

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

DISEÑO DE UN SISTEMA DE RADIOCOMUNICACIONES QUE OPERA EN LAS BANDAS UHF Y VHF DE UNA PLANTA DE TELEVISIÓN NACIONAL EN LAS CIUDADES: CARACAS, PUERTO LA CRUZ Y PUERTO ORDAZ

Prof. Guía: Ing. Bruzual, Zeldivar
Tutor Industrial: Ing. Guzmán, Luis

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela
por el Br. Ortiz O. Rafael A.
para optar al Título de
Ingeniero Electricista

Caracas, 2017

CONSTANCIA DE APROBACIÓN

Caracas, 22 de marzo de 2017

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 Rafael A. Ortiz O., titulado:

“DISEÑO DE UN SISTEMA DE RADIOCOMUNICACIONES QUE OPERA EN LAS BANDAS UHF Y VHF DE LA PLANTA DE TELEVISIÓN NACIONAL EN LAS CIUDADES: CARACAS, PUERTO LA CRUZ Y PUERTO ORDAZ”

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


Prof. Carolina Regoli
Jurado


Prof. Franklin Martinez
Jurado


Prof. Zeldimir Bucuzal
Prof. Guía

DEDICATORIA

Este trabajo de grado está dedicado a:

A: **DIOS** Padre, **JESUS** hijo de DIOS, a todos **LOS ANGELES** y **LOS 7 ARCANGELES**.

Mis Abuelos: **GERARDO ANTONIO OLIVO** y **JUANA ROMERO; EUSTOQUIO ORTIZ** y **AGUSTINA TORRES**.

Mis adorados y amados Padres: **RAFAEL ARNALDO ORTIZ TORRES** y **XIOMARA JOSEFINA OLIVO ROMERO**.

Mi Tía y Madre: **SORANGEL OLIVO**.

Mis Tíos, Padrinos y Padres: **DANIEL ABELARDO OLIVO ROMERO** y **ROSA MARIA ZAMORA**.

Mi Pareja y Esposa: **ASBINA IXCHEL MARIN SEVILLA**.

Mi hna. mayor: **KENYA LIZMAR ORTIZ OLIVO**.

Mis demás familiares...

Todo público en general que logre encontrar una inspiración, motivación, guía, orientación y ayuda en este trabajo de grado.

RECONOCIMIENTOS y AGRADECIMIENTOS

A: **DIOS** Padre, **JESUS** hijo de DIOS, a todos **LOS ANGELES** y **LOS 7 ARCANGELES**.

Mis Abuelos: **GERARDO ANTONIO OLIVO** y **JUANA ROMERO**; **EUSTOQUIO ORTIZ** y **AGUSTINA TORRES**.

Mis adorados y amados Padres: **RAFAEL ARNALDO ORTIZ TORRES** y **XIOMARA JOSEFINA OLIVO ROMERO**.

Mi Tía y Madre: **SORANGEL OLIVO**.

Mis Tíos, Padrinos y Padres: **DANIEL ABELARDO OLIVO ROMERO** y **ROSA MARIA ZAMORA**.

Mi Pareja y Esposa: **ASBINA IXCHEL MARIN SEVILLA**.

Mi hna. mayor: **KENYA LIZMAR ORTIZ OLIVO**.

Mi tío **DAVID ANTONIO OLIVO ROMERO** y Todos mis demás **FAMILIARES...**

Tutores: Ing. **LUIS GUZMAN** (T. Industrial) e Ing. **ZELDIVAR BRUZUAL** (T. Académico).

Profesores y/o Maestros: Lic. **CARLOS ORTIZ**, Lic. **EDGAR ARGENIS OLIVO ROMERO**, **GERARDO NIETO**, **LISGRET BELLORIN**, **EDUARDO ALVAREZ**, Ing. **JOSE LUIS COLMENARES** y **MIGUEL VISBAL**

A mis amigas y amigos incondicionales:

Madrinas Incondicionales: Ing. **CAROLINA REGOLI**, Ing. **MARIA EUGENIA ALVAREZ**, Lic. **MARIA AUXILIADORA**, Lic. **BELKYS VASQUEZ**, Lic. **XIOMARA MARTINEZ**, Lic. **LEUDITH FIGUERA** y Lic. **DIANA COVA GODOY**.

Hnos. de la vida: Ing. **PABLO ROMERO**, **GABRIEL GIL** e Ing. **VICTOR GONZALEZ**.

Ortiz O., Rafael A.

DISEÑO DE UN SISTEMA DE RADIOCOMUNICACIONES QUE OPERA EN LAS BANDAS UHF Y VHF DE UNA PLANTA DE TELEVISIÓN NACIONAL EN LAS CIUDADES: CARACAS, PUERTO LA CRUZ Y PUERTO ORDAZ

Profesor Guía: Ing. Bruzual Zeldivar. **Tutor Industrial:** Ing. Guzmán Luis. **Tesis.** Caracas. U.C.V. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Eléctrica. **Ingeniero Electricista. Opción:** Comunicaciones. **Institución:** TELEVEN. 2017. **100h + anexos.**

Palabras claves: sistemas de radiocomunicaciones; radioenlace; tecnología UHF y VHF; potencia de transmisión; antenas; ganancia de las antenas; UIT-R; CONATEL; software Radio Mobile.

Resumen. Se plantea el diseño de un sistema de radiocomunicaciones para la planta de televisión TELEVEN en las ciudades: Caracas, Puerto La Cruz y Puerto Ordaz, con el propósito de mantener comunicaciones en tiempo real con los operadores de las estaciones para la supervisión, control y corrección de fallas en tiempo real. Para cumplir esta meta se evaluaron las condiciones de operatividad y disponibilidad de las estaciones, de los equipos y las características geográficas de las ciudades en estudio. Esto se hizo aplicando el conocimiento sobre la tecnología de los sistemas de radio en UHF y VHF, las recomendaciones internacionales de la UIT-R, las normalizaciones de CONATEL y con la ayuda del software de uso libre Radio Mobile. Se determinaron los parámetros mínimos necesarios tales como: potencia en transmisores, ganancia de las antenas y altura de las torres y el levantamiento de los perfiles de cada uno de los radioenlaces determinando la confiabilidad y disponibilidad del sistema. En el trabajo se presenta el análisis de resultados que permitió obtener un informe técnico detallado que satisface las necesidades de la planta y las normas nacionales (CONATEL).

INDICE GENERAL

CONSTANCIA DE APROBACIÓN.....	ii
DEDICATORIA.....	iii
RECONOCIMIENTOS y AGRADECIMIENTOS.....	iv
RESÚMEN.....	v
ÍNDICE.....	vi
ÍNDICE DE TABLA.....	xvi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xvii
LISTA DE SIGLAS.....	xx
LISTA DE ACRÓNIMOS.....	xx
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I.....	3
ANTECEDENTES.....	3
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	3
JUSTIFICACIÓN.....	4
OBJETIVO GENERAL.....	5
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	5
METODOLOGÍA.....	6
CAPÍTULO II.....	9
FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....	9

2.- Características de la tecnología de los sistemas de radiocomunicaciones que operan en las bandas UHF y VHF.....	10
2.1 Sistemas de radiocomunicaciones móviles terrestres.....	10
2.1.1 Bandas de frecuencias.....	11
2.1.2. Sistemas de radiocomunicaciones privadas de VHF y UHF.....	12
2.2 Sistemas de radios troncalizados para VHF y UHF.....	12
2.3 Propagación.....	12
2.3.1 Propagación de ondas terrestres sobre tierra plana.....	12
2.3.2 Propagación de ondas terrestres sobre tierra esférica.....	13
2.3.3 Propagación por onda espacial.....	13
2.3.4 Propagación por Reflexión.....	13
2.3.5 Propagación por Difracción.....	14
2.3.6 Propagación por Refracción.....	14
2.3.7 Propagación por Dispersión.....	16
2.4 Desvanecimientos.....	17
2.4.1 Desvanecimientos por Obstáculos.....	17
2.4.2 Desvanecimientos por Reflexión.....	17
2.4.3 Desvanecimientos por Multitrayectoria.....	17
2.5 Canales de Radio.....	18
2.5.1 Canal de Propagación.....	18
2.5.2 Canal de Radio.....	19

2.5.3 Canal de Modulación.....	19
2.5.4 Canal Digital.....	19
2.6 Bandas de frecuencia.....	20
2.6.1 Los rangos de frecuencia de las bandas UHF y VHF.....	20
2.6.2 Las longitudes de onda de las bandas UHF y VHF.....	21
2.7 Antenas.....	21
2.7.1 Patrón de radiación.....	23
2.7.2 Relación Adelante – Atrás.....	24
2.7.3 Reciprocidad.....	24
2.7.4 Antena Isotrópica.....	24
2.7.5 Ganancia directiva y directividad.....	25
2.7.6 Ganancia de una antena.....	26
2.7.7 Ancho de Banda.....	27
2.7.8 Ancho del haz a 3 dB.....	28
2.7.9 Polarización.....	29
2.7.10 Área efectiva.....	30
2.7.11 Resistencia al viento.....	31
2.7.12 Impedancia de una antena.....	31
2.8 Tipos de antenas.....	32
2.8.1 Dipolos lineales.....	31

2.8.1.1 Dipolo corto real.....	33
2.8.1.2 Dipolo de $\lambda/2$	34
2.8.1.3 Dipolo tipo Yagi.....	35
2.9 Zona de Fresnel.....	36
2.10 Recomendaciones internacionales establecidas por la UIT-R para sistemas de Radiocomunicaciones.....	43
2.11 Normalizaciones establecidas por CONATEL para sistemas de radiocomunicaciones a nivel nacional.....	44
2.12 Métodos para cálculos de propagación.....	45
2.12.1 Métodos de Propagación Okumura.....	45
2.12.2 Métodos de Propagación Okumura Hata.....	45
2.12.3 Método de Propagación COST 231.....	45
2.12.4 Métodos de Propagación Longley Rice.....	45
2.13 Software de uso libre Radio Mobile.....	51
CAPÍTULO III.....	53
3. DISEÑO Y CÁLCULOS.....	53
3.1 Características y condiciones de operatividad de las estaciones y los radioenlaces.....	53
3.1.1 Distribución actual a nivel nacional de los equipos de transmisión (Tx) del sistema de radiocomunicaciones.....	54
3.1.2 Distribución actual a nivel nacional de las antenas del sistema de radiocomunicaciones.....	56

3.2 Parámetros de entrada del software de uso libre Radio Mobile.....	57
3.2.1 Refractividad.....	57
3.2.2 Conductividad.....	58
3.2.3 Permitividad.....	58
3.2.4 Tipos de clima.....	59
3.2.4.1 Clima Ecuatorial.....	59
3.2.4.2 Clima Marítimo Templado sobre Mar.....	59
3.2.5 Modo Estadístico.....	59
3.2.5.1 Difusión: % de Tiempo, % de Ubicaciones y % de Situaciones.....	59
3.2.6 Frecuencia de trabajo.....	60
3.2.7 Polarización.....	60
3.3 Redistribución a nivel nacional de los equipos de transmisión (Tx) del diseño del sistema de radiocomunicaciones.....	61
3.4 Redistribución a nivel nacional de las antenas del diseño del sistema de radiocomunicaciones.....	65
3.5 Determinación de los parámetros mínimos necesarios de cada uno de los radioenlaces con el apoyo del software de uso libre Radio Mobile.....	69
3.5.1 Radioenlace EL VOLCÁN – SABANA LARGA.....	69
3.5.1.1 Descripción de la estación de Transmisión el Volcán.....	69
3.5.1.2 Descripción de la estación de Transmisión Sabana Larga.....	70
3.5.1.3 Enlace de Radio.....	71

3.5.1.4 Perfil topográfico.....	74
3.5.1.5 Cobertura Visual.....	75
3.5.1.6 Cobertura de Radio Fresnel.....	75
3.5.1.7 Cobertura de Radio Polar.....	76
3.5.1.8 Distribución estadística.....	77
3.5.1.9 Detalles de cálculo del radioenlace.....	78
3.6 Radioenlaces de comunicación en mapa topográfico de la cobertura de CARACAS (LA GRAN CARACAS).....	79
3.6.1 Radioenlaces de comunicación en mapa político de la cobertura de CARACAS (LA GRAN CARACAS).....	81
3.7 Radioenlaces de comunicación en mapa topográfico de la cobertura de PUERTO LA CRUZ.....	82
3.7.1 Radioenlaces de comunicación en mapa político de la cobertura de PUERTO LA CRUZ.....	83
3.8 Radioenlaces de comunicación en mapa topográfico de la cobertura de CARACAS (LA GRAN CARACAS) A PUERTO LA CRUZ.....	84
3.8.1 Radioenlaces de comunicación en mapa político de la cobertura de CARACAS (LA GRAN CARACAS) A PUERTO LA CRUZ.....	85
3.9 Radioenlaces de comunicación en mapa topográfico de la cobertura de PUERTO LA CRUZ A PUERTO ORDAZ.....	86
3.9.1 Radioenlaces de comunicación en mapa político de la cobertura de PUERTO LA CRUZ A PUERTO ORDAZ.....	87
3.10 Sistema de radiocomunicaciones en mapa topográfico a nivel nacional de La Planta TELEVEN.....	88

3.10.1 Sistema de radiocomunicaciones en mapa político a nivel nacional de La Planta TELEVEN.....	89
3.11 Sistema de radiocomunicaciones en mapa topográfico a nivel nacional de La Planta TELEVEN del diseño solución.....	90
3.11.1 Sistema de radiocomunicaciones en mapa político a nivel nacional de La Planta TELEVEN del diseño solución.....	91
CAPÍTULO IV.....	92
CONCLUSIONES.....	92
RECOMENDACIONES.....	94
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	96
BIBLIOGRAFÍAS.....	100
ANEXOS.....	106

ANEXOS 1. CAPITULO II

2.7 Antenas

2.10 Las Recomendaciones de la UIT-R

2.11 Normalizaciones establecidas por CONATEL

2.12 Métodos para cálculos de propagación

ANEXOS 2. CAPITULO III

3.1 Valores de índice troposférico

3.2 Modelo de Longley Rice para calcular Ns

3.5 Determinación de los parámetros mínimos necesarios de cada uno de los radioenlaces con el apoyo del software de uso libre Radio Mobile

UHF:

3.5.2 Radioenlace SABANA LARGA – PUERTO LA CRUZ

3.5.2.1 Descripción de la estación de Transmisión Sabana Larga

3.5.2.2 Descripción de la estación de Transmisión Puerto La Cruz

3.5.2.3 Enlace de Radio

3.5.2.4 Perfil topográfico

3.5.2.5 Cobertura Visual

3.5.2.6 Cobertura de Radio Fresnel

3.5.2.7 Cobertura de Radio Polar

3.5.2.8 Distribución estadística

3.5.2.9 Detalles de cálculo del radioenlace

3.5.3 Radioenlace SABANA LARGA – LA CORONA

3.5.4 Radioenlace LA CORONA – PUERTO ORDAZ

LA GRAN CARACAS

3.5.5 Radioenlace EL VOLCÁN – HORIZONTE (LA PLANTA TELEVEN)

3.5.6 Radioenlace EL VOLCÁN – EL CUÑO

3.5.7 Radioenlace EL CUÑO – AUYARITO

3.5.8 Radioenlace EL VOLCÁN – LOS TEQUES

3.5.9 Radioenlace EL VOLCÁN – CARICUAO

3.5.10 Radioenlace EL VOLCÁN – LITORAL CENTRAL

3.5.10.1 Radioenlace EL VOLCÁN – CASTILLITO

3.5.10.2 Radioenlace CASTILLITO – CERRO BLANCO

3.5.10.3 Radioenlace CERRO BLANCO – LITORAL CENTRAL

3.5.11 Radioenlace EL VOLCÁN – HIGUEROTE

3.5.11.1 Radioenlace SABANA LARGA – HIGUEROTE

3.5.12 Radioenlace SABANA LARGA – NUEVA ESPARTA

3.5.13 Radioenlace PUERTO ORDAZ – CIUDAD BOLÍVAR

3.5.14 Radioenlace LA CORONA – EL TIGRE

3.5.15 Radioenlace LA CORONA – MATURIN

3.5.16 Radioenlace LA CORONA – TUCUPITA

3.5.17 Radioenlace EL VOLCÁN – PUERTO CABELLO

3.5.17.1 Radioenlace CASTILLITO – PUERTO CABELLO

- 3.5.18 Radioenlace LOS TEQUES – PLATILLON
- 3.5.19 Radioenlace PLATILLON – VALLE DE LA PASCUA
- 3.5.20 Radioenlace PLATILLON – SAN FERNANDO, APURE
- 3.5.21 Radioenlace PLATILLON – ACHAGUAS
- 3.5.22 Radioenlace PLATILLON – MARACAY
- 3.5.23 Radioenlace PLATILLON – VALENCIA
- 3.5.24 Radioenlace PLATILLON – BARQUISIMETO
- 3.5.25 Radioenlace PLATILLON – ARAURE
- 3.5.26 Radioenlace BARQUISIMETO – CORO
- 3.5.27 Radioenlace CORO – CARORA
- 3.5.28 Radioenlace ARAURE – BOCONÓ
- 3.5.29 Radioenlace BOCONÓ – VALERA
- 3.5.30 Radioenlace VALERA – MARACAIBO
- VHF
- 3.5.31 Radioenlace VALERA – SAN TELMO
 - 3.5.31.1 Radioenlace VALERA – CERRO AZUL
 - 3.5.31.2 Radioenlace CERRO AZUL – SAN TELMO
- 3.5.32 Radioenlace SAN TELMO – MÉRIDA
- 3.5.33 Radioenlace SAN TELMO – SAN CRISTOBAL
- 3.5.34 Radioenlace SAN CRISTOBAL – UREÑA

ÍNDICE DE TABLA

Capítulo II:

Tabla [2.1]: Bandas de Frecuencias.....	11
Tabla [2.2]: Rangos de Frecuencias en VHF y UHF.....	20
Tabla [2.3]: Rangos de la longitud de onda en las bandas VHF y UHF.....	20
Tabla [2.4]: Valores sugeridos para Δh	43
Tabla [2.5]: Valores sugeridos para N_s según el tipo de clima.....	43
Tabla [2.6]: Valores sugeridos para las constantes eléctricas de la tierra.....	44

Capítulo III:

Tabla 3.1: Equipos de transmisión (Tx) del sistema de radiocomunicaciones actual a nivel nacional.....	49
Tabla 3.2: Antenas del sistema de radiocomunicaciones actual a nivel nacional.....	51
Tabla 3.3: Equipos de transmisión (Tx) del sistema de radiocomunicaciones y su redistribución a nivel nacional.....	56
Tabla 3.4: Antenas del sistema de radiocomunicaciones y su redistribución a nivel nacional.....	60
Tabla 3.5: Estación de Transmisión El Volcán.....	64
Tabla 3.6: Estación de Transmisión Sabana Larga.....	65

INDICE DE FIGURAS

Capitulo II

Figura [2.1]: Tipos de Canal en Radiocomunicaciones.....	18
Figura [2.2]: Espectro Radioelctrico.....	19
Figura [2.3]: Conexiones de un sistema de radiocomunicaciones.....	21
Figura [2.4]: Ancho de banda de una antena.....	26
Figura [2.5]: Polarizaci3n de las OEM en la direcci3n de propagaci3n.....	28
Figura [2.6]: Lnea de Transmisi3n casos: a), b), c), d).....	32
Figura [2.7]: Antena Yagi.....	33
Figura [2.8]: Zona de Fresnel.....	34
Figura [2.9]: La distancia del intervalo de visibilidad directa.....	35
Figura [2.10]: distancia del radio horizonte.....	35
Figura [2.11]: Distancia de radio horizonte entre dos antenas.....	36
Figura [2.12]: Propagaci3n de ondas terrestres con antenas elevadas.....	37
Figura [2.13]: Propagaci3n de ondas terrestres con antenas elevadas y lnea de vista.....	37
Figura [2.14]: Elevaciones entre la trayectoria de propagaci3n.....	38
Figura [2.15]: Propagaci3n sobre fillos de cuchillos.....	38

Figura [2.16]: Obstáculos fillos de cuchillos: a) Caso 1 y b) Caso 2.....	39
Figura [2.17]: Contribución de trayectorias para fillos de cuchillo por difracción....	39
Figura [2.18]: Una gráfica típica de la atenuación de referencia en función de la distancia.....	46

Capitulo III

Figura 3.1: Radioenlace El Volcán – Sabana Larga en mapa topográfico.....	66
Figura 3.2: Radioenlace El Volcán – Sabana Larga en mapa político.....	68
Figura 3.3: Perfil topográfico del radioenlace El Volcán – Sabana Larga.....	69
Figura 3.4: Cobertura visual del radioenlace El Volcán – Sabana Larga.....	70
Figura 3.5: Cobertura de radio fresnel del radioenlace El Volcán – Sabana Larga...	70
Figura 3.6: Cobertura de radio polar del radioenlace El Volcán – Sabana Larga.....	71
Figura 3.7: Distribución estadística de la señal del radioenlace El Volcán – Sabana Larga.....	72
Figura 3.8: Detalles de cálculo del radioenlace El Volcán – Sabana Larga.....	73
Figura 3.9: Radioenlaces de comunicación en mapa topográfico de la cobertura de Caracas (La Gran Caracas).....	74
Figura 3.10: Radioenlaces de comunicación en mapa político de la cobertura de Caracas (La Gran Caracas).....	76
Figura 3.11: - Radioenlaces de comunicación en mapa topográfico de la cobertura de la estación Puerto La Cruz.....	77

Figura 3.12: Radioenlaces de comunicación en mapa político de la cobertura de la estación Puerto La Cruz.....	78
Figura 3.13: Radioenlaces de comunicación en mapa topográfico de la cobertura de Caracas (La Gran Caracas) a Puerto La Cruz.....	79
Figura 3.14: - Radioenlaces de comunicación en mapa político de la cobertura de Caracas (La Gran Caracas) a Puerto La Cruz.....	80
Figura 3.15: Radioenlaces de comunicación en mapa topográfico de la cobertura de Puerto La Cruz a Puerto Ordaz.....	81
Figura 3.16: Radioenlaces de comunicación en mapa político de la cobertura de Puerto La Cruz a Puerto Ordaz.....	82
Figura 3.17: Sistema de radiocomunicaciones en mapa topográfico a nivel nacional de La Planta TELEVEN.....	83
Figura 3.18: Sistema de radiocomunicaciones en mapa político a nivel nacional de La Planta TELEVEN.....	84
Figura 3.19: Sistema de radiocomunicaciones en mapa topográfico a nivel nacional de La Planta TELEVEN del diseño.....	85
Figura 3.20: Sistema de radiocomunicaciones en mapa político a nivel nacional de La Planta TELEVEN del diseño.....	86

LISTA DE SIGLAS

UIT-R: el Sector de Radiocomunicaciones de la Unión Internacional de Telecomunicaciones.

CONATEL: Comisión Nacional de Telecomunicaciones de Venezuela.

VHF: Muy Alta Frecuencia (Very High Frequency).

UHF: Ultra Alta Frecuencia (Ultra High Frequency).

AM: Modulación en Amplitud (Amplitude Modulation).

FM: Modulación en Frecuencia (Frequency Modulation).

RADAR: sistema de detección de objetos (Radio Detection And Ranging).

RF: Radio Frecuencia.

LISTA DE ACRÓNIMOS

Half Duplex: modo de transmisión, donde transmite y recibe en ambas direcciones. Pero solo ocurre una transmisión a la vez, es decir, no hay comunicación bidireccional simultáneamente.

Full Duplex: transmite y recibe en ambas direcciones al mismo tiempo.

Push-To-Talk: pulse para hablar

QAM: Modulación de Amplitud en Quadratura (Quadrature Amplitude Modulation)

Front – End: se refiere a la parte del sistema que contiene a la antena y a la guía de onda, como requisito para que detecten la señal de radio.

Back – End: se refiere al amplificador y al filtro que refina y modifica la señal antes de presentarla al usuario.

INTRODUCCIÓN

TELEVEN es una corporación dedicada a la comunicación y el entretenimiento en la búsqueda permanente de la excelencia, demostrando que si es posible lograr el concepto combinado de entretenimiento e información con calidad, responsabilidad, transparencia, respeto, objetividad y ética y al mismo tiempo obtener rentabilidad necesaria y suficiente para ser un excelente canal de televisión comercial. [1].

Hoy en día la planta de televisión TELEVEN posee 34 estaciones base de transmisión de su señal televisiva para hacer la cobertura a nivel nacional; la supervisión de las estaciones depende de la comunicación con los operadores en sitio para su control, reporte diario y corrección de fallas en tiempo real, el sistema de radiocomunicaciones actual de la planta como solución a este requerimiento posee una configuración y estructura de funcionamiento limitada que solo le permite estar operativo en una buena parte de la gran caracas y de acuerdo a las prioridades y necesidades de la planta, se requiere con urgencia una propuesta de diseño de un sistema de radiocomunicaciones en las principales ciudades a nivel nacional, tales como: Caracas, Puerto La Cruz y Puerto Ordaz.

En el trabajo de grado que se plantea a continuación como solución a dicho requerimiento, se pretende el diseño de un sistema de radiocomunicaciones que opera en las bandas UHF y VHF de una planta de televisión nacional en las ciudades: Caracas, Puerto La Cruz y Puerto Ordaz, que tiene la intención y la gran importancia de garantizar la supervisión en tiempo real de las estaciones base de transmisión de su señal televisiva en las ciudades mencionadas. Generando el impacto de poder establecer comunicación permanente entre las estaciones y la estación central de la planta ubicada en Caracas y esto trae las implicaciones de lograr un impacto positivo en la calidad de servicio de su señal televisiva, que le ofrecen a sus respetados

televidentes y anunciantes, así como también la optimización de sus recursos humanos, económicos y de tiempo.

El trabajo de grado está organizado en cuatro capítulos de la siguiente manera:

Capítulo I: Antecedentes: trabajos previos con ésta tecnología; Planteamiento del Problema: descripción general de las necesidades a resolver de la Corporación TELEVEN; Justificación: los motivos y las razones que respaldan el impulso de éste proyecto; Objetivo General: meta principal a lograr con éste trabajo, Objetivos Específicos: es la suma de todos los objetivos particulares que componen el objetivo general y Metodología: es la forma detallada, paso a paso, trazada para lograr la conquista de cada uno de los objetivos específicos y del objetivo general.

Capítulo II: Fundamentos Teóricos: Tecnología de los sistemas de radiocomunicaciones que operan en las bandas UHF y VHF, recomendaciones internacionales establecidas por la UIT-R y Normalizaciones de CONATEL para los sistemas de radiocomunicaciones, tipos de antenas utilizadas, métodos de cálculo de propagación: Okumura, Okumura Hata, COST 231 y Longley Rice y el Software de uso libre Radio Mobile.

Capítulo III: Diseño y Cálculos Teóricos de los radioenlaces en los sitios de interés, tales como El Volcán, Sabana Larga y Puerto Ordaz: todos los cálculos teóricos e imágenes obtenidas del software de uso libre Radio Mobile donde se realizó el diseño de la simulación de los radioenlaces y los análisis de resultados de los parámetros calculados que permiten determinar la eficiencia de cada radioenlace.

Capítulo IV: Recomendaciones para garantizar la eficiencia del diseño del sistema, Conclusiones, Referencias Bibliográficas, Bibliografía y Anexos.

CAPITULO I

ANTECEDENTES

El desarrollo de los antecedentes y datos para el problema planteado, se sustentó en la documentación precedente obtenida de un informe técnico de la planta de televisión TELEVEN del año 2008.

En el informe técnico señalado, se planteó el estudio de cobertura de algunos de los radio enlaces del sistema de radio comunicaciones de la planta de televisión TELEVEN. Dicho estudio de cobertura comprendía solo el levantamiento de los perfiles de los radioenlaces que estaban operativos en parte de la gran Caracas, así como un sector del oriente del país (Pto. La Cruz) y un sector del occidente del país. [2]

De igual manera, entre los proyectos de tesis similares a este, se destacan: “Propuesta técnica de interconexión mediante un enlace de radiocomunicaciones en la banda VHF de los sistemas metropolitano y barlovento de hidroc capital” para el año 2007. [3] y “Diseño de un sistema de radiocomunicaciones móviles terrestres en UHF para el cuerpo de bomberos voluntarios UCV” para el año 2010. [4]

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La comunicación permanente entre la estación central de la planta, ubicada en Caracas, con los operadores de las estaciones a nivel nacional es de vital importancia debido a que son ellos los encargados del control, atención de fallas y de informar el reporte diario sobre las condiciones y novedades de las estaciones, en dicho reporte

están en el deber de notificar sobre la calidad de la señal en los transmisores, niveles de potencia, el suministro de energía, el nivel de combustible de las plantas de emergencias, entre otras responsabilidades, en alguna oportunidad, en años anteriores, los reportes se tomaban tres (3) veces al día, en los horarios comprendidos entre 6am, 12pm y 6pm, pero debido a las limitaciones de comunicación y pérdida de los enlaces de radio existentes dichos reportes se redujeron a una sola vez al día.

Para solventar la problemática que representa, el requerimiento de un sistema de radiocomunicaciones para la transmisiones de voz, la necesidad de comunicación con los operadores de las estaciones para el monitoreo diario y control de las mismas, la Vicepresidencia de Transmisiones de la Planta decidió impulsar el proyecto de diseño de un sistema de radiocomunicaciones en las ciudades: Caracas, Puerto La Cruz y Puerto Ordaz, buscando en todo momento aprovechar al máximo la infraestructura existente, es decir, las estaciones y torres empleadas en el sistema anterior. Se tienen como inconvenientes claros a vencer la dificultad geográfica para establecer los radios enlaces, la escasa información técnica de los enlaces actuales y los obstáculos que impiden el servicio a nivel nacional.

JUSTIFICACIÓN

Para brindarle atención inmediata a las principales estaciones de la planta, cumpliendo con su debido monitoreo diario, control y corrección de fallas es de mucha importancia contar con un sistema de radiocomunicaciones eficiente, para la transmisiones de voz, que permita en tiempo real, con eficacia y disponibilidad dicha comunicación constante con los operadores de las estaciones. El monitoreo permanente con el reporte diario y control de la estaciones de la planta permite atender de manera preventiva todas las necesidades y requerimientos sin interrupción de la señal y la atención inmediata y corrección de fallas en el menor tiempo posible en casos de emergencias e imprevistos que se presenten es lo que se quiere lograr con el diseño de un sistema de radiocomunicaciones. Son esas las razones, por las cuales

la planta de televisión TELEVEN le ha dado impulso a este proyecto para poder lograr un impacto positivo en la calidad de servicio de su señal televisiva, que le ofrecen a sus respetados televidentes y anunciantes, así como en la optimización de sus recursos económicos y ahorro de tiempo.

OBJETIVO GENERAL

Diseño de un sistema de radiocomunicaciones que opera en las bandas UHF y VHF de una planta de televisión nacional en las ciudades: Caracas, Puerto La Cruz y Puerto Ordaz.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Recopilar la información sobre las características de las estaciones y los radio enlaces, condiciones de operatividad, ubicación y equipos, así como también los datos de entrada que exige el software de uso libre radio Mobile, tales como tipos de clima, tipos de suelos, conductividad de la tierra y los datos sobre el estado actual del sistema de radio comunicaciones de la planta de televisión TELEVEN en las ciudades: Caracas, Puerto La Cruz y Puerto Ordaz.
2. Evaluar las condiciones físicas de las estaciones, los equipos que existen, obstáculos de cada radio enlace del sistema de radiocomunicaciones a nivel topográfico.
3. Estudiar las características de la tecnología de los sistemas de radiocomunicaciones que operan en las bandas UHF y VHF.
4. Estudiar las recomendaciones internacionales establecidas por la UIT-R para sistemas de radiocomunicaciones.

5. Estudiar las normalizaciones establecidas por CONATEL para sistemas de radiocomunicaciones a nivel nacional.
6. Determinar los parámetros mínimos necesarios: potencia en el transmisor, ganancia, pérdidas, alturas de torre y sensibilidad entre otros, de los perfiles de cada uno de los trayectos de los radio enlaces, con el apoyo del software de uso libre llamado `Radio Mobile`.
7. Elaborar un informe técnico que cumpla con las recomendaciones UIT-R, con las normalizaciones de CONATEL y las características, especificaciones y recomendaciones del sistema de radio comunicaciones de la Planta.

METODOLOGÍA

Fase 1. Estudio Documental y Levantamiento de Información.

En ésta primera fase se realizó una recopilación de toda la información relacionada con los radio enlaces del sistema: ubicación, estado, condiciones físicas y equipos existentes actuales, radio bases, repetidoras y equipos de radio disponibles, cálculos teóricos de los parámetros del sistema como potencia, ganancias y pérdidas en transmisores y receptores y toda la información necesaria requerida para el desarrollo del proyecto. Para ello se realizó una investigación con uso de material bibliográfico como libros, manuales técnicos de los fabricantes, normas técnicas, nacionales e internacionales y se utilizó el material escrito que dispone la planta. Los recursos bibliográficos fueron revisados en la Biblioteca de la Escuela de Ingeniería Eléctrica UCV, la página web de CONATEL y los manuales de los equipos disponibles en la planta. Así como también se contó con el apoyo del personal técnico profesional de la Vicepresidencia de Transmisiones de la planta de televisión TELEVEN.

Fase 2. Evaluación de cada radioenlace.

En esta fase se evaluaron las condiciones físicas de las estaciones, explorándose cuales equipos están operativos, los obstáculos que presenta cada uno de los trayectos a nivel topográfico, para ello se va a establecer un plan de trabajo en conjunto con los operadores de cada una de las estaciones de las ciudades mencionadas.

Fase 3. Estudio de la tecnología a utilizar, Normas y las recomendaciones.

En esta fase se realizó un estudio sobre las características de los sistemas de radiocomunicaciones que operan en las bandas UHF y VHF, así como también de las recomendaciones internacionales de la UIT-R y de las normalizaciones de CONATEL, para ello se estableció un plan de trabajo que incluye el apoyo del material bibliográfico de: la Biblioteca de la escuela de Ingeniería Eléctrica UCV, la página web de CONATEL, la página web de la UIT y otras páginas web.

Fase 4. Estudio de Alcance y Confiabilidad.

Durante ésta fase se realizó el diseño de un sistema de radiocomunicaciones que opera en las bandas UHF y VHF de la planta de televisión TELEVEN en las principales ciudades a nivel nacional, evaluando la ubicación geográfica de cada una de las radio estaciones base que están operativas en el sistema, plantear una ubicación nueva en caso de ser necesario y proponer las nuevas radio estaciones base y tipos de antenas que sean necesarias para dar cumplimiento de alcance y confiabilidad a las estaciones de transmisión en las principales ciudades a nivel nacional de la señal televisiva que se necesitan mantener monitoreadas con el sistema de radiocomunicaciones según las necesidades y prioridades de la planta, todo esto se realizó respetando las recomendaciones, normas y reglamentos legales establecidos y normalizados por CONATEL. Se necesitó el apoyo y ayuda del software de uso libre

Radio Mobile y de la aplicación web de uso libre Google Earth o cualquier base de datos topográfica de uso libre para el trazado de los perfiles de los radioenlaces.

Fase 5. Análisis de los Estudios Realizados.

En el desarrollo de esta fase se utilizaron todos los resultados obtenidos en los estudios realizados en las fases anteriores, para hacer todas las modificaciones necesarias que se requerían en el sistema, así como plantear la solución definitiva del sistema de radiocomunicaciones de la planta, en las principales ciudades a nivel nacional.

Fase 6. Elaboración del Informe Final.

En esta fase final y cierre del proyecto, se empleó toda la documentación de las actividades pertinentes de cada fase, dejando plasmados los análisis, justificación y alcance de los resultados obtenidos así como también todas las recomendaciones pertinentes para el manejo eficiente del sistema de radiocomunicaciones de la planta TELEVEN.

CAPÍTULO II

En éste capítulo se desarrollan los fundamentos teóricos que explican muy bien los aspectos más importantes sobre los sistemas de radiocomunicaciones que operan en las bandas UHF y VHF. Las recomendaciones IUT-R y las normalizaciones establecidas por CONATEL.

FUNDAMENTOS TEÓRICOS

Una realidad de plena vigencia es que: la radiocomunicación está presente en la vida actual a través de la radio, tanto AM como FM, y la televisión, en forma de llamada telefónica, aunque el usuario no siempre sea consciente de que su interlocutor está a centenares o miles de kilómetros y que su voz pasa por radioenlaces, estaciones terrenas y transpondedores a bordo de satélites, o quizás está moviéndose libremente por la calle de una ciudad de cualquier país del mundo. El desarrollo de la tecnología de radio ha derivado también en sistemas RADAR (“RADio Detection And Ranging”) para la detección, localización y seguimientos de blancos alejados tanto marinos como aéreos y terrestres, principalmente con fines militares pero también ayudando al tráfico aéreo civil, al guiado de naves espaciales, a determinar la situación meteorológica, etc., igualmente son importantes las técnicas de radiodeterminación y radiolocalización. Todo esto hace de la Radiocomunicación una disciplina de plena actualidad, con numerosos retos científicos y tecnológicos, con importantes aplicaciones en servicios de demanda actual y que, por tanto, requiere de personal altamente calificado para su investigación, desarrollo, realización práctica y comercialización.

2.- CARACTERÍSTICAS DE LA TECNOLOGÍA DE LOS SISTEMAS DE RADIOCOMUNICACIONES QUE OPERAN EN LAS BANDAS UHF Y VHF.

2.1 Sistemas de radiocomunicaciones móviles terrestres

En un sistema de radiocomunicaciones en el cual las estaciones (transmisoras y receptoras) están en movimiento permanente y eventual. El servicio móvil terrestre está compuesto por una estación base a la cual está asociado un grupo de estaciones móviles.

La estación base puede servir a diferentes estaciones móviles o sistemas móviles que trabajan a diferentes frecuencias cada uno para servir a un solo sistema. Según sea el sentido del flujo de información en que operan los sistemas de radiocomunicaciones móviles, se pueden caracterizar los siguientes modos de explotación de frecuencias:

a) Sistemas “Half Duplex” de una frecuencia: en estos sistemas, tanto la estación base como la estación móvil, transmiten a una frecuencia común. Cada estación debe tomar su turno para hablar mediante el uso del procedimiento “Push To Talk” (Pulse Para Hablar).

b) Sistemas “Half Duplex” de dos frecuencias: en estos sistemas, se transmite y recibe en frecuencias diferentes. Ambas estaciones, base y móvil, operan en régimen push-to-talk. Los sistemas móviles pueden operar en zonas, ubicando una estación base en el centro de cada zona que se debe cubrir.

c) Sistemas base “Full Duplex” de dos frecuencias: en estos sistemas, las estaciones bases se diseñan de tal forma que se pueda transmitir con una frecuencia y recibir con otra simultáneamente, mientras que el móvil opera en el modo “Half Duplex” de dos frecuencias en régimen “Push-To-Talk”

d) Sistemas “Full Duplex” de dos frecuencias: en estos sistemas, ambas estaciones, base y móvil, pueden transmitir a una frecuencia y recibir

simultáneamente a otra. El diseño de la estación base en este caso es similar al de base “Full Duplex”. Pero la estación móvil debe ser equipada con una segunda antena o filtros necesarios entre el transmisor y receptor, para evitar la interferencia.

2.1.1 Bandas de frecuencias

La UIT-R en su recomendación: Recomendación UIT-R V.431-8. Nomenclatura de las bandas de frecuencias y de las longitudes de onda empleadas en telecomunicaciones establece para los sistemas de comunicaciones móviles la utilización de cinco bandas de frecuencias que son las que muestran en la Tabla [2.1]:

Tabla [2.1]: Bandas de Frecuencias [5]

DESIGNACIÓN DE BANDA	GAMA en FRECUENCIAS [MHz]		
	REGIÓN 1	REGIÓN 2	REGIÓN 3
I	47-68	54-68	47-68
II	87,5-108	88-108	87-108
III	174-230	174-216	174-230
IV	470-582	470-582	470-582
V	582-960	582-890	582-960

Separación entre canales: el ancho de banda nominal de transmisión, B_n es:

$$B_n = 2*(M+DK) \quad \text{Ecuación [2.1]}$$

Donde:

M: es la frecuencia máxima de la información a ser modulada. Para un caso medio de telefonía comercial $M = 4$ kHz. D: la mitad de la diferencia entre los valores máximos y mínimos de la frecuencia instantánea. K: el factor numérico que varía según la emisión y depende de la distorsión admisible de la señal. Normalmente $K=1$.

2.1.2. Sistemas de radiocomunicaciones privadas de VHF y UHF

- a) Sistemas de telefonía móvil celular
- b) Sistemas de radio control de VHF
- c) Sistemas de ayudas para radio navegación Banda marítima y aérea.

2.2 Sistemas de radios troncalizados para VHF y UHF. [6]

El sistema de radio troncalizado, se denomina a las aplicaciones y servicio de un sistema de comunicación utilizando el espectro radioeléctrico. El mismo que se caracteriza por la búsqueda automática de canales dentro de un repetidor multicanal. Las ventajas de éste sistema son: el mínimo tiempo de espera para acceder al sistema de repetición, el incremento de la capacidad de usuarios que pueden coexistir en el sistema y el aumento de la eficiencia del uso de las frecuencias. Es el sistema de radio comunicaciones de los servicios fijo y móvil terrestres, en el que las estaciones establecen comunicación mediante el ingreso en forma automática a cualquiera de las frecuencias asignadas a los sistemas que éste disponible. El sistema comprende las estaciones fijas, móviles , repetidoras y centros de conmutación.

2.3 Propagación

2.3.1 Propagación de ondas terrestres sobre tierra plana:

Cuando las antenas transmisoras y receptoras están ubicadas a corta distancia entre ambas, se estima una distancia menor de 10 km, se puede, con garantía, ignorar el efecto de curvatura de la tierra y considerar que las ondas de radio se propagan a lo largo de una superficie plana conductora imperfecta. En la práctica los transmisores emplazados en la tierra usan antenas elevadas que transmiten en el

intervalo de onda corta y ultra corta, siendo típico este uso en el transmisor de televisión, los transmisores VHF, UHF, FM, etc. [7]

2.3.2 Propagación de ondas terrestres sobre tierra esférica:

Cuando las antenas transmisoras y receptoras están ubicadas a una distancia entre ambas, mayor de 10 km se debe tomar en cuenta el efecto de curvatura de la tierra. Existen tres casos a estudiar:

- a) Intervalo de visibilidad directa
- b) Radio propagación de visibilidad directa sobre colinas
- c) Radio propagación sobre filos de cuchillos. [7]

2.3.3 Propagación por onda espacial

Es el principal mecanismo de propagación. Está formado por: una onda directa entre transmisor y receptor y por una o varias ondas reflejadas en la superficie de la tierra. En ella influye la baja atmósfera o troposfera mediante los fenómenos de refracción y absorción, así como también la presencia de la superficie terrestre mediante los fenómenos de reflexión y difracción.

2.3.4 Propagación por Reflexión:

Las ondas electromagnéticas que inciden en el suelo (o en otros obstáculos) serán reflejadas parcialmente. El coeficiente de reflexión dependerá de la naturaleza del suelo, el estado de la superficie reflectante y la polarización de la onda. Dentro de los diversos aspectos que afectan a la reflexión se tienen: tierra esférica (divergencia del haz), número de zonas de Fresnel reflejadas, irregularidades del

terreno (dispersión de la onda), existencia de obstáculos en el camino del rayo reflejado, que hacen muy difícil determinar su valor.

2.3.5 Propagación por Difracción:

Es debida a la superficie terrestre o a un terreno irregular que incluya diferentes obstáculos. Para calcular los parámetros geométricos debemos tener en cuenta la refracción media de la atmósfera (trazado de perfiles del trayecto con el radio aproximado de la tierra). La existencia de línea de vista y el número de zonas de Fresnel liberadas implicará un mayor o menor nivel de energía recibida.

2.3.6 Propagación por Refracción:

Propagación por Ondas Troposféricas:

La troposfera es la capa de la atmósfera que más afecta las transmisiones UHF y VHF. Sus características físicas influyen notablemente sobre las ondas de radio. Una de ellas es el índice de refracción (n), el cual varía con la altura (h) y que es el responsable más directo de la curvatura que experimenta la onda transmitida, dando lugar a diferentes tipos de refracción troposféricas. La troposfera causa un efecto de curvatura en el rayo, el cual es más acentuado en las transmisiones de UHF y VHF, las ondas de radio que se propagan según un ángulo de elevación pequeño viajarán formando arcos cuyos radios serán iguales a:

$$R = ((10^6)/(dn/dh)) = ((10^6)/(4 \cdot 10^{-2})) = 25000 \text{ Km} \quad \text{Ecuación [2.2]. [7]}$$

Donde $(dn/dh) = 4 \cdot 10^{-2} \text{ m}$

R: radios de los arcos que dibujan las ondas de radio en propagación

dn: variación del índice de refracción (n)

dh: variación de la altura (h).

Debe notarse que las ondas de UHF y VHF experimentan una refracción mayor en la troposfera estándar que los rayos con frecuencias ópticas. Esto se debe a que las moléculas de agua que poseen un momento dipolo permanente y una masa finita, no pueden seguir fluctuaciones de frecuencia tan elevadas, pero sí pueden reaccionar positivamente a las perturbaciones de frecuencias de tipo UHF y VHF, además de participar activamente en el momento oscilatorio y contribuir a los cambios del índice de refracción.

Estos antecedentes dan paso a diferentes aspectos tales como:

a) Aumento del radio efectivo de la tierra, ya que las ondas se propagan produciendo un efecto de aumento del radio de la tierra.

b) Los casos en que la trayectoria de las ondas electromagnéticas alcanzan distancias muy superiores a las previstas teóricamente.

c) La existencia de la súper refracción, que es una de las formas de refracción troposférica, en la cual por condiciones específicas y de carácter aleatorio, en dependencia de las condiciones meteorológicas, se forma lo que es conocido como ductos troposféricos.

d) Los ductos producen una serie de reflexiones sucesivas en la superficie terrestre que se extiende hasta distancias bastante grandes. La condición para que una onda se propague dentro de un ducto es que su longitud de onda " λ " no exceda a una longitud de onda crítica " λ crítica" conocida como " λ de corte".

La atenuación en la troposfera se debe a cuatro factores:

a) La absorción por partículas suspendidas, lluvia, nieve, niebla, etc.

b) Absorción por moléculas

c) Dispersión por moléculas y sus colisiones

d) Absorción por sólidos. Las experiencias prácticas han verificado que las ondas más largas que 10 cm. no experimentan atenuación apreciable en la troposfera. Sin embargo, las ondas más cortas si sufren atenuaciones, que pueden ser considerables.

La expresión del campo es:

$$E(\text{rms}) = ((173*(P1*G1)^{1/2}*e^{-pL})/(r)) \text{ [mV/m]} \quad \text{Ecuación [2.3] [7]}$$

Donde E: expresión de campo eléctrico, P1: potencia 1, G1: ganancia 1

p: es la pérdida por unidad de longitud y es un factor que depende de varios parámetros tales como: polarización, frecuencia e intensidad de la lluvia

L: la longitud del área lluviosa y r: el radio.

2.3.7 Propagación por Dispersión [8]

Es la propagación de las ondas radioeléctricas por dispersión, como consecuencia de irregularidades y discontinuidades en las propiedades físicas de la tropósfera. Las condiciones de propagación de estas ondas presentan una gran dependencia de la temperatura y humedad del aire contenido en la troposfera. Como estos valores no son constantes en ninguna zona, la propagación será irregular en esta constante atmosférica. Basta observar cualquier mapa meteorológico para darse cuenta de que la temperatura va disminuyendo con respecto a la altura, cuanto más lejos se está de la superficie más frío está el aire y por otro lado, las fotografías de los satélites muestran una diferente localización de las nubes en cada momento del día y en cada punto del globo terrestre.

2.4 Desvanecimientos:

Se definen como los periodos de tiempo con grades descensos en los niveles de señal recibidos y estudiados desde el punto de vista estadístico. La atmósfera real no presenta siempre las mismas características. Ella está sujeta por variaciones continuas en la propagación de las ondas electromagnéticas. La mayoría de los tipos de desvanecimientos es debido a la influencia de la atmósfera. Los desvanecimientos producidos por reflexión, son causados por la tierra, pero su dificultad para ser controlados es debida a las variaciones atmosféricas.

2.4.1 Desvanecimientos debido a los obstáculos:

Variación del índice troposférico y por ende la curvatura de los rayos, por difracción. Es necesario considerar un margen adecuado sobre obstáculos. Para el valor mínimo de K ($K > 0,6$ durante el 99,99%, depende de la distancia) se debe liberar al menos el 60% de la primera zona de Fresnel.

2.4.2 Desvanecimientos debido a la reflexión:

El rayo reflejado reduce al rayo directo cuando el margen sobre obstáculos del trayecto es igual o cercano al de una zona de Fresnel de orden par. La señal en el receptor puede disminuir en varios dB, dependiendo del coeficiente de reflexión del trayecto. Para minimizar el desvanecimiento, se suele intentar evitar el rayo reflejado, mediante la procura de que el trayecto caiga sobre terreno rugoso o mediante obstáculos que impiden al rayo reflejado llegar al receptor. Otro procedimiento consiste en las técnicas de diversidad.

2.4.3 Desvanecimientos debido a la propagación por Multitrayectoria:

Es la principal causa de desvanecimientos en radioenlaces, microvariaciones del índice de refracción y múltiples reflexiones. Al receptor llegan rayos con diferentes caminos y fases. Se generan variaciones aleatorias y rápidas del

nivel de recepción. Tales variaciones dependen de factores climáticos y de rugosidad del terreno.

2.5 Canales de Radio

Se puede definir el canal de radio como el enlace entre dos puntos de un trayecto de comunicaciones. El canal de radio, por lo general, es lineal y recíproco (permite estudiar el canal en una sola dirección). En la Figura [2.1] se muestran algunos de los diferentes tipos de canales de radio. [9]

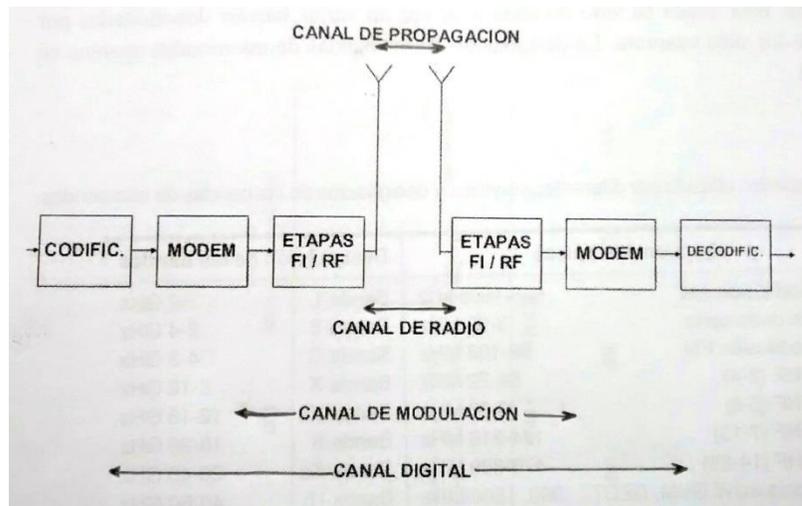


Figura [2.1]: Tipos de Canal en Radiocomunicaciones [9]

2.5.1 Canal de Propagación

El medio físico que soporta la propagación de la onda electromagnética entre la antena transmisora y la receptora constituye el canal de propagación. El canal se asume lineal y recíproco, pero puede variar en el tiempo, como en el caso de las comunicaciones móviles. [9]

2.5.2 Canal de Radio

Está constituido por la antena transmisora, el canal de propagación y la antena receptora. Las antenas tienen el mismo patrón de radiación en transmisión y en recepción si son lineales, bilaterales y pasivas, lo cual hace que el canal de radio sea recíproco al serlo las antenas. [9]

2.5.3 Canal de Modulación

Se extiende desde la salida del modulador hasta la entrada del demodulador, y comprende las etapas finales del transmisor, el canal de radio y las etapas de entrada del receptor. Su caracterización es importante a la hora de evaluar los diferentes esquemas de modulación. La linealidad del canal de modulación está determinada por los “front-ends” del transmisor y del receptor. Los sistemas que emplean modulaciones con multiniveles de amplitud, como la QAM, requieren canales de modulación lineales: amplificadores lineales, mezcladores de baja distorsión, y filtros con fase lineal (Bessel o Gauss). Esto genera dos problemas: amplificadores más caros y menos eficientes en cuanto a la potencia, lo cual es de importancia capital en un entorno de comunicaciones móviles donde es imprescindible la reducción de las dimensiones y el consumo de la batería del terminal portátil. El canal de modulación no es recíproco al no serlo los “front-ends”. [9]

2.5.4 Canal Digital

Incluyen todos los subsistemas que enlazan la secuencia digital sin modular del transmisor, con la secuencia regenerada en el receptor. En general, este canal no es lineal, no es recíproco y varía en el tiempo. [9]

2.6 Bandas de frecuencia

La división del espectro radioeléctrico en bandas ha sido un tanto variable, pero es comúnmente aceptada la que se muestra en la Figura [2.2] donde se aprecia la designación de cada banda y los servicios típicos que tienen asignados.

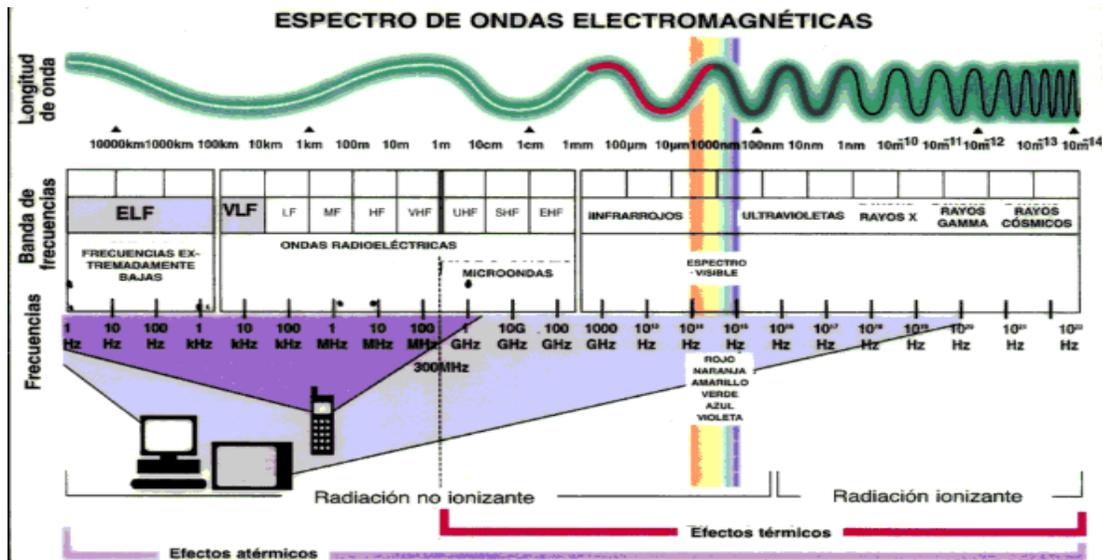


Figura [2.2]: Espectro de Ondas Electromagnéticas [10]

2.6.1 Los rangos de frecuencia de las bandas UHF y VHF son:

Tabla [2.2]: Rangos de Frecuencias en VHF y UHF. [11]

Rango de las Bandas de Frecuencias		
Banda	Frecuencia inferior	Frecuencia superior
VHF	30 MHz	300 MHz
UHF	300 MHz	3000 MHz

2.6.2 Las longitudes de onda de las bandas UHF y VHF son:

Tabla [2.3]: Rangos de la longitud de onda en las bandas VHF y UHF. [11]

Banda	Longitud de onda inferior	Longitud de onda superior
VHF	$\lambda = ((3 \cdot 10^8) / (30 \cdot 10^6)) = 10\text{m}$	$\lambda = ((3 \cdot 10^8) / (300 \cdot 10^6)) = 1\text{m}$
UHF	$\lambda = ((3 \cdot 10^8) / (300 \cdot 10^6)) = 1\text{m}$	$\lambda = ((3 \cdot 10^8) / (3000 \cdot 10^6)) = 0,10\text{m}$

2.7 Antenas.

Una antena es un dispositivo hecho habitualmente de un material buen conductor, que se emplea para radiar (y recibir) potencia electromagnética de una manera eficiente. Es la estructura de transición entre el dispositivo de guiado (cable coaxial, por ejemplo) y el espacio libre. El estudio de la antena elemental, el elemento de corriente o dipolo herciano, permite introducir el concepto de algunos parámetros que caracterizan enteramente antenas más complejas.

Las antenas son vitales para el desempeño global del sistema y hay muchos tipos. Es muy importante entender el efecto de sus características para optimizar el funcionamiento del sistema de radiocomunicaciones. Las líneas de transmisión se definen como un dispositivo utilizado para guiar la energía de radiofrecuencia (RF) desde un punto a otro (ejemplo de línea de transmisión de RF es el cable coaxial). Su función es acoplar la energía electromagnética del radio a la antena introduciendo la mínima atenuación posible.

Una antena es la estructura asociada con la región de transición entre una onda guiada y una onda que se propaga en el espacio libre, por la irradiación de energía de RF. Se consideran como una interfaz entre la onda guiada dentro de la línea de transmisión y la onda no guiada en el espacio. Las antenas son dispositivos pasivos, ellas no pueden añadirle potencia a la señal, sino sólo enfocarla en un área en particular.

Conexiones de un sistema de radiocomunicaciones:

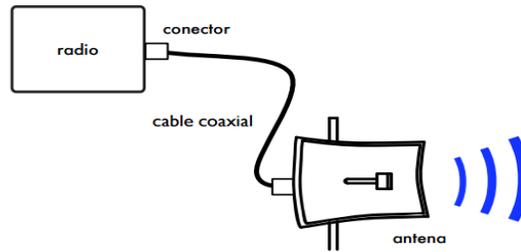


Figura [2.3]: Conexiones de un sistema de radiocomunicaciones [12]

Un sistema de radiocomunicaciones consiste de un radio que funciona como transmisor, receptor o como ambas funcionalidades, en cuyo caso se le suele denominar transceptor. El radio se conecta a la antena por medio de un cable coaxial con conectores. Hay una gran variedad de conectores en uso, con diferentes tamaños y propiedades eléctricas y mecánicas. Los conectores deben ser los apropiados para el cable y el radio. En muchas oportunidades se requieren adaptadores o “transiciones” para realizar la interfaz entre diferentes tipos de conectores. Un cable coaxial transporta la señal desde el radio a la antena y viceversa. La antena acopla la señal de cable coaxial al espacio libre para transmisión y al revés para recepción. Para minimizar la atenuación se debe utilizar la línea de transmisión más corta posible, construida con el cable de mejor calidad que se pueda obtener y diseñado para trabajar a frecuencias de las bandas VHF y UHF, para que la atenuación introducida sea mínima. Se puede evitar completamente las pérdidas en el cable si se conecta directamente la antena al radio. Esto implica instalar el radio en el exterior y alimentarlo con el mismo cable que transporta los datos, el cual tiene muy bajas pérdidas. En el ANEXO [2.1]: LÍNEAS DE TRANSMISIÓN Y CABLE COAXIAL se puede ver más detalles sobre las líneas de transmisión y cable coaxial.

Características de las antenas:

- a) Gama de frecuencias en las que se puede usar (ancho de banda)
- b) Patrón o Diagrama de Radiación: ancho del haz, lóbulos laterales, lóbulos trasero

- c) relación adelante-atrás, ubicación de los nulos, d) Ganancia máxima
- e) Impedancia de entrada (ROE máxima)
- f) Tamaño físico, resistencia al viento y costo

Las propiedades no mecánicas de una antena, es decir, todas las mencionadas excepto la resistencia al viento y la polarización, son fuertemente dependientes de la frecuencia correspondiente. La apertura de una antena es fácilmente visualizable en el caso de un disco parabólico, en el cual coincide con su área frontal. Para una antena formada por alambres, en la que el área es muy pequeña, la apertura puede derivarse matemáticamente.

2.7.1 Patrón de radiación

El patrón o diagrama de radiación se suele representar en función de ángulos de dirección centrados en la antena. Aunque el patrón de radiación es un volumen, es costumbre representarlo por medio de dos gráficas, el patrón de radiación vertical y el patrón de radiación horizontal. Ver: ANEXO [2.2]: Patrón de Radiación Horizontal y Vertical y ANEXO [2.3]: Patrón de Radiación Rectangular y Polar.

El patrón de radiación de una antena es la distribución relativa de la potencia radiada en función de la dirección espacial. Para el elemento de corriente, el flujo de potencia varía según $\text{sen}^2\theta$, como indica la Ecuación [2.4] del vector de Poynting promedio, expresión que escribimos nuevamente en función de la potencia que recibe la antena:

$\langle \dot{S} \rangle$: Potencia Radiada por unidad de área
 $\langle \dot{S} \rangle = (3/2) * (P_T / (4 * \pi * r^2)) * \text{sen}^2(\theta) a_r$ Ecuación [2.4].

Pt: potencia del transmisor, r: radio, θ : ángulo de inclinación en el eje z, a_r : dirección radial.

2.7.2 Relación Adelante – Atrás

La relación adelante-atrás (f/b) de una antena directiva es el cociente entre la directividad máxima a su directividad en sentido opuesto. Ver ANEXO [2.4]: Relación Adelante-Atrás.

La relación adelante-atrás (front-to-back ratio) es muy importante en redes dorsales construidas usando repetidores. La radiación hacia atrás puede causar problemas con el receptor de la etapa precedente por lo que para este tipo de aplicaciones se deben escoger antenas con una buena relación f/b .

2.7.3 Reciprocidad:

Las características de la antena como ganancia, rango de frecuencias, ancho de haz, eficiencia, polarización e impedancia son independientes del rol de la antena como transmisora o receptora. Esto se suele expresar diciendo que las características de transmisión y recepción de una antena obedecen al principio de reciprocidad. El concepto de reciprocidad es muy importante y se usa muy a menudo. Muchas propiedades de una antena son más fáciles de visualizar en términos de una antena receptora y por reciprocidad se aplican luego a la antena como transmisora y viceversa.

2.7.4 Antenas Isotrópicas

Es aquella que irradia la energía que se le suministra de manera uniforme en todas las regiones del espacio. Es sólo un modelo ideal y no puede ser fabricada. Las antenas reales se caracterizan por irradiar con mayor intensidad en ciertas direcciones más que en otras direcciones; esto es lo que se denomina la Directividad de la antena. Un radiador isotrópico por ejemplo es un modelo idealizado de una antena que irradia energía con la misma intensidad en todas las direcciones. Comparando las características de operación de una antena real con el

modelo isotrópico, obtenemos una medida significativa que nos permite comparar diferentes tipos de antenas. Una aproximación a una fuente isotrópica es un bombillo incandescente, el cual irradia luz con la misma intensidad en casi todas las direcciones. Otro ejemplo de radiador isotrópico lo constituye el sol u otra estrella. Las antenas no añaden potencia. Ellas dirigen la potencia disponible en una determinada dirección. La ganancia de una antena se mide en dBi (Decibels relativos a un radiador isotrópico).

2.7.5 Ganancia directiva y directividad

Directividad:

La Directividad de una antena es simplemente el cociente entre la máxima densidad de potencia radiada (P_{\max}) en una dirección y la densidad de potencia promedio (P_{av}). Para expresar la Directividad en dBi, esto es, dB relativos a un radiador isotrópico, (calcule el logaritmo decimal de este cociente y multiplique por 10) .

$$D[\text{dBi}] = 10 \cdot \log_{10}(P_{\max}/P_{\text{av}}) \quad \text{Ecuación [2.5].}$$

Los valores típicos de la eficiencia están entre 0.5 y 0.9, dependiendo de la calidad de la fabricación y de la conductividad del metal utilizado.

Las antenas comerciales se clasifican generalmente en dos grupos: antenas omnidireccionales y antenas direccionales.

Las antenas omnidireccionales (o simplemente omni) irradian la energía en todas las direcciones. Las antenas direccionales o directivas enfocan la mayor parte de la radiación en una sola dirección específica, llamada la dirección de máxima ganancia a la par que reducen considerablemente la cantidad de irradiación en otras direcciones. La ganancia directiva tiene un máximo para $\theta = \pi/2$ de valor igual a 1,5 (1,76 dB respecto a la antena isotrópica). Este valor máximo de la ganancia directiva se conoce como Directividad.

2.7.6 Ganancia de una antena

Debido a que la antena real tiene pérdidas que hacen que la potencia radiada sea solo una parte de la potencia total que recibe del transmisor P_T , se define la ganancia de la antena como:

$$G(\theta, \phi) = (U(\theta, \phi)/(P_T/4\pi)) = e_T (U(\theta, \phi)/(P_{\text{radiada}}/4\pi)) \quad \text{Ecuación [2.6]}$$

Donde $e_T = P_{\text{radiada}} / P_T$ es la eficiencia de la antena. Teniendo en cuenta la Ecuación [2.7], se tiene que:

$$G(\theta, \phi) = e_T D(\theta, \phi) \quad \text{Ecuación [2.8]}$$

Dentro de las causas que hacen perder eficiencia a la antena destacan: Primeramente, ésta eficiencia total depende de la desadaptación de impedancias entre la antena Z_a y el transmisor, que generalmente está terminado en la impedancia característica de la línea de transmisión Z_0 . Si estas impedancias no son iguales se produce la reflexión de parte de la potencia que incide en la antena y solo una fracción de la potencia total es radiada. El coeficiente de reflexión de la antena es:

$$\Gamma = (Z_a - Z_0)/(Z_a + Z_0) \quad \text{Ecuación [2.9]}$$

La eficiencia por desadaptación se puede calcular mediante la siguiente expresión:

$$e_d = 1 - |\Gamma|^2 \quad \text{Ecuación [2.10]}$$

Por otra parte, la resistencia óhmica de la antena R_p produce una disipación de potencia en forma de pérdidas óhmicas, por lo que se puede definir la eficiencia por pérdidas como:

$$e_p = (R_a/(R_a + R_p)) \quad \text{Ecuación [2.11]}$$

Debiendo ser $R_a \gg R_p$ para que la energía no se disipe totalmente en forma de calor.

De esta forma la eficiencia total estará dada por:

$$e_T = e_p e_d \quad \text{Ecuación [2.12]}$$

Suele ser bastante común utilizar un parámetro llamado PIRE o Potencia Isótropa Radiada Equivalente, que se define como el producto de la ganancia máxima de la antena por la potencia de entrada y que es equivalente a la potencia que debe suministrarse a una antena isótropa para que su intensidad de radiación sea igual al valor máximo de la antena original:

En unidades naturales: $PIRE = G_{\text{máx}} P_T$ Ecuación [2.13], o en unidades logarítmicas, es decir, en dB

$$PIRE \text{ (dBW)} = G_{\text{máx}} \text{ (dB)} + P_T \text{ (dBW)} \quad \text{Ecuación [2.14]}$$

De esta forma, la PIRE para un elemento de corriente es igual a la potencia de entrada a la antena, en dBW, más 1,76 dB.

2.7.7 Ancho de Banda

Se refiere al rango de frecuencias sobre el cual la antena opera satisfactoriamente. Se debe escoger una antena adecuada a las frecuencias de trabajo de interés a utilizar.

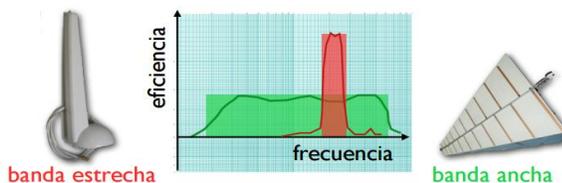


Figura [2.4]: Ancho de banda de una antena [12]

El ancho de banda de una antena se refiere al rango de frecuencias en el cual la antena opera satisfactoriamente. El ancho de banda efectivo usualmente se define como la gama de frecuencias dentro de las cuales la ROE no excede de un

determinado valor, comúnmente 1,5. También se puede definir como la gama de frecuencias dentro de las cuales factores como la ganancia, valores de los lóbulos laterales, anchura del haz, etc., están dentro de lo especificado, puesto que todos estos parámetros son afectados por la frecuencia de operación.

2.7.8 Ancho del haz a 3 dB

Es el ángulo que forman las dos direcciones para las cuales la intensidad de radiación cae a la mitad del valor máximo, medido en la dirección que contiene la dirección de ese máximo. El elemento de corriente es omnidireccional en el plano H, ya que la intensidad de radiación no depende del acimut, pero tienen un ancho de haz de 90° en el plano E. en determinadas aplicaciones es conveniente que la antena radie en un ángulo muy estrecho, definiéndose la Eficiencia del Haz como la relación entre la potencia radiada dentro del ángulo sólido y la potencia total radiada por la antena.

Es la medida angular de aquella porción del espacio en donde la potencia irradiada es mayor o igual que la mitad de su valor máximo. Se halla primero el pico de la intensidad de radiación, luego los puntos a ambos lados del pico a los cuales la radiación se ha reducido a la mitad. La distancia angular entre los dos puntos de media potencia se define como el ancho de haz. Mientras más estrecho sea el ancho de haz, mayor será la ganancia, porque la energía estará enfocada con más concentración. A mayor ganancia de la antena, menor el ancho del haz. Es importante resaltar que el patrón de radiación es un volumen, por lo que hay un ancho de haz vertical y un ancho de haz horizontal, los cuales en general serán diferentes. Una antena de muy alta ganancia tendrá un ancho de haz de unos pocos grados y deberá apuntarse muy cuidadosamente para que pueda cubrir al objetivo. Ver ANEXO [2.5]: Ancho de Haz a Potencia mitad.

2.7.9 Polarización

Las componentes lejanas del campo eléctrico E y del campo magnético H son perpendiculares a la dirección de radiación, pero pueden tener una dirección arbitraria en el plano perpendicular a esa dirección y en general tendrán componentes theta (de inclinación) y componentes phi (acimutales). El campo eléctrico producido por una antena lineal situada a lo largo del eje z tiene solo componentes theta, y en el plano x,y , solo tiene componente E_z , en coordenadas cartesianas, se dice entonces que la onda está polarizada en la dirección z . En general, si existe componente E_y y está en fase con la componente E_z , la onda electromagnética vista desde el eje x tendrá una polarización lineal en una dirección del plano y,z . Si las componentes están desfasadas 90° , entonces se producirá la polarización elíptica y si tienen iguales magnitudes, se producirá la polarización circular. En estas últimas polarizaciones el vértice del vector campo eléctrico en un punto fijo del eje x varía con el tiempo trazando una elipse o una circunferencia en sentido horario o en sentido anti horario. Si suponemos una antena transmisora lineal a lo largo del eje z y que la antena receptora, situada en el eje x , es también lineal pero está desviada un ángulo α con relación a la vertical, en los terminales de esta última solo aparecerá la tensión generada por la componente del campo $E_z \cos(\alpha)$. Esto significa que se produce una pérdida por desadaptación de la polarización y, por lo tanto, dicha pérdida afectará a la potencia recibida en un factor $p = \cos^2(\alpha)$. De igual forma se producen pérdidas por desadaptación de la polarización en el caso de la polarización elíptica si no hay una orientación correcta de los ejes mayor y menor de la elipse, e incluso se anula (en teoría) la potencia recibida cuando la antena no tiene el mismo sentido de giro que la onda incidente, tanto para la polarización elíptica como para la polarización circular.

Características de las OEM

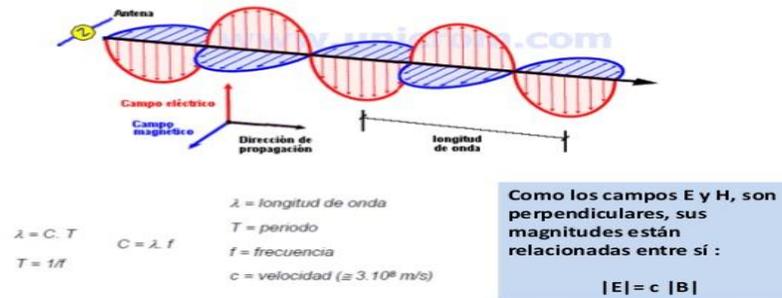


Figura [2.5]: Polarización de las OEM en la dirección de propagación. [13]

La desadaptación de polarización (Polarization mismatch) puede causar 20dB o más de atenuación. Sin embargo, la desadaptación de polarización puede ser aprovechada para transmitir dos señales diferentes simultáneamente y a la misma frecuencia, doblando así la capacidad del enlace. Para esto se usan antenas especiales que tienen alimentadores (iluminadores) duales. La capacidad real es algo inferior al doble debido a la inevitable interferencia entre las dos polarizaciones (cross polarization leakage).

2.7.10 Área efectiva

Si una antena tiene conectada en sus terminales una carga adaptada y es alcanzada por una onda electromagnética con un vector intensidad del campo eléctrico de valor eficaz E , la potencia P_r que la antena entrega a la carga se puede expresar en función de la longitud efectiva de la antena, resultando:

$$A_e = D_0 * ((\lambda)^2)/4*\pi \quad \text{Ecuación [2.15]}$$

A_e : área efectiva, λ : longitud de onda

D_0 : ganancia directiva máxima

2.7.11 Resistencia al viento

Es un factor muy significativo debido a que puede causar la destrucción de la antena y hasta del mástil de donde está colgada en presencia de vientos fuertes. Una manera de reducir la resistencia al viento es utilizar un reflector grillado. Siempre que la separación entre los elementos de la grilla en la dirección de la polarización sea una fracción de la longitud de onda, la grilla se comportará prácticamente como si fuera una superficie continua para efectos eléctricos, pero presentando mucha menor resistencia al viento. Sin embargo hay que considerar que en caso de que la grilla esté en un clima donde pueda haber nieve o hielo, los intersticios de la grilla se pueden rellenar convirtiéndose en una superficie sólida con gran resistencia al viento. Otra alternativa para reducir la resistencia al viento consiste en recubrir la antena con una envoltura curva hecha de un material transparente a las ondas de radio que se denomina Radome (Radar dome). Las antenas de tipo plano, como las sectoriales y las “patch” pueden exhibir buenas ganancias con una carga al viento muy reducida, a la vez que son eficientes para evitar la acumulación de nieve o hielo.

2.7.12 Impedancia de una antena

Todos los materiales se oponen al flujo de una corriente alterna en alguna medida. A ésta oposición se le llama impedancia y es análoga a la resistencia de los circuitos en corriente continua. La mayoría de las antenas de telecomunicaciones tienen una impedancia de 50 ohmios, mientras que las antenas y los cables para TV normalmente tienen una impedancia de 75 ohmios. Por eso es bueno asegurar que la impedancia característica del cable entre el radio y la antena sea de 50 ohmios, cualquier desadaptación (desacople) causará reflexiones indeseables y pérdidas. La impedancia se representa por la letra Z , y en general es una magnitud compleja formada por una resistencia R y una reactancia X . La impedancia es el cociente entre el voltaje y la corriente en un elemento dado, $Z=V/I$. Las reflexiones de la señal en la línea de transmisión o guía de onda producen una onda

estacionaria que se manifiesta por la presencia de picos y valles de la señal a lo largo de la línea. Las antenas para telecomunicaciones tienen una impedancia de 50 ohmios. (Ver ANEXO [2.6]: IMPEDANCIA).

2.8 Tipos de antenas

El dipolo más común se construye con dos alambres de un cuarto de longitud de onda y se denomina dipolo de media onda. Es una antena práctica de baja ganancia que se aproxima a las características de un radiador isotrópico (excepto en el plano vertical). La ganancia del dipolo puede incrementarse disponiendo varios elementos radiantes alimentados con fase alternada y colocándolos uno sobre otros para construir una antena colineal. El monopolo se obtiene sustituyendo un elemento del dipolo por un reflector. Las antenas direccionales se subdividen en antenas de alta ganancia para aplicaciones punto a punto y antenas sectoriales, que normalmente tienen anchos de haz de 60° , 90° o 120° y que pueden ser combinadas para proveer cobertura de 360° desde una estación base. Las antenas sectoriales típicamente tienen mayor ganancia que las omnidireccionales con lo que ofrecen un mayor alcance. Si cada sector es alimentado por un radio distinto, se puede obtener también mayor caudal de transmisión respecto al obtenible con una antena omnidireccional única. Unos ejemplos para aplicaciones punto a punto son las antenas de bocina, un caso particular es la llamada cantenna o antena guíaonda, las Yagis, reflectores de esquina, reflectores parabólicos (platos) y antenas planas (patch).

2.8.1 Dipolos lineales

2.8.1.1 Dipolo corto real

El elemento de corriente es útil para estudiar teóricamente los parámetros de las antenas, a pesar de no ser una antena real ni práctica. Una antena más realista sería la construida con dos varillas colineales y alimentadas en el centro por el transmisor, y que podríamos analizar cualitativamente a partir de una línea de transmisión como muestra la Figura [2.6] caso a). En la línea de transmisión se

producen ondas estacionarias con una distribución de corriente que posee un mínimo en el extremo y un máximo situado a $\lambda_0/4$ del extremo. Se puede pensar que la distribución de corriente se mantendrá aproximadamente igual que al abrir la línea de transmisión para formar una antena como se muestra esquemáticamente en la Figura [2.6] caso b). Para que una antena así construida se comporte como un dipolo herciano, debería tener una distribución de corriente uniforme a lo largo de ella, tal como aparece en la Figura [2.6] caso c), pero esa antena es solo una idealización .

Una aproximación real al dipolo elemental es el dipolo corto, con una longitud $l \ll \lambda_0$, cuya distribución de corriente es cero en los extremos y aumenta linealmente hasta el valor de I en el centro, como en la Fig. [2.6] caso d). Su corriente promedio es $I/2$ y, por tanto, la potencia radiada será la cuarta parte de la del dipolo elemental, de manera que en la resistencia de radiación se disipa la cuarta parte de la potencia, aunque en la entrada de la antena circula la misma corriente. De ésta consideración se deduce que la resistencia de radiación se reduce a la cuarta parte de la resistencia de radiación del elemento de corriente:

$$R_a = 20 * \pi^2 * (l / \lambda_0)^2 \quad \text{Ecuación [2.16]}$$

Ésta fórmula es una buena aproximación para antenas reales con una longitud l pequeña respecto a la longitud de la onda a radiar, considerándose pequeña si cumple que $l \leq 0.1 \lambda$.

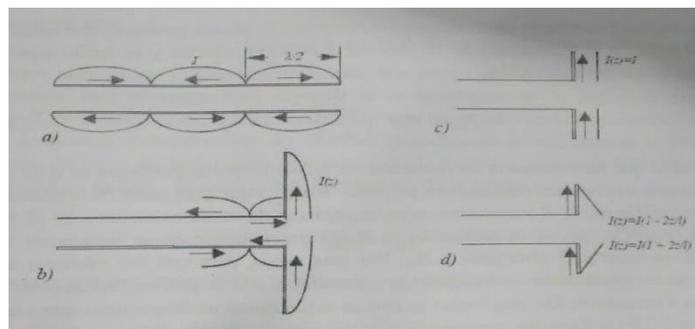


Figura [2.6]: Línea de Transmisión casos: a), b), c), d) [14]

2.8.1.2 Dipolo de $\lambda/2$

Está formado por dos elementos de $1/4 \lambda$. Muy fácil de construir en una gran gama de frecuencias. Omnidireccional en el plano perpendicular a los elementos. Ganancia de 2.15 dBi. Impedancia de entrada de 72 ohmios muy próxima a los 50ohmios del cable coaxial. Puede ser utilizado como iluminador de reflectores parabólicos o de esquina. Puede alimentarse desde el centro o en otros puntos con lo que cambia la impedancia de entrada. El dipolo se puede doblar, lo que provoca una cuadruplicación de la impedancia a 288 ohmios, muy cercana a la impedancia característica de cable bifilar plano utilizado en receptores de TV. Se puede construir fácilmente un dipolo de media onda usando cable bifilar plano separando una sección de un cuarto de longitud de onda y separando las dos mitades hasta que queden en ángulo recto para formar los dos elementos del dipolo y fijándolos horizontalmente mediante aisladores. Ver ANEXO [2.7]: Dipolo de media onda.

Para antenas lineales, el dipolo puede ser una referencia práctica, así que en muchos casos sus ganancias se especifican respecto al dipolo, y no respecto a la antena isótropa. Es útil entonces el concepto de potencia radiada aparente que se define como el producto de la potencia transmitida, multiplicada por la ganancia de la antena respecto al dipolo, en la dirección del máximo. Como la ganancia respecto a la isótropa se relaciona con la ganancia respecto al dipolo mediante la expresión $G_i(\text{dB}) = G_d(\text{dB}) + 2,15$, entonces se puede relacionar la PIRE con la PRA mediante una ecuación sencilla:

$$\text{PIRE}(\text{dBW}) = \text{PRA}(\text{dBw}) + 2,15 \quad \text{Ecuación [2.17]}$$

2.8.1.3 Dipolo tipo Yagi. [15]

Se compone de un arreglo de dipolos en paralelo de radiación longitudinal, con diferentes separaciones y longitudes. En ésta antena solamente uno de los dipolos se alimenta directamente, llamado elemento activo (dipolo doblado), los otros elementos funcionan como directores o reflectores (elementos parásitos)

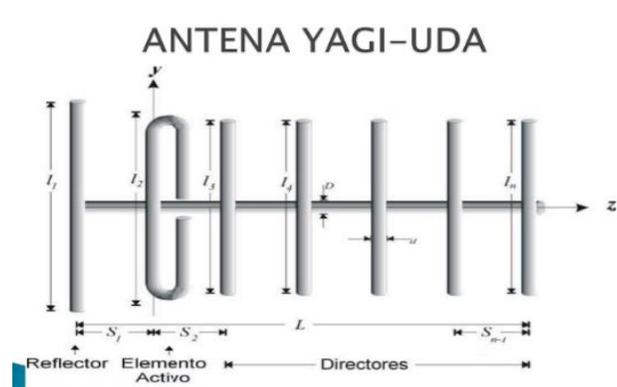


Figura [2.7]: Antena Yagi [15]

La configuración más habitual consta de un elemento activo, un reflector y entre uno y veinte directores. El elemento activo suele ser un dipolo doblado resonante, con objeto de aumentar el ancho de banda, al alimentar solamente el elemento activo, y dejando los otros alimentados indirectamente por acoplamiento mutuo. El reflector suele tener una longitud un 5% mayor que la longitud del dipolo activo, habitualmente entre $0,5\lambda$ y $0,52\lambda$. Las longitudes de los directores oscilan entre $0,38\lambda$ y $0,48\lambda$ siendo típicamente un 5% a 10% inferior a la longitud del dipolo activo. La separación entre elementos es algo mayor para el reflector (típica $0,15\lambda$) que para los directores (típica $0,11\lambda$). Las antenas Yagi se utilizan frecuente en las bandas de HF, VHF y UHF, en aplicaciones de radiodifusión de televisión, estaciones de radioaficionados y radioenlaces punto a punto. La ganancia de la antena está controlada por: a) La separación entre los directores b) La longitud y el diámetro de los elementos parásitos y c) el diámetro del larguero.

2.9 Zona de Fresnel

En cada punto “P” de la trayectoria que une al transmisor con el receptor, el lugar geométrico de los puntos cuya suma de caminos al transmisor (T) y receptor (R) sea un múltiplo de $\lambda/2$ mayor que la trayectoria directa serán unos elipsoides denominados zonas de Fresnel, y al radio asociado al círculo correspondiente se le denomina radio de la zona de Fresnel correspondiente. Las zonas de orden inferior serán las que transporten más energía y por tanto serán las más importantes. Si hay un obstáculo entre el transmisor y el receptor, de forma que no pasen todas las zonas de Fresnel (espacio libre), entonces el máximo de energía recibida se dará cuando pase la primera zona de Fresnel, después pasará por un mínimo cuando también pase la segunda zona de Fresnel y seguirá de forma ondulante amortiguada, tendiendo al valor de propagación en el espacio libre. [16]

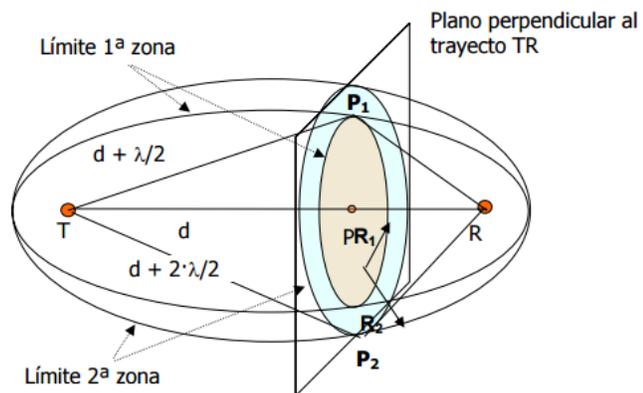
$$TP_n + P_nR = TR + n \frac{\lambda}{2}$$

Radio de la zona de Fresnel:

$$R_n = \left[\frac{n \cdot \lambda \cdot d_1 \cdot d_2}{d_1 + d_2} \right]^{1/2}$$

En unidades prácticas:

$$R_n = 550 \left[\frac{n \cdot d_1 \cdot d_2}{d \cdot f} \right]^{1/2}$$



donde d_1 , d_2 y $d=d_1+d_2$ en Km, la frecuencia f en MHz y R_n en m.

Figura [2.8]: Zona de Fresnel [16]

a) Intervalo de Visibilidad Directa:

La cuestión crucial de los estudios de la propagación en la tierra real consiste en determinar si las antenas transmisoras y receptoras están dentro del intervalo de visibilidad directa entre sí. Es deseable que entre las dos antenas exista línea de vista.

Este es un término que no debe tratarse literalmente, lo que en realidad nos indica es que no debe haber obstáculo entre la antena transmisora y la receptora.

Caso 1: si una de las antenas, la cual se puede denominar antena A, está elevada y la otra llamada B, se encuentra en la tierra, como se muestra en la figura [2.9]. El problema se puede reducir a encontrar la distancia hasta el horizonte visible. Si se establece un radio terrestre de 6.371 Km. A partir del triángulo OAC se tiene que:

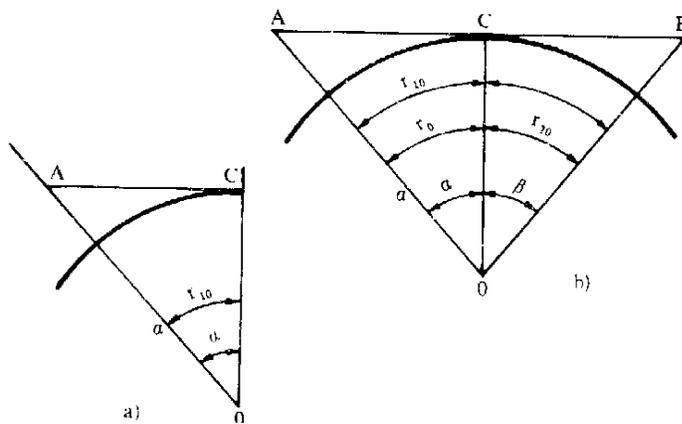


Figura [2.9]: La distancia del intervalo de visibilidad directa la representa el segmento AC. Parámetros de un enlace de comunicaciones con línea vista [17]

Propagación de Ondas Espaciales y radio horizonte:

Considerando el triángulo AOB, se tiene:

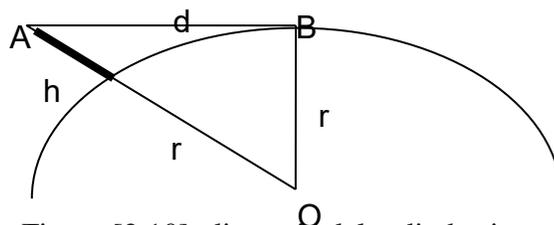


Figura [2.10]: distancia del radio horizonte

$(r + h)^2 = d^2 + r^2$ esto implica que:

$$d^2 = (r + h)^2 - r^2 = (r^2 + 2*r*h + h^2) - r^2 = 2*r*h + h^2 = 2*r*h$$

Considerando que r mucho mayor que h tenemos que:

$$d = (2*r*h)^{1/2} = (2*6371*h)^{1/2} = 112,88*(h)^{1/2} \text{ [Km]}$$

Donde r es el radio de la tierra en Km (6371 Km), h la altura de la antena en Km.

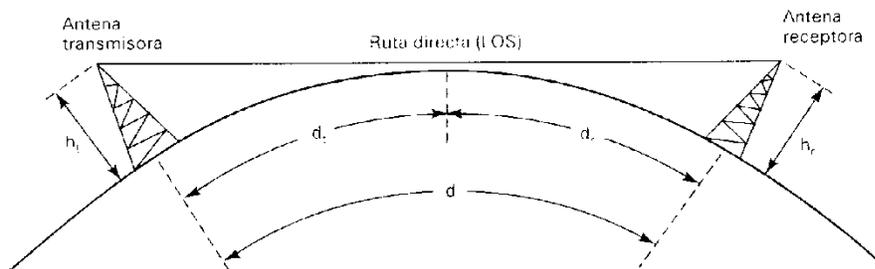


Figura [2.11]: Distancia de radio horizonte entre dos antenas

Calculo de la distancia de radio horizonte de una antena:

$$d_t = (2*r*h_t)^{1/2}$$

$$d_t = 112,88*(h_t)^{1/2} \text{ [Km]}$$

Donde: d: distancia a radio horizonte en Km, h: altura de la antena sobre el nivel del mar en Km.

Caso 2: la propagación de ondas terrestres con antenas elevadas (transmisor y receptor) se muestra en la figura [2.12]. La intensidad de campo total será la suma del rayo directo AB y el reflejado AOB debido a que se considera la tierra plana.

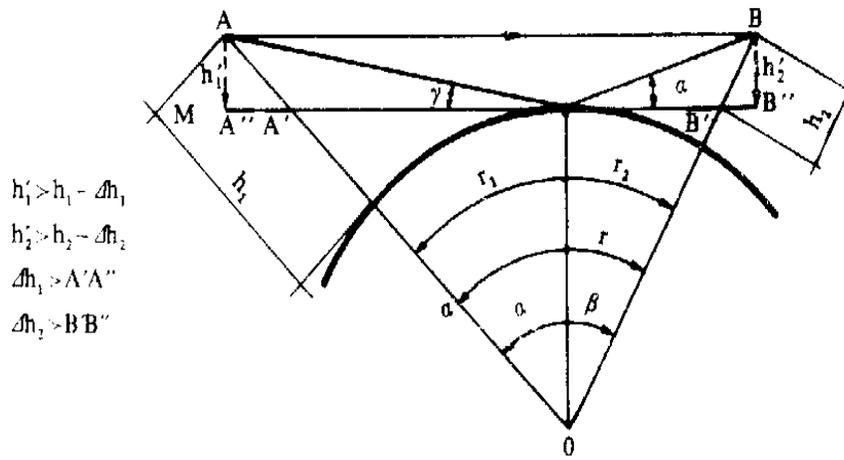


Figura [2.12]: Propagación de ondas terrestres con antenas elevadas [17]

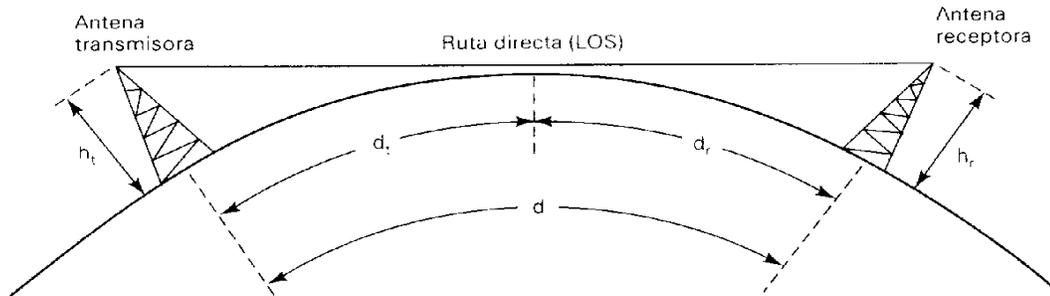


Figura [2.13]: Propagación de ondas terrestres con antenas elevadas y línea de vista

Calculo de la distancia de radio horizonte de dos antenas:

$$d = (2 \cdot r \cdot h_t)^{1/2} + (2 \cdot r \cdot h_r)^{1/2}$$

Donde d: distancia a radio horizonte Km, h: altura de la antena sobre el nivel del mar Km.

b) Radio propagación de visibilidad directa sobre colinas

Es frecuente encontrar elevaciones en la trayectoria de propagación, en tales casos, las ondas viajarán en presencia de obstáculos, aunque las antenas transmisoras

y receptoras estén dentro del intervalo de visibilidad directa. Por tanto, un terreno puede ser considerado plano para las ondas OL (Ondas Largas) y OM (Ondas Medias), mientras que ésta consideración puede cesar para las ondas ultracortas, cuando los obstáculos presentan dimensiones considerables, como se muestra en la figura a continuación:

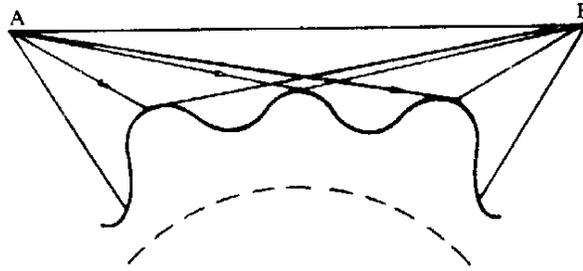


Figura [2.14]: Elevaciones entre la trayectoria de propagación [17]

A primera vista puede parecer que las ondas de radio se propagan sobre las colinas de la misma forma que en un terreno plano, exceptuando que en vez de un solo rayo, llegarán ahora más. Esto no es así, porque el rayo reflejado se forma dentro de la primera zona de Fresnel y no en un punto geométrico, y en la mayoría de los casos las cimas de las colinas son mucho más pequeñas, en tamaño, que la primera zona de Fresnel.

c) Radio propagación sobre filos de cuchillos

Los filos de Cuchillo, son obstáculos puntiagudos y opacos, en la trayectoria de propagación. Este filo idealizado, desprovisto de toda propiedad eléctrica, permite el cálculo del campo difractado por un método ampliamente conocido de la óptica geométrica.

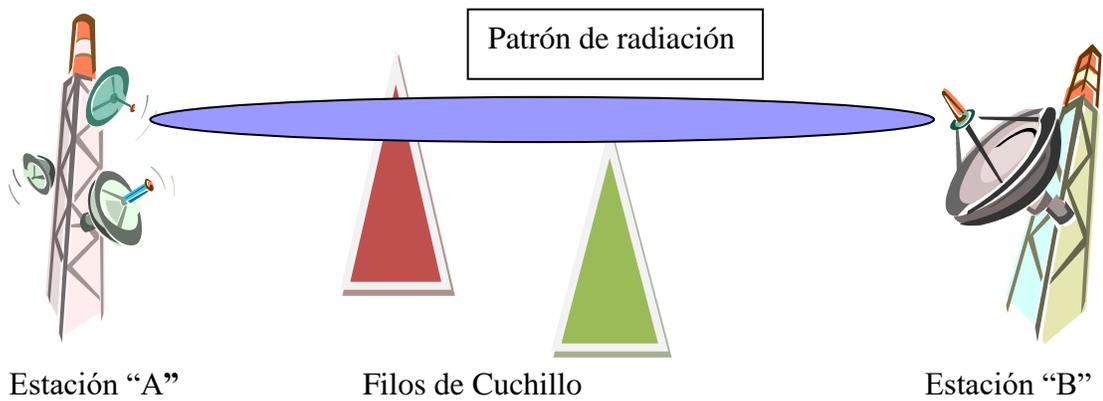


Figura [2.15]: Propagación sobre filos de cuchillos

Se analizarán dos casos de radio propagación sobre filos de cuchillos.

Caso 1: el obstáculo filo de cuchillo no corta el rayo directo y solo emerge parcialmente dentro del volumen significativo. No se obstruye el paso del rayo.

Caso 2: el obstáculo el filo de cuchillo corta el rayo directo. En este caso el filo de cuchillo obstruye el paso del frente de onda.

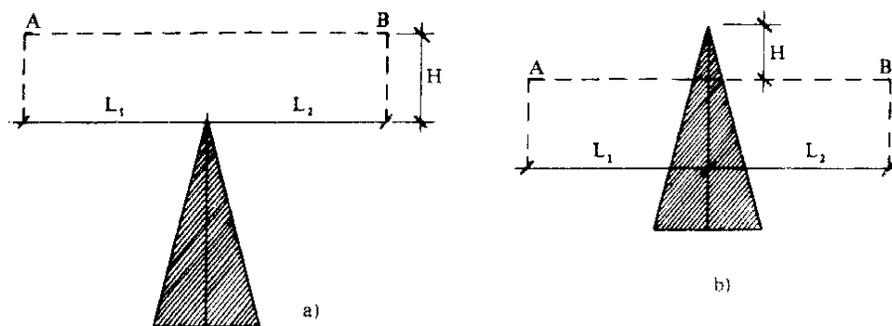


Figura [2.16]: Obstáculos filos de cuchillos: a) Caso 1 y b) Caso 2. [17]

La atenuación se puede determinar haciendo uso de la teoría de la difracción óptica.

Contribución de trayectorias para filos de cuchillo: la Figura [2.17] muestra que el campo en el punto B se debe a la combinación de cuatro rayos, cada uno de los cuales ha sufrido difracción en el filo de cuchillo. En esta figura los rayos se denominan $A'MB$, AMB' , $A'MB'$ y AMB .

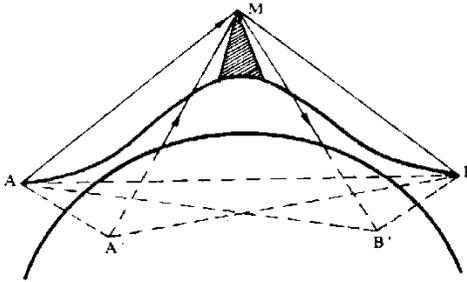


Figura [2.17]: Contribución de trayectorias para filos de cuchillo por difracción. [17]

2.10 Recomendaciones internacionales establecidas por la UIT-R para sistemas de Radiocomunicaciones

Todas las normas consultadas para éste trabajo especial de grado están relacionadas con la propagación de ondas métricas (VHF) y decimétricas (UHF) y se encuentran en los anexos. Dentro de las recomendaciones consultadas se puede citar:

1 - Recomendación UIT-R. R-REC.-V.431-8-201508-1!!MSW-S. Nomenclatura de las bandas de frecuencias y de las longitudes de onda empleadas en telecomunicaciones [18]. Ver ANEXO [2.8]

2 - Recomendación UIT-R. R-REP-M.358-5-1986-PDF-S. Relaciones de protección e intensidades mínimas de campo necesarias en los servicios móviles [19]. Ver ANEXO [2.9]

3 - Recomendación UIT-R. R-REC-P.370-7-199510-W!! MSW-S. Curvas de propagación en ondas métricas y decimétricas para la gama de frecuencias comprendidas entre 30 y 1000 MHz [20]. Ver ANEXO [2.10]

4 - Recomendación UIT-R. R-REC-P.527-3-199203-I!!MSW-S. Características eléctricas de la superficie de la tierra [21]. Ver ANEXO [2.11]

5- Recomendación UIT-R. R-REC-P.453-12-201609-I!! MSW-E Refractividad. El índice de refracción de radio: su fórmula y datos de refractividad (the radio refractive index: its formula and refractivity data) [22]. Ver ANEXO [2.12]

2.11 Normalizaciones establecidas por CONATEL para sistemas de radiocomunicaciones a nivel nacional

Dentro de las regulaciones técnicas que exige CONATEL se tienen las siguientes:

2.3.1 Descripción general del proyecto:

a) Descripción general del funcionamiento de la red a ser implementada.

b) Zona de cobertura del servicio en función de los municipios a cubrir, es decir, la zona geográfica en la que se llevará a cabo el establecimiento y explotación de la red o la prestación del servicio de telecomunicaciones. Dicha zona de cobertura estará definida por el área que se encuentra dentro del contorno de protección a ser calculado (el contorno de protección está definido según el Anexo T-5, basado en la Recomendación R-REP-M.358-5-1986-PDF-S). Para ver más detalles sobre el anexo T-5 de CONATEL ver el ANEXO [2.8]: Anexo T-5.

ANEXO [2.9]: Anexo T-1.

ANEXO [2.10]: Anexo T-10.

ANEXO [2.11]: Anexo T-6.

2.13 Métodos para cálculos de propagación

2.13.1 Métodos de Propagación Okumura. Ver ANEXO [2.17].

2.13.2 Métodos de Propagación Okumura Hata. Ver ANEXO [2.18].

2.13.3 Método de Propagación COST 231 (Evolución del método de Okumura-Hata) Ver ANEXO [2.19].

2.13.4 Métodos de Propagación Longley Rice

Es un método semiempírico creado a mediados de los años sesenta y publicado por National Bureau of Standards (NBS) como el tratado “Technical Note 101”, escrito por P. L. Rice, A. G. Longley, A. Norton and A. P. Barsis. Es también conocido como el modelo ITM (Irregular Terrain Model) y fue uno de los primeros métodos computacionales desarrollados para la predicción de las pérdidas de propagación. Este modelo toma en cuenta condiciones como conductividad del terreno, la permitividad, la refractividad atmosférica y la variabilidad de la situación. Es flexible en su manejo y puede ser usado como modelo de predicción de área o como modelo de punto a punto. Éste modelo requiere una amplia variedad de parámetros de entrada, los cuales pueden clasificarse en parámetros del sistema, parámetros ambientales, parámetros estadísticos y criterios de sesión. No obstante, dado que el énfasis principal del modelo es la consideración de los efectos del terreno irregular y de la atmósfera sobre la propagación en frecuencias de 20 MHz a 20.000 MHz, los parámetros más relevantes son el índice de refractividad de la superficie N_s , por ser el principal para describir la atmósfera y su equivalente para describir el terreno, el parámetro Δh .

Los valores que limitan el rango de operación de éste modelo son los siguientes: - frecuencia: $20 \leq f \leq 20.000$ MHz, - Altura de la antena del

transmisor: $0,5 \leq h_t \leq 3.000$ m, - Altura de la antena del receptor: $0,5 \leq h_r \leq 3.000$ m,
- Distancia: $1 \leq d \leq 2.000$ km.

Los parámetros del sistema son aquellos que se relacionan directamente con el sistema de radiofrecuencia y son independientes: - frecuencia: es la frecuencia portadora de la señal transmitida, medida en MHz, - Distancia: es la distancia entre los dos terminales, medida en metros, - Alturas de las antenas: es la altura de cada terminal transmisor y receptor, medido en metros, - Polarización: se refiere a la polarización, vertical o horizontal, de la antena. Se asume que las dos antenas realmente tienen el mismo tipo de polarización.

Los parámetros ambientales, como bien su nombre lo indica, son aquellos que describen el ambiente estadístico bajo el cual el sistema funcionará.

- Parámetro de irregularidad de Terreno Δh : es usado para caracterizar el terreno. Su función es representar, de forma arbitraria, el tamaño de las irregularidades del terreno sobre el cual se va a trabajar. Para representar éstas irregularidades, el modelo utiliza un único valor, el cual define el promedio del rango total de elevaciones tomado sin considerar 10% de los valores más altos y el 10% de los valores más bajos. Asumiendo que las variaciones de terreno tienden a ser algo similares dentro de un área relativamente pequeña, Δh será un indicativo del tipo de obstáculo primario.

En la Tabla [2.4]: Valores sugeridos para Δh , se presenta un rango de valores sugeridos para algunas descripciones cualitativas del terreno. No obstante, el terreno sobre el cual se aplicará el modelo no será siempre homogéneo, por lo que puede que el valor estimado de Δh no representa una media verdadera para cada distancia.

Tabla [2.4]: Valores sugeridos para Δh

Tipo de Terreno	Δh
Agua o Terrenos muy planos	0-10
Terrenos Planos	10-20
Terreno Ligeramente Irregular	40-60
Terreno Montañoso	80-150
Terreno Altamente Montañoso	200-500

- Índice de refracción de la superficie N_s : debe ser tratado como una función arbitraria de posición y de tiempo. Para la mayor parte de los objetivos, esta función arbitraria puede ser caracterizada por un solo número para representar el valor normal de los niveles de refractividad cerca de la tierra (partes de millón).

- Clima: el clima se encuentra cualitativamente clasificado en siete rangos y sirve para caracterizar la atmósfera y su variabilidad en el tiempo. La manera en la cual es elegido el rango dentro de un ambiente conducirá a interacciones importantes entre los dos.

Tabla [2.5]: Valores sugeridos para N_s según el tipo de clima

Clima	N_s
Ecuatorial	360
Continental Subtropical	320
Marítimo Subtropical	370
Desierto	280
Continental Templado	301
Marítimo Templado Tierra	320
Marítimo Templado Mar	350

- Permittividad relativa y Conductividad de la tierra: se refiere a las constantes eléctricas propias de la tierra. En la siguiente tabla se muestran los valores para dichas constantes, clasificadas según el tipo de tierra.

Tabla [2.6]: Valores sugeridos para las constantes eléctricas de la tierra

Tipo de Tierra	Permittividad Relativa	Conductividad de la Tierra
Tierra Promedio	15	0,005
Tierra Pobre	4	0,001
Tierra Buena	25	0,02
Agua Dulce	81	0,01
Agua de Mar	81	5

- Criterio de Sesión: es el criterio tomado sobre cada terminal para asegurar las condiciones de radiopropagación. Los criterios posibles son: - Aleatorio, - Cuidadoso, - Muy Cuidadoso

- Parámetros Estadísticos: los parámetros estadísticos son aquellos que describen el tipo y la variedad estadística que el usuario desea obtener. Tal estadística está presentada en forma de percentiles sobre la atenuación. En este modelo se toman en cuenta las estadísticas de tres características en particular, el tiempo, la situación y la posición. La situación es una medida de probabilidad impuesta sobre la colección de todos los caminos de propagación posibles, y sobre todos los momentos posibles de tiempo. Si se trabaja sobre una línea de comunicaciones única, bien definida, entonces la situación tiene sólo un camino aislado y la probabilidad asociada será uno. Por consiguiente siempre será apropiado preguntar si la situación sobre la cual el sistema funcionará. Los parámetros del sistema y ambientales y la situación sobre la

cual debe funcionar el sistema son igualmente importantes e influyentes en el efecto sobre la estadística final. Por otro lado la estadística de tiempo se refiere a la variabilidad de tiempo sobre un camino, mientras que la estadística de posición se refiere a la variabilidad de camino. Estas dos estadísticas, se encuentran íntimamente e inevitablemente ligadas. Para cuantificar la variabilidad de posición, se debe ver como la variabilidad de tiempo varia con la posición de camino. En general, los percentiles serán representados como una función de tres fracciones $A(qT, qL, qS)$, donde qT es la fracción de tiempo, qL la fracción de posición y qS la fracción de situaciones. La interpretación de $A(qT, qL, qS)$ puede definirse como sigue: “En qS situaciones parecidas habrá al menos qL de las posiciones donde la atenuación no excederá $A(qT, qL, qS)$ para al menos qT del tiempo”. Es importante señalar el orden en la cual son consideradas las tres fracciones, primeramente se debe escoger la situación, luego la posición y finalmente el tiempo.

- Atenuación: el modelo calcula una atenuación de referencia, que está directamente relacionada con las pérdidas en el espacio libre. Esta atenuación de referencia es en realidad, una función continua de distancia, para la cual se definen tres regiones o rangos, rango de línea de vista, rango de difracción y rango de dispersión.

$$A_{\text{ref}} = \max(0, A_{\text{el}} + K_1 d + K_2 \ln(d/d_{L_s})) \quad d \leq d_{L_s} \text{ (rango de línea de seguimiento)}$$

$$A_{\text{ref}} = A_{\text{ed}} + m_d d \quad d_{L_s} \leq d \leq d_x \text{ (rango de difracción)}$$

$$A_{\text{ref}} = A_{\text{es}} + m_s d \quad d_x \leq d \text{ (rango de dispersión)}$$

El rango de línea de vista, se define en distancias menores al horizonte, donde no es necesario considerar la curvatura de la tierra. No obstante, considera cierto rango pequeño de obstrucciones posibles. La atenuación en relación con el espacio libre es calculada usando fórmulas basadas en el modelo de óptica de dos rayos. El rango de difracción está definido justo después del rango de línea de vista. Para el cálculo de la atenuación en ésta región se calcula un promedio ponderado

sobre la atenuación por difracción por el método de obstáculo agudo (“Filo de Cuchillo”), y la atenuación para el problema esférico de la tierra calculado con fórmulas de Vogler. Por último, se encuentra el rango de dispersión el cual está definido para la región en la cual la longitud de camino y/o la distancia angular exceden ciertos límites decididos por el modelo. Como se puede observar en las ecuaciones para A_{ref} y en la siguiente figura, en el rango de línea de vista la atenuación de referencia es calculada como una función combinada, logarítmica y lineal, de distancia. Luego en el rango de difracción hay un aumento bastante rápido y lineal de la atenuación y en el rango de dispersión un aumento lineal mucho más lento.

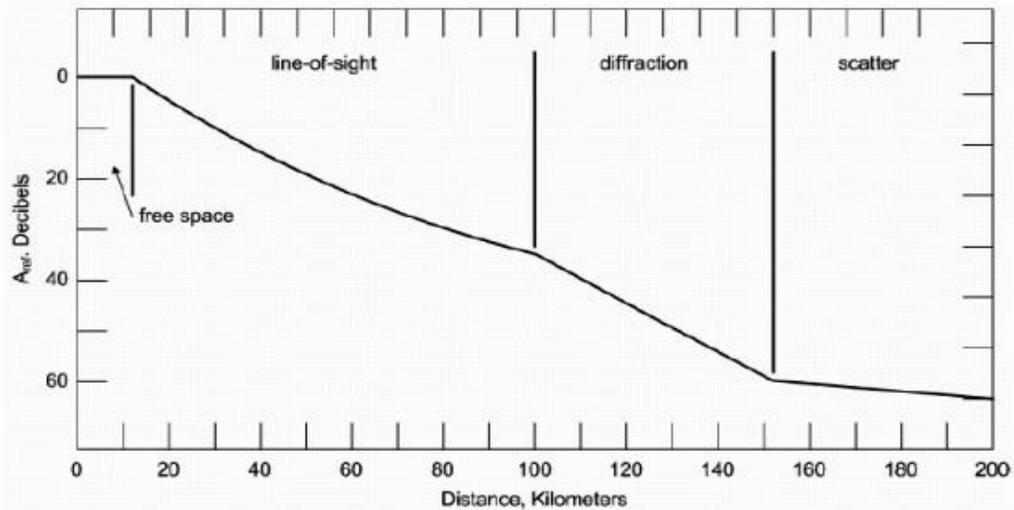


Figura [2.18] : Una gráfica típica de la atenuación de referencia en función de la distancia

La atenuación de referencia es un valor bastante representativo de la conducta de un sistema. No obstante, por sí sola no es suficiente, por lo que para obtener la atenuación definitiva (A), es necesario realizar algunos acoplamientos sobre esta. A continuación se explicaran los pasos necesarios para calcular la atenuación definitiva. Primeramente se le subtrae un pequeño valor relativo al tipo de clima (V_{med}), para convertir la atenuación de referencia en la atenuación media anual. Por último, se le restan los ajustes estadísticos referentes al tiempo, la posición

y la situación (Y_T , Y_L , Y_S), los cuales están directamente relacionados con los parámetros estadísticos explicados anteriormente.

$$A = A_{\text{ref}} - V_{\text{med}} - Y_T - Y_L - Y_S.$$

2.14 Software de uso libre Radio Mobile

Radio Mobile es un software de libre distribución para la simulación de radiopropagación gratuito desarrollado por Roger Coudé para predecir el comportamiento de sistemas radio, simular y calcular radioenlaces a larga distancia y representar el área de cobertura de una red de radiocomunicaciones, entre otras funciones. Para ello utiliza perfiles geográficos combinados con la información de los equipos (potencia, sensibilidad del receptor, características de las antenas, pérdidas, etc.) que se desean simular. El software trabaja en el rango de frecuencias entre 20 MHz y 20.000 MHz y longitudes de trayecto que van desde 1 km hasta 2000 km e implementa con buenas prestaciones el modelo de propagación ITM (Irregular Terrain Model) o modelo Longley-Rice, que es un modelo de predicción troposférica para transmisión radio sobre terreno irregular en enlaces de largo-medio alcance. Además de tener múltiples utilidades de apoyo al diseño y simulación de los enlaces y las redes de telecomunicaciones. Los parámetros a introducir para realizar las simulaciones permiten reflejar de forma fiel los equipos reales que se piensa utilizar en la instalación para la que estarían destinados. Radio Mobile utiliza para la evaluación de los radioenlaces, el perfil geográfico de las zonas de trabajo, los datos de elevación del terreno se descargan gratuitamente de Internet para crear mapas virtuales del área de interés, vistas estereoscópicas, vistas en 3-D y animaciones de vuelo. Los datos de elevación se pueden obtener de diferentes fuentes, entre ellas del proyecto de la NASA Shuttle Terrain Radar Mapping Mision (SRTM) que provee datos de altitud con una precisión de 3 segundos de arco (100m). Otros mapas también disponibles son los GTOPO30 y los DTED. En la página de Radio Mobile (<http://www.cplus.org/rmw/english1.html>) existe un enlace web directo a la página de

descarga de internet de forma gratuita, donde se puede bajar un paquete de archivos para instalar el software y sus facilidades. Esta página además incluye un guión de instalación rápida, que es bastante claro y sencillo, también contiene una sección de Preguntas Frecuentes con respuestas para las dudas más habituales y explicaciones de uso, así como consultar guías de utilización, ingresar al grupo Yahoo de discusión de Radio Mobile y consultar las especificaciones o “data sheet” del programa. La versión utilizada en éste trabajo de grado es la versión 11.6.0.

CAPÍTULO III

En éste capítulo se presenta toda la información sobre las características físicas de las estaciones y condiciones de operación de los radioenlaces, ubicación y equipos, en su estado actual y el diseño de la propuesta como solución, los datos de entrada del software de uso libre Radio Mobile, tales como: tipos de climas, refractividad, conductividad y permitividad, así como también los cálculos de: alturas de las antenas, ganancia, polarización, potencia en los transmisores y sensibilidad de los receptores.

3. DISEÑO Y CÁLCULOS

3.1 Características y condiciones de operatividad de las estaciones y los radioenlaces:

En los actuales momentos la planta de televisión TELEVEN posee las estaciones de radiocomunicaciones operativas sólo en una buena parte de la Gran Caracas, que le permite radiocomunicaciones con las estaciones de: El Cuño, El Volcán y Horizonte (La Planta TELEVEN). En el resto de las 34 estaciones de la planta que cubren el país, no está disponible el sistema de radiocomunicaciones, siendo el medio de comunicación entre las estaciones y la estación central Horizonte (La Planta TELEVEN), el uso de telefonía fija y telefonía celular, en dichas estaciones donde no opera el sistema de radiocomunicaciones. Las condiciones físicas de las estaciones cuentan con la infraestructura y servicios necesarios disponibles para ser acondicionadas con los equipos y la nueva topología de diseño del sistema de radiocomunicaciones. Los obstáculos a vencer que tienen en común cada uno de los radioenlaces, es que se transporte de manera eficiente (un nivel de recepción de la señal como mínimo de 3dB por encima del umbral del receptor) , la señal de voz a largas distancias, minimizando las pérdidas de propagación y desvanecimiento de la señal, para ello se estudiaron, analizaron y se tomaron en cuenta todas las variables y

parámetros específicos que exige el uso del software Radio Mobile, así como también se estudió la tecnología de los sistemas de radiocomunicaciones en UHF y VHF. Para determinar los parámetros de entrada que exige el software Radio Mobile, se aplicaron las recomendaciones de la UIT-R: R-REC-P.453-12-201609-I!! MSW-E (recomendación vigente actualmente), R-REC-P.527-3-199203-I!!MSW-S (recomendación vigente actualmente), R-REC-P.370-7-199510-W!! MSW-S (ésta recomendación sólo se usó como referencia porque está suprimida) y las normalizaciones de CONATEL: R-REC-M.358-5-1986-PDF-S (ésta recomendación sólo se usó como referencia porque está suprimida).

En las tablas, Tabla 3.1 y Tabla 3.2, se muestran las características relevantes de los equipos distribuidos en las estaciones: transmisores (Tx), antenas y su ubicación actualmente.

3.1.1 Distribución actual a nivel nacional de los equipos de transmisión (Tx) del sistema de radiocomunicaciones.

Tabla 3.1: Equipos de transmisión (Tx) del sistema de radiocomunicaciones actual a nivel nacional.

TRANSMISORES					
ESTADO	ESTACIÓN	Tx	MARCA / MÓDELO	POT. [W]	CANT.
DTTO. CAPITAL	EL CUÑO	Tx	MOTOROLA MSR-2000	80	1
MIRANDA	HORIZONTE (TELEVEN)	Tx	MOTOROLA GM-300	35	1
MIRANDA	LOS TEQUES	Tx	MOTOROLA GM-300	30	2
ARAGUA	PLATILLON	Tx	MOTOROLA PRO-7100	20	1

TRANSMISORES					
ESTADO	ESTACIÓN	Tx	MARCA / MÓDELO	POT. [W]	CANT.
ARAGUA	PLATILLON	Tx	KENWOOD TKR-750	30	1
ARAGUA	MARACAY	Tx	MOTOROLA GM-300	30	1
ANZOATEGUI	PTO. LA CRUZ	Tx	MOTOROLA GM-300	35	1
ANZOATEGUI	EL GUAMAL	Tx	MOTOROLA QUANTAR	80	1
ANZOATEGUI	EL TIGRE	Tx	MOTOROLA GM-300	30	1
NVA. ESPARTA	MARGARITA	Tx	MOTOROLA GM-300	30	1
MONAGAS	MATURIN	Tx	MOTOROLA GM-300	30	1
BOLÍVAR	PTO. ORDAZ	Tx	MOTOROLA GM-300	30	1
LARA	BARQUISIMETO	Tx	MOTOROLA GM-300	30	1
TRUJILLO	BOCONÓ	Tx	MOTOROLA GM-300	30	1
TRUJILLO	VALERA	Tx	MOTOROLA GM-300	30	1
ANZOATEGUI	EL TIGRE	Tx	MOTOROLA M-206	45	1

TRANSMISORES					
ESTADO	ESTACIÓN	Tx	MARCA / MÓDELO	POT. [W]	CANT.
BOLÍVAR	PTO. ORDAZ	Tx	MOTOROLA M-206	45	1
BOLÍVAR	CD. BOLÍVAR	Tx	MOTOROLA M-206	45	1
Leyenda:				TOT.	19

UHF	VHF
-----	-----

3.1.2 Distribución actual a nivel nacional de las antenas del sistema de radiocomunicaciones.

Tabla 3.2: Antenas del sistema de radiocomunicaciones actual a nivel nacional.

ANTENAS				
ESTADO	ESTACIÓN	MARCA / MÓDELO	GAN. [dBd]	CANT.
DTTO. CAPITAL	EL CUÑO	DB-411	9	1
MIRANDA	HORIZONTE (TELEVEN)	ASP-760	9	1
MIRANDA	LOS TEQUES	YAGI	6	2
ARAGUA	PLATILLON	YAGI	6	1
ARAGUA	PLATILLON	DB-404	5	1
ARAGUA	MARACAY	YAGI	6	1
ANZOATEGUI	PTO. LA CRUZ	ASP-760	9	1
ANZOATEGUI	EL GUAMAL	DB-413	12	1
ANZOATEGUI	EL TIGRE	YAGI	6	1

ANTENAS				
ESTADO	ESTACIÓN	MARCA / MÓDELO	GAN. [dBd]	CANT.
NVA. ESPARTA	MARGARITA	YAGI	6	1
MONAGAS	MATURIN	YAGI	6	1
BOLÍVAR	PTO. ORDAZ	YAGI	6	1
LARA	BARQUISIMETO	YAGI	6	1
TRUJILLO	BOCONÓ	YAGI	6	1
TRUJILLO	VALERA	YAGI	6	1
ANZOATEGUI	EL TIGRE	ASP-817	6,85	1
BOLÍVAR	PTO. ORDAZ	ASP-817	6,85	1
BOLÍVAR	CD. BOLÍVAR	ASP-817	6,85	2
Leyenda:			TOT.	20

UHF	VHF
-----	-----

Para proponer una solución eficiente (un nivel de recepción de la señal como mínimo de 3dB por encima del umbral del receptor) y lograr los objetivos planteados en éste trabajo de grado, se tomó la decisión de hacer una nueva redistribución de los equipos existentes operativos y disponibles para la planta, y luego, de ser necesario, determinar las características técnicas de los equipos nuevos que se deben adquirir para completar el diseño.

3.2 Parámetros de entrada del software de uso libre Radio Mobile

Para todos los cálculos de diseño con Radio Mobile, se emplearon los siguientes valores para los parámetros de entrada:

3.2.1 Refractividad: se utilizó la recomendación de la UIT-R llamada, Recommendation ITU-R P.453-12 (09/2016) de donde se utilizó la fórmula 12 de la página 4:

$$N_s = N_o * e^{-(hs/ho)} \quad \text{Ecuación (3.1)}$$

Donde:

N_s : es el valor de la refractividad de la superficie en Unidades-N.

N_o : es el valor promedio de la refractividad atmosférica en los meses de febrero y agosto (ver figura 1 y figura 2 de la página 5 y 6 respectivamente de la recomendación ITU-R P.453-12).

h_s : altura promedio para el nivel de refractividad de la superficie.

h_o : altura promedio para el nivel de refractividad atmosférica.

Se tomó como datos de la recomendación ITU-R P.453-12: $N_o = 370$, $h_o = 7,35$ Km y para el valor promedio h_s se calculó $h_s = 1,179$ Km (para el radioenlace El Volcán – Sabana Larga), $h_s = 0,621$ Km (para el radioenlace Sabana Larga – Puerto La Cruz), $h_s = 1,438$ Km (para el radioenlace Sabana Larga – La Corona), $h_s = 1,054$ Km (para el radioenlace La Corona – Puerto Ordaz).

$$N_s = 370 * e^{-(1,179/7,35)} = 315,16 \quad (\text{para el radioenlace El Volcán – Sabana Larga}).$$

$$N_s = 370 * e^{-(0,621/7,35)} = 340 \quad (\text{para el radioenlace Sabana Larga – Puerto La Cruz}).$$

$$N_s = 370 * e^{-(1,438/7,35)} = 304 \quad (\text{para el radioenlace Sabana Larga – La Corona}).$$

$$N_s = 370 * e^{-(1,054/7,35)} = 320 \quad (\text{para el radioenlace La Corona – Puerto Ordaz}).$$

El factor del radio efectivo de la tierra “k” depende de N_s , mediante la siguiente ecuación, tomada del Anexo [3.2]:

$$N_s = 179,3 * \ln((1/0,046665) * (1-(1/k))) \quad \text{Ecuación (3.2)}$$

Se tomó como valor de $N_s = 352,53$, porque es el que garantiza un valor de $k = 3/2$ (ver ANEXO [3.1]), que es el valor que se recomienda para cálculos teóricos más aproximados para Venezuela.

3.2.2 Conductividad: se utilizó el valor de 5 S/m para los radioenlaces: El Volcán – Sabana Larga, Sabana Larga – Nueva Esparta y Sabana Larga – Higuerote, porque los mismos se calcularon con propagación sobre agua salada, y para los demás radioenlaces se tomó el valor de 0,001 S/m, porque se simuló como si se propaga sobre tierra pobre. Los valores se tomaron de la recomendación ITU-R P.527-3-199203 MSW-S.

3.2.3 Permitividad: se manejó el valor de 80 para los para los radioenlaces: El Volcán – Sabana Larga, Sabana Larga – Nueva Esparta y Sabana Larga – Higuerote, porque los mismos se calcularon con propagación sobre agua salada, y para los demás radioenlaces se tomó el valor de 4, porque se simuló como si se propaga sobre tierra pobre. Los valores se tomaron de la recomendación ITU-R P.527-3-199203 MSW-S.

3.2.4 Tipos de clima:

3.2.4.1 Clima Ecuatorial: para todo los radioenlaces a nivel nacional excepto los tres donde se trabajó con clima marítimo.

3.2.4.2 Clima Marítimo Templado sobre Mar: para los radioenlaces El Volcán – Sabana Larga, Sabana Larga – Nueva Esparta y Sabana Larga – Higuerote.

3.2.5 Modo Estadístico:

Es la forma de medir la variabilidad y tiene tres modos de configuración: Intento (sólo % de situaciones), Accidental (sólo % de tiempo y % de situaciones), Móvil (sólo % de tiempo y % de situaciones) y Difusión (maneja los

tres modos % de tiempo, % de ubicaciones y % de situaciones). Para el diseño de éste sistema se tomó el modo estadístico de Difusión.

3.2.5.1 Difusión:

El software de uso libre Radio Mobile está configurado, por defecto, en el modo estadístico para difusión, con los valores mínimos en 50% de Tiempo, 50% de Ubicaciones y 50% de Situaciones para considerar un radioenlace como estable por encima de los 3dB en recepción de la señal transmitida. Así mismo, CONATEL, en su Anexo T-5, sobre los contornos de servicio y protección, también exige los mismos valores como mínimos para considerar la aprobación de un radioenlace, dicho ente rector se basa en los resultados del informe 358-5 de la CCIR de manera referencial en vista de que dicho informe esta suprimido por UIT-R. En éste diseño del sistema, con la intención de lograr un mejor resultado, como contorno de servicio y protección, se logró fijar como valores máximos, para todos los radioenlaces, los valores en común de 90% de Tiempo, 70% de Ubicaciones y 70% de Situaciones. El porcentaje de variabilidad de un parámetro (Tiempo, Ubicaciones o Situaciones) del sistema, es la forma de representar la cantidad de variaciones o muestras que se pueden tomar de dicho parámetro del total de muestras que presenta el radioenlace durante su estudio. Esto quiere decir, que para el diseño solución, se tomó la variabilidad de: 90% de Tiempo, como el 90% del tiempo total que transcurrió durante el estudio; 70% de Ubicaciones, como el 70% del total de ubicaciones tomadas durante el estudio y 70% de Situaciones, como el 70% del total de situaciones que ocurrió durante el estudio.

3.2.6 Frecuencia de Trabajo: 491 MHz y 496 MHz en (UHF) y 156,15 MHz y 162,6 MHz en (VHF), éstos son los cuatros canales de trabajo, que la planta tiene el permiso vigente por CONATEL para radiopropagación.

3.2.7 Polarización: en cada uno de los radioenlaces se diseñó con polarización horizontal, es decir, el plano que contiene las ondas de campo eléctrico es paralelo al plano de la superficie terrestre y perpendicular al plano que contiene las ondas de campo magnético, esto obedece a dos razones: 1) Ante la presencia de uno o más obstáculos (ejemplo: arboles, edificios, montañas, etc., ubicados en posición vertical) en la trayectoria, entre el transmisor y el receptor, que provocará en la señal pérdidas o desvanecimiento, la polarización horizontal permite que el frente de onda al chocar con los posibles obstáculos, sólo sufra pérdidas parciales muy poco significativas y manteniendo los niveles de señal de recepción deseados para una comunicación eficiente (un nivel de recepción de la señal como mínimo de 3dB por encima del umbral del receptor). 2) Como el diseño solución del sistema es una combinación interconectada de dos o más radioenlaces Punto-Multipunto, aunque en ese extremo “Punto” la antena directiva es un dipolo tipo Yagi, en su otro extremo complementario “Multipunto”, estará en todos los casos, apuntando a una antena con patrón de radiación omnidireccional y polarización horizontal. Estas dos importantes razones son las que obligan la escogencia del uso de la polarización horizontal en todos los radioenlaces que conforman el sistema.

En las tablas, Tabla [3.3] y Tabla [3.4], se muestra la nueva redistribución de los equipos: transmisores (Tx) y antenas, y su ubicación según el diseño parte de la solución.

3.3 Redistribución a nivel nacional de los equipos de transmisión (Tx) del diseño del sistema de radiocomunicaciones.

Tabla 3.3: Equipos de transmisión (Tx) del sistema de radiocomunicaciones y su redistribución a nivel nacional.

TRANSMISORES						
ESTADO	ESTACIÓN	T x	MARCA / MÓDELO	POT. [W]	#	OBS.
DTTO. CAPITAL	EL VOLCAN	T x	MOTOROLA MSR-2000	80	1	UBICACIÓN ANTIGUA EL CUÑO
ANZOATEGUI	SABANA LARGA	T x	MOTOROLA QUANTAR	80	1	UBICACIÓN ANTIGUA EL GUAMAL
ANZOATEGUI	PTO. LA CRUZ	T x	MOTOROLA GM-300	30	1	UBICACIÓN ANTIGUA LOS TEQUES
ANZOATEGUI	LA CORONA	T x	MOTOROLA QUANTAR	80	1	EQUIPO NVO.
BOLÍVAR	PTO.ORDAZ	T x	MOTOROLA QUANTAR	80	1	EQUIPO NVO.
DTTO. CAPITAL	EL CUÑO	T x	MOTOROLA GM-300	30	1	UBICACIÓN ANTIGUA PTO ORDAZ
DTTO. CAPITAL	CARICUAO	T x	MOTO. PRO- 7100	20	1	UBICACIÓN ANTIGUA PLATILLÓN

TRANSMISORES						
ESTADO	ESTACIÓN	T x	MARCA / MÓDELO	POT. [W]	#	OBS.
DTTO. CAPITAL	CASTILLITO	T x	MOTOROLA GM-300	30	1	UBICACIÓN ANTIGUA BQTO.
MIRANDA	HORIZONTE (TELEVEN)	T x	MOTO. PRO- 7100	20	1	EQUIPO NVO.
MIRANDA	LOS TEQUES	T x	MOTOROLA GM-300	30	1	UBICACIÓN ANTIGUA LOS TEQUES
MIRANDA	AUYARITO	T x	MOTO. PRO- 7100	20	1	EQUIPO NVO.
MIRANDA	HIGUEROTE	T x	MOTO. PRO- 7100	20	1	EQUIPO NVO.
VARGAS	CERRO BLANCO	T x	MOTO. PRO- 7100	20	1	EQUIPO NVO.
VARGAS	LITORAL CENTRAL	T x	MOTO. PRO- 7100	20	1	EQUIPO NVO.
BOLÍVAR	CD. BOLÍVAR	T x	MOTOROLA GM-300	35	1	UBICACIÓN ANTIGUA PTO. LA CRUZ
ANZOATEGUI	EL TIGRE	T x	MOTO. PRO - 7100	20	1	EQUIPO NVO.
MONAGAS	MATURIN	T x	MOTOROLA GM-300	30	1	UBICACIÓN ANTIGUA MATURIN

TRANSMISORES						
ESTADO	ESTACIÓN	T x	MARCA / MÓDELO	POT. [W]	#	OBS.
DELTA AMACURO	TUCUPITA	T x	MOTOROLA GM-300	35	1	UBICACIÓN ANTIGUA HORIZONTE
NVA. ESPARTA	NVA. ESPARTA	T x	MOTOROLA GM-300	30	1	UBICACIÓN ANTIGUA NVA. ESPARTA
CARABOBO	PTO. CABELLO	T x	MOTO. PRO - 7100	20	1	EQUIPO NVO.
GUARICO	PLATILLON	T x	MOTOROLA QUANTAR	80	1	EQUIPO NVO.
ARAGUA	MARACAY	T x	MOTO. PRO - 7100	20	1	EQUIPO NVO.
CARABOBO	VALENCIA	T x	KENWOOD TKR-750	30	1	UBICACIÓN ANTIGUA PLATILLÓN
GUARICO	VALLE DE LA PASCUA	T x	MOTOROLA GM-300	30	1	UBICACIÓN ANTIGUA EL TIGRE
APURE	SAN FERNANDO	T x	MOTOROLA GM-300	30	1	UBICACIÓN ANTIGUA MARACAY
APURE	ACHAGUAS	T x	MOTOROLA QUANTAR	80	1	EQUIPO NVO.

TRANSMISORES						
ESTADO	ESTACIÓN	T x	MARCA / MÓDELO	POT. [W]	#	OBS.
LARA	BQTO.	T x	MOTOROLA GM-300	30	1	UBICACIÓN ANTIGUA BOCONÓ
PORTUGUESA	ARAURE	T x	MOTOROLA GM-300	30	1	UBICACIÓN ANTIGUA VALERA
PORTUGUESA	CORO	T x	MOTOROLA QUANTAR	80	1	EQUIPO NVO.
LARA	CARORA	T x	MOTOROLA QUANTAR	80	1	EQUIPO NVO.
TRUJILLO	BOCONÓ	T x	MOTOROLA GM-300	35	1	EQUIPO NVO.
TRUJILLO	VALERA	T x	MOTOROLA GM-300	35	1	EQUIPO NVO.
ZULIA	MARACAIBO	T x	KENWOOD TKR-750	80	1	UBICACIÓN ANTIGUA PLATILLÓN
TRUJILLO	VALERA	T x	MOTOROLA M-206	45	1	UBICACIÓN ANTIGUA PTO. ORDAZ
MERIDA	CERRO AZUL	T x	MOTOROLA M-206	45	1	UBICACIÓN ANTIGUA CD. BOLÍVAR

TRANSMISORES						
ESTADO	ESTACIÓN	T x	MARCA / MÓDELO	POT. [W]	#	OBS.
TACHIRA	SAN TELMO	T x	MOTOROLA M-206	45	1	UBICACIÓN ANTIGUA EL TIGRE
MERIDA	MÉRIDA	T x	MOTOROLA GM-300	35	1	EQUIPO NVO.
TACHIRA	SAN CRISTOBAL	T x	MOTOROLA GM-300	30	1	EQUIPO NVO.
TACHIRA	UREÑA	T x	MOTOROLA GM-300	30	1	EQUIPO NVO.
Leyenda				TOT.	39	

UHF	VHF
UHF: CARACAS + PTO. LA CRUZ + PTO. ORDAZ	

3.4 Redistribución a nivel nacional de las antenas del diseño del sistema de radiocomunicaciones.

Tabla 3.4: Antenas del sistema de radiocomunicaciones y su redistribución a nivel nacional.

ANTENAS					
ESTADO	ESTACIÓN	MARCA / MÓDELO	GAN. [dBd]	#	OBS.
DTTO. CAPITAL	EL VOLCAN	DB-411 (Arreglo 4 dipolos)	9	1	UBICACIÓN ANTIGUA EL CUÑO
ANZOATEGUI	SABANA LARGA	DB-413 (Arreglo 8 dipolos)	12	1	UBICACIÓN ANTIGUA EL GUAMAL
ANZOATEGUI	PTO. LA CRUZ	YAGI	6	1	UBICACIÓN ANTIGUA LOS TEQUES
ANZOATEGUI	LA CORONA	DB-413	12	1	NVA.
BOLÍVAR	PTO.ORDAZ	DB-413	12	1	NVA.
DTTO. CAPITAL	EL CUÑO	DIPOLO	6	1	NVA.
DTTO. CAPITAL	CARICUAO	YAGI	6	1	NVA.
DTTO. CAPITAL	CASTILLITO	DIPOLO	6	1	NVA.

ANTENAS					
ESTADO	ESTACIÓN	MARCA / MÓDELO	GAN. [dBd]	#	OBS.
MIRANDA	HORIZONTE (TELEVEN)	YAGI	6	1	UBICACIÓN ANTIGUA PLATILLON
MIRANDA	LOS TEQUES	DIPOLO	6	1	NVA.
MIRANDA	AUYARITO	YAGI	6	1	UBICACIÓN ANTIGUA MARACAY
MIRANDA	HIGUEROTE	YAGI	6	1	UBICACIÓN ANTIGUA EL TIGRE
VARGAS	CERRO BLANCO	DIPOLO	6	1	NVA.
VARGAS	LITORAL CENTRAL	YAGI	6	1	UBICACIÓN ANTIGUA LOS TEQUES
BOLÍVAR	CD. BOLÍVAR	ASP-760	9	1	UBICACIÓN ANTIGUA TELEVEN
ANZOATEGUI	EL TIGRE	YAGI	6	1	UBICACIÓN ANTIGUA PTO. ORDAZ
MONAGAS	MATURIN	YAGI	6	1	UBICACIÓN ANTIGUA MATURIN

ANTENAS					
ESTADO	ESTACIÓN	MARCA / MÓDELO	GAN. [dBd]	#	OBS.
DELTA AMACURO	TUCUPITA	ASP-760	9	1	UBICACIÓN ANTIGUA PTO. LA CRUZ
NVA. ESPARTA	NVA. ESPARTA	YAGI	6	1	UBICACIÓN ANTIGUA NVA. ESPARTA
CARABOBO	PTO. CABELLO	YAGI	6	1	NVA.
GUARICO	PLATILLON	DB-413	12	1	NVA.
ARAGUA	MARACAY	YAGI	6	1	UBICACIÓN ANTIGUA BARQUISIMETO
CARABOBO	VALENCIA	YAGI	6	1	UBICACIÓN ANTIGUA BOCONÓ
GUARICO	VALLE DE LA PASCUA	YAGI	6	1	UBICACIÓN ANTIGUA VALERA
APURE	SAN FERNANDO	YAGI	6	1	NVA.
APURE	ACHAGUAS	YAGI	12	1	NVA.
LARA	BARQUISIMETO	DIPOLO	6	1	NVA.
PORTUGUESA	ARAURE	DIPOLO	6	1	NVA.

ANTENAS					
ESTADO	ESTACIÓN	MARCA / MÓDELO	GAN. [dBd]	#	OBS.
FALCÓN	CORO	DB-413	12	1	NVA.
LARA	CARORA	YAGI	12	1	NVA.
TRUJILLO	BOCONÓ	DIPOLO	9	1	NVA.
TRUJILLO	VALERA	DIPOLO	9	1	NVA.
ZULIA	MARACAIBO	DB-404	5	1	UBICACIÓN ANTIGUA PLATILLON
TRUJILLO	VALERA	ASP-817	6,85	1	UBICACIÓN ANTIGUA EL TIGRE
MERIDA	CERRO AZUL	ASP-817	6,85	2	UBICACIÓN ANTIGUA CD. BOLÍVAR
TACHIRA	SAN TELMO	ASP-817	6,85	1	UBICACIÓN ANTIGUA PTO. ORDAZ
MERIDA	MÉRIDA	YAGI	9	1	NVA.
TACHIRA	SAN CRISTOBAL	DIPOLO	6	1	NVA.
TACHIRA	UREÑA	YAGI	6	1	NVA.
UHF	VHF		TOT.	40	

UHF: CARACAS + PTO. LA CRUZ + PTO. ORDAZ

Las características técnicas de las antenas están referenciadas en los anexos

3.5 Determinación de los parámetros mínimos necesarios de cada uno de los radioenlaces con el apoyo del software de uso libre Radio Mobile:

3.5.1 RADIOENLACE EL VOLCAN – SABANA LARGA:

3.5.1.1 Descripción de la estación de Transmisión El Volcán.

Tabla 3.5: Estación de Transmisión El Volcán.

ESTACIÓN	UBICACIÓN	A.S.N.M. [mts.]	COORDENADAS	
			LATITUD	LONGITUD
EL VOLCAN	BARUTA, Edo. MIRANDA	1490,8	10°24'59,8'' N	66°51'6,5'' O
EQUIPOS				
Tx				
POTENCIA		MARCA	MODELO	
80W (49,03 dBm)		Motorola	MSR-2000	
ANTENA			LÍNEA de TRANSMISIÓN	
GANANCIA	POLARIZACIÓN	MODELO	MODELO	
9 dBd (11,1 dBi)	VERTICAL	DB-411	LDF5-50	
Rx				
SENSIBILIDAD				
μV	dBm			
0,35	-116,1			

Descripción técnica del Receptor, sensibilidad:

La sensibilidad de éste equipo es de $0,35 \mu V = -116,1 \text{ dBm}$. Sin embargo la solución planteada en la simulación se diseñó con una sensibilidad de

0,7 μ V = -110,1 dBm para compensar la presencia de interferencia que el software, en muchos casos, no toma en cuenta a la hora de hacer la predicción de dicha propagación.

3.5.1.2 Descripción de la estación de Transmisión Sabana Larga.

Tabla 3.6: Estación de Transmisión Sabana Larga.

ESTACIÓN	UBICACIÓN	A.S.N.M. [mts.]	COORDENADAS	
			LATITUD	LONGITUD
SABANA LARGA	EDO. ANZOÁTEGUI, PUERTO LA CRUZ	868,7	10°10'33,8'' N	64°32'53,6'' O
EQUIPOS				
Tx				
POTENCIA		MARCA	MODELO	
80W (49,03dBm)		MOTOROLA	QUANTAR	
ANTENA			LÍNEA de TRANSMISIÓN	
GANANCIA	POLARIZACIÓN	MODELO	MODELO	
12 dBd (14,1 dBi)	VERTICAL	DB-413	LDF5-50	
Rx				
SENSIBILIDAD				
μ V	dBm			
0,35	-116,1			

3.5.1.3 ENLACE DE RADIO:

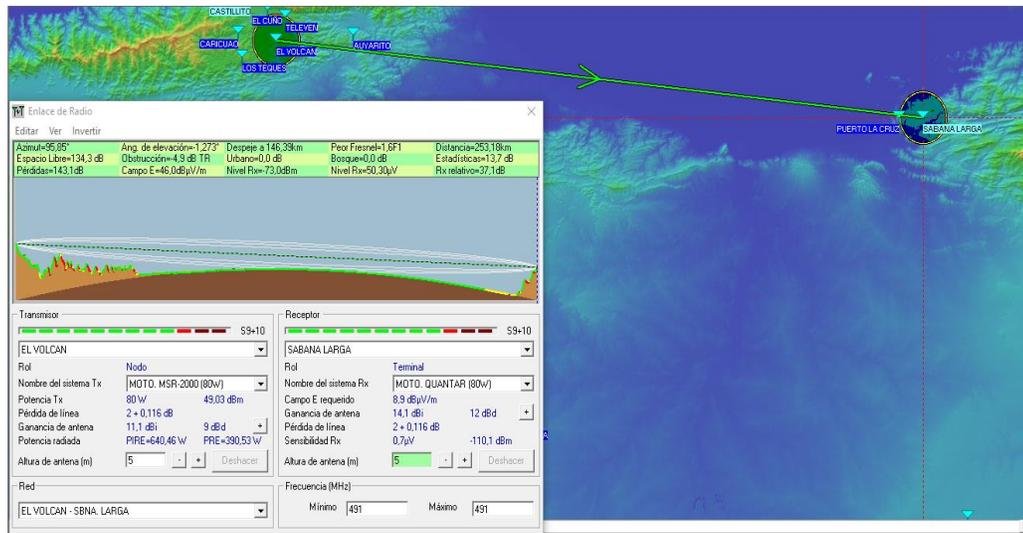


Figura 3.1: Radioenlace El Volcán – Sabana Larga en mapa topográfico.

De la Figura 3.1 se logró obtener el simulador del radioenlace entre las estaciones El Volcán – Sabana Larga en mapa topográfico que nos indica según sus colores: Azul, Verde, Amarillo y Rojo, las cotas de la altura relativa sobre el nivel del mar. Así como también que en su perfil topográfico resultó que:

El azimuth es de $95,85^\circ$ y el ángulo de elevación es de $-1,273^\circ$.

El despeje está a una distancia de 146,39Km.

El mínimo despeje es de $1,6F_1$.

La distancia total aproximada del radio enlace es de 253,18Km.

Las pérdidas en espacio libre es de 134,3dB.

Las pérdidas total aproximada es de 143,1dB.

La potencia del transmisor es de 80W (49,03dBm).

La ganancia de la antena del transmisor es de 11,1dBi (9dBd).

La ganancia de la antena del receptor es de 14,1dBi (12dBd).

El nivel de recepción R_x es de -73,0dBm.

La sensibilidad del receptor es de -110,1dBm (0,7 μ V). A pesar de que los equipos poseen una sensibilidad de -116,1dBm (0,35 μ V).

El rayo y flecha de color verde en el mapa nos indica que hay comunicación eficiente (un nivel de recepción de la señal como mínimo de 3dB por encima del umbral del receptor) entre el transmisor (Tx: estación El Volcán) y el receptor (Rx: estación Sabana Larga), con un nivel de recepción relativo R_x de 37,1dB. También se comprobó comunicación óptima en el trayecto inverso, es decir, comunicación eficiente (un nivel de recepción de la señal como mínimo de 3dB por encima del umbral del receptor) entre el transmisor (Tx: estación Sabana Larga) y el receptor (Rx: estación El Volcán) a una frecuencia $f=496$ MHz.

Se utilizó antenas tipo dipolo con patrones de radiación omnidireccional, para ambas estaciones, porque a pesar de que es un enlace punto a punto, (donde es más eficiente (un nivel de recepción de la señal como mínimo de 3dB por encima del umbral del receptor) el uso de antenas directivas tipo Yagi), ambas estaciones en la topología del diseño están dedicadas a comunicarse en simultaneo con sus otras estaciones vecinas, para el caso de la estación El Volcán, se comunica con las estaciones de: Horizonte (La Planta TELEVEN), El Cuño, Caricuao, Castillito y Los Teques. Para el caso de la estación Sabana Larga se comunica con las estaciones: Puerto La Cruz, Nueva Esparta y La Corona.

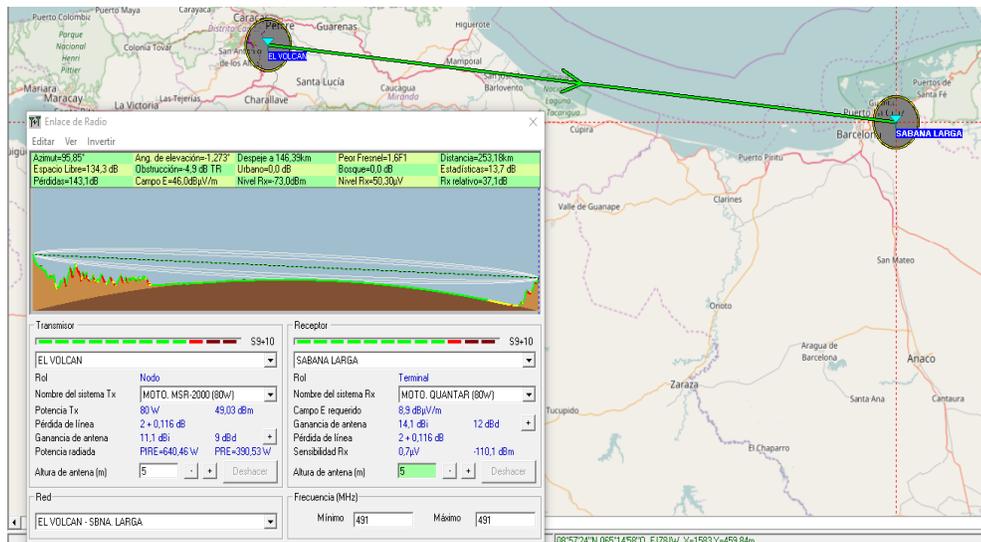


Figura 3.2: Radioenlace El Volcán – Sabana Larga en mapa político.

De la Figura 3.2 se logró obtener el simulador del radioenlace entre las estaciones El Volcán – Sabana Larga en mapa político que nos permitió ver los estados (Dtto. Capital, Miranda y Anzoátegui), las ciudades y zonas del país por donde está orientada la propagación de las ondas electromagnéticas y ubicación de las estaciones (El Volcán-Sabana Larga). Es importante destacar que el salto de propagación es de 253Km y viaja aproximadamente desde el Km 106 (del Tx) hasta el Km 242 (del Tx) sobre agua salada (136Km de recorrido), en el perfil topográfico se puede apreciar que el punto de reflexión sobre la superficie terrestre cae en el Km 146,5 aprox., es decir, que se encuentra sobre la superficie de agua salada, que es la superficie con el nivel más alto de conductividad (5S/m) y permitividad de 80, estudiado y recomendado por la UIT y aunque las antenas utilizadas tienen patrón de radiación omnidireccional en el plano horizontal, tienen un patrón directivo en el plano vertical, que provocaría una atenuación en la dirección de la onda reflejada. Luego de hacer el análisis de la onda reflejada, para el caso de tierra esférica, (ya que el radioenlace supera los más de 10Km), nos permitió verificar que la onda reflejada en su salto de propagación no alcanza a generar ninguna atenuación, pérdida o desvanecimiento en la señal captada por el receptor, la altura (sobre el nivel del mar) de la antena en el receptor (Rx) supera a la altura de la zona donde llega la señal de la

onda reflejada, por más de su 50%. Sin embargo para garantizar una comunicación eficiente (un nivel de recepción de la señal como mínimo de 3dB por encima del umbral del receptor), se recomienda colocar diversidad en espacio, en dicho radioenlace.

3.5.1.4 PERFIL TOPOGRÁFICO:

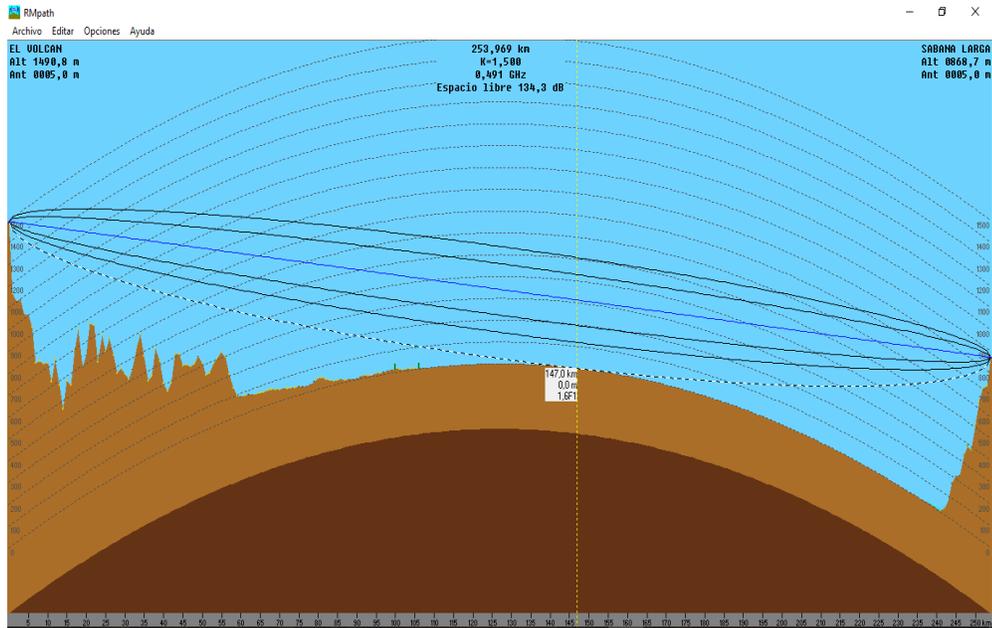


Figura 3.3: Perfil topográfico del radioenlace El Volcán – Sabana Larga.

De la Figura 3.3 se logró apreciar características importantes del radioenlace tales como: la distancia total aproximada del radioenlace que es de 253, 969Km, el mínimo despeje $1,6F_1$ ubicado a 147Km del transmisor (estación el Volcán), frecuencia $f=491\text{MHz}$, pérdidas en espacio libre de 134,3dB, índice troposférico $K=1,5$ ($3/2$ para Venezuela). Estación El Volcán a 1490,8m (ASNM), antena a 5m y la estación Sabana Larga a 868,7m (ASNM) y antena a 5m.

3.5.1.5 COBERTURA VISUAL:

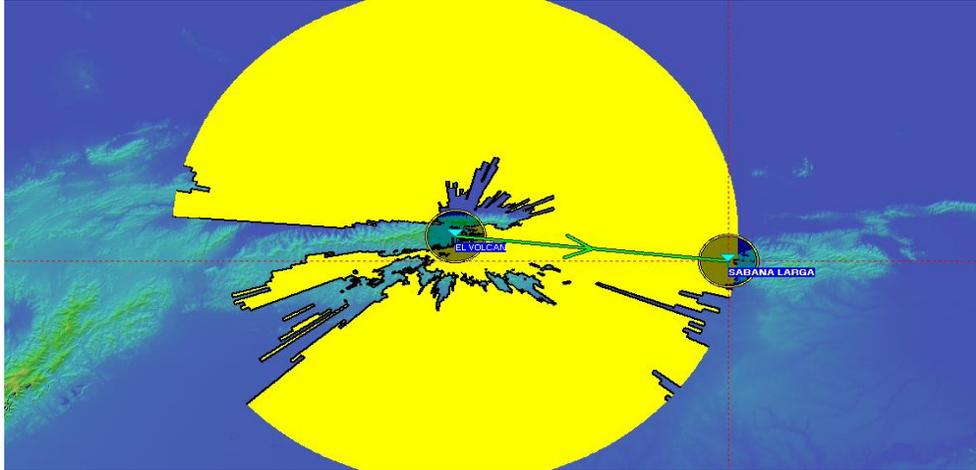


Figura 3.4: Cobertura visual del radioenlace El Volcán – Sabana Larga.

De la Figura 3.4 se logró verificar la existencia de cobertura visual entre las dos estaciones, como se puede apreciar en la circunferencia de color amarillo y gracias a la altura de ambas estaciones.

3.5.1.6 COBERTURA DE RADIO FRESNEL:

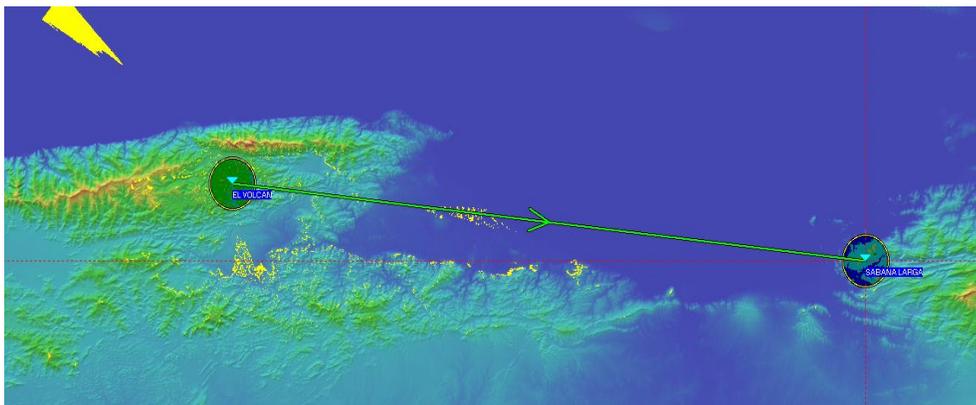


Figura 3.5: Cobertura de radio fresnel del radioenlace El Volcán – Sabana Larga.

De la Figura 3.5 se logró ver la cobertura de radio Fresnel identificada con las zonas del mapa con manchas de color amarillo y en la zona donde se ubica la estación Sabana Larga (Rx) también se puede ver con dificultad dicha cobertura.

3.5.1.7 COBERTURA DE RADIO POLAR:

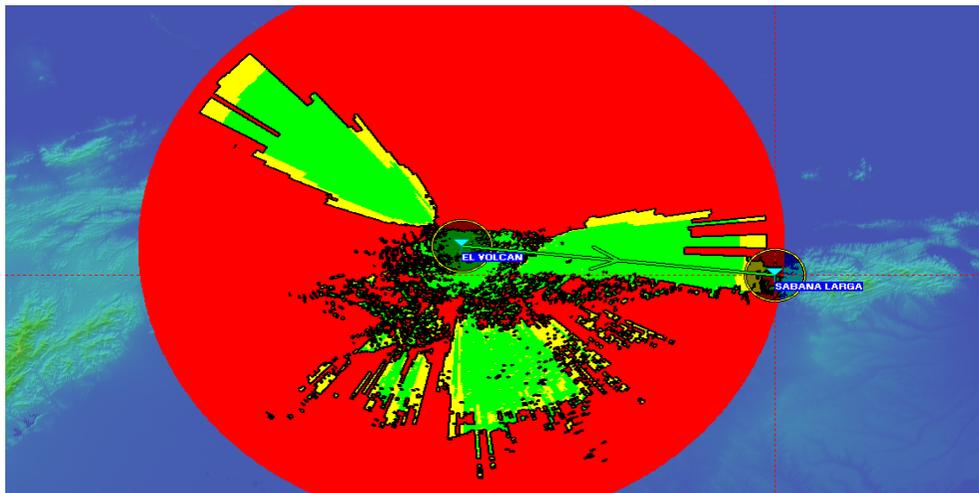


Figura 3.6: Cobertura de radio polar del radioenlace El Volcán – Sabana Larga.

De la Figura 3.6 se logró apreciar la cobertura de radio polar, la zona verde de la circunferencia indica la zona de cobertura óptima por encima de los 3dB, la zona amarilla indica cobertura deficiente (un nivel de recepción de la señal como mínimo de 3dB por encima del umbral del receptor) por debajo de los 3dB y la zona roja indica donde no hay cobertura.

3.5.1.8 DISTRIBUCIÓN ESTADÍSTICA DE LA SEÑAL:

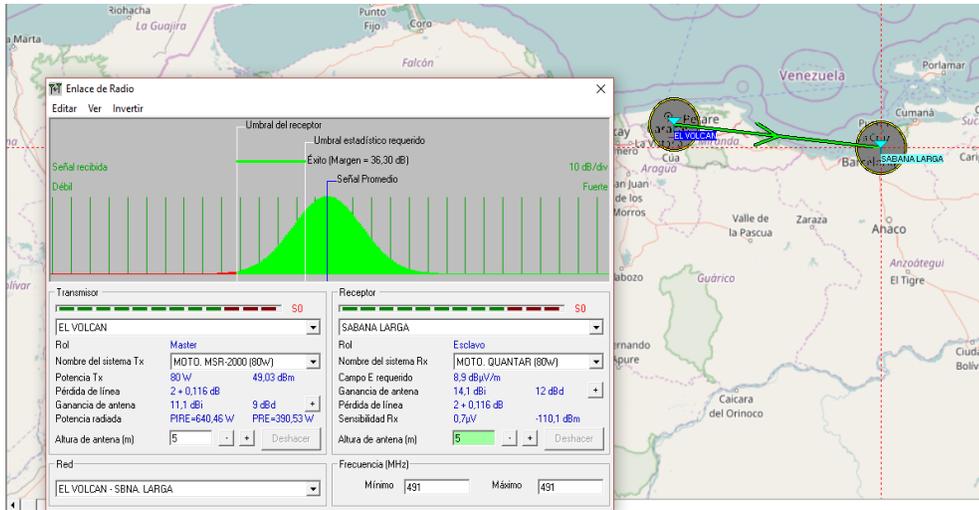


Figura 3.7: Distribución estadística de la señal del radioenlace El Volcán – Sabana Larga.

De la Figura 3.7 se logró apreciar la distribución estadística de la señal, verificando que el área bajo la curva, toda la zona de color verde, supera con un margen de éxito de 36,30dB entre el umbral estadístico requerido y el umbral del receptor, se destaca nuevamente que la sensibilidad del receptor en el diseño fue modificada a -110dBm (en los equipos reales es de -116,1dBm) para evitar pérdidas producidas por interferencia.

3.5.1.9 DETALLES DE CÁLCULO DEL RADIOENLACE:

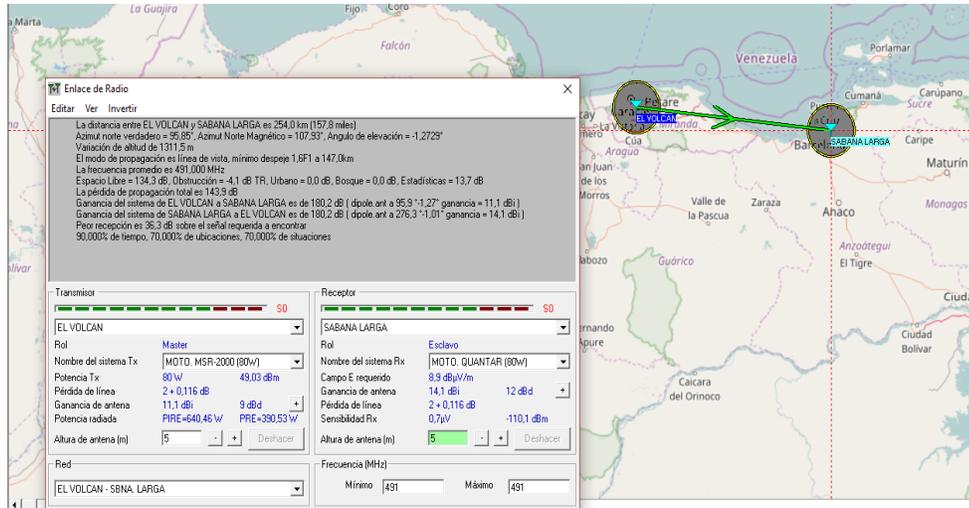


Figura 3.8: Detalles de cálculo del radioenlace El Volcán – Sabana Larga.

De la Figura 3.8 se logró obtener los detalles de cálculo del radioenlace tales como:

- Distancia entre las estaciones El Volcán y Sabana Larga 254Km (157,8 millas).
- Azimut norte verdadero = $95,85^\circ$ y azimut norte magnético = $107,93^\circ$.
- Ángulo de elevación = $-1,2729^\circ$, variación de altitud = 1311,5m.
- Modo de propagación es línea de vista, mínimo despeje $1,6F_1$ a 147Km.
- frecuencia promedio = 491MHz.
- Pérdidas de propagación total = 143,9dB y Pérdidas en el espacio libre = 134,3dB.
- Ganancia del sistema de El Volcán a Sabana Larga es de 180,2dB.

- Ganancia del sistema de Sabana Larga a El Volcán es de 180,2dB.
- Antena Dipolo a $95,9^\circ - 1,27^\circ$ con Ganancia = 11,1dBi.
- Antena Dipolo a $276,3^\circ - 1,01^\circ$ con Ganancia = 14,1dBi.
- Peor recepción es de 36,3dB sobre el nivel de señal requerida (mínimo 3dB sobre el nivel del umbral del Rx) a encontrar con una variabilidad de: 90% de tiempo, 70% de ubicaciones y 70% de situaciones (en el punto 3.2.5 se explican las razones que nos llevó a fijar ésta variabilidad).

3.6 Radioenlaces de comunicación en mapa topográfico de la cobertura de Caracas (La Gran Caracas).

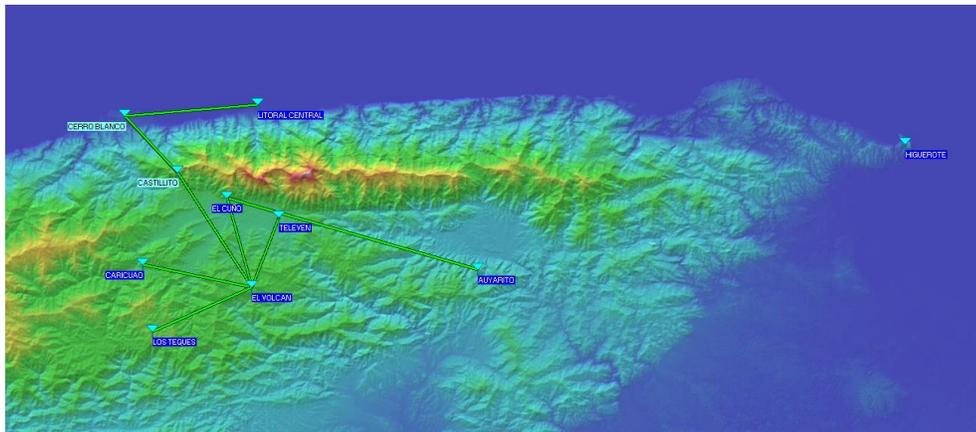


Figura 3.9: Radioenlaces de comunicación en mapa topográfico de la cobertura de Caracas (La Gran Caracas).

De la Figura 3.9 se logró obtener todos los radioenlaces de comunicación en mapa topográfico, que conforman a Caracas (La Gran Caracas), los colores azul, verde, amarillo y rojo, nos indican las alturas relativas sobre el nivel del mar, el relieve del mapa nos indica las zonas donde hay cordilleras, muy importante información ya que dichas zonas representan un gran obstáculo que hace imposible las comunicaciones entre dos estaciones que cuentan con una cordillera en su

trayecto, tal es el caso de las comunicaciones entre la estación Horizonte (La Planta TELEVEN) y la estación Litoral Central (Edo. Vargas), los rayos de color verde nos indican que hay comunicación eficiente (un nivel de recepción de la señal como mínimo de 3dB por encima del umbral del receptor) entre las estaciones siguiendo la topología a continuación:

La estación El Volcán está conectada de forma bidireccional, por medio de radioenlaces con cada una de las estaciones: Horizonte (La Planta TELEVEN), El Cuño, Castillito, Caricuaó y Los Teques.

La estación El Cuño está conectada de forma bidireccional, con la estación Auyarito.

La estación Castillito está conectada de forma bidireccional, con la estación Cerro Blanco. Éstas dos estaciones (Castillito y Cerro Blanco), se proponen como nuevas, como punto intermedio y es un alcance adicional para poder conseguir la comunicación con la estación Litoral Central (que también es un alcance adicional en la propuesta de diseño solución).

La estación Cerro Blanco está conectada de forma bidireccional, con la estación Litoral Central.

Es importante destacar que se decidió plantear como estaciones nuevas: la estación Castillito y Cerro Azul, para darle solución a la comunicación entre la estación Horizonte (La Planta TELEVEN) con la estación Litoral Central (la cordillera del Cerro El Ávila hace imposible la conexión directa entre éstas dos estaciones por medio de un solo radioenlace directo punto a punto). La estación Higuerote también está incluida en la definición de la Gran Caracas, por su cercanía geográfica, sin embargo, dicha estación se comunica con la estación Horizonte (La Planta TELEVEN) por medio de los radioenlaces: Higuerote – Sabana Larga, Sabana Larga – El Volcán y El Volcán – Horizonte (La Planta TELEVEN).

3.6.1 Radioenlaces de comunicación en mapa político de la cobertura de Caracas (La Gran Caracas).

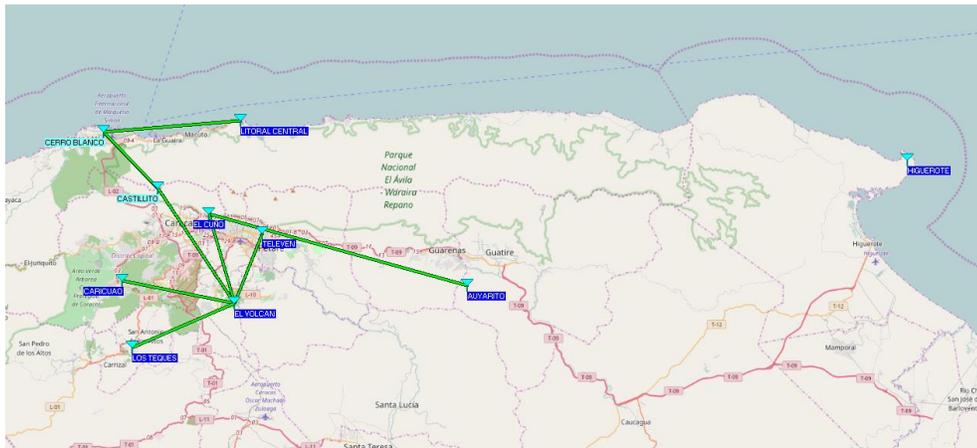


Figura 3.10: Radioenlaces de comunicación en mapa político de la cobertura de Caracas (La Gran Caracas).

De la Figura 3.10 se logró obtener los radioenlaces de comunicación en mapa político de la cobertura de Caracas (La Gran Caracas) donde se puede apreciar los estados, ciudades y zonas por donde viajan los saltos de propagación de cada uno de los radioenlaces, tales como: Dtto. Capital (Caricuao, Castellito y El Cuño), Edo. Miranda (El Volcán, Horizonte, Los Teques, Higuero y Auyarito) y Edo. Vargas (Litoral Central y Cerro Azul).

3.7 Radioenlaces de comunicación en mapa topográfico de la cobertura de Puerto La Cruz:

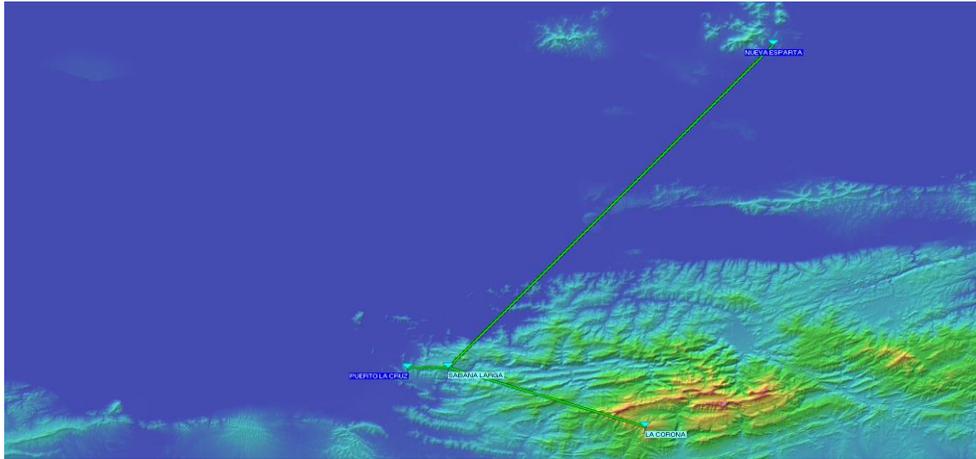


Figura 3.11: - Radioenlaces de comunicación en mapa topográfico de la cobertura de la estación Puerto La Cruz.

De la Figura 3.11 se logró obtener los radioenlaces de comunicación en mapa topográfico de la cobertura de la estación de Puerto La Cruz que está en comunicación bidireccional con la estación Sabana Larga no hay cordillera que haga obstáculo a éste radioenlace. También se puede apreciar a la estación Sabana Larga y sus conexiones adicionales con las estaciones: Nueva Esparta (es un alcance adicional que se propone en el diseño solución) y La Corona. La estación La Corona es una estación que se propone en el diseño como una estación nueva, muy útil y necesaria para hacer el enlace con la estación Puerto Ordaz.

3.7.1 Radioenlaces de comunicación en mapa político de la cobertura de Puerto La Cruz.



Figura 3.12: Radioenlaces de comunicación en mapa político de la cobertura de la estación Puerto La Cruz.

De la Figura 3.12 se logró obtener los radioenlaces de comunicación en mapa político de la cobertura de la estación Puerto La Cruz, donde se puede apreciar los estados y las ciudades del país, por donde viajan los saltos de propagación. La estación Sabana Larga tiene comunicación de forma bidireccional con las estaciones: Puerto La Cruz, Nueva Esparta (como un alcance adicional que se propuso en el diseño solución del sistema) y La Corona (que se planteó como una estación nueva, intermedia que permite la conexión con la estación Puerto Ordaz). En el radioenlace entre la estación Sabana Larga y la estación Nueva Esparta el salto de propagación viaja en su gran mayoría sobre agua salada, igualmente y de manera análoga como se estudió en radioenlace El Volcán – Sabana Larga, se recomienda colocar diversidad en espacio, en caso de ser necesario.

3.8 Radioenlaces de comunicación en mapa topográfico de la cobertura de Caracas (La Gran Caracas) a Puerto La Cruz:

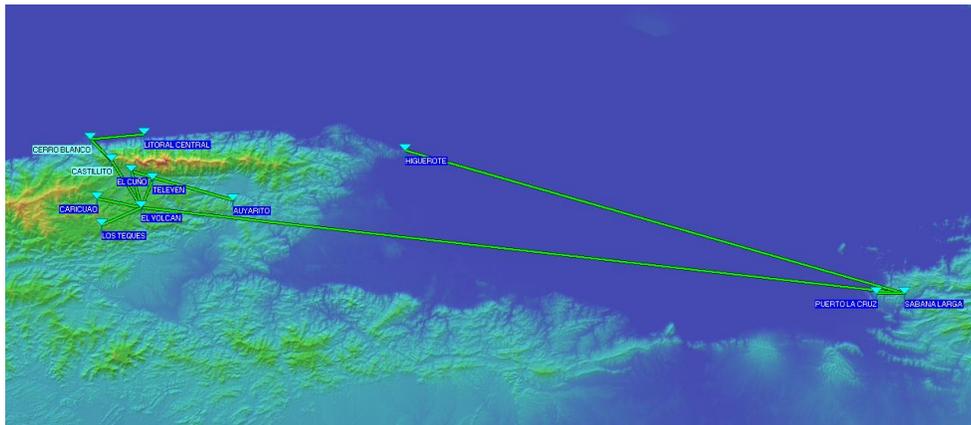


Figura 3.13: Radioenlaces de comunicación en mapa topográfico de la cobertura de Caracas (La Gran Caracas) a Puerto La Cruz.

De la Figura 3.13 se logró obtener los radioenlaces en mapa topográfico de la cobertura entre la estación Caracas (La Gran Caracas) y la estación Puerto La Cruz donde se puede ver todos los radioenlaces en con el rayo verde que nos indica comunicación eficiente (un nivel de recepción de la señal como mínimo de 3dB por encima del umbral del receptor). Estas dos ciudades están conectadas a través del radioenlace entre la estación El Volcán y la estación Sabana Larga. El radioenlace entre la estación Higuerote y la estación Sabana Larga es un alcance adicional en la propuesta que se plantea como solución, así como también los radioenlaces que comunican a la estación Litoral Central (incluyendo las estaciones de Cerro Azul y Castillito) con la estación Horizonte (La Planta TELEVEN) es un alcance adicional que se plantea en la propuesta solución.

3.8.1 Radioenlaces de comunicación en mapa político de la cobertura de Caracas (La Gran Caracas) a Puerto La Cruz.

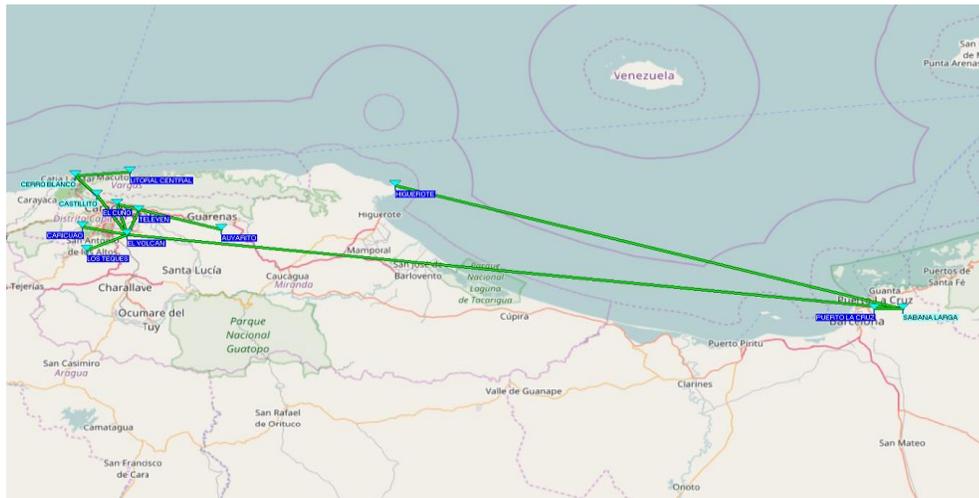


Figura 3.14: - Radioenlaces de comunicación en mapa político de la cobertura de Caracas (La Gran Caracas) a Puerto La Cruz.

De la Figura 3.14 se logró obtener los radioenlaces de comunicación en mapa político de la cobertura de Caracas (La Gran Caracas) a Puerto La Cruz donde se pueden ver los estados, ciudades y zonas del país por donde viajan los saltos de propagación. En el radioenlace entre la estación Sabana Larga y la estación Higueroate el salto de propagación viaja en su gran mayoría sobre agua salada, igualmente y de manera análoga como se estudió en radioenlace El Volcán – Sabana Larga, se recomienda colocar diversidad en espacio, en caso de ser necesario.

3.9 Radioenlaces de comunicación en mapa topográfico de la cobertura de Puerto La Cruz a Puerto Ordaz.

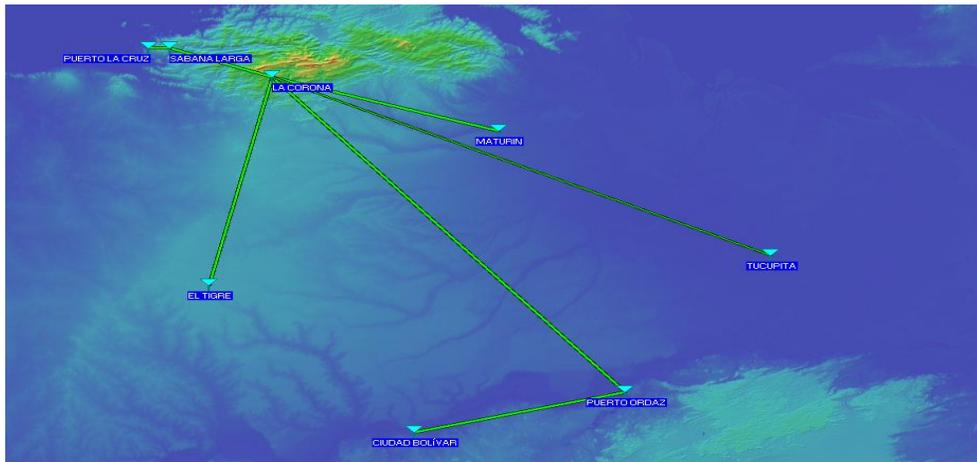


Figura 3.15: Radioenlaces de comunicación en mapa topográfico de la cobertura de Puerto La Cruz a Puerto Ordaz.

De la Figura 3.15 se logró obtener los radioenlaces de comunicación en mapa topográfico de la cobertura entre la estación Puerto La Cruz y la estación Puerto Ordaz, todos los radioenlaces están señalizados con el rayo verde que nos indica la comunicación eficiente (un nivel de recepción de la señal como mínimo de 3dB por encima del umbral del receptor) existente en cada uno de ellos, los saltos de propagación se plantearon de la siguiente manera, Puerto La Cruz – Sabana Larga, Sabana Larga – La Corona y La Corona Puerto Ordaz. Es importante destacar que los saltos de propagación de los radioenlaces que se ven en el mapa, adicionales tales como: La Corona – El Tigre, La Corona – Maturín, La Corona – Tucupita y Puerto Ordaz – Ciudad Bolívar son radioenlaces planteados como alcance adicional en la propuesta solución del diseño.

3.9.1 Radioenlaces de comunicación en mapa político de la cobertura de Puerto La Cruz a Puerto Ordaz.



Figura 3.16: Radioenlaces de comunicación en mapa político de la cobertura de Puerto La Cruz a Puerto Ordaz.

De la Figura 3.16 se logró obtener los radioenlaces de comunicaciones en mapa político de la cobertura de las estaciones Puerto La Cruz a Puerto Ordaz donde se puede apreciar los estados (Anzoátegui, Monagas, Delta Amacuro y Ciudad Bolívar), las ciudades y las zonas por donde viajan los saltos de propagación, como lo indican los rayos verdes en cada uno de los radioenlaces. Con éste último tramo se interconectan las tres ciudades Caracas, Puerto La Cruz y Puerto Ordaz que se plantea en el diseño propuesta solución.

3.10 Sistema de radiocomunicaciones en mapa topográfico a nivel nacional de La Planta TELEVEN.

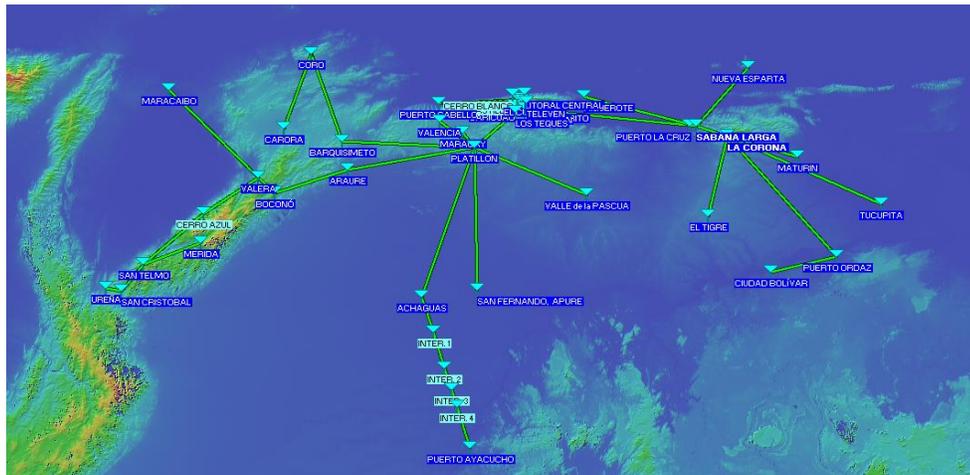


Figura 3.17: Sistema de radiocomunicaciones en mapa topográfico a nivel nacional de La Planta TELEVEN.

De la Figura 3.17 se logró obtener el sistema de radiocomunicaciones en mapa topográfico a nivel nacional de la planta TELEVEN, como un alcance adicional a la propuesta solución del diseño que solo planteaba la conexión entre Caracas, Puerto La Cruz y Puerto Ordaz. Los rayos verdes en cada uno de los radioenlaces nos indican que hay comunicación eficiente (un nivel de recepción de la señal como mínimo de 3dB por encima del umbral del receptor) entre todas las estaciones a nivel nacional, las zonas en relieve de color verde con amarillo nos indica la presencia de cordilleras en dichas zonas.

3.10.1 Sistema de radiocomunicaciones en mapa político a nivel nacional de La Planta TELEVEN.



Figura 3.18: Sistema de radiocomunicaciones en mapa político a nivel nacional de La Planta TELEVEN.

De la Figura 3.18 se logró obtener el sistema de radiocomunicaciones en mapa político a nivel nacional de la planta TELEVEN, como un alcance adicional a la propuesta solución del diseño que solo planteaba la conexión entre Caracas, Puerto La Cruz y Puerto Ordaz. Se pueden apreciar todos los estados, ciudades y zonas del país por donde viajan cada uno de los saltos de propagación. Los rayos verdes en cada uno de los radioenlaces nos indican que hay comunicación eficiente (un nivel de recepción de la señal como mínimo de 3dB por encima del umbral del receptor) entre todas las estaciones a nivel nacional.

3.11 Sistema de radiocomunicaciones en mapa topográfico a nivel nacional de La Planta TELEVEN del diseño solución.

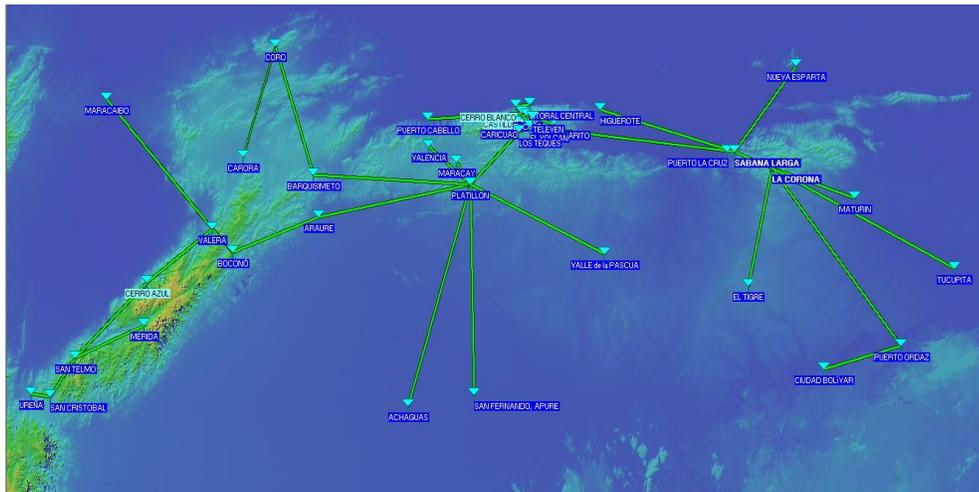


Figura 3.19: Sistema de radiocomunicaciones en mapa topográfico a nivel nacional de La Planta TELEVEN del diseño.

De la Figura 3.19 se logró obtener el sistema de radiocomunicaciones en mapa topográfico a nivel nacional de la planta TELEVEN del diseño, como un alcance adicional a la propuesta solución del diseño que solo planteaba la conexión entre Caracas, Puerto La Cruz y Puerto Ordaz. Los rayos verdes en cada uno de los radioenlaces nos indican que hay comunicación eficiente (un nivel de recepción de la señal como mínimo de 3dB por encima del umbral del receptor) entre todas las estaciones a nivel nacional, las zonas en relieve de color verde con amarillo nos indica la presencia de cordilleras en dichas zonas. La única estación de La Planta TELEVEN que no está incluida en el sistema de radiocomunicaciones es la estación Puerto Ayacucho debido a razones de presupuesto, en vista de que para poder establecer un radioenlace vía radio (UHF o VHF) la curvatura de la tierra obligaba a establecer cuatro puntos intermedios y cinco radioenlaces entre la estación Puerto Ayacucho y la estación más cercana que es Achaguas y por esa razón fue descartada dicha estación en el diseño solución propuesto.

3.11.1 Sistema de radiocomunicaciones en mapa político a nivel nacional de La Planta TELEVEN del diseño solución.



Figura 3.20: Sistema de radiocomunicaciones en mapa político a nivel nacional de La Planta TELEVEN del diseño.

De la Figura 3.20 se logró obtener el sistema de radiocomunicaciones en mapa político a nivel nacional de la planta TELEVEN del diseño, como un alcance adicional a la propuesta solución del diseño que solo planteaba la conexión entre Caracas, Puerto La Cruz y Puerto Ordaz. En dicho mapa se puede ver los estados, ciudades y zonas por donde viajan los saltos de propagación de cada uno de los radioenlaces. Los rayos verdes en cada uno de los radioenlaces nos indican que hay comunicación eficiente (un nivel de recepción de la señal como mínimo de 3dB por encima del umbral del receptor) entre todas las estaciones a nivel nacional. La única estación de La Planta TELEVEN que no está incluida en el sistema de radiocomunicaciones es la estación Puerto Ayacucho debido a razones de presupuesto, en vista de que para poder establecer un radioenlace vía radio (UHF o VHF) la curvatura de la tierra obligaba a establecer cuatro puntos intermedios y cinco radioenlaces entre la estación Puerto Ayacucho y la estación más cercana que es Achaguas y por esa razón fue descartada dicha estación en el diseño solución propuesto.

CAPITULO IV

Para dar por concluido el trabajo de grado, éste capítulo se dedicó a presentar las conclusiones y recomendaciones obtenidas durante todo el desarrollo del trabajo en éste proyecto, con la intención de promover la continuidad del mismo y satisfacer las necesidades de la planta (Corporación TELEVEN).

4.1 CONCLUSIONES

Para lograr cada uno de los objetivos específicos se hizo un trabajo combinado entre: estudio, análisis y documentación de la información necesaria sobre el sistema; la tecnología a emplear; los cálculos obtenidos del software de uso libre Radio Mobile y las mejores prácticas y teorías sobre propagación y antenas, siendo este trabajo proactivo y multidisciplinario, el que permitió demostrar y verificar la factibilidad de plantear el diseño solución de un sistema de radiocomunicaciones para la planta de televisión (TELEVEN), así como también la compatibilidad e interoperabilidad entre los equipos existentes y los equipos nuevos sugeridos en el diseño.

Luego de conocer cada una de las estaciones en las ciudades Caracas, Puerto La Cruz y Puerto Ordaz, su ubicación y las características técnicas de los equipos disponibles operativos en la planta (TELEVEN), se pudo establecer las variables de entrada del software de uso libre Radio Mobile y con el estudio de las condiciones físicas (geográficas) de las estaciones se logró modelar los perfiles topográficos y conocer los obstáculos a lo largo de cada trayecto ente transmisor y receptor. Durante el levantamiento de la información se pudo conocer los dos pares de frecuencias de

trabajo, que indicaban a estudiar las tecnologías UHF y VHF, considerando las recomendaciones de la UIT-R y las regulaciones de CONATEL para sistemas de radiocomunicaciones, obteniendo así un diseño del sistema solución y con la aplicación del software (Radio Mobile) todos los cálculos de los parámetros técnicos mínimos del sistema, tales como: nivel de potencia en los transmisores, nivel de sensibilidad en los receptores, ganancia de las antenas y las alturas de las torres. Una vez analizados los resultados y verificar la eficiencia del diseño del sistema, capaz de registrar un nivel de recepción mínimo mayor o igual a 8dB, se dejó por escrito como informe técnico, los detalles del diseño solución, los logros alcanzados así como también las recomendaciones necesarias para el montaje, implementación, pruebas, puesta en marcha y mantenimiento preventivo y correctivo, a corto, mediano y largo plazo de dicho sistema diseñado.

Se concluye que dicho sistema quedó diseñado para funcionar con la tecnología UHF en 28 estaciones de la planta TELEVEN a nivel nacional, incluidas las estaciones: Caracas, Puerto La Cruz y Puerto Ordaz (ciudades objetivos de éste trabajo de grado) y opera con la tecnología VHF solamente en las ciudades: Valera, San Telmo, Mérida, San Cristóbal y Ureña, esta configuración obedece a los más altos niveles de rendimiento y eficiencia del sistema (capaz de registrar un nivel de recepción mínimo mayor o igual a 8dB) con cada una de las tecnologías utilizadas en dichas ciudades.

Adicionalmente y superando la meta establecida en el objetivo general del proyecto, se logró plantear el diseño solución de un sistema de radiocomunicaciones que opera en las bandas UHF y VHF para la planta de televisión TELEVEN a nivel nacional, cumpliendo con las condiciones, necesidades y limitaciones iniciales de la planta de televisión, las recomendaciones UIT-R y las regulaciones de CONATEL.

El diseño solución del sistema de radiocomunicaciones planteado tendrá la cobertura en 33 de las 34 estaciones de la planta de televisión (TELEVEN), lo que abarca el 97% del total de las estaciones. La estación Puerto Ayacucho que corresponde al 3% del sistema, es la única que no cubre el diseño del sistema solución; debido a la pronunciada curvatura de la tierra, desde las estaciones más cercanas Achaguas o San Fernando hasta Puerto Ayacucho y en consecuencia para lograr la radiocomunicación había que plantear como mínimo, 4 puntos intermedios de repetición y 5 saltos de propagación lo que incrementaba notablemente el presupuesto de adquisición de equipos, materiales e infraestructuras, lo cual para la planta no era atractivo.

4.2 RECOMENDACIONES

Dentro de las recomendaciones que se deben tener en cuenta para el cumplimiento de los objetivos: general y específicos planteados en este trabajo de grado y garantizar el éxito y eficiencia de funcionamiento, se destacan las siguientes:

1. Hacer la reubicación de cada uno de los equipos: transmisores y antenas, con sus respectivas especificaciones técnicas, en cada una de las estaciones destinadas.
2. Acondicionar los espacios interiores y exteriores en dichos lugares, garantizando el servicio de energía eléctrica y las torres con las alturas calculadas, para la instalación de las antenas.
3. Aplicar diversidad en espacio en los radioenlaces donde sea necesario (sobre todo en los 3 radioenlaces que tienen salto de propagación sobre agua salada: El Volcán – Sabana Larga, Sabana Larga – Nueva Esparta, Sabana Larga – Higuero, Cerro Blanco – Litoral Central y Castillito – Puerto Cabello).
4. Hacer pruebas individuales, con cada uno de los radioenlaces planteados como solución, en todos los horarios que corresponden a la jornada diaria de trabajo (mañana, mediodía, tarde y noche). Tomar nota, evaluar y analizar los resultados de dichas pruebas.

5. En los radioenlaces punto a punto, lo más recomendable para obtener mejor calidad de servicio, disponibilidad y comunicación eficiente, es colocar antenas directivas tipo Yagi, donde el patrón de radiación de la antena del transmisor está orientado en su totalidad hacia la dirección del receptor.

6. En casos de emergencia, se recomienda como redundancia o saltos de propagación alternos, los radioenlaces: El Volcán – Valle de La Pascua – Sabana Larga – Puerto La Cruz, El Volcán – Valle de La Pascua – Puerto La Cruz, Sabana Larga – El Tigre – La Corona, El Volcán – Valle de Guanape (habilitándolo como punto nvo. de transmisión y recepción) – Sabana Larga – Puerto La Cruz, El Volcán – Valle de Guanape (habilitándolo como punto nvo. de transmisión y recepción) – Higuero.

7. Llevar un registro y estadísticas (semanal, mensual, trimestral, semestral y anual), sobre el funcionamiento (y posibles eventuales fallas, en caso de existir) de cada una de los radioenlaces, tomando nota sobre: las condiciones climáticas, las horas de uso del sistema, las causas técnicas que ocasionaron la posible falla y las novedades.

8. Establecer un programa de visitas periódicas, vigilancia y mantenimiento, preventivo y correctivo (en caso necesario), en cada una de las estaciones del sistema, como mínimo con frecuencia mensual, apoyándose en cada uno de los técnicos responsables de atender cada una de las estaciones.

9. Es importante abrir un campo de investigación, documentación y estudio sobre la posibilidad de establecer la compatibilidad e interoperabilidad, entre el diseño de sistema propuesto como solución y las nuevas tecnologías emergentes en materia de sistemas de radiocomunicaciones, tal es el caso de tecnología llamada: radio definido por software o SDR (por sus siglas en inglés, Software Defined Radio), que permitan una mejora importante en el diseño del sistema.

10. Hacer un cálculo mínimo estimado de un 10% de compra adicional de los elementos que conforman el sistema: equipo de radio transmisor y receptor, antenas, línea de transmisión, entre otros, para garantizar una atención y solución eficiente a la hora de atender una falla del sistema que dependa de la sustitución de algún elemento del sistema.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] ANDERSON, Leopoldo y VARELA, Karina. (2008). Informe Técnico de Pasantías Cortas de la Universidad Católica Andrés Bello “Estudio teórico de cobertura, así mismo con un levantamiento de perfiles de los distintos puntos de repetición en el país de la estación de televisión Televen para solucionar las fallas que presenta el sistema de comunicaciones”. [Consulta: 2015].

[2] Recurso e Información Empresarial. Corporación Televen. <<http://www.televen.com/corporacion/>>[Consulta: 2015].

[3] Colmenares C. Juan A. (2007). Trabajo especial de grado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Central de Venezuela. “Propuesta técnica de interconexión mediante un enlace de radiocomunicaciones en la banda VHF de los sistemas Metropolitano y Barlovento de Hidrocapital”. [Consulta: 2015].

[4] D’Elia G. Francisco J. (2010). Trabajo especial de grado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Central de Venezuela. “Diseño de un sistema de radiocomunicaciones móviles terrestres en UHF para el cuerpo de bomberos voluntarios UCV”. [Consulta: 2015].

[5] Recomendación UIT-R V.431-8. Nomenclatura de las bandas de frecuencias y de las longitudes de onda empleadas en telecomunicaciones.

<<https://www.itu.int/rec/R-REC-V.431-8-201508-I/en>>[Consulta: 2016].

[6] Lascano Cortes, Neptaly Gilberto. Diseño del sistema troncalizado de radio para el área metropolitana de la ciudad de Guayaquil.

<<http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/10958/1/T288.pdf>>[Consulta: 2016].

[7] UNEXPO, Sistemas de Radiocomunicaciones en las bandas de VHF y UHF. [en línea].

<<https://unexpocom.files.wordpress.com/2013/02/tema-4-radio-en-vhf-y-uhf.doc>>[Consulta: 2016]. p.p. 2-18.

[8] Propagación por dispersión troposférica. arantxa.ii.uam.es/~btaha/RR1/Presentacion/Radio%2014.ppt.

<https://www.google.co.ve/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=9&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwjI7PWxgKXSAhUmqFQKHXR-CO8QFghDMAg&url=http%3A%2F%2Farantxa.ii.uam.es%2F~btaha%2FRR1%2FPresentacion%2FRadio%252014.ppt&usg=AFQjCNGtj8xB_ax76TmMe9YBjONUJmfepg&sig2=gdqY1MuHEkXg9RdfE7x4Rw>[Consulta: 2016].

[9] Cardenas Crespo, Carlos. Radiocomunicaciones. Departamento de Teoría de la Señal y Comunicaciones. Universidad de Sevilla. Madrid, España: Editorial Pearson Educación S.A. 2008 p. 9. [Consulta: 2016].

[10] Espectro de Ondas Electromagnéticas. [en línea].
<https://www.google.co.ve/search?q=espectro+de+ondas+electromagneticas&espv=2&biw=1366&bih=638&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwiEv6_yi6rSAhXHRyYKHdITCgwQ_AUICcgB#imgrc=9nsHiPa-HgYYSM>[Consulta: 2016].

[11] UNEXPO, Tema IV, Comunicaciones en la Banda VHF y UHF. Parte I [en línea].
<https://www.google.co.ve/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwjFi5aQmpfQAhVJ3GMKHD-HDLMQFggZMAA&url=https%3A%2F%2Funexpocom.files.wordpress.com%2F2010%2F01%2Ftema-4-ondas-banda-vhf-y-uhf-parte-1.ppt&usg=AFQjCNFx5RD_nDsXkCzNGVbco5aTHJgWWg&sig2=r3-Rd1vdUcab4jP5ilzYlQ&bvm=bv.137904068,d.cGc>[Consulta: 2016]. p.p. 2-3.

[12] Conexiones de un sistema de radiocomunicaciones. [en línea].
<http://www.eslared.org.ve/walc2012/material/track1/03-Antenas_y_Lineas_de_Transmision-es-v3.0-notes.pdf>[Consulta: 2016].

[13] Características de las OEM. [en línea].
<https://www.google.co.ve/search?q=caracteristicas+de+las+OEM&espv=2&biw=1366&bih=638&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwjwopGclarSAhVG5mMKHb29DLMQ_AUIBigB#imgrc=Mqm7BQnEbgfvbM>[Consulta: 2016].

[14] Cardenas Crespo, Carlos. Radiocomunicaciones. Departamento de Teoría de la Señal y Comunicaciones. Universidad de Sevilla. Madrid, España: Editorial Pearson Educación S.A. 2008. [Consulta: 2016].

[15] Garzón, Medina Ronald y Martínez, Murcia Oscar. Antenas Yagi – Uda. <<https://es.slideshare.net/Arkso/antenas-yagi-uda-8639115>>[Consulta: 2016].

[16] Universidad Politécnica de Madrid. Propagación Radioeléctrica. <<http://ocw.upm.es/teoria-de-la-senal-y-comunicaciones-1/radiocomunicacion/contenidos/presentaciones/propagacion-07.pdf>>[Consulta: 2016].

[17] Propagación por dispersión troposférica. arantxa.ii.uam.es/~btaha/RR1/Presentacion/Radio%2014.ppt.

<https://www.google.co.ve/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=9&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwjI7PWxgKXSAhUmqFQKHXR-CO8QFghDMAg&url=http%3A%2F%2Farantxa.ii.uam.es%2F~btaha%2FRR1%2FPresentacion%2FRadio%252014.ppt&usg=AFQjCNGtj8xB_ax76TmMe9YBjONUJmfepg&sig2=gdqY1MuHEkXg9RdfE7x4Rw>[Consulta: 2016].

[18] Recomendación UIT-R V.431-8. Nomenclatura de las bandas de frecuencias y de las longitudes de onda empleadas en telecomunicaciones.

<<https://www.itu.int/rec/R-REC-V.431-8-201508-I/en>>[Consulta: 2016].

[19] Recomendación UIT-R. R-REP-M.358-5-1986-PDF-S. Relaciones de protección e intensidades mínimas de campo necesarias en los servicios móviles. <<http://www.itu.int/pub/R-REP-M.358-5-1986>>[Consulta: 2016].

[20] Recomendación UIT-R. R-REC-P.370-7-199510-W!! MSW-S. Curvas de propagación en ondas métricas y decimétricas para la gama de frecuencias comprendidas entre 30 y 1000 MHz. <https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/p/R-REC-P.370-7-199510-W!!PDF-E.pdf>[Consulta: 2016].

[21] Recomendación UIT-R. R-REC-P.527-3-199203-I!!MSW-S. Características eléctricas de la superficie de la tierra. <https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/p/R-REC-P.527-3-199203-I!!PDF-S.pdf>[Consulta: 2016].

[22] Recomendación UIT-R. R-REC-P.453-12-201609-I!! MSW-E Refractividad. El índice de refracción de radio: su fórmula y datos de refractividad (the radio refractive index: its formula and refractivity data). <<https://www.itu.int/rec/R-REC-P.453/es>>[Consulta: 2016].

BIBLIOGRAFÍA

Alvarez, Maria Eugenia, Sistemas de Telecomunicaciones III. Apuntes de Clases. Selección de sitios para estaciones I. [Consulta: 2016].

Canosa, Natalia. Simulador de Propagación en ambientes móviles/ Canosa, Natalia (Tesis). -- Caracas: Universidad Simón Bolívar, 2006. <<http://159.90.80.55/tesis/000132791.pdf>>[Consulta: 2016].

Cardenas Crespo, Carlos. Radiocomunicaciones. Departamento de Teoría de la Señal y Comunicaciones. Universidad de Sevilla. Madrid, España: Editorial Pearson Educación S.A. 2008.

Comisión Nacional de Telecomunicaciones, CONATEL. <<http://www.conatel.gob.ve/telecomunicaciones-2/>>[Consulta: 2016].

CONATEL, Espectro Radioeléctrico.

<<http://www.conatel.gob.ve/espectro-radioelectrico/>>[Consulta: 2016].

Factor de atenuación del Método de Propagación de Okumura
<https://www.google.co.ve/search?q=factor+de+atenuacion+metodo+Okumura&espv=2&biw=1366&bih=599&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwjszIbr3tXMAhVCL8AKHSiqC8YQ_AUIBigB#imgrc=BYC216hq683x8M%3A>[Consulta: 2016].

Factor de corrección del Método de Propagación de Okumura
<https://www.google.co.ve/search?q=factor+de+correccion+metodo+Okumura&espv=2&biw=1366&bih=643&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwiTqNDV1dXMAhWmDcAKHU0ZATgQ_AUIBigB#imgrc=6PnCWaTFD7aA0M%3A>
[Consulta: 2016].

Factor k del radio efectivo de la tierra

<https://www.google.co.ve/search?q=curvatura+de+la+tierra+factor+k&espv=2&biw=1366&bih=638&tbm=isch&tbo=u&source=univ&sa=X&ved=0ahUKEwjvzpHzv7jQAhWITCYKHTQWA_IQsAQILA#imgrc=18pQAXt2LqfTGM%3A>[Consulta: 2016].

Garzón, Medina Ronald y Martínez, Murcia Oscar. Antenas Yagi – Uda.

<<https://es.slideshare.net/Arkso/antenas-yagi-uda-8639115>>[Consulta: 2017].

Gruber, Rene. Cobertura de un sistema de radiocomunicaciones móviles que opera en las bandas VHF y UHF./ Gruber Rene (Tesis). -- Caracas: Universidad Central de Venezuela, 2005.

D'Elia Francisco. Diseño de un sistema de radiocomunicaciones móviles terrestre en UHF para el cuerpo de bomberos voluntarios UCV./ D'Elia Francisco (Tesis). -- Caracas: Universidad Central de Venezuela, 2010.

International Centre for Theoretical Physics. Antenas y Líneas de Transmisión. Material de apoyo para entrenadores en redes inalámbricas. <http://www.eslared.org.ve/walc2012/material/track1/03-Antenas_y_Lineas_de_Transmision-es-v3.0-notes.pdf>[Consulta: 2016].

Lascano Cortes, Neptaly Gilberto. Diseño del sistema troncalizado de radio para el área metropolitana de la ciudad de Guayaquil. <<http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/10958/1/T288.pdf>>[Consulta: 2017].

Manual de uso de Radio Mobile <<https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/6989/anexos/anexos/Anexo%2016.pdf>>[Consulta: 2016].

Propagación por dispersión troposférica. arantxa.ii.uam.es/~btaha/RR1/Presentacion/Radio%2014.ppt. <https://www.google.co.ve/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=9&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwjI7PWxgKXSAhUmqFQKHXR-CO8QFghDMAg&url=http%3A%2F%2Farantxa.ii.uam.es%2F~btaha%2FRR1%2FPresentacion%2FRadio%252014.ppt&usq=AFQjCNGtj8xB_ax76TmMe9YBjONUJmfepg&sig2=gdqY1MuHEkXg9RdfE7x4Rw>[Consulta: 2017].

Quiñones, Jonathan. Diseño de sistema de registro, ubicación y despacho de contenedores para el puerto marítimo sociedad portuaria regional de buenaventura./ Quiñones Jonathan (Tesis). -- Colombia: Universidad del Quindío, 2008 <<http://es.slideshare.net/jonathanquinonesarroyo/diseo-de-sistema-de-registro-ubicacin-y-despacho-de-contenedores-para-el-puerto-maritimo-sociedad-portuaria-regional-de>>[Consulta: 2016].

Radio Mobile, Página Oficial <<http://www.cplus.org/rmw/english1.html>>[Consulta: 2016].

Recomendación UIT-R V.431-8. Nomenclatura de las bandas de frecuencias y de las longitudes de onda empleadas en telecomunicaciones.

<<https://www.itu.int/rec/R-REC-V.431-8-201508-I/en>>[Consulta: 2016].

Recomendaciones de la UIT-R. R-REC-P.453-12-201609-I!! MSW-E Refractividad

<https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/p/R-REC-P.453-12-201609-I!!PDF-E.pdf>[Consulta: 2016].

Recomendaciones de la UIT-R. R-REC-P.527-3-199203-I!!MSW-S

<<https://www.itu.int/rec/R-REC-P.527-3-199203-I/en>>[Consulta: 2016].

Recomendaciones de la UIT-R. R-REC-P.370-7-199510-W!! MSW-S

<<https://www.itu.int/rec/R-REC-P.370-7-199510-W/es>>[Consulta: 2016].

Recomendaciones de la UIT-R. R-REC-M.358-5-1986-PDF-S

<<http://www.itu.int/pub/R-REP-M.358-5-1986/es>>[Consulta: 2016].

Salas, Ronnye. Estudio para la mejora de la cobertura en las estaciones de transmisión de señal abierta UHF, de Bello Monte en la ciudad de Barquisimeto y Terrazas de Caricuao en la Región Capital para meridiano TV./ Salas Ronnye (Tesis). -- Caracas: Universidad Central de Venezuela, 2011.

Tutorial de Radio Mobile, Grupo de Radiocomunicación Departamento SSR ETSIT-UPM
Febrero de 2007

<<http://www3.fi.mdp.edu.ar/electronica/catedras/mediosdetransmision/files/ManualRadioMobile.pdf>>[Consulta: 2016].

UNEXPO, Sistemas de Radiocomunicaciones en las bandas de VHF y UHF.

<<https://unexpocom.files.wordpress.com/2013/02/tema-4-radio-en-vhf-y-uhf.doc>>

[Consulta: 2016].

UNEXPO, Tema IV, Comunicaciones en la Banda VHF y UHF. Parte I.
<https://www.google.co.ve/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwjFi5aQmpfQAhVJ3GMKHd-HDLMQFggZMAA&url=https%3A%2F%2Funexpocom.files.wordpress.com%2F2010%2F01%2Ftema-4-ondas-banda-vhf-y-uhf-parte-1.ppt&usg=AFQjCNFx5RD_nDsXkCzNGVbco5aTHJgWWg&sig2=r3-Rd1vdUcab4jP5ilzYlQ&bvm=bv.137904068,d.cGc> [Consulta: 2016].

Universidad Politécnica de Madrid. Propagación Radioeléctrica

<<http://ocw.upm.es/teoria-de-la-senal-y-comunicaciones-1/radiocomunicacion/contenidos/presentaciones/propagacion-07.pdf>>[Consulta: 2016].

Universidad Politécnica de Madrid U.P.M., Propagación de ondas en medio natural.

<<http://ocw.upm.es/teoria-de-la-senal-y-comunicaciones-1/radiacion-y-propagacion/contenidos/apuntes/presentaciones/rdpr3.pdf>>[Consulta: 2016].

ANEXOS

Los anexos de este trabajo de grado están en el CD encartado para la versión escrita y en un archivo adicional con el nombre “ANEXOS” para la versión digital.