debido a que estos radiales presentan obstrucciones tipo filo de cuchillo, ya que cuando la antena irradia en esas direcciones la señal se topa con el cerro El Avila, generando así pérdidas por difracción. Es por ello que se debe usar otro método para hallar la pérdida por difracción, adicional, para el cálculo del nivel de señal esperado.

2.3.1 Cálculo de la ganancia por radial de la antena radiodifusora

El cálculo de la ganancia de la antena por radial (G_R), se realiza tal como se muestra en la ecuación 2.4, donde se observa que esta depende en primer lugar de la ganancia máxima de la antena (G) y los porcentajes de radiación horizontal ($\%H$) y vertical ($\%V$).

$$G_R (dB) = G(dB) + 20 \cdot \log(\%H) + 20 \cdot \log(\%V)$$

Ec 2.4

La ganancia máxima de la antena a usar es 13dB y los porcentajes de radiación se encuentran en los patrones de la antena, los cuales se muestran en el Capítulo IV en el apartado 4.1.2.2. En la tabla 2.4 se muestran estos valores para los radiales de 0° a 340°.

RADIAL	20log(%H)	20log(%V)	G _R (dB)
0°	-8,5	0	4,5
20°	-17	0	-4
40°	-30	0	-17
60°	-12	0	1
80°	-6,0	0	7,0
100°	-2,5	0	10,5
120°	-0,5	0	12,5
140°	-1,5	0	11,5
160°	-2,8	0	10,5
180°	-1,5	0	11,5
200°	-1,5	0	11,5
220°	-0,5	0	12,5
240°	-5,8	0	7,2
260°	-0	0	13,0
280°	-5,8	0	7,2
300°	-0,5	0	12,5
320°	-1,5	0	11,5
340°	-4	0	9

Tabla .2.4 Ganancia por radial y porcentajes de radiación considerando un tilt de 6° en todos los radiales

2.3.2 Cálculo de la potencia efectiva radiada (P.E.R.)

La potencia efectiva radiada la calculamos con la siguiente formula:

$$PER[dBk] = 10 \cdot \log(Pt_{kW}) + G_R - pal[dB] \quad \text{Ec 2.5}$$

donde:

Pt = Potencia del transmisor expresada en kilovatios.

G_R = Ganancia de la antena para un trayecto o radial en específico.

pal = perdida en los alimentadores.

Con el PER y el nivel de señal esperado en el receptor (NSE), se calcula el valor de intensidad de campo que junto con el ASPT de cada radial, se utilizan en las curvas F(50,50) para hallar la distancia a cubrir para cada uno de los contornos. Para el caso de televisión UHF y de acuerdo con la Guía de Habilitaciones de CONATEL los contornos de interés para cobertura son los de 64, 74 y 86dBu.

Por otro lado se calculan las pérdidas de los alimentadores (pal), haciendo uso de la ficha técnica de la línea⁷, se obtiene las pérdidas que esta tiene, en un trayecto de cien (100) metros. Calculamos estas pérdidas usando la ecuación 2.6.

$$pal = \frac{\text{perdida de la linea (dB)} \times \text{longitud de la linea (m)}}{100m} \quad \text{Ec 2.6}$$

En una línea de 60m de longitud con una pérdida de 0,88dB por cada 100m, se tiene que:

$$pal = \frac{0,88dB \times 60m}{100m} = 0,53 dB$$

Por otra parte, la potencia de transmisión se fija de acuerdo a un procedimiento empírico en el cual, se observa la cobertura obtenida a medida que se varía la potencia de operación del transmisor; de esta manera se determina si esta zona de servicio se ajusta a los requerimientos del diseño; este procedimiento se realiza con el programa *Radio Mobile*.

Con una potencia entre los 25 y 30kW de acuerdo a la experiencia de otros proyectistas, se cubre gran parte de la zona deseada. Y al aumentar la potencia, se sigue ampliando el radio de cobertura para los radiales extremos, pero sin causar una mejora apreciable en la zona de interés.

La potencia del transmisor se fija entonces en 30kW, con lo cual se puede asegurar que la señal de televisión será aprovechada en un alto porcentaje del área de los municipios a cubrir. En el anexo 4 se puede observar la cobertura generada para distintos valores de potencia.

Luego, se procede a realizar el cálculo de la potencia efectiva radiada, para una potencia de transmisor de 30 kW. Los resultados del cálculo son presentados en la tabla 2.5.

⁷ Las características técnicas de la línea de transmisión se encuentran en el anexo 16

$$PER = 10 \cdot \log(30) + G(\text{dB}) - 0,53\text{dB}$$

RADIAL	PER (dBk)	PER (kW)
0°	18,73	74,8
20°	10,25	10,6
40°	-2,83	0,52
60°	15,23	33,4
80°	21,23	133,0
100°	24,69	295,1
120°	26,69	467,7
140°	25,73	374,9
160°	24,69	295,1
180°	25,73	374,9
200°	25,73	374,9
220°	26,69	467,7
240°	21,43	139,3
260°	27,24	529,8
280°	21,43	139,3
300°	26,69	467,7
320°	25,73	374,9
340°	23,24	210,9

Tabla .2.5 Potencia efectiva radiada por radial

2.3.3 Cálculo de la intensidad de campo F (50,50)

Con el valor de la potencia efectiva por radial y con los contornos de cobertura de 64, 74 y 86dBu que además representan el nivel de señal esperado (NSE), se tiene que:

$$NSE = F(50,50) + PER [dB \mu V / m] - A [dB] \quad \text{Ec 2.7}$$

En donde A representa a cualquier atenuación adicional (filo de cuchillo, corrección por rugosidad (ΔF), entre otras); luego la intensidad de campo $F(50,50)$ se representa como:

$$F(50,50) = NSE - PER [dB \mu V / m] + A [dB] \quad \text{Ec 2.8}$$

2.3.4 Atenuación por obstrucción “filo de cuchillo”

Para las obstrucciones filo de cuchillo, calculamos la atenuación que ellas producen al nivel de señal esperado, utilizando el método de Picquenard, donde en la figura 2.3 ilustramos dicha técnica [7].

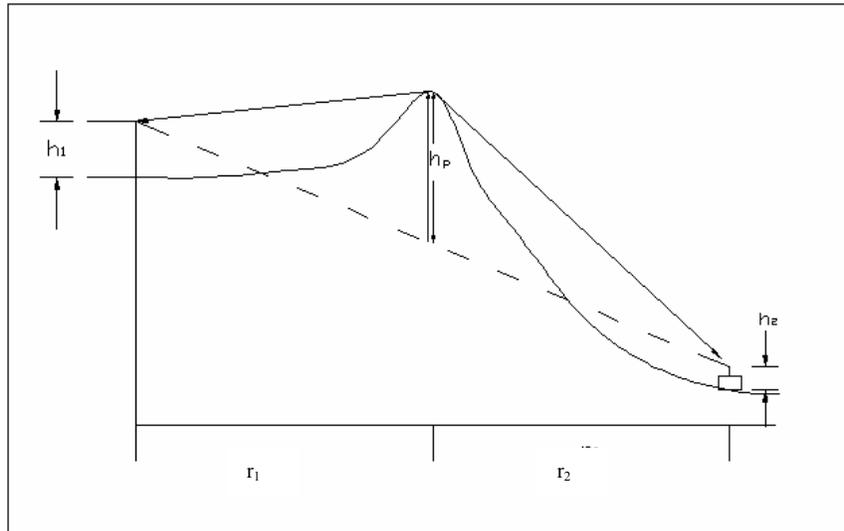


Figura .2.3 Modelo de Picquenard para trayecto con obstrucción filo de cuchillo

Donde las pérdidas por difracción “L”, son calculadas a través del parámetro “v” el cual se define de la siguiente manera:

$$v = -h_p \sqrt{\frac{2}{\lambda} \left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} \right)} \quad \text{Ec 2.9}$$

Por otra parte se tiene que:

$$L = 20 \cdot \log \left(\frac{-0.225}{v} \right) [dB] \quad \text{Ec 2.10}$$

donde:

h_p = altura del obstáculo medida sobre la trayectoria directa en (m)

λ = longitud de onda en (m)

r_1 = distancia del transmisor al obstáculo en (m)

r_2 = distancia del obstáculo al receptor en (m)

Por otra parte cuando el perfil presenta protuberancias continuas, tal y como se muestra en la figura 2.4. El método de Picquenard para este tipo de obstrucciones se calcula mediante las ecuaciones 2.11, 2.12, 2.13 y 2.14.

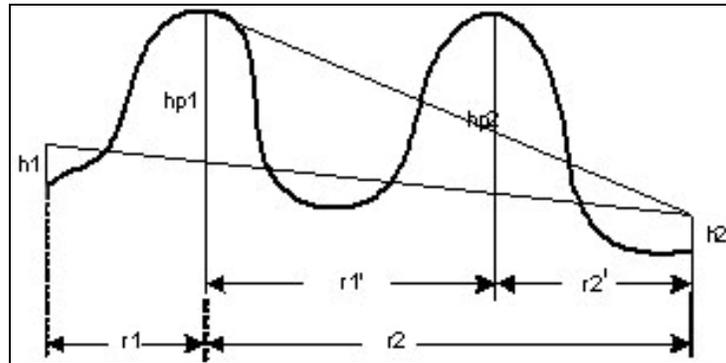


Figura .2.4 Modelo de Picquenard para obstrucciones continuas tipo filo de cuchillo

$v = -h_{p1} \sqrt{\frac{2}{\lambda} \left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} \right)}$ Ec 2.11	$L_1 = 20 \cdot \log \left(\frac{-0.225}{v} \right) [dB]$ Ec 2.12
--	---

$v' = -h_{p2} \sqrt{\frac{2}{\lambda} \left(\frac{1}{r_1'} + \frac{1}{r_2'} \right)}$ Ec 2.13	$L_2 = 20 \cdot \log \left(\frac{-0.225}{v'} \right) [dB]$ Ec 2.14
---	--

En donde:

h_{p1} = altura del primer obstáculo medida sobre la trayectoria directa en (m)

h_{p2} = altura del segundo obstáculo medida sobre la trayectoria directa en (m)

λ = longitud de onda en (m)

r_1 = distancia del transmisor al primer obstáculo en (m)

r_2 = distancia del primer obstáculo al receptor en (m)

r_1' = distancia entre el primer y el al segundo obstáculo en (m)

r_2' = distancia del segundo obstáculo al receptor en (m)

Luego la atenuación por difracción producto de estas obstrucciones irregulares viene dada por la ecuación 2.15.

$$L = L_1 + L_2 \qquad \qquad \qquad \text{Ec 2.15}$$

El cálculo de atenuación debida al filo de cuchillo para los radiales de interés, se realizará fijando la distancia del trayecto en una zona poblada después del obstáculo; con el fin de verificar la intensidad de campo que allí existe y comprobar de esta manera si existe o no cobertura para esa zona.

La zona de prueba para el cálculo de esta atenuación, corresponde a la Guaira, específicamente a Macuto y Camuri Chico; por lo que la distancia del trayecto será de 8,7Km.

2.3.4.1 Cálculo de atenuación por el modelo de Picquenard

Para realizar estos cálculos se debe levantar los perfiles de los radiales que producen la atenuación tipo filo de cuchillo. Con los perfiles se determinan las distancias r_1 y r_2 que son las distancias desde el transmisor hasta el obstáculo interferente, y desde el obstáculo hasta la zona a servir.

Los perfiles de los radiales interferentes fueron levantados en Microsoft Excel, donde se programó la hoja de cálculo para obtener también el elipsoide de Fresnel⁸.

Cada uno de los perfiles es levantado con una distancia fija, la cual corresponde a $r_1 + r_2$ y tiene un valor de 8,7Km, tal y como se menciona en el punto 2.3.4. Aplicando las ecuaciones correspondientes; se calcula la atenuación por filo de cuchillo con el método de Picquenard, para protuberancias continuas en todos los radiales. El resultado de estos cálculos puede ser apreciado en las tablas 2.6 y 2.7.

RADIAL	hp_1 (m)	r_1 (m)	r_2 (m)	V	hp_2 (m)	r_1' (km)	r_2' (km)	V'
0°	433,2	1300	7400	-11,5790	668	2000	5400	-15,5415
20°	668,34	2300	6400	-14,4416	350	2600	3800	-7,9175
40°	764,53	2500	6200	-16,0991	310,2	4800	1400	-8,3746
60°	666,85	2500	6200	-14,0422	180	2600	3600	-4,1175
300°	105	1700	7000	-2,5234	616	2800	4200	-13,3579
320°	373	1900	6800	-8,6030	481	3000	3800	-10,4414
340°	444,23	1300	7400	-11,8739	257,84	3200	4200	-5,3774

Tabla .2.6 Datos de los radiales con obstáculo tipo filo de cuchillo

⁸ Los perfiles con obstrucción filo de cuchillo se presentan en el anexo 5

RADIAL	L_1 (dB)	L_2 (dB)	L (dB)
0°	-34,2298	-36,7862	-71,0160
20°	-36,14868	-30,9282	-67,0768
40°	-37,0923	-31,4156	-68,5080
60°	-35,9050	-25,2492	-61,1542
300°	-20,9961	-35,4711	-56,4672
320°	-31,6493	-33,3315	-64,9809
340°	-34,4482	-27,5679	-62,0161

Tabla .2.7. Atenuación que generan los radiales con obstáculo tipo filo de cuchillo

2.3.5 Cálculo del nivel de señal esperado para los radiales con obstáculo tipo filo de cuchillo

El cálculo del contorno de intensidad de campo F(50,50) tomando en cuenta una distancia fija de 8,7Km, se realiza por medio las curvas F(50,50) para los canales UHF. Para el uso de las curvas se debe tomar en cuenta la altura de la antena transmisora, la cual es de 60m, medida sobre el ASPT en los radiales de interés.

Una vez encontrado el valor de la intensidad de campo F(50,50) y haciendo uso de la ecuación 2.7 se calcula el nivel de señal esperado, el cual determinara si el servicio llega con una calidad adecuada al área poblada que se encuentra después del obstáculo.

RADIAL	ASPT + h_{torre}	F(50,50)	NSE (dBu)
0°	1615,5	87	34,714
20°	1455,1	87	30,1732
40°	1350,6	87	15,662
60°	805,5	86	40,0758
300°	1087,8	86,5	56,7228
320°	1481,8	87	47,7491
340°	1588	87	48,2239

Tabla .2.8. Intensidad de campo F(50,50) y nivel de señal esperado para obstrucción filo de cuchillo

En general el nivel de señal esperado en cada uno de los radiales, esta por debajo de los niveles mínimos de calidad para televisión en UHF. Por lo tanto se puede decir que la señal de televisión de este diseño, no brinda cobertura a ninguna zona poblada que se encuentre dentro del rango de los radiales de 0° a 60° y de 300° a 340°.

2.3.5.1 Distancia de los contornos de interés para la obstrucción filo de cuchillo

Para hallar la distancia a la cual se encuentra el contorno de 64dBu, se procede a ensayar con la ecuación 2.7, variando la distancia de la zona de prueba, hasta que el nivel de señal esperado en algún punto del perfil se acerque lo mas posible al valor del contorno. Un ejemplo de este cálculo se realiza con el radial de 40°, con el objeto de tener un estimado del límite de los contornos de servicio para los radiales que presentan la obstrucción filo de cuchillo. De esta manera se puede completar el diagrama de cobertura en estos radiales. En primer lugar, se varía la distancia del punto de recepción en un paso de 0,2Km, desde la zona de interés anteriormente seleccionada en el cálculo de atenuación por el modelo de Picquenard. Luego se calcula la atenuación “L” producto del filo de cuchillo y se procede de misma forma que para la distancia de 8,7Km, donde se calcula entonces el NSE. Esto se realiza para poder ubicar donde se tiene un valor cercano a 64dBu. A continuación en la tabla 2.9 se presentan los resultados obtenidos, producto de este cálculo.

D (Km)	L (dB)	F(50,50)	NSE (dBu)	D (Km)	L (dB)	F(50,50)	NSE (dBu)
8,7	-68,5080	87	15,6619	4,1	-39,1497	94,6	52,6202
8,5	-68,0846	87	16,0853	3,9	-38,4901	95	53,6798
8,3	-66,8723	87,8	18,0976	3,7	-37,9107	95,3	54,5592
8,1	-64,8814	88	20,2885	3,5	-37,2765	96	55,8934
7,9	-62,8968	88	22,2731	3,3	-36,6872	96,5	56,9827
7,7	-62,2015	88,6	23,5684	3,1	-36,2877	97	57,8822
7,5	-59,7214	89	26,4485	2,9	-32,0761	97,2	62,2938
7,3	-36,1240	89	50,0459	2,7	-25,5919	98	69,5780
7,1	-36,3995	89,4	50,1704	2,5	0	99	96,17
6,9	-36,5580	90	50,6119	2,3	0	100	97,17
6,7	-37,0679	90,2	50,3020	2,1	0	100,5	97,67
6,5	-37,7382	90,8	50,2317	1,9	0	101	98,17
6,3	-38,5655	90,8	49,4044	1,7	0	101,8	98,97
6,1	-63,5882	91	24,5817	1,5	0	103	100,17
5,9	-63,8694	91	24,3005	1,3	0	104	101,17
5,7	-39,1575	91,5	49,5124	1,1	0	102,07	84,2378
5,5	-39,5903	91,6	49,1796	0,9	0	106	103,17
5,3	-40,3053	92	48,8646	0,7	0	107	104,17
5,1	-40,2961	92,2	49,0738	0,5	0	107,8	104,97
4,9	-40,4950	92,5	49,1749	0,3	0	109	106,17
4,7	-40,4947	93	49,6752	0,1	0	109,9	107,07
4,5	-38,8578	93,6	51,9121				
4,3	-39,1236	94	52,0463				

Tabla 2.9. Nivel de señal esperado al variar la distancia en el radial 40°

De acuerdo a la tabla 2.9, el contorno de 64dBu se encuentra entre los 2,9 y 2,7Km de distancia desde la antena transmisora.

Para efectos de diseño y habiendo comprobado que no existe cobertura a zonas pobladas para los radiales con obstrucción filo de cuchillo, se fija la distancia de los contornos deseados de 64, 74 y 86dBu, a través de una interpolación entre los valores extremos a ellos, de acuerdo a los datos presentados en la tabla 2.9. Además con la distancia y el promedio del ASPT para estos radiales más la altura de la torre, se calcula la intensidad de campo F(50,50) con las curvas FCC.

CONTORNO	RADIALES	D (Km)	F(50,50)
64 dBu	0° a 60° y 300° a 340°	2,853	98
74 dBu	0° a 60° y 300° a 340°	2,670	98,5
86 dBu	0° a 60° y 300° a 340°	2,576	99

Tabla 2.10. Distancia de los contornos de servicio para los radiales con atenuación filo de cuchillo

2.3.6 Estudio de los radiales que no presentan atenuación tipo filo de cuchillo

Para estos radiales restantes, se calcula por medio del programa del MTC el coeficiente de rugosidad (Δh) y luego se realiza la corrección por rugosidad (ΔF) por medio de la ecuación 2.1. Para el cálculo del Δh con el programa se deben introducir las cotas de los perfiles dentro del rango de 10 a 50Km y este presenta como salida el valor del coeficiente de rugosidad. De acuerdo a la FCC, el coeficiente de rugosidad se asume igual a 400m, dado el caso que dicho coeficiente supere este valor.

En tabla 2.11 se presenta para los radiales de 80° a 280°, el coeficiente de rugosidad y el factor de corrección por rugosidad.

RADIAL	Δh (m) (verdadero)	Δh (m) (usado)	ΔF (dB)
80°	1230,21	400	-37,6
100°	925,45	400	-37,6
120°	727,41	400	-37,6
140°	811,88	400	-37,6
160°	957,12	400	-37,6
180°	861,23	400	-37,6
200°	753,81	400	-37,6
220°	860,38	400	-37,6
240°	636,77	400	-37,6
260°	579,67	400	-37,6
280°	778,68	400	-37,6

Tabla .2.11. Coeficiente de rugosidad (Δh) y factor de corrección ΔF para los radiales de 80° a 280°

Con la potencia efectiva radiada, y la corrección por rugosidad, se aplica la ecuación 2.8 para los contornos de interés; encontrando así la intensidad de campo F(50,50) para cada radial.

De forma inversa que en el punto 2.3.5 y usando las mismas curvas, se procede al cálculo de la distancia del contorno teniendo como datos la altura de la antena sobre al ASPT y la intensidad de campo F(50,50). Los datos resultantes de este cálculo se presentan en la tabla 2.12.

Todos los resultados obtenidos en este estudio de cobertura (PER, ganancia de la antena por radial, ΔF , F(50,50), distancia del contorno, entre otros) son presentados en una tabla resumen para la solicitud de la habilitación del servicio de radiodifusión, bajo un formato sugerido por CONATEL. En el anexo 6, puede observarse esta tabla detalladamente.

RADIAL	NSE=86dBu		NSE=74dBu		NSE=64dBu	
	F(50,50)	D (Km)	F(50,50)	D (Km)	F(50,50)	D (Km)
80°	102,4	0,8	90,4	1,75	80,4	3,2
100°	98,9	2,2	86,9	6,0	76,9	11,6
120°	96,9	3,2	84,9	9,7	74,9	19,1
140°	97,9	2,8	85,9	9,1	75,9	17,9
160°	98,9	2,5	86,9	8,5	76,9	16,6
180°	97,9	2,8	85,9	9,1	75,9	17,9
200°	97,9	2,8	85,9	9,1	75,9	17,9
220°	96,9	3,2	84,9	9,7	74,9	18,5
240°	102,2	1,7	90,2	6,0	80,2	14,1
260°	96,4	3,2	84,4	10,4	74,4	19,1
280°	102,2	1,7	90,2	6,0	80,2	12,9

Tabla 2.12 Intensidad de campo F(50,50) y distancia de los contornos para los radiales de 80° a 280°

2.3.7 Diagrama de cobertura de servicio

Los contornos de intensidad de campo para los niveles de 64, 74 y 86dBu, se dibujan de acuerdo a las distancias encontradas para cada nivel de intensidad. El diagrama de cobertura se realizó aplicando el método de la FCC, el cual es el exigido por CONATEL para la planificación de las estaciones.

Estos contornos son trazados sobre un mapa orográfico a escala adecuada, obtenido en el Servicio Autónomo de Geografía y Cartografía Nacional del Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales. Gracias a este mapa, puede determinarse con mayor exactitud la eficiencia del diseño realizado.

Para el diseño de cobertura se toma en consideración el hecho de que solo se cuenta con una planta de transmisión, que como se dijo anteriormente estará ubicada en el sector Mecedores del cerro El Ávila, debido a ello, la potencia del transmisor deberá ser la máxima posible para no interferir con las estaciones cocanales y canales adyacentes operando en la región y minimizar lo más que se pueda las zonas de sombra (zonas que poseen un nivel de señal menor a 64dBu dentro del área a cubrir), lo cual será imposible de eliminar por la topografía del terreno.

En la figura 2.5 se presenta el mapa con el contorno de servicio resultante del diseño realizado, partiendo de los niveles de señal esperados por el método de la FCC.

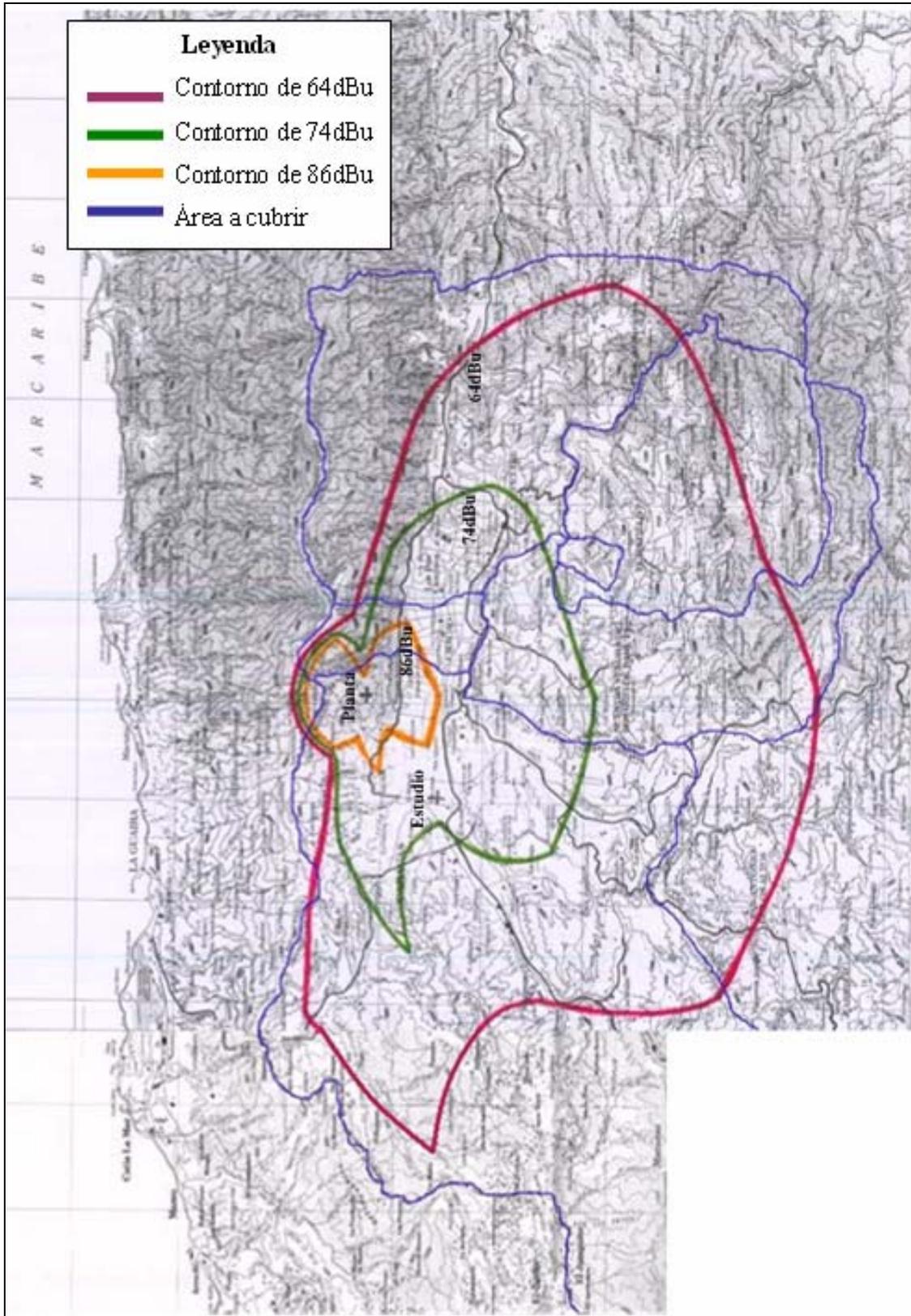


Figura 2.5. Mapa de cobertura por el método FCC

De acuerdo a la figura 2.5, la cobertura alcanzada con este diseño es de aproximadamente el 80% del área deseada. En cuanto a población se refiere, la zona cubierta constituye el área de mayor densidad demográfica del Distrito Capital, en ella se asienta más del 90% de su población total.

La gran mayoría de los sitios pertenecientes a la zona de interés y que están fuera de los contornos de servicio son áreas suburbanas con poca población.

En la figura 2.6 se presenta un mapa con el estudio de cobertura levantado en *Radio Mobile*, en el cual se aprecia la existencia de zonas de sombra dentro del contorno de servicio en los Municipios Libertador, Baruta, El Hatillo y Sucre. Estas áreas son denominadas así por presentar un nivel de señal por debajo del nivel de 64dBu, y su ocurrencia es debida simplemente a la topografía del terreno.

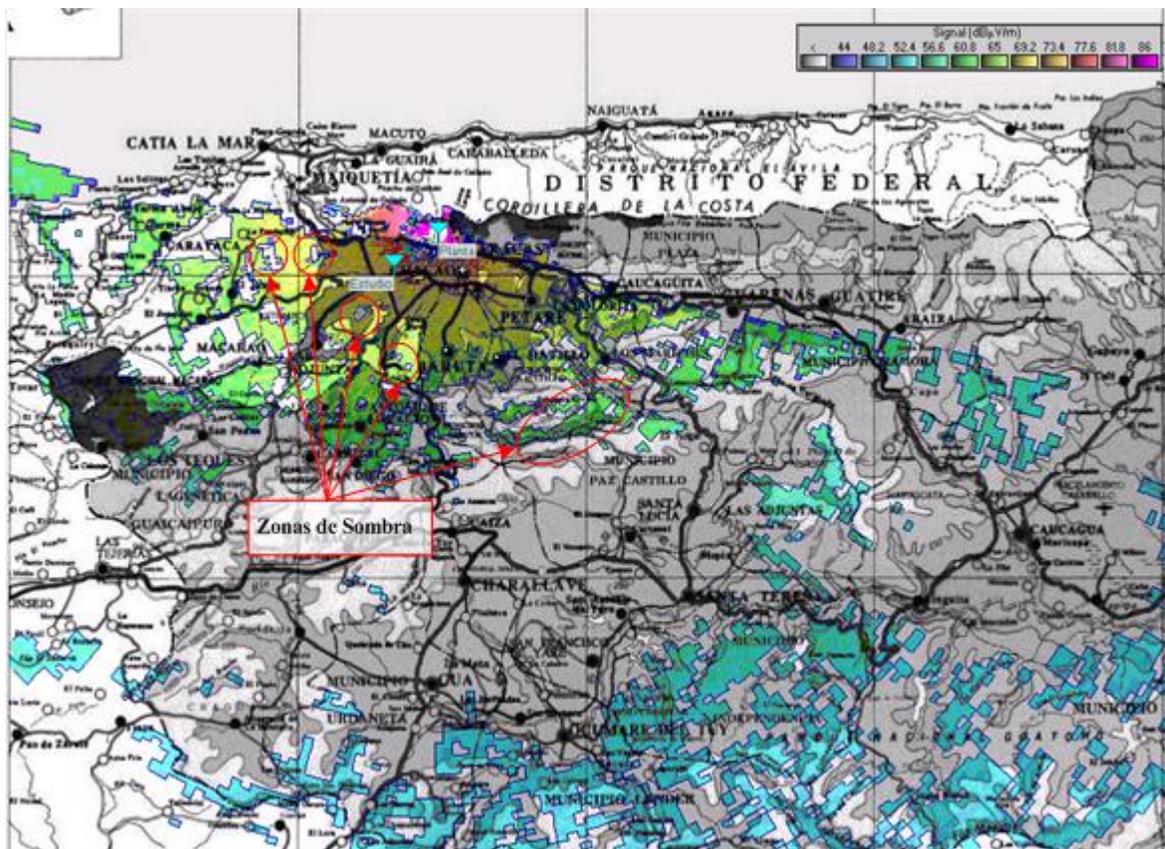


Figura 2.6. Mapa de cobertura levantado en Radio Mobile para evaluar zonas de sombra

Tomando en consideración el uso de una sola planta de transmisión y que el trayecto a cubrir es bastante accidentado, se logra brindar un servicio con buena calidad de recepción en el área propuesta.

2.4 Estudio de interferencias

2.4.1 Relaciones de protección

Como parte del diseño de la estación de televisión, se debe realizar un estudio para demostrar el cumplimiento de las relaciones de protección con otras estaciones; así de esta manera evitar que la señal a transmitir interfiera con una ya existente.

El estudio de interferencia, se realiza con las estaciones operativas de televisión abierta que cumplen con la particularidad de ser cocanales, frecuencia intermedia, intermodulación, canal adyacente, frecuencia imagen de sonido y frecuencia imagen de video, para una separación de seis canales entre la estación de televisión interferente y las estaciones de televisión interferidas. Este estudio se realiza de acuerdo al instructivo emanado por CONATEL, el cual sigue las recomendaciones expuestas por la FCC.

La separación mínima que debe existir entre la estación interferente con cada una de las interferidas es presentada en la tabla 2.13 y es un dato recomendado por la FCC, para el sistema de televisión de 525 líneas utilizado en Venezuela.

CANAL ANTV	ESTACIONES INTERFERENTES						
	COCANAL (280,8KM)	FREC. INTERMEDIA (31,4KM)		INTERMODULACION (31,4 KM)	CANAL ADYACENTE (87,7KM)	FRECUENCIA IMAGEN DE SONIDO (95,7 KM)	FRECUENCIA IMAGEN DE AUDIO (119,9 KM)
62	62	55 y 69	54	57 al 60 y del 64 al 67	61 y 63	48	47

Tabla .2.13 Separación mínima con estaciones de televisión operativas

Si la estación o estaciones de televisión interferidas no cumplen con la distancia mínima reglamentaria, entonces se procede a determinar el contorno de protección de 70dB μ V/m para cada una de estas estaciones.

Posteriormente se determina para la estación de televisión que se está solicitando o en este caso la estación interferente; el contorno de protección, el cual varía de acuerdo al canal interferido en estudio. Los contornos de protección para las estaciones interferidas e interferente son encontrados haciendo uso de las curvas F(50,50).

En la tabla 2.14, se presentan los distintos contornos a calcular para la estación interferente, dependiendo de la separación que exista con el canal interferido; en donde X viene a ser el canal que se esta solicitando.

SEPARACION	Contorno a calcular para estación interferente (dB μ V/m)
X	42
X+1	83
X+2	99
X+3	104
X+4	93
X+7	103
X+8	111
X+14	95
X+15	79
X-1	73
X-2	96
X-3	103
X-7	100
X-8	102

Tabla 2.14. Contornos de protección establecidos por CONATEL de acuerdo al tipo de interferencia

2.4.2 Contornos de protección contra interferencias

El contorno de protección se calcula para el 50% del tiempo y 50% de las ubicaciones (curvas F(50,50)), tal y como indica la guía para la obtención de la habilitación general, que proporciona el ente regulador de las telecomunicaciones en Venezuela.

Según la tabla de habilitaciones de televisión abierta UHF de CONATEL, solo dos estaciones de televisión no cumplen con la protección de distancia mínima, tal y como se muestra en la tabla 2.15. Para ellas se deben de calcular los contornos de protección como se dijo anteriormente, con el fin de corroborar si existe o no solapamiento de las señales.

TIPO DE INTERFERENCIA	CIUDAD	DISTANCIA MINIMA (Km)	CANAL	SEPARACION (Km)	LATITUD	LONGITUD
Cocanal	Maracay	280,8	62	84,5	N 10°15'30"	W 67°35'50"
Adyacente	V. de Cura	87,7	61	86,0	N 10°02'03"	W 67°28'51"

Tabla 2.15. Estaciones que no cumplen la protección de distancia mínima

Para el estudio de interferencias, se procede a calcular los contornos de protección, donde en primer lugar se encuentran los perfiles de los 18 radiales⁹ de cada estación con *Radio Mobile*, y con ellos se obtiene de manera inmediata el valor del ASPT para cada radial; luego de esto, se calcula el coeficiente de rugosidad y el factor de corrección por rugosidad.

Con estos valores junto con la potencia efectiva radiada se obtiene el nivel de señal deseada para los contornos de protección, y haciendo uso de las tablas F(50,50) se hallan las distancias a las cuales llega la intensidad de campo para cada caso.

Para la señal de televisión interferente se deben encontrar los contornos de servicio de 42dB μ V/m para frecuencia cocanal y 73dB μ V/m para canal adyacente, según se muestra en la tabla 2.14.

Tomando en cuenta los cálculos descritos en el punto 2.3.5.1, para los radiales con atenuación por filo de cuchillo, se interpolan los valores extremos al nivel de señal deseado, y de esta manera se calcula la distancia a la cual llegan los contornos de protección. El resultado de este cálculo se presenta en la tabla 2.16.

CONTORNO	RADIALES	D (Km)
42 dBu	0° a 60° y 300° a 340°	7,368
73 dBu	0° a 60° y 300° a 340°	2,674

Tabla 2.16. Distancia de los contornos interferentes para los radiales con atenuación filo de cuchillo

Ahora para el resto de los radiales, y con los mismos valores de Δh , ΔF , G(dB) y PER, desarrollados en los puntos 2.3.6, 2.3.1 y 2.3.2 respectivamente, se obtienen los datos que se muestran en la tabla 2.17 los cuales corresponden a la intensidad y distancia de los contornos de protección.

⁹ Los radiales de las estaciones interferidas se encuentran en el anexo 7.1

RADIAL	NSE=42dBu		NSE=73dBu	
	F(50,50)	D (Km)	F(50,50)	D (Km)
80°	58,37	12	89,37	2
100°	54,9	38	85,9	6,5
120°	52,9	58	83,9	11,8
140°	53,87	55,3	84,87	10
160°	54,9	54	85,9	9
180°	53,87	56	84,87	10
200°	53,87	56,2	84,87	10
220°	52,9	56,2	83,9	11,2
240°	58,17	49	89,17	7
260°	52,36	59	83,36	11,2
280°	58,17	46,2	89,17	6,7

Tabla .2.17. Nivel de intensidad de campo y distancia para contornos de protección

2.4.3 Contornos de protección para las estaciones interferidas

La información necesaria para realizar el estudio de los contornos de protección de 70dB μ V/m para las dos estaciones que no cumplen con el criterio de la distancia mínima de protección, fue suministrada por CONATEL.

CANAL	ALTURA TORRE TX	P _{Tx}	G _{ANTENA} (dB)	PER	PATRON DE ANTENA
62 Maracay	60 m	20kW	12,1	25,11dBk	Omnidireccional
61 V. de Cura	30 m	1kW	14	24 dBk	Omnidireccional

Tabla .2.18. Características técnicas de las estaciones interferidas

Con la información expuesta en la tabla 2.18, se realiza el estudio para el contorno de protección de las estaciones interferidas, es importante mencionar que se asumen omnidireccionales los patrones de las antenas de las estaciones en cuestión, ya que se desconocen su verdadero comportamiento en el plano horizontal.

En ambas estaciones la ganancia de la antena será la misma para cada uno de los radiales de la estación, y la potencia efectiva radiada también será igual en todo el contorno de la estación interferida en estudio.

En las tablas 2.19 y 2.20, se presentan los resultados de los cálculos de los factores de rugosidad, ASPT realizados para las estaciones interferidas; así como también la intensidad de campo F(50,50) y la distancia de los contornos de protección.

CANAL 62 UHF, MARACAY					
RADIAL	ASPT (m)	Δh (m)	ΔF (dB)	F(50,50)	D(Km)
0°	-333,8	400	-37,6	82,49	2,7
20°	-603,8	400	-37,6	82,49	2,7
40°	-538,8	400	-37,6	82,49	2,7
60°	-340,3	400	-37,6	82,49	2,7
80°	-78,0	400	-37,6	82,49	2,7
100°	-9,4	400	-37,6	82,49	2,7
120°	67,8	400	-37,6	82,49	4,4
140°	78,3	333,8	-30,5	75,4	6,9
160°	87,6	400	-37,6	82,49	4,7
180°	95,9	400	-37,6	82,49	5,0
200°	197,4	400	-37,6	82,49	6,9
220°	228,3	400	-37,6	82,49	7,2
240°	196,9	-	-	44,89	40,4
260°	222,6	154,8	-11,6	56,5	26,6
280°	84,0	400	-37,6	82,49	4,7
300°	-108,9	400	-37,6	82,49	2,7
320°	-214,3	400	-37,6	82,49	2,7
340°	-361,8	400	-37,6	82,49	2,7

Tabla 2.19. Contorno protegido de 70 dB μ V/m del canal 62 en Maracay

CANAL 61 UHF, VILLA DE CURA					
RADIAL	ASPT (m)	Δh (m)	ΔF (dB)	F(50,50)	D(Km)
0°	68,7	400,0	-37,3	83,3	2,2
20°	22,4	400,0	-37,3	83,3	1,5
40°	-220,7	400,0	-37,3	83,3	1,5
60°	-119,7	400,0	-37,3	83,3	1,5
80°	-329,1	400,0	-37,3	83,3	1,5
100°	-209,3	400,0	-37,3	83,3	1,5
120°	14,7	141,0	-10,0	56	7,2
140°	-86,8	352,2	-32,3	78,3	1,9
160°	-158,1	400,0	-37,3	83,3	1,5
180°	-249,1	400,0	-37,3	83,3	1,5
200°	-226,6	400,0	-37,3	83,3	1,5
220°	-201,5	400,0	-37,3	83,3	1,5
240°	-296,0	400,0	-37,3	83,3	1,5
260°	-140,3	395,7	-36,9	83,8	1,5
280°	-28,1	358,0	-32,9	78,9	1,9
300°	70,0	55,4	-1,03	47,03	14,7
320°	-24,0	400,0	-37,3	83,3	1,5
340°	46,5	400,0	-37,3	83,3	1,9

Tabla 2.20. Contorno protegido de 70 dB μ V/m del canal 61 en Villa de Cura

2.4.4 Diagramas de interferencia

De igual manera que en el estudio de cobertura, se realiza el trazado de los contornos de protección para la estación interferente y las interferidas, de acuerdo a los datos de distancias presentados en las tablas 2.16, 2.17, 2.19 y 2.20.

En la figura 2.7 que corresponde al levantamiento de los contornos de interferencia, se observa que a pesar de que la distancia mínima de separación entre las estaciones no se cumple, no existe solapamiento de los contornos protegidos por lo tanto, la estación de televisión propuesta no produce interferencia perjudicial a otras señales de televisión ya existentes.

De forma inversa se verifica si las estaciones existentes provocaran interferencia al canal de televisión propuesto, al observar la figura 2.7 se corrobora que el canal 61 en Villa de Cura no ocasiona interferencia.

La distancia que hay entre la estación canal 62 Maracay y el contorno de protección de 70dBu del canal propuesto es de aproximadamente 71Km. De acuerdo a esto se descarta la interferencia cocanal que pudiera producir el canal existente, ya que su contorno de protección de 42dBu en la dirección de los radiales de 0° a 120°, es mucho menor de 24Km. Los resultados de los cálculos para el contorno de 42dBu del canal 62 de Maracay se presentan en el anexo 7.2.

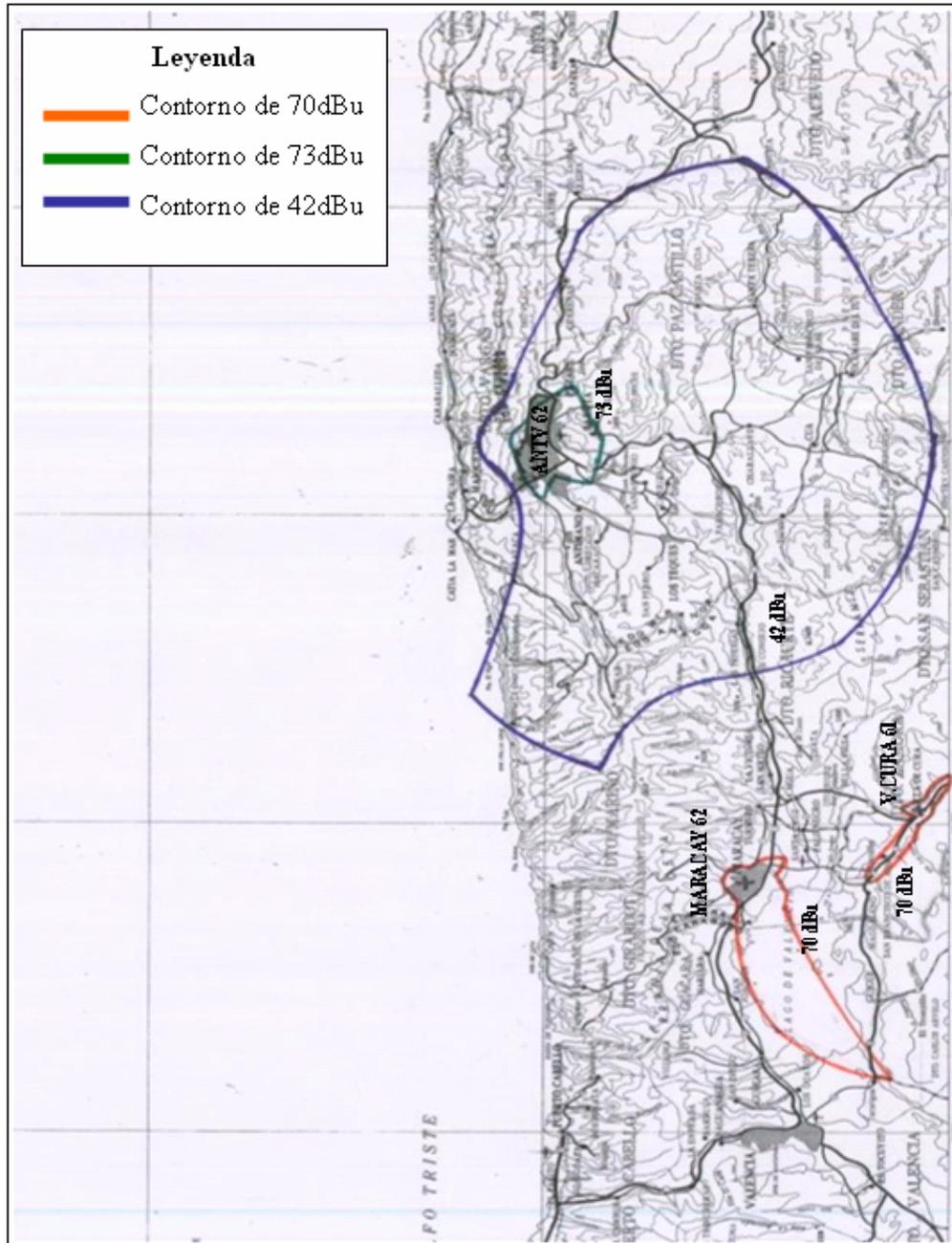


Figura 2.7. Mapa de los contornos de protección por el método FCC

CAPITULO III

DISEÑO DEL ENLACE ESTUDIO-PLANTA

Cuando el estudio de televisión y la planta transmisora están ubicados en lugares distintos, se requiere que exista un medio de transmisión que los enlace a ambos; permitiendo así llevar la programación generada en los estudios, hacia la planta transmisora, para que sea emitida. Para el transporte de la señal pueden ser usados tanto medios inalámbricos (enlaces satelitales, enlaces microondas) como alámbricos (fibra óptica, cable coaxial).

3.1 Escogencia del medio de transmisión para el enlace estudio-planta

Como se ha visto anteriormente, hemos descrito tres posibles medios de transmisión que pudieran llevar de una forma eficiente la señal de televisión que se desea transmitir desde el estudio en donde se genera, hasta la planta transmisora que difunde la señal a la población de interés.

Cada uno de estos medios resulta bastante efectivo al momento de hablar de velocidad de transmisión, ancho de banda, disponibilidad del sistema, etc. Pero se deben tomar en cuenta también otros factores como son el costo del servicio (instalación y mantenimiento), el tiempo de implementación, entre otros.

El enlace satelital como medio de transmisión posee grandes ventajas como lo es la facilidad de llegar a lugares remotos, pero también es un servicio que debe ser contratado y cuyos costos de alquiler y mantenimiento son bastante altos, a la hora de realizar un enlace punto a punto. Este medio es ideal cuando se quiere realizar un enlace estudio-planta a nivel nacional, ya que la señal a transmitir puede ser difundida al mismo tiempo a distintos lugares, sin importar a que distancias se encuentren del estudio de televisión ni la separación entre cada una de las plantas transmisoras.

A la hora de proponer que el envío de la señal se realice vía fibra óptica, se debe contar con una red interurbana ya instalada, con esto el único costo sería la contratación del servicio con el proveedor que se ajuste a las necesidades del proyecto. A parte de la dependencia que existe con un tercero para este tipo de servicio, actualmente no se cuenta con una red de fibra que transporte la señal a los sitios donde estarán ubicadas las plantas

transmisoras, sin contar el impedimento topográfico que se tiene si se habla de transportar la señal hasta el cerro El Ávila, que es uno de los sitios donde estará ubicada una de las plantas de transmisión.

Se considera entonces que el transporte de la señal desde el estudio de televisión hasta la planta transmisora, sea realizado mediante un enlace microondas, tomando todas las consideraciones necesarias para un servicio eficiente. Las principales razones por las cuales es considerado el enlace microondas el medio de transporte de nuestra señal, son:

- Resulta más económico el equipamiento, la instalación y el mantenimiento del servicio.
- El tiempo de instalación y puesta en marcha es bastante corto.
- No se necesita de la contratación de un proveedor del servicio.

El diseño del enlace microondas debe cumplir con todos los requerimientos exigidos por CONATEL. De igual manera que para el estudio de cobertura e interferencia, todos estos aspectos que deben ser consignados se especifican en la Guía para la Obtención de la Habilitación de Radiodifusión Sonora y Televisión Abierta.

3.2 Ubicación del Estudio de Televisión y de la Planta Transmisora

La estación de televisión tendrá su sede en las Esquinas Monjas a San Francisco, frente al Palacio Federal Legislativo, edificio Nro 5, piso 2, Parroquia Catedral del Municipio Libertador del Distrito Capital. De igual forma la planta transmisora estará ubicada en el cerro El Ávila, Sector Mecedores del Distrito Capital.

En la tabla 3.1 se muestran las coordenadas geográficas y la altura sobre el nivel del mar de los sitios a interconectar.

	LATITUD	LONGITUD	A.S.N.M
ESTUDIO	10° 30' 17,2" N	66° 54' 54,8" W	921 m
PLANTA	10° 31' 51" N	66° 52' 34" W	1828 m

Tabla .3.1 Ubicación y altura del Estudio de televisión y de la Planta Transmisora

Con la herramienta *Radio Mobile* se ubican geográficamente el estudio y la planta de transmisión, también debe de declararse la topología de la red, donde se especifica el tipo de sistema, la frecuencia de trabajo, las características de la región y de los equipos.

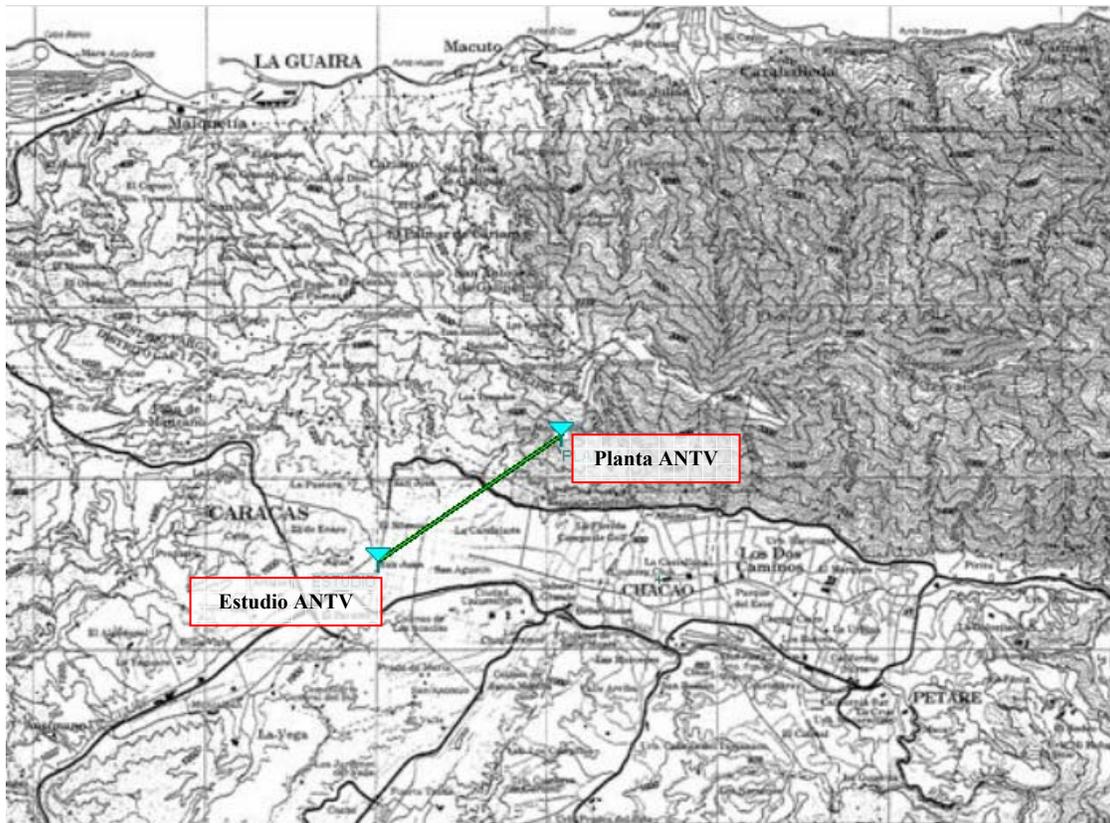


Figura .3.1 Ubicación Geográfica del Estudio de televisión y la Planta Transmisora

3.3 Selección de las bandas de frecuencia a utilizar

Para el enlace punto a punto solicitado, será utilizado un sistema analógico el cual se ubicará en un canal de las bandas asignadas para el servicio de enlaces fijos estudio-planta de televisión. CONATEL como ente regulador del espectro, recomienda para este proyecto el rango de frecuencia que se encuentra entre las bandas de 14,5 y 15,35GHz, esta recomendación es producto del alto grado de ocupación del espectro.

La frecuencia escogida para el transporte de la señal desde los estudios de televisión hasta la planta transmisora dentro del rango mencionado es 14,711GHz.

Conforme al Cuadro Nacional de Atribución de Bandas de Frecuencias (CUNABAF) expedido por CONATEL, mas específicamente al Capítulo III que corresponde a las Notas Nacionales; en el apartado V38 especifica que la porción del espectro radioeléctrico que abarca las frecuencias entre 14,5 y 15,35GHz puede ser usada para la operación de sistemas de microondas punto a punto.

3.4 Perfil del enlace

Luego de declarar la red en *Radio Mobile*, se procede con la opción *Radio link* a levantar el enlace de microondas tomando en consideración las características de los equipos a utilizar y para las alturas de las antenas de 25m para la transmisora y 10m para la de recepción, ambas sobre la cota del terreno.

El trazado del perfil de *Radio Mobile*, permite imprimir un archivo de texto del levantamiento de cotas contra distancia, y el perfil del trayecto junto con el despeje de la primera zona de Fresnel.

El enlace en cuestión tiene un trayecto de 5,249 Km de distancia tal como se muestra en la figura 3.2, ahí también se observa como el trayecto se encuentra totalmente despejado.

Para realizar la solicitud de habilitación, se presenta a CONATEL la tabla de cotas contra distancia del perfil estudio-planta; la cual se encuentra en el anexo 8.

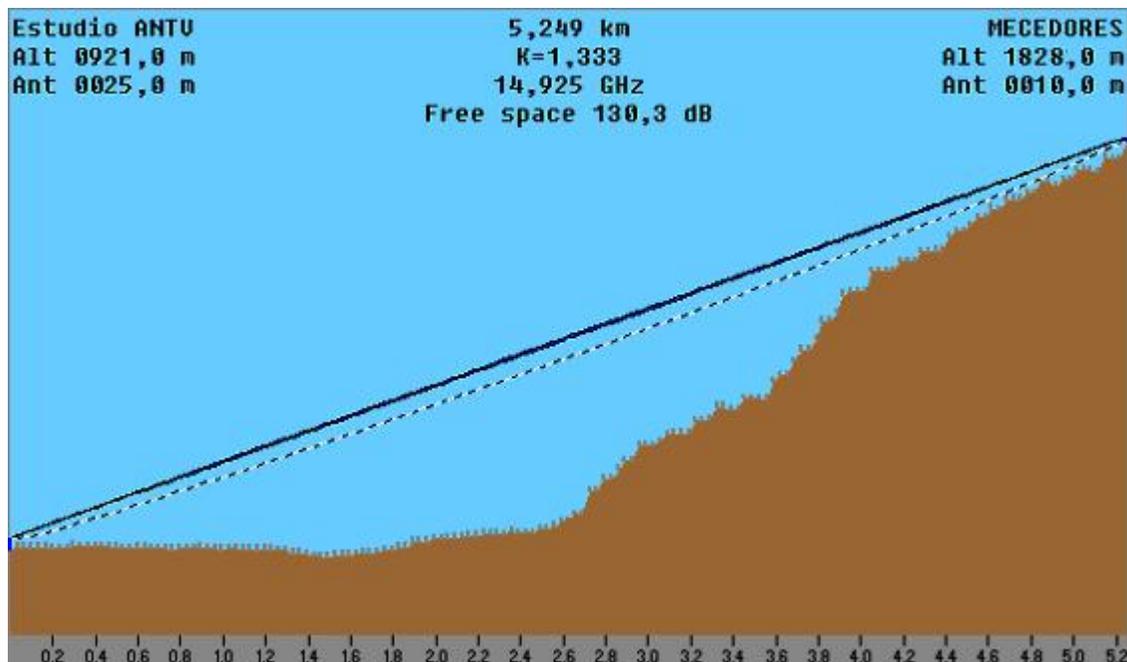


Figura .3.2. Perfil del enlace microondas por Radio Mobile



Figura .3.3. Línea de vista entre Estudio y Planta

En la figura 3.3, se muestra una foto obtenida usando el programa *Google Earth*¹⁰; donde se demuestra la línea de vista entre el estudio de televisión y la planta transmisora.

3.5 Cálculos del enlace

Como parte del diseño del enlace estudio-planta, se deben cuantificar las pérdidas que sufre la señal, y así verificar la eficiencia que tiene nuestro diseño con la finalidad de poder evaluar si es posible o no su implantación.

3.5.1 Atenuación por espacio libre

La atenuación o pérdida de espacio libre, no es mas que una relación entre la potencia transmitida y la recibida suponiendo que estas están referidas a antenas isotrópicas ($G_{Tx}=G_{Rx}=1$), e ignorando el efecto de la atmósfera. Estas pérdidas de las cuales se habla en el Capítulo I, son calculadas con la ecuación 1.8

$$A_{el}(dB) = 20 \cdot \log R [km] + 20 \cdot \log f [MHz] + 32,45$$

¹⁰ Programa que puede ser encontrado en: <http://earth.google.com/download-earth.html>

Para el diseño en cuestión, la atenuación de espacio libre queda de la siguiente manera:

$$A_{el}(dB) = 20 \cdot \log(5,249) + 20 \cdot \log(14.711) + 32,4 \qquad A_{el}(dB) = 130,4 \text{ dB}$$

3.5.2 Pérdidas por absorción atmosférica

Las moléculas de oxígeno y agua en los trayectos troposféricos absorben energía electromagnética, lo cual produce una atenuación que a frecuencias muy elevadas, teniendo mayor importancia en especial en frecuencias superiores a los 10GHz. Mediante la ecuación 3.1 se puede calcular las pérdidas por absorción atmosférica [8].

$$A_a(dB) = \gamma_a (dB / Km) \cdot d (Km) \qquad \text{Ec 3.1}$$

En donde γ_a es la atenuación específica y d la distancia del enlace. El parámetro γ_a se compone de dos constantes, la atenuación específica para el oxígeno (γ_o) y la del agua (γ_w), quedando de la siguiente forma:

$$\gamma_a = \gamma_o + \gamma_w \quad (dB / Km) \qquad \text{Ec 3.2}$$

Las atenuaciones específicas del oxígeno y del agua se obtienen de la figura 3.4, en función de la frecuencia. Para ser más exacto en el cálculo interpolamos entre los valores extremos de nuestra frecuencia de trabajo.

$$\gamma_o = 0,0079489 \text{ dB / Km} \qquad \gamma_w = 0,062678 \text{ dB / Km}$$

Donde:

$$\gamma_a = 0,0706269 \text{ dB / Km}$$

De acuerdo a la ecuación 3.1, se tendrá entonces para un enlace de 5,249Km, una pérdida por absorción atmosférica de:

$$A_a(dB)=0,37 dB$$

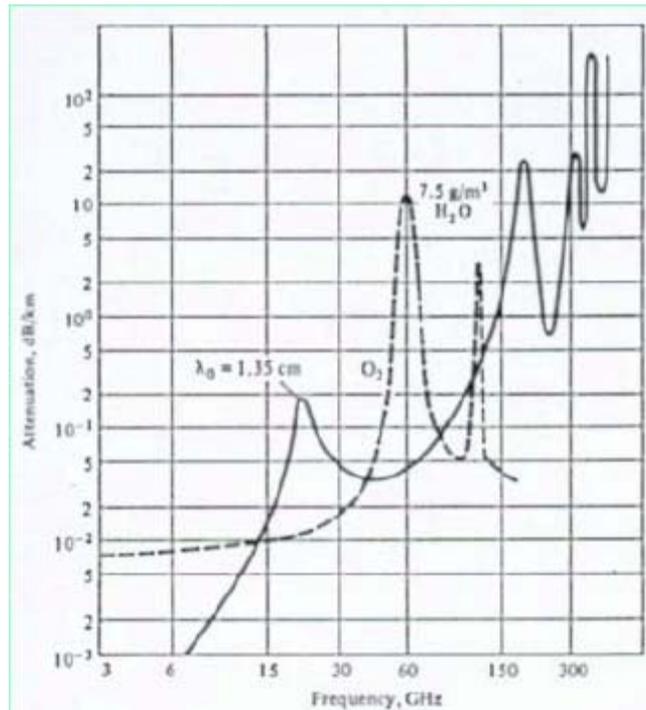


Figura.3.4. Gráfica de las atenuaciones específicas del oxígeno y agua [9]

3.5.3 Perdidas en la línea de transmisión y recepción

De acuerdo a la ficha técnica de la guía de onda escogida, esta presenta una pérdida de 15,8dB para un trayecto de cien metros. La atenuación, depende de la frecuencia de trabajo y para este caso se calcula el promedio entre los valores extremos a la frecuencia de 14,7GHz.

Consideramos tanto en el lado estudio como en la planta transmisora, una longitud de la guía de onda igual a 15m, da como resultado:

$$A_{linea Tx} = \frac{15,8 \cdot 15}{100} = 2,37 dB$$

$$A_{linea Rx} = \frac{15,8 \cdot 15}{100} = 2,37 dB$$

3.5.4 Atenuación por lluvia

El efecto de la lluvia tiene mayor relevancia para las frecuencias superiores a los 10GHz, que dependiendo de la región en la cual este se encuentre puede limitar la distancia del radio enlace.

De acuerdo a la recomendación UIT-R P837-3, la intensidad de lluvia (R) durante el 0,01% del año medio para Venezuela es de 100mm/h. Con esta intensidad se procede entonces a calcular el nivel de atenuación por efecto de la lluvia, de acuerdo a las recomendaciones UIT-R P838 y UIT-R P530. En el anexo 9 se presenta el mapa de donde se muestran las distintas intensidades de lluvia de acuerdo a la recomendación UIT-R P837-3, que corresponde a la zona de trabajo.

El procedimiento para calcular la atenuación por lluvia, rebasada durante un porcentaje de tiempo igual al $p\%$, la establece la recomendación P530 de la UIT. Tal atenuación es:

$$A(R, p) = \gamma(R, p) \cdot L_{ef} \quad \text{Ec 3.3}$$

donde $\gamma(R, p)$ es la atenuación específica para la intensidad de lluvia $R_{0,01}(mm/h)$ y el porcentaje de tiempo $p(\%)$ y $L_{ef}(Km)$ que es la longitud efectiva del trayecto. La atenuación específica se calcula de acuerdo a la recomendación UIT-R P838 en función de la intensidad de lluvia, mediante la ecuación 3.4.

$$\gamma = k \cdot R^\alpha \quad \text{Ec 3.4}$$

Los parámetros k y α dependen de la polarización y de la frecuencia de trabajo, tal y como se muestra en la figura 3.5. Para este caso en particular se debe interpolar entre los valores extremos a la frecuencia de 14,711GHz para obtener una mayor precisión en el cálculo.

Frecuencia (GHz)	k_H	k_V	α_H	α_V
1	0,0000387	0,0000352	0,912	0,880
2	0,000154	0,000138	0,963	0,923
4	0,000650	0,000591	1,121	1,075
6	0,00175	0,00155	1,308	1,265
7	0,00301	0,00265	1,332	1,312
8	0,00454	0,00395	1,327	1,310
10	0,0101	0,00887	1,276	1,264
12	0,0188	0,0168	1,217	1,200
15	0,0367	0,0335	1,154	1,128
20	0,0751	0,0691	1,099	1,065
25	0,124	0,113	1,061	1,030
30	0,187	0,167	1,021	1,000
35	0,263	0,233	0,979	0,963
40	0,350	0,310	0,939	0,929
45	0,442	0,393	0,903	0,897
50	0,536	0,479	0,873	0,868
60	0,707	0,642	0,826	0,824
70	0,851	0,784	0,793	0,793
80	0,975	0,906	0,769	0,769
90	1,06	0,999	0,753	0,754
100	1,12	1,06	0,743	0,744
120	1,18	1,13	0,731	0,732
150	1,31	1,27	0,710	0,711
200	1,45	1,42	0,689	0,690
300	1,36	1,35	0,688	0,689
400	1,32	1,31	0,683	0,684

Figura.3.5 Valores de las constantes k y α para el calculo de la atenuación por lluvia

La interpolación se realiza utilizando una escala logarítmica para la frecuencia y para k y una escala lineal para α . Teniendo entonces:

$$\frac{\log 15 - \log 12}{\log 15 - \log 14,711} = \frac{\log 0,0335 - \log 0,0168}{\log 0,0335 - \log k_v}, \quad k_v = 0,0315$$

$$\frac{\log 15 - \log 12}{\log 15 - \log 14,711} = \frac{1,128 - 1,2}{128 - \alpha}, \quad \alpha = 1,12172$$

$$\gamma = 0,0315 \cdot 100^{1,12172} \quad \gamma = 5,5176 \text{ dB / Km}$$

Luego la longitud efectiva se obtiene con las ecuaciones 3.5a y 3.5b, donde d es la distancia del trayecto.

$$L_{ef} = \frac{d}{1 + d/d_o} \quad \text{Ec 3.5a}$$

$$d_o = 35 \cdot e^{-0,015 \cdot R_{0,01}} \quad \text{Ec 3.5b}$$

La atenuación por lluvia queda entonces:

$$A_{0,01\%} = 5,5176 \text{ dB} / \text{Km} \cdot 1,12172 \text{ Km} \quad A_{0,01\%} = 17,32 \text{ dB}$$

3.5.5 Potencia recibida en el espacio libre

Para asegurar el buen diseño de un enlace microondas, la potencia recibida en el espacio libre debe ser mayor o al menos igual a la sensibilidad del receptor que es la mínima potencia que puede recibir el equipo para asegurar su correcto funcionamiento. La potencia recibida no es más que la ganancia menos las pérdidas presentes en el enlace. Para este diseño se tiene lo siguiente:

$$P_{REL} (dB) = G_{ATx} + G_{ARx} + P_{Tx} - A_{el} - A_a - A_{lineaTx} - A_{lineaRx} - A_{0,01\%} \quad \text{Ec 3.6}$$

Para este diseño en particular, la ganancia de las antenas es $G_{Tx} = G_{Rx} = 42,5\text{dB}$ y el transmisor tiene una potencia (P_{Tx}) de 30dBm; además se considera 1dB de pérdidas misceláneas. Tomando en cuenta la ecuación 3.6, se tiene que:

$$P_{REL} (dB) = 42,5\text{dB} + 42,5\text{dB} + 30\text{dBm} - 130,4\text{dB} - 0,37\text{dB} - 2,37\text{dB} - 2,37\text{dB} - 17,32 - 1\text{dB}$$

$$P_{REL} (dB) = -38,43 \text{ dBm}$$

3.5.6 Margen de desvanecimiento plano (*Flat fade margin*)

Se conoce como margen de desvanecimiento a la diferencia que existe entre la potencia recibida en espacio libre y el umbral del receptor. El margen de desvanecimiento, asegura el correcto funcionamiento del enlace ya que mientras mayor sea este valor, menor es la probabilidad de interrupción.

De acuerdo a las especificaciones del radio a utilizar, se conoce que para una tasa de de bits errados (BER) de 10^{-6} , el umbral de recepción es de -84dBm; por lo tanto el margen de desvanecimiento será entonces:

$$Md (dB) = -37,43 \text{ dBm} - (-84 \text{ dBm}) \quad Md = 45,57 \text{ dB}$$

4.4.7 Indisponibilidad y confiabilidad del enlace

Los parámetros de indisponibilidad y/o confiabilidad, ayudan a predecir que tan eficiente resulta la implementación de un enlace. El método escogido para realizar este cálculo es el de Vigants Barnett, el cual toma en consideración el margen de desvanecimiento, las características climáticas y la topografía del terreno, para predecir el comportamiento del enlace. [9]

$$P(\%) = 6 \times 10^{-5} \cdot a \cdot b \cdot f \cdot d^3 \cdot 10^{\frac{-Md}{10}} \quad \text{Ec 3.7}$$

$$C(\%) = 100 - P(\%) \quad \text{Ec 3.8}$$

Con las ecuaciones 3.7 y 3.8 calculamos los porcentajes de indisponibilidad y confiabilidad de un enlace respectivamente; de donde:

$a =$	4	Superficies muy húmedas, incluye paso sobre agua
	1	Paso sobre terreno promedio (poco rugoso)
	$1/4$	Paso por montañas, terreno muy rugoso o muy seco

$b =$	$1/2$	Zonas como golfos o costas, (Áreas húmedas y calientes)
	$1/4$	Clima nórdico o temperatura normal
	$1/8$	Zona montañosa o clima seco

f = Frecuencia (GHz)

d = Longitud del enlace (Km)

Md = Margen de desvanecimiento (dB)

$P(\%)$ = Porcentaje de indisponibilidad

$C(\%)$ = Porcentaje de confiabilidad

De acuerdo a lo antes expuesto, para el diseño en cuestión se tiene:

$$P(\%) = 6 \times 10^{-5} \cdot 1 \cdot 1/4 \cdot 14,711 \cdot (5,249)^3 \cdot 10^{\frac{-45,57}{10}}$$

$P = 8,85040557 \times 10^{-7} \%$ que también se puede expresar $P = 0,279106 \text{ Seg/Año}$

$C = 100 - 8,85040557 \times 10^{-7} = 99,999999115 \%$

Debido a que en ambos extremos del enlace el margen de desvanecimiento es igual, entonces los valores de indisponibilidad y confiabilidad son los mismos para ambos sentidos.

Para la solicitud de la habilitación será suministrado un cuadro resumen igual a la tabla 3.2, en la cual se muestran los resultados de los cálculos y las características del enlace de microondas diseñado.

CALCULOS DEL ENLACE		
Nombre del sitio:	Estudio ANTV	Planta Transmisora
A.S.N.M:	921m	1828m
Ubicación: (latitud y longitud)	N 10° 30' 17,2" W 66° 54' 55"	N 10° 31' 51" W 66° 52' 34"
Azimut: (Ref. Norte verdadero)	56° 3' 2"	236° 3' 28"
Ganancia de la Antena:	42,5dB	42,5dB
Longitud de la línea de Tx:	15m	15m
Perdidas en la línea de Tx:	2,37dB	2,37dB
Perdidas Misceláneas	1 dB	
Frecuencia:	14,711 GHz	14,711 GHz
Longitud del enlace:	5,249 Km	
Atenuación por Espacio Libre:	130,4 dB	130,4 dB
Perdidas por Absorción Atmosférica:	0,37 dB	
Índice de Lluviosidad:	100mm/h	
Atenuación por Lluvia:	17,32 dB	
Potencia de Transmisión:	30 dBm	30 dBm
Criterio del Umbral De Rx:	BER 10 ⁻⁶	
Umbral del Receptor:	-84 dBm	-84 dBm
Polarización:	VERTICAL	
Potencia Recibida en Espacio Libre:	-38,43 dBm	-38,43 dBm
Margen de Desvanecimiento Plano:	45,57 dB	45,57 dB
Diversidad:	SIN DIVERSIDAD	
Disponibilidad en un Sentido:	99,999999115%	99,999999115%
Indisponibilidad en un Sentido:	0,279106 Seg/Año	0,279106 Seg/Año

Tabla 3.2 Resumen de las características técnicas del enlace de microondas

CAPITULO IV DIMENSIONAMIENTO DE EQUIPOS

Para las plataformas de radiodifusión y microondas, se realizan cuadros comparativos de las características más importantes de los equipos a utilizar; para así poder escoger cual se adecua mejor a las expectativas del proyecto.

4.1 Plataforma de radiodifusión

La televisión en Venezuela trabaja bajo el formato de video *NTSC*, cuyo nombre es derivado de sus creadores, el *National Television System(s) Committee*; y consiste en la transmisión de 29,97 cuadros de vídeo en modo entrelazado con un total de 525 líneas de resolución y una velocidad de actualización de 30 cuadros de vídeo por segundo y 60 campos de alternación de líneas.

Otro de los formatos implementados en la televisión venezolana es el *BTSC (Broadcast Television Systems Committee)*, el cual es un sistema usado para transmitir sonido estéreo en los sistemas de televisión analógica *NTSC*. El estándar *BTSC* usa una matriz para crear las versiones de suma y diferencia de los dos canales de audio, en lugar de transmitir los canales L y R discretamente.

Se debe mencionar que la plataforma de radiodifusión será instalada en una caseta ubicada en el Cerro El Ávila, Sector Mecedores; la potencia de transmisión disponible para brindar cobertura a la zona de interés es de 30kW para el canal 62 de la banda UHF.

4.1.1 Equipo transmisor de televisión UHF

El equipo transmisor de UHF, debe cumplir con las siguientes características:

- a) Transmisor analógico.
- b) Potencia de transmisión de 30kW
- c) Rango de frecuencias acorde con el canal a transmitir.
- d) Estándar de televisión *NTSC*.
- e) Estándar de audio *BTSC*.

MARCA Y MODELO DEL EQUIPO					
Características Técnicas	HARRIS Atlas	HARRIS Sigma	THALES Ultimate	ABE TX 20000/U	ARMSTRONG SCT-103UB
Transmisor Analógico:	Si	Si	Si	No	Si
Potencia del Transmisor:	2,5kW-30kW	30kW-50 kW	2kW – 60 kW	1,5W –20kW	2,5W – 19kW
Banda UHF:	Si	Si	Si	Si	Si
Estándar de TV:	PAL, NTSC, SECAM	PAL, NTSC, SECAM	PAL, NTSC, SECAM	PAL, NTSC, SECAM	PAL, NTSC, SECAM
Estándar de Audio:	Mono, BTSC, NICAM	Mono, BTSC, NICAM	Mono, BTSC, NICAM	Mono, BTSC, NICAM	Mono, BTSC, NICAM
Relación señal a ruido	60dB (>1KHz)	55dB	< 54dB (0.2 - 5MHz)	_____	> 60dB
Ganancia diferencial:	3%	5%	< 5%	2% - 5%	< 5%
Ganancia de Fase:	3°	3°	< 3°	2° - 3°	< 3°
No-linealidad de Luminancia:	_____	10%	< 5%	_____	< 4%
Cumple con los requerimientos:	No	No	Si	No	No

Tabla 4.1. Transmisores de UHF disponibles

De acuerdo a las características de los equipos presentados en la tabla 4.1, el transmisor UHF que mejor se adapta a las necesidades del proyecto, corresponde al equipo marca *THALES* modelo *Ultimate*¹¹; este descarte se debe a que el rango de potencia que ofrece es el que mejor se adapta a las necesidades del proyecto, donde la potencia requerida es prácticamente la mitad de su capacidad permitiendo una mayor holgura; ya que deben ser considerados los efectos de potencias reflejadas por el desacoplo de la carga con respecto a la línea de transmisión, lo cual implicaría en el ajuste de la potencia.

4.1.2 Antena transmisora de televisión

Básicamente las cualidades que se buscan en la antena son principalmente que cumpla con la banda de frecuencia a transmitir, polarización horizontal, que el patrón de ondas estacionario posea un valor aceptable es decir cercano a uno “1” y además que por la ubicación de la planta transmisora el patrón de radiación tiene que ser de tipo cardioide.

En el mercado actual existen diversas empresas que ofrecen antenas de muy buena calidad, pero para este caso en específico la propuesta es de implementar la marca *RYMSA*.

¹¹ Ver ficha técnica en el anexo 11

Las razones técnicas de la selección de esta antena corresponden a que brinda una relación de ondas estacionarias (VSWR) bastante baja y que además posee una buena ganancia; contando también con que *RYMSA* es una empresa que se encuentra dentro de las primeras en su rango, muy particularmente en Venezuela es usada por varios de los principales canales de televisión como son: Televen, Venezolana de Televisión, Globovisión, Puma TV, entre otros.

La antena transmisora será instalada en el tope de una torre autoportada de 60 metros de altura, para asegurar una mejor cobertura. Además esta torre será compartida con la estación Ávila TV, canal que aún no se encuentra en operación. Las características de esta antena se resumen en la tabla 4.2.

La torre autoportada es fabricada por la empresa *Privinci, C.A*¹², quienes se ajustan a un sistema de calidad basado en las normas ISO-9001, y fue adquirida por el canal ANTV, previo inicio del proyecto en cuestión.

ANTENA UHF, MARCA RYMSA	
País de Fabricación:	España
Banda de Frecuencias:	B-IV/V (470 – 860 MHz)
Número de Elementos o Bays:	5 por tres caras (5 –5 – 5)
Número de Paneles:	15
Polarización:	Horizontal
Ganancia Máxima:	13 dB
Impedancia:	50 Ω
Conector de Entrada:	EIA 3 1/8"
VSWR:	1,10:1

Tabla 4.2. Características de la antena transmisora de televisión

4.1.2.1 Grado de elevación de la antena

El grado de elevación de la antena transmisora o “*Tilt*”, se calcula simplemente escogiendo varios puntos de recepción en la zona de cobertura y luego con la diferencia de altura y la distancia entre la planta de transmisión y la locación escogida, se calcula el

¹² Sitio web: <http://www.privinci.com/torres.html>

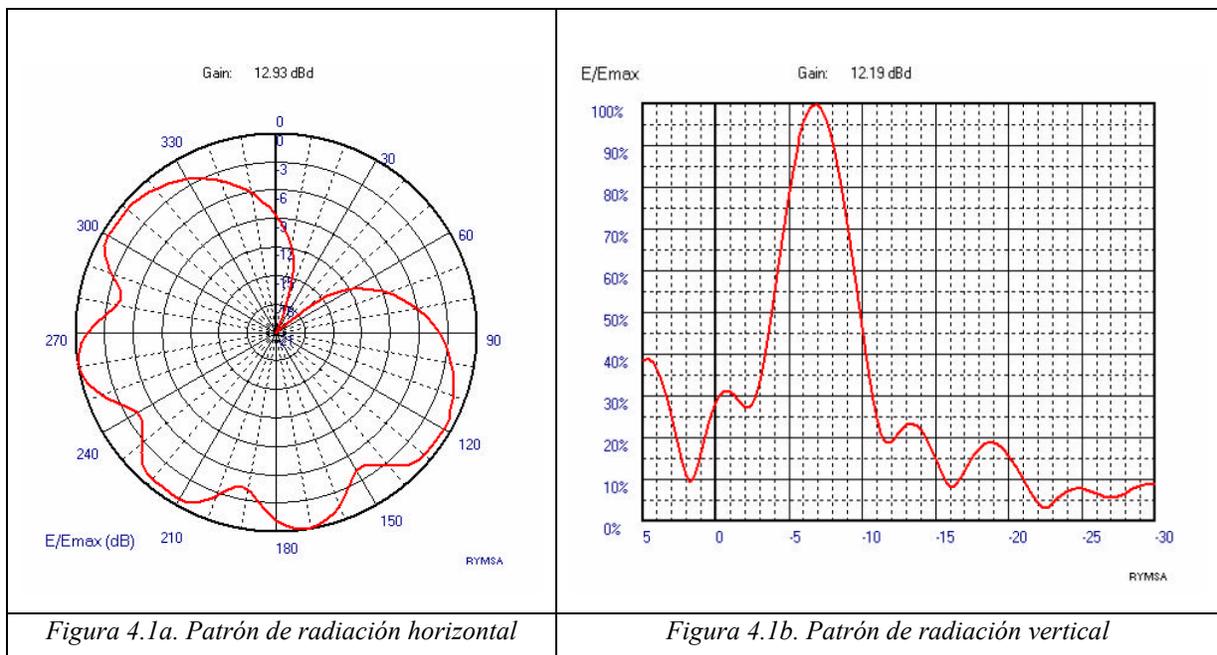
ángulo de elevación o depresión entre ambas. Luego el promedio de estos ángulos será entonces el *tilt* de la antena transmisora. En el diseño resultó ser de seis grados (6°). En el anexo 10 se muestra la tabla correspondiente a los sitios tomados para este cálculo, junto con las distancias alturas y ángulos de cada una de las localidades.

De acuerdo al patrón de radiación vertical mostrado en la figura 4.1b, no es necesario un ajuste mecánico del ángulo de inclinación.

4.1.2.2 Patrones de radiación

Los patrones de radiación específicos de la antena a implementar, son entregados por el fabricante una vez que se procesa la orden de compra formal; es por ello que solo pueden ser descargados de la página web de la empresa los patrones de radiación generales¹³.

En el diseño realizado la dirección de la antena se ajusta al patrón de radiación vertical, haciendo coincidir el radial 0° con el norte verdadero.



¹³ El patrón de radiación general RYMSA para antenas cardioides se encuentra en el anexo 12

RADIAL	%V	E/Emáx (H) dB
0°	1,00	-8,5
20°	1,00	-17,0
40°	1,00	-30,0
60°	1,00	-12,0
80°	1,00	-6,0
100°	1,00	-2,5
120°	1,00	-0,5
140°	1,00	-1,5
160°	1,00	-2,8
180°	1,00	-1,5
200°	1,00	-1,5
220°	1,00	-0,5
240°	1,00	-5,8
260°	1,00	-0
280°	1,00	-5,8
300°	1,00	-0,5
320°	1,00	-1,5
340°	1,00	-4,0

Tabla 4.3. Patrón de radiación horizontal y vertical considerando un tilt de 6° en todos los radiales

4.1.3 Equipos de procesamiento y monitoreo de la señal de audio

La señal de audio debe ser acondicionada para poder ser transmitida, es por ello que se necesita de un procesador de audio que permita alcanzar una excelente calidad de audio y mantener una buena resistencia al ruido, para así mantener un rango aceptable para el usuario del servicio; también somete el ruido subjetivo de manera de prevenir el ruido de los anuncios comerciales, ya que estos pueden estar grabados en diferentes niveles. Este equipo además de cumplir con el formato de audio deseado, se debe poder controlar remotamente para así tener la opción de realizar cambios en su configuración desde el estudio de televisión o desde cualquier otro lugar que se desee.

El otro equipo utilizado es un monitor de modulación estéreo, el cual se encargara de medir, analizar y monitorear todas las características de funcionamiento de la señal compuesta de audio BTSC; para así asegurar un nivel de audio apropiado. Este equipo también elimina los picos erróneos, causados por multitrayectoria e interferencia.

Estos equipos fueron seleccionados por el jefe de proyecto, la justificación de esta selección no es más que la calidad de funcionamiento de estos, en comparación con su respectiva competencia. Los equipos seleccionados son presentados en la tabla 4.4.

PROCESADOR DE AUDIO		MONITOR DE MODULACION BTSC	
Marca:	ORBAN CRL	Marca:	TFT INC
Modelo:	OPTIMOD –TV 8382	Modelo:	850
Características:	Ver anexo 13	Características:	Ver anexo 14

Tabla 4.4. Equipos de procesamiento y monitoreo de la señal de audio



Figura 4.2. Procesador de audio



Figura 4.3. Monitor de modulación

4.2 Enlace de microondas

4.2.1 Equipo transmisor de microondas

Para la selección del radio de microondas a usar, se debe tomar en consideración un sistema analógico donde la banda de operación contenga el radiocanal a la frecuencia de libre 14,711 GHz, y que además posea una buena sensibilidad de recepción.

Características Técnicas del Radio:	MARCA Y MODELO DEL EQUIPO			
	NUCOMM, Nulink	MICROWAVE RADIO COMMUNICATION, DAR	CTE ELIT, EL Series	ABE, PM Series
Sistema Analógico:	Si	Si	Si	Si
Banda de Frecuencia	14,5 – 15,35GHz	14,4 – 15,35GHz	12 – 14GHz	14,25 – 14,5GHz
Potencia de Tx:	30 dBm	30dBm	30dBm	30dBm
Estabilidad en Frecuencia:	±0,0005%	±0,001%	±0,001%	≥ ± 0,0035%
Ganancia Diferencial:	1%	1%	2%	≤1%
Fase Diferencial:	± 1°	± 2°	2°	≤ 1°
Figura de Ruido del Rx:	4dB	4dB	5dB	≤ 9dB
Sensibilidad del Receptor:	-84dBm	-84dBm	-86dBm	-90dBm
Tipo de Conector:	WR62	WR62	Hembra tipo N	-----
Cumple con los Requerimientos:	Si	Si	No	No

Tabla 4.5. Radios de microondas disponibles

De acuerdo con la tabla 4.5 se tienen dos radios transmisores que cumplen con los parámetros del diseño. Sin embargo, el equipo a utilizar es el Nulink de *NUCOMM*¹⁴ ya que este aparte de cumplir con los aspectos técnicos del diseño, posee una mejor estabilidad en frecuencia; además *NUCOMM* es una marca reconocida en su ámbito y ofrece dos años de garantía para el producto.

4.2.2 Antena de microondas

La antena para el enlace estudio planta seleccionada es de marca *ANDREWS*; esta fue seleccionada por su reconocida trayectoria en la industria de las telecomunicaciones.

Una de las características importantes que debe poseer una antena en un enlace punto a punto, es una buena relación frente/espalda lo cual indica al proyectista que tan directiva es la antena es cuestión. El por qué de la escogencia de esta antena en particular, con respecto a las otras de su misma marca, radica en que para la frecuencia de trabajo posee una mejor relación frente/espalda; tomando en consideración la ganancia de la misma.

Las características de la antena de microondas¹⁵ a implementar se presentan a continuación en la tabla 4.6.

Modelo	Tipo de Antena	Frecuencia (GHz)	Diámetro (pies/mts)	Ganancia	VSWR	Relación Frente/Espalda
PX4-144	Parabólica	14,4 – 15,35	4 / 1,2	42,5 dBi	1,10	48 dB

Tabla 4.6. Características de la antena microondas

En los estudios, la antena parabólica del enlace estará montada en un mástil sobre la azotea del edificio alcanzando una altura de 25 metros sobre la cota del terreno. Y en la planta transmisora se instalara la antena en una torre autosoportada a 10 metros de altura sobre la cota del terreno.

4.3 Líneas de transmisión

Para las plataformas de microondas y radiodifusión la línea de transmisión a usar pertenece a la marca *ANDREW*. Para la interconexión del radio de microondas con la antena se pretende usar la guía de ondas elíptica modelo *EW132*; mientras que para la conexión del transmisor UHF con la antena se usará el cable coaxial modelo *HJ9HP-50*.

¹⁴ Ver ficha técnica en el anexo 15

¹⁵ Ver ficha técnica en el anexo 16

Estas líneas de transmisión, tienen un valor más bajo de pérdidas por metro de acuerdo para las frecuencias de trabajo; es por eso que fueron seleccionadas entre los demás modelos.

4.3.1 Características de las líneas de transmisión

La información mostrada en la tabla 4.7, concerniente a las características del cable coaxial y de la guía de ondas elíptica, es obtenida de acuerdo con las hojas de datos en los anexos 17 y 18 respectivamente.

CABLE COAXIAL		GUIA DE ONDAS ELIPTICA	
Marca:	ANDREW	Marca:	ANDREW
Modelo:	HJ9HP-50	Modelo:	EW132
Dieléctrico:	Aire	Atenuación @ 14,7GHz:	15,8dB/100m
Impedancia:	50Ω	Potencia Promedio:	0,855kW
Velocidad de Propagación:	96,4%	Velocidad de Propagación:	78,5%
Atenuación:	0,88dB/100m	Conectores:	ANDREW PDR140
Potencia Pico:	1690kW		
Potencia Promedio:	50kW		
Diámetro interno:	127mm		
Longitud de la línea:	60m		

Tabla 4.7. Características de las líneas de transmisión

4.4 Plantas eléctricas de emergencia

Para el respaldo de energía de los equipos en el estudio y en la planta de televisión, se sugieren utilizar las plantas eléctricas de marca *Cummins* y modelos DGCG 60Hz y DGBC 60Hz; cuyos parámetros técnicos pueden observarse en los anexos 19 y 20 respectivamente.

Para la planta transmisora se sugiere el modelo DGCG 60Hz de 80kW y 100kVA; mientras que para el estudio de televisión la DGBC 60Hz de 40kW y 50kVA.

4.5 Descripción del sistema de aterramiento en planta transmisora

La torre tendrá su sistema de luces de Balizaje y un pararrayos que acompañará al sistema de aterramiento de la planta transmisora, el cual estará formado por unas barras enterradas *Copperweld* en el exterior de la caseta; estas barras van unidas entre sí por un cable desnudo subterráneo, formando un halo de tierra externo que rodeará la caseta.

Las barras a enterrar proporcionan la baja resistividad necesaria para asegurar que los picos de corriente sean efectivamente llevados a tierra en caso de una descarga. Adicionalmente, se colocarán las barras colectoras de aterramiento en el interior y exterior de la caseta y se unirán a un halo de tierra interno, formado por un cable de cobre sólido #6, que será instalado a lo largo de las paredes de la caseta.

El propósito de las barras colectoras y del halo de tierra, es proporcionar un punto de concentración de hilos de tierra provenientes de los equipos y asegurar la misma referencia para todos, de esta forma se evitan corrientes parásitas debido a diferencias de potencial en las referencias al igual que se protegen los equipos en caso de descargas electromagnéticas.

4.6 Diagrama de bloque de la estación de televisión

En la figura 4.3, se presenta el diagrama de bloques correspondiente a la estación de televisión diseñada, de acuerdo a todos los equipos de telecomunicaciones involucrados en la plataforma.

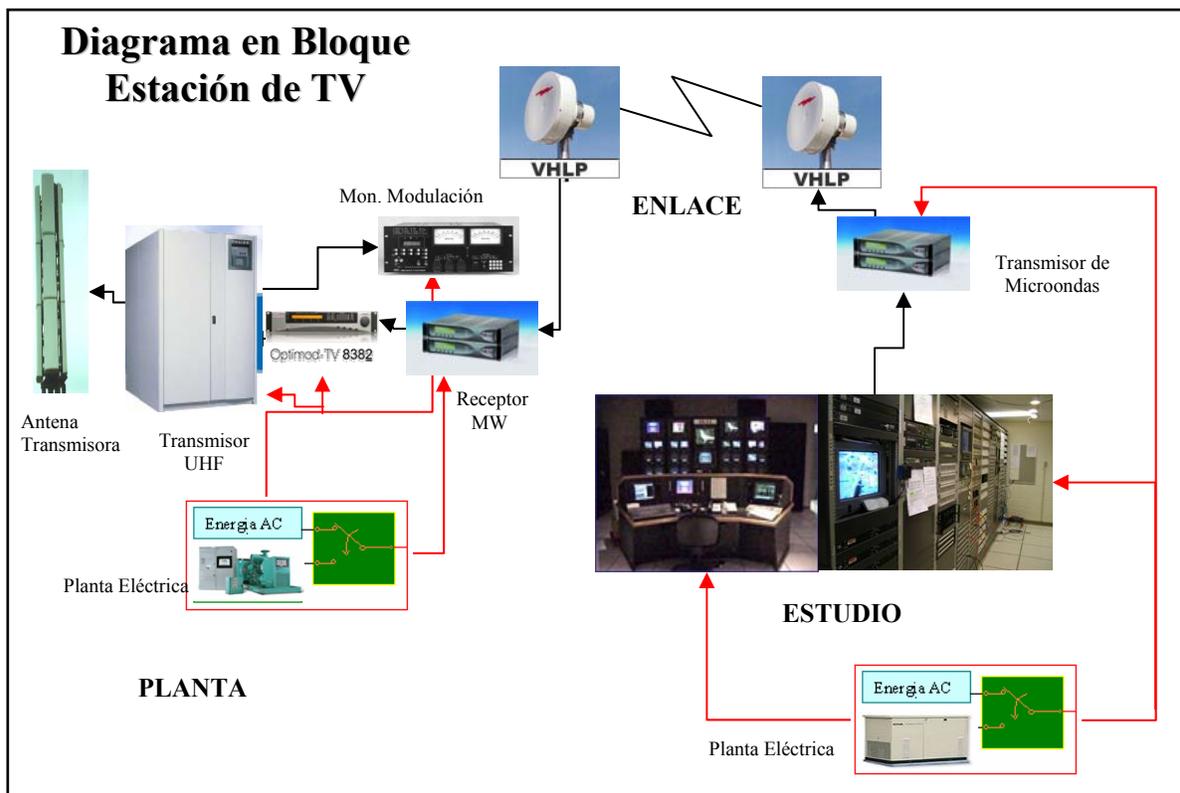


Figura 4.4. Diagrama de bloque de la estación de televisión

CONCLUSIONES

- Se puede afirmar que se cumplieron en una buena proporción los objetivos previstos al principio del proyecto, obteniendo un resultado bastante satisfactorio. En términos de cobertura, aproximadamente el 80% del área los municipios del Distrito Capital podrán contar con el servicio de televisión abierta del canal 62 ANTV; conforme a los resultados obtenidos.
- Cuando se compara el trazado de cobertura generado en *Radio Mobile* con los diagramas realizados bajo método FCC, se observa la existencia de ciertas zonas de sombra (en el contorno generado por *Radio Mobile*) dentro del área de servicio, por lo cual se concluye que el método de cálculo de la FCC, no toma en consideración las características de topografía accidentada sobre el medio de propagación, tales como valles o obstrucciones que introducen atenuaciones adicionales generando así zonas de sombra; y en consecuencia se puede decir que los métodos para predicción de cobertura son solo una aproximación a la realidad, y deben ser considerados como una guía que permite evaluar los niveles de campo deseados en un área específica.
- El aumento de la potencia en el transmisor ubicado en Mecedores no es suficiente para cubrir las zonas de sombra existentes, debido a la topografía del terreno. Para brindar una cobertura más eficiente se debe de contar con otras plantas transmisoras ubicadas en sitios estratégicos, y así reducir las zonas de sombras.
- Se pudo constatar que no existe posibilidad de interferencia hacia estaciones de televisión que se encuentran en localidades cercanas a la planta transmisora del diseño realizado.
- Se espera una alta confiabilidad en el enlace microondas de acuerdo a los cálculos realizados (99,999999115%) sin embargo, la influencia de las características del trayecto, el ambiente de propagación y los factores atmosféricos, juegan un papel muy importante en el comportamiento del enlace; afectando directamente la eficiencia de la transmisión.

- Actualmente existe en el mercado una gran variedad de equipos de diferentes características y capacidades, que le permiten al proyectista seleccionar aquellos que mas se ajusten a sus requerimientos.
- Las recomendaciones emanadas por los organismos reguladores de las telecomunicaciones a nivel mundial (UIT, FCC) constituyen herramientas muy importantes para el proyectista, a la hora de realizar este tipo de estudios.

RECOMENDACIONES

- Existen en la actualidad una variedad de programas para predicción de cobertura, que toman en consideración las características del trayecto de propagación, los aspectos climáticos y atmosféricos, entre otros, con los cuales; pueden obtenerse resultados mas completos y aproximados a la realidad. Es por ello que se recomienda el uso de este tipo de programas, que a pesar de sus altos costos constituyen una herramienta idónea para el proyectista, al momento de realizar estudios de radiodifusión.
- Se recomienda acudir a CONATEL, que como organismo regulador de las telecomunicaciones en Venezuela, presta toda la información necesaria para la elaboración y presentación de proyectos.
- A la hora de seleccionar cualquier equipo es recomendable estudiar la trayectoria del fabricante, ya que por el alto costo de los mismos se hace necesario garantizar la confiabilidad de la inversión.
- Es importante utilizar personal técnico capacitado a la hora de la instalación y puesta en marcha de los equipos, ya que de ellos depende el correcto funcionamiento de la plataforma de televisión.
- Para poder cuantificar que tan cercano a la realidad es el diseño realizado, una vez puesta en funcionamiento la plataforma de televisión, es recomendable hacer mediciones de los niveles de señal en ciertas áreas; y así con estos datos poder elaborar una comparación entre las mediciones de campo y los resultados teóricos.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- [1] <http://www.itu.int/ITU-R/terrestrial/seminars/glossary/index-es.html>.
- [2] Recomendación UIT-R P.341-4, *Noción de pérdidas de transmisión en los enlaces radioeléctricos*.
- [3] Publications of the telecommunication group.
http://tele1.dee.fct.unl.pt/csf_2003_2004/folhas/introducao.pdf.
- [4] http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lem/trevino_c_jt
- [5] Recomendación UIT-R P.529-2, *Métodos de predicción requeridos para el servicio móvil terrestre terrenal en las bandas de ondas métricas y decimétricas*.
- [6] <http://www.cft.gob.mx/cofetel/html/agitec/cuadro/region.html>.
- [7] LEE, William C.: *Mobile Communications Engineering*, Mc Graw Hill, 1982, pp125-129.
- [8] HERNANDO, José María.: *Transmisión por Radio*, Editorial Universitaria Ramón Areces, 2006. pp 174-176.
- [9] FREEMAN, Roger L.: *Radio System Desing for Telecommunications (1-100Ghz)*, John Wiley & Sons, 1997. pp 65

BIBLIOGRAFIA

BULLINGTON, Kenneth. Radio Propagation for Vehicular Communications, IEEE, 1977.

FCC. Code of Federal Regulations Telecommunications, 1986.

GOODING, Clemente. Apuntes de Sistemas de Telecomunicaciones III. Caracas: Universidad Central de Venezuela, 1995.

HERNANDO, José María. Transmisión por Radio, Editorial Universitaria Ramón Areces, 2006.

LEE, William C. Mobile Communications Engineering, Mc Graw Hill, 1982.

National Association of Broadcasters. Engineering Handbook, 7° Edición, Washinngton: 1985.

Recomendación UIT-R P.530-10. Datos de propagación y métodos de predicción necesarios para el diseño de sistemas terrenales con visibilidad directa.

Recomendación UIT-R P.837-3. Características de la precipitación para establecer modelos de propagación.

Recomendación UIT-R P.838-1. Modelo de la atenuación específica debida a la lluvia para los métodos de predicción.

REED, Jacobson. Programación con Microsoft Excel 2002 Macros y Visual Basic para Aplicaciones, Mc Graw Hill, 2002.

TOMASI, Wayne. Sistemas de Comunicaciones Electrónicas, segunda edición. México: Prentice Hall, 1996.

Comisión Nacional de Telecomunicaciones. CONATEL [en línea]
< <http://www.conatel.gov.ve/homolog/raetel.htm>> [Consulta 2007]

Diseño automatizado de enlaces microondas sobre sistemas de información geográfica [en línea].
<http://www.aciem.org/bancoconocimiento/e/enlacesmicroondas/microondas.pdf> [Consulta 2007]

Federal Communications Commission. FCC [en línea]
<<http://search.fcc.gov/query.html>> [Consulta 2007]

Getting started in Radio Mobile. [en línea]
< http://www.cplus.org/rmw/getting_started.html> [Consulta 2007]

Microwave link desing. [en línea]
<http://www.tcil-india.com/new/new_site/white/Design.ppt> [Consulta 2007].

Terrestrial broadcasting systems. [en línea]
<<http://aniak.uni.edu.pe/tv/terrest.ppt>> [Consulta 2007]

Wikipedia, la enciclopedia libre. [en línea]
<<http://es.wikipedia.org/wiki/Portada>> [Consulta 2007]