UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES

DISEÑO DE UN ENLACE MICROONDAS PARA EL CANAL GLOBOVISIÒN QUE REESTRUCTURE LOS ENLACES FIJOS Y MÓVILES ACTUALES DEL CANAL

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

Presentada ante la

UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO

Como parte de los requisitos para optar al título de

INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES

REALIZADO POR Cabrera. M. Belix C.

Vivas D. José D.

TUTOR Ing. José Javier Barrios

FECHA Caracas, 17 de Febrero de 2010

UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES

DISEÑO DE UN ENLACE MICROONDAS PARA EL CANAL GLOBOVISIÒN QUE REESTRUCTURE LOS ENLACES FIJOS Y MÓVILES ACTUALES DEL CANAL

Resumen

GLOBOVISIÒN presenta actualmente una gran demanda en el mercado como canal de televisión informativo y tiene la necesidad de: mejorar los enlaces, estar actualizados en las tecnologías, ser capaz de ofrecer una mayor calidad con mejores servicios además de mantenerse como principal proveedor de información en la población.

Por ende el principal sistema que debe mejorarse es la transmisión microonda, ya que presenta problemas para transmitir y recibir su señal por la topología del sistema, además de una interdependencia con las estaciones de MECEDORES y EL VOLCAN las cuales por ser usadas por la mayoría de los operadores están completamente limitadas en su uso y no permiten mejorar el sistema microondas.

El presente Trabajo Especial de Grado tiene como solución a este problema con el diseño de un sistema microonda para GLOBOVISION cuya topología establece dos modelos de enlaces bidireccionales, uno punto a punto entre las estaciones EL JUNQUITO/GLOBOVISIÒN y otro punto a multipunto entre las estaciones EL JUNQUITO/MICROONDAS MÓVILES, en donde las estaciones móviles microondas dirigen su señal hacia la estación Repetidora EL JUNQUITO y esta transmite a la estación GLOBOVISIÒN o viceversa.

La tecnología usada en el diseño propuesto es el sistemas de radios digitales con modulación exterior; debido a que evita las atenuaciones causadas por guías de ondas, está especialmente diseñado para frecuencias superiores a los 4 GHz, compatible para la transmisión de televisión digital y analógica, ahorro de espacio en el cuarto de equipos, además de ser una de las tecnologías de punta más actuales y recomendadas para el esquema de enlaces propuesto en este proyecto.

Es importante recalcar que gracias al diseño y tecnología seleccionada, el sistema de microondas brinda una amplia gama de posibles ampliaciones como transmisión vía UHF, transmisión vía satélite, implementación de TV digital, etc. Que influirán positivamente en el desarrollo de GLOBOVISION como empresa, medio de comunicación televisiva y responsable del desarrollo informativo para la sociedad venezolana.

Palabras Claves: Enlace Microonda, reestructuración, sistema, tecnología, costo

Dedicatorias

Dedicado a:

A La Virgen de Coromoto patrona de Venezuela, la paciencia, fortaleza y constancia de seguir en este proyecto de vida son su obra, en cada paso siempre estuvo está y estará ella a mi lado como la más grande luz y guía.

A mis padres, hermana y novio; es difícil escribir en palabras mis sentimientos para lo que representan en mi vida y con esta gran meta alcanzada espero llenarlos de orgullo satisfacción y alegría.

Belix Cabrera

Dedico este sueño a:

A Dios, por el camino recorrido, darme la paciencia, fortaleza y constancia de seguir en este proyecto de vida.

A mis padres que me apoyaron todos estos años, por su infinito amor, cariño, comprensión y apoyo. Por acompañarme en los buenos y malos momentos. Por ayudarme, por sus sacrificios estoy viviendo estos momentos. Además que con su sabiduría supieron enseñarme todo lo necesario para desarrollarme como un buen profesional.

Gracias a la vida que tengo y a mis amigos que más quiero. Si no fuera por ellos mi sueño no lo habría cumplido.

No tengo letras para seguir diciendo el gran regocijo que me da poder terminar esta carrera en donde profesores y compañeros dejan parte de su vida, para dar vida a las ilusiones de niño y que hoy en día se hacen realidad. Solo sé que este camino es solo el comienzo de una gran historia de virtudes y gracias para mí y mi familia.

José Daniel Vivas

Agradecimientos

Quiero expresar mi agradecimiento en primer lugar a mis queridos Padres y hermana Beatriz Morales, Félix Cabrera e Isara Cabrera, por apoyarme en cada momento y en todas mis decisiones, sin su ayuda no habría logrado estar aquí y ser quien soy.

A todos mis familiares; y en especial a mis Tíos y Primo Vicenzo Marcone, Norema Morales y Vicente Marcone, por ser mis segundos padres y hermano, durante toda mi vida me han enseñado y me han apoyado en cada detalle del ser humano que hoy soy. Su ayuda y comprensión fue fundamental para empezar y culminar el sueño de ser Ingeniero.

A una persona muy especial Marcos Jesús Navarro Cella, el mejor novio, compañero, amigo, confidente y ser humano que dios pudo poner a mi lado en los buenos y malos momentos. Por su apoyo incondicional que jamás olvidare.

A mis amigos Darío Bernal, Paul Finol, Dalia Espino, Antonio Vento y Vanessa Villegas. Por todos y cada uno de los momentos que vivimos juntos desde que empezamos el sueño de ser Ingenieros en Telecomunicaciones. Y a Mi compañero de Tesis José Daniel Vivas, gran Amigo por ser una persona muy especial que me enseño lo importante de luchar por nuestras metas y forjar una superación personal. Juntos Compartimos y aprendimos la importancia de un gran trabajo en equipo y alcanzar las metas trazadas.

A mi tutor Javier Barrios, por su apoyo incondicional, amistad, confianza, por creer en mí y en especial por ser un gran ejemplo para todos nosotros los futuros Ingenieros en Telecomunicaciones. Y a los Profesores José Pierrone, Chaurang Beltrán y Diana Londoño, por seguir de cerca este Trabajo Especial de Grado y ayudarnos incondicionalmente en su realización aportándonos sus consejos, conocimientos y Experiencias.

A los Ingeniero Luis Alejandro Estrada, Virginio Caeiro, Gabriel Figueira y a todas las personas que laboran en Tecnología Potencia y Sistemas TPS C.A. y en Telecomunicaciones INMATEL C.A., por guiarme en mi aprendizaje profesional y abrir las puertas de sus empresas con tanto aprecio.

Felix Cabrera

Quiero expresar mi agradecimiento a mis queridos Padres Lucas Vivas Morales y Rosa María Díaz de Vivas, a mi hermano por apoyarme en cada momento, y brindarme un hogar cálido enseñándome que la perseverancia y el esfuerzo son el camino para lograr los objetivos.

A mis familiares y amigos (as) por siempre estar ahí con su apoyo incondicional en todo momento.

Mi compañera y gran amiga de Tesis Belix Cabrera, por ser la persona que me apoyo en este camino y que desde que empezamos en este sueño me ha enseñado y demostrado el valor del esfuerzo y el trabajo en equipo; juntos compartimos y aprendimos la importancia de alcanzar las metas trazadas.

A los Ingeniero José Barrios, Diana Londoño y José Pierrone, por su generosidad al brindarme la oportunidad de recurrir a su capacidad y experiencia científica en un marco de confianza, afecto y amistad, fundamentales para la concreción de este trabajo.

José Daniel Vivas

Índice General

ÍNDICE DE FIGURAS ..... **XII**

ÍNDICE DE TABLAS ..... **XVIII**

ÍNDICE DE APÉNDICE ..... **XIX**

INTRODUCCIÓN **1**

CAPITULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROYECTO **2**

I.1. PLANTEAMIENTO DEL PROYECTO 2

I.2. OBJETIVOS 3

I.2.1. Objetivos Específicos 3

I.3. DELIMITACIÓN Y ALCANCES. 4

CAPÍTULO II. MARCO REFERENCIAL **5**

II.1. ENLACES MICROONDAS 5

II.2. ESTRUCTURA GENERAL DE UN ENLACE DE MICROONDAS 6

II.3. CURVATURA DE LA TIERRA 9

II.4. CÁLCULO DEL ENLACE 10

II.4.1. Modelo de tierra ficticia 10

II.4.2. Elipsoides de Fresnel 11

II.4.3. Cálculo del nivel de señal recibida en enlaces de microonda. 12

II.4.4. Confiabilidad 13

II.4.5. Atenuaciones 14

II.4.5.1. Reflexión.....15

II.4.5.2. Refracción.....16

II.4.5.3. Difracción.....16

II.4.5.3.1. Cálculo de la difracción producida por uno y/o múltiples obstáculos.....17

II.4.5.4. Pérdidas por espacio libre.....19

II.4.5.5. Efectos climáticos.....22

II.4.5.5.1. Lluvia.....22

II.4.5.5.2. Gases y vapores atmosféricos.....23

II.4.5.5.3. Vegetación.....24

II.5. ANTENAS MICROONDAS.....24

II.5.1. Campo radiado.....25

II.5.2. Parámetros del patrón de radiación.....25

II.5.2.1. Impedancia.....25

II.5.2.2. Eficiencia.....26

II.5.2.3. Ganancia de una antena.....27

II.5.2.3.1. Ganancia directiva.....27

II.5.2.3.2. Ganancia de potencia.....28

II.5.2.4. Polarización de la antena.....28

II.5.2.5. Ancho del haz de la Antena 30

II.5.2.6. Ancho de banda de la antena 30

II.5.2.7. Angulo de radiación 30

II.5.2.8. Frecuencia resonante 30

II.5.2.9. Factor Q de la antena 31

II.5.2.10. Directividad de la antena 31

II.5.2.11. Longitud de onda 33

II.5.2.12. Área efectiva 34

II.5.3. Tipos de antenas 34

II.5.3.1. Direccional 35

II.5.3.1.1. Antena direccional parabólica 37

II.5.3.2. Antenas omnidireccionales reales 38

II.6. SISTEMA DE SEGURIDAD Y CONTROL PARA SISTEMAS DE COMUNICACIONES 39

II.6.1. Sistema de puesta a tierra 39

II.6.2. Resistividad y tipo de terreno 41

II.6.3. Protección contra descargas atmosféricas 43

II.6.3.1. Pararrayos 43

II.7. OTROS ENLACES 44

II.7.1. Enlaces UHF 44

II.7.2. Enlaces satelitales 45

CAPITULO III. MARCO METODOLÓGICO 49

III.1. INVESTIGACIÓN 49

III.2. RECONOCIMIENTO Y EVALUACIÓN DE LOS ENLACES MICROONDA ACTUALES 49

III.3. DISEÑO DEL ENLACES MICROONDAS 50

III.4. REVISIÓN Y SELECCIÓN DE LA TECNOLOGÍA 50

III.5. ESTIMACIÓN DE COSTOS 50

III.6. POSIBILIDADES DE AMPLIACIÓN 50

CAPÍTULO IV. DESARROLLO 51

IV.1. RECONOCIMIENTO Y EVALUACIÓN DEL ENLACE MICROONDA ACTUAL 51

IV.1.1. Topología del Enlace Microonda Actual 51

IV.2. DISEÑO DE LA REESTRUCTURACIÓN DEL ENLACE MICROONDA 53

IV.2.1. Topología del Enlace 53

IV.2.2. Evaluación de la factibilidad del enlace reestructurado 57

IV.3. REVISIÓN Y SELECCIÓN DE LA TECNOLOGÍA 59

IV.4. ESTIMACIÓN DE COSTOS 65

IV.5. POSIBILIDADES DE AMPLIACIÓN 66

IV.5.1. Enlace Satelital 67

IV.5.2. Sistema UHF, ampliación de cobertura 68

IV.5.3. Televisión digital (ISDB-T) 70

CAPITULO V. RESULTADOS 71

V.1. CÁLCULOS ENLACE PUNTO A PUNTO ESTACIÓN EL JUNQUITTO-GLOBOVISION. 71

V.2. CÁLCULOS ENLACE PUNTO A MULTI-PUNTO ESTACIÓN EL JUNQUITO-GLOBOVISION. 75

V.3. CONFIABILIDAD DE LOS ENLACES 78

V.4. INGENIERÍA DE DETALLE DE LA ESTACIÓN REPETIDORA EL JUNQUITO 79

V.5. TABLA DE COSTOS 87

CAPÍTULO VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 88

BIBLIOGRAFÍA 90

APÉNDICE A. CÁLCULOS ENLACES PUNTO A MULTIPUNTO 1

APÉNDICE B. SIMULACIONES 1

Índice de Figuras

Figura 1. Enlace Microondas con equipos terminales, repetidores y reflectores pasivos 7

Figura 2. Esquema en bloque –Estructura General de los Enlaces Microondas 8

Figura 3. Modelo de Tierra Ficticia 11

Figura 4. Zona de Difracción 17

Figura 5. Atenuación por difracción 18

Figura 6. Curva por pérdida de Difracción 19

Figura 7. Diagrama de Polarización 29

Figura 8. Curvas de coeficientes de reflexión 29

Figura 9. Patrón de Radiación de las Antenas Direccionales 36

Figura 10. Efecto en forma radial, usando un reflector con forma parabólica 37

Figura 11. Antena Omnidireccional Real 38

Figura 12. Cálculo de la cantidad de energía en un ángulo de 45° sobre la vertical 39

Figura 13. Modelo de Subida del Satélite 47

Figura 14. Transponder del Satélite 48

Figura 16. Etapas del diseño 49

Figura 17. Perfil Mecedores –EL VOLCAN 52

Figura 18. Perfil EL VOLCAN GLOBOVISIÒN 52

Figura 19. Perfil Mecedores GLOBOVISIÒN 52

Figura 20. Topología del sistema en sentido Microondas móviles-EL JUNQUITO- GLOBOVISIÒN 55

Figura 21. Topología del sistema en sentido GLOBOVISIÒN -EL JUNQUITO-Microondas móviles 55

Figura 22. Diagrama del Sistema 56

Figura 23. Esquema del sistema de radios digitales con modulación exterior. 60

Figura 24. Laboratorio de prueba de equipos microondas 61

Figura 25. Radio digital de microondas (marca SAGEM). Instalado en el laboratorio de prueba microondas en el NEA CANTV 62

Figura 26. RF *Outdoor* (marca SAGEM). Instalado en el laboratorio de prueba microondas en el NEA CANTV 63

Figura 27. Estación microonda móvil 65

Figura 28. Topología del sistema en sentido GLOBOVISIÓN - EL JUNQUITO 68

Figura 29. Topología del sistema en sentido EL JUNQUITO – GLOBOVISIÓN.. 68

Figura 30. Mapa de cobertura del sistema UHF 69

Figura 31. Mapa de Cobertura Estacion Repetidora EL JUNQUITO 75

Figura 32. Nivel de Señal Recibida EL JUNQUITO/Microondas moviles 76

Figura 33. Nivel de Señal Recibida Microondas moviles/EL JUNQUITO 76

Figura 34. Atenuaciones EL JUNQUITO/Microondas moviles 77

Figura 35. Atenuaciones Microondas moviles/EL JUNQUITO 77

Figura 36. Mapa de ubicación estación repetidora EL JUNQUITO 80

Figura 37. Terreno propuesto para instalación de la estación repetidora EL JUNQUITO 81

Figura 38. Plano de la Torre 83

Figura 39. Plano del *Shelter* 86

APENDICE B

Figura 40. Nivel de señal recibida enlace GLOBOVISION/EL JUNQUITO F= 7,205 GHz 1

Figura 41. Calculo de Despejamiento enlace punto a punto GLOBOVISION/EL JUNQUITO F=7,205 Ghz 1

Figura 42. Calculo de Atenuaciones enlace punto a punto GLOBOVISION/EL JUNQUITO F=7,205 Ghz 1

Figura 43. Zona de Fresnel enlace punto a punto GLOBOVISION/EL JUNQUITO F=7,205 Ghz 2

Figura 44. Nivel de señal recibida enlace EL JUNQUITO/GLOBOVISION F= 7,366 GHz 2

Figura 45. Calculo de Despejamiento enlace punto a punto EL JUNQUITO/GLOBOVISION F=7,366 Ghz 2

Figura 46. Calculo de Atenuaciones enlace punto a punto EL JUNQUITO/GLOBOVISION F=7,366 Ghz 3

Figura 47. Zona de Fresnel enlace punto a punto EL JUNQUITO/GLOBOVISION F=7,366 Ghz 3

Figura 48. Nivel de señal recibida enlace punto a punto ANTIMANO/EL JUNQUITO F= 7,191 GHz 3

Figura 49. Calculo de Despejamiento ANTIMANO/EL JUNQUITO F=7,191 Ghz 4

Figura 50. Calculo de Atenuaciones ANTIMANO/EL JUNQUITO F=7,191 GHz 4

Figura 51. Zona de Fresnel ANTIMANO/EL JUNQUITO F=7,191 Ghz 4

Figura 52. Nivel de señal recibida enlace punto a punto EL JUNQUITO/ANTIMANO F= 7,352 GHz 5

Figura 53. Calculo de Despejamiento EL JUNQUITO/ANTIMANO F=7,352 Ghz 5

Figura 54. Calculo de Atenuaciones EL JUNQUITO/ANTIMANO F=7,352 Ghz5

Figura 55. Zona de Fresnel EL JUNQUITO/ANTIMANO F=7,352 Ghz 6

Figura 56. Nivel de señal recibida enlace punto a punto las Mercedes/EL JUNQUITO F= 7,191 GHz 6

Figura 57. Calculo de Despejamiento las Mercedes/EL JUNQUITO F=7,191 Ghz 6

Figura 58. Calculo de Atenuaciones Las Merecedes/EL JUNQUITO F=7,191 Ghz 7

Figura 59. Zona de Fresnel Las Mercedes/EL JUNQUITO F=7,191 Ghz 7

Figura 60. Nivel de señal recibida enlace punto a punto EL JUNQUITO/ Las Mercedes F= 7,205 GHz.....7

Figura 61. Calculo de Despejamiento EL JUNQUITO/ las Mercedes F=7,352 Ghz.....8

Figura 62. Calculo de Atenuaciones EL JUNQUITO/ Las Merecedes F=7,352 Ghz.....8

Figura 63. Zona de Fresnel enlace Punto a multipunto EL JUNQUITO/ Las Mercedes F=7,352 Ghz.....8

Figura 64. Nivel de señal recibida enlace punto a punto UCV/EL JUNQUITOF= 7,191 GHz 9

Figura 65. Calculo de Despejamiento UCV /EL JUNQUITO F=4,191 Ghz.....9

Figura 66. Calculo de Atenuaciones UCV /EL JUNQUITO F=7,191 Ghz 9

Figura 67. Zona de Fresnel UCV /EL JUNQUITO F=7,191 Ghz.....10

Figura 68. Nivel de señal recibida enlace punto a punto EL JUNQUITO/UCVF= 7,352 GHz.....10

Figura 69. Calculo de Despejamiento EL JUNQUITO/ UCV F=7,352 Ghz.....10

Figura 70. Calculo de Atenuaciones EL JUNQUITO/ UCV F=7,352 Ghz 11

Figura 71. Zona de Fresnel EL JUNQUITO/ UCV F=7,352 Ghz 11

Figura 72. Nivel de señal recibida enlace punto a punto PARQUE DEL ESTE/EL JUNQUITO F= 7,191 GHz 11

Figura 73. Calculo de Despejamiento Parque del Este /El Junquito F= 7,191 Ghz.....12

Figura 74. Calculo de Atenuaciones Parque del Este /El Junquito F= 7,191 Ghz. 12

Figura 75. Zona de Fresnel Parque del Este /El Junquito F=7,191 Ghz 12

Figura 76. Nivel de señal recibida enlace punto a punto EL JUNQUITO/PARQUE DEL ESTE F= 7,352 GHz..... 13

Figura 77. Calculo de Despejamiento El Junquito/ Parque del Este F=7,352 Ghz..... 13

Figura 78. Calculo de Atenuaciones El Junquito/ Parque del Este F=7,352 Ghz 13

Figura 79. Zona de Fresnel El Junquito/ Parque del Este F=7,352 Ghz 14

Figura 80. Nivel de señal recibida enlace punto a punto PETARE/EL JUNQUITO F= 7,191 GHz..... 14

Figura 81. Calculo de Despejamiento Petare/El Junquito F=7,191 Ghz..... 14

Figura 82. Calculo de Atenuaciones Petare/El Junquito F=7,191 Ghz 15

Figura 83. Zona de Fresnel Petare/El Junquito F=7,191 Ghz 15

Figura 84. Nivel de señal recibida enlace punto a punto EL JUNQUITO/PETARE F= 7,352 GHz..... 15

Figura 85. Calculo de Despejamiento El Junquito/ Petare F=7,352 Ghz 16

Figura 86. Calculo de Atenuaciones El Junquito/ Petare F=7,352 Ghz 16

Figura 87. Zona de Fresnel El Junquito/ Petare F=7,352 Ghz 16

Índice de Tablas

Tabla 1. Valores para diferentes frecuencias y polarizaciones H y V 23

Tabla 2. Frecuencia de trabajo punto a punto 54

Tabla 3. Frecuencia de trabajo punto a multipunto 54

Tabla 4. Tabla de cálculos del enlace a 7,366 GHz entre la estación EL JUNQUITO/GLOBOVISIÓN 72

Tabla 5. Tabla de cálculos del enlace a 7,205 GHz entre la estación GLOBOVISIÓN/ EL JUNQUITO 73

Tabla 6. Parámetros del enlace entre las estaciones de EL JUNQUITO y GLOBOVISIÓN en la banda de los 7,1-7,4 GHz 74

Tabla 7. Tabla de estimado de costos 87

APENDICE A

Tabla 8. Enlace Punto a Punto Antimano/EL JUNQUITO F= 7,191 GHz 1

Tabla 9. Enlace Punto a Punto EL JUNQUITO/Antimano F= 7,352 GHz 1

Tabla 10. Enlace Punto a Punto Mercedes/EL JUNQUITO F= 7,191 GHz 2

Tabla 11. Enlace Punto a Punto EL JUNQUITO/Mercedes F= 7,352 GHz 2

Tabla 12. Enlace Punto a Punto UCV/EL JUNQUITO F= 7,191 GHz 3

Tabla 13. Enlace Punto a Punto EL JUNQUITO/UCV F= 7,352 GHz 3

Tabla 14. Enlace Punto a Punto Parque del Este/EL JUNQUITO F= 7,191 GHz 4

Tabla 15. Enlace Punto a Punto EL JUNQUITO/Parque del Este F= 7,352 GHz 4

Tabla 16. Enlace Punto a Punto Petare/EL JUNQUITO F= 7,191 GHz 5

Tabla 17. Enlace Punto a Punto EL JUNQUITO/Petare F= 7,352 GHz 5

Índice de Apéndice

APÉNDICE A. CÁLCULOS ENLACES PUNTO A MULTIPUNTO

A.1. ENLACE ANTIMANO-EL JUNQUITO 1

A.2. ENLACE LAS MERCEDES-EL JUNQUITO 2

A.3. ENLACE UCV-EL JUNQUITO 3

A.4. ENLACE PARQUE DEL ESTE-EL JUNQUITO 4

A.5. ENLACE PETARE-EL JUNQUITO 5

APÉNDICE B. SIMULACIONES

B.1. ENLACE PUNTO A PUNTO ENTRE LAS ESTACIONES GLOBOVISION Y EL JUNQUITO 1

B.2. EL JUNQUITO/ANTIMANO 3

B.3. EL JUNQUITO/LAS MERCEDES 6

B.4. EL JUNQUITO/UCV 9

B.5. EL JUNQUITO/PARQUE DEL ESTE 11

B.6. EL JUNQUITO/PETARE 14

Introducción

Ante la gran demanda que presenta La empresa GLOBOVISIÒN en el mercado como canal de televisión informativo, desde sus inicios ha ido presentando un gran crecimiento ampliando sus metas y perspectivas incorporando progresivamente sistemas con los que puedan mejorar el servicio y calidad a sus televidentes. El principal sistema que debe someterse a un proceso de mejora es la transmisión vía microonda. El cual actualmente no les permite satisfacer la creciente demanda de nuevos servicios, además de ocasionarles problemas para transmitir y recibir su señal por la topología que presenta.

El sistema microondas actual de GLOBOVISION presenta una interdependencia con las estaciones de Mecedores y EL VOLCAN, las cuales por ser usadas por la mayoría de los operadores de telecomunicaciones del país están completamente limitadas en su uso y no permiten al canal mejorar su sistema microondas y en ocasiones la limitan en su autonomía sobre el sistema. Esta falta de autonomía en cuanto a la distribución de su señal acarrea problemas de calidad de señal, problemas técnicos y de velocidad de respuesta para las actualizaciones y supervisiones técnicas, entre otras.

El presente Trabajo Especial de Grado se integra a este problema con el diseño de unos enlaces microondas fijos y móviles para GLOBOVISION. Una vez implementado este proyecto será posible la presencia permanente de un enlace comunicativo estable y de alta calidad profesional, que estará en la posibilidad de brindar el beneficio de mantener informados y comunicados con los aconteceres en nuestro país. En general, se presenciará una mejora gradual del sistema de comunicación de GLOBOVISION.

CAPITULO I. Planteamiento del proyecto

Este capítulo trata sobre la situación que da origen a la necesidad de desarrollar un estudio para resolver el problema que será abordado en el Trabajo Especial de Grado; explicando la importancia y justificación de resolver el problema, sus beneficios y posible impacto en la empresa GLOBOVISION. También se abordan los objetivos, propósitos y logros del proyecto; definiendo con claridad hasta dónde llego el trabajo de acuerdo a los recursos y el tiempo de que se dispuso.

I.1. Planteamiento del Proyecto

GLOBOVISION como empresa responsable de las comunicaciones audiovisuales en Venezuela, tiene la necesidad de mejorar los enlaces, estar actualizados en las tecnologías y ser capaz de ofrecer una mayor calidad con mejores servicios; además de mantenerse como principal proveedor de información en la población venezolana. Para esto se desea ampliar la cantidad y calidad de los servicios que ofrece pero se cuenta con restricciones que deben solventarse para alcanzar esta meta.

En el caso del sistema microondas actual del canal, se presenta problemas para transmitir y recibir su señal por la topología del sistema, además de una interdependencia con las estaciones de Mecedores y EL VOLCAN, por el cual el enlace se ve completamente limitado en su uso y no permite a GLOBOVISION mejorar su sistema microondas y en ocasiones la limitan en su autonomía sobre el sistema, debido también a que son estaciones utilizadas en gran parte por las operadoras de telecomunicaciones del país. Esto acarrea problemas de calidad en la señal, problemas técnicos, velocidad de respuesta para actualizaciones y supervisiones técnicas entre otras; lo cual hace necesario analizar otras opciones de tecnologías y medios físicos en el enlace microondas para lograr este objetivo.

Con la arquitectura actual del enlace microondas hay zonas que no pueden ser cubiertas por el canal para una transmisión en vivo en el caso de ocurrir una noticia, y

deben recurrir a otras alternativas (como por ejemplo grabar el suceso y trasladarse a la planta televisora para la retransmisión de la noticia) que le generan una desventaja en el mercado comercial frente a otros operadores que puedan informar a los televidentes en vivo y ganar la primicia del suceso.

Es por esto que existe la necesidad de migrar a una nueva plataforma de enlace que soporte la incorporación de nuevos servicios y mejore la calidad de los ya existentes solventando el problema.

I.2. Objetivos

Diseñar un proyecto de enlaces microondas para el canal GLOBOVISION que reestructure los enlaces fijos y móviles actuales del canal.

I.2.1. Objetivos Específicos

- Realizar un estudio, para verificar el estado de la calidad de los enlaces microondas actuales que presenta el canal y así poder definir la metodología y tecnología a utilizar en el proyecto.
- Diseñar enlaces microondas fijos y móviles que soporten envío de información de un canal de televisión.
- Seleccionar los puntos donde deben instalarse los equipos para implementar el enlace microondas.
- Proponer soluciones de acondicionamiento del diseño del enlace, en los casos que fuere necesario
- Evaluar el funcionamiento del enlace diseñado mediante software de simulación.

I.3. Delimitación y Alcances.

Este Trabajo Especial de Grado no incluirá:

- La tramitación y gestión de aspectos Legales ante CONATEL requeridos a la hora de su implementación.
- La implantación del diseño propuesto porque se requiere primero una aprobación de recursos financieros.
- Análisis de capacidad o dispositivos requeridos para la red de interconexión.
- El medio de acceso estará limitado al uso de enlaces microondas.

Este Trabajo Especial de Grado incluirá:

- Incluirá el diseño de un proyecto de enlaces microondas para el canal GLOBOVISIÒN, reestructurando los enlaces microondas actuales del canal, no incluirá otros canales televisivos.
- Se debe proponer el diseño completo con todos los elementos del enlace para la localidad seleccionada
- Se debe estimar las inversiones requeridas para el diseño propuesto.
- Permitirá diseñar un proyecto de enlaces microondas para el canal GLOBOVISIÒN reestructurando los enlaces microondas actuales del canal, que provea aplicaciones dedicadas a la aplicación del canal de televisión mencionado
- La tecnología propuesta estará orientada a la más actual y disponible en el mercado comercial para Venezuela. Las especificaciones de los mismo se realizaran de forma genérica y orientados al enlace, no estarán orientas a ninguna marca comercial en específico.
- Proponer en forma clara breve y concisa 3 posibilidades de ampliación del proyecto y utilización para otros modelos de enlaces.

Capítulo II. Marco Referencial

Este capítulo trata sobre la investigación teórica necesaria que da sustento al desarrollo del problema de este Trabajo Especial de Grado; Incluye los enfoques teóricos, estudios y antecedentes relacionados con el proyecto realizado.

II.1. Enlaces microondas

Se denomina radioenlace a todo enlace que emplea ondas de radio para establecer una comunicación a larga distancia; por su parte las microondas se reconocen por ser ondas electromagnéticas que tienen una frecuencia mayor a 1 GHz, sin embargo las aplicaciones de radiocomunicaciones generalmente utilizan ondas con frecuencias que se encuentran en la parte superior de la banda de frecuencia UHF (Frecuencia Ultra Alta) y la banda SHF (Frecuencia Súper Alta) del espectro radioeléctrico. (Wayne, 2003)

"Estos enlaces se caracterizan por tener un haz muy estrecho, lo cual es una propiedad que le da gran directividad pero lo hace más susceptible a las interferencias atmosféricas. Para poder establecer un enlace microondas de forma satisfactoria es necesario que exista línea de vista entre la estación transmisora y la estación receptora; los elipsoides de Fresnel ayudan a determinar si existe o no línea de vista entre las estaciones". (Vera M)

Para lograr una transmisión microondas se toma en cuenta que:

- Por encima de los 100 MHz las ondas viajan en línea recta en la forma de un haz dirigido de un punto a otro y, por tanto, se pueden enfocar en un haz estrecho concentrando toda la energía en un haz pequeño con una antena direccional que produce una señal mucho más alta en relación con el ruido; sin embargo, las antenas transmisora y receptora deben estar muy bien alineadas entre sí; ya que el haz puede desviarse o curvarse hacia la tierra por efecto de la refracción de las ondas en la atmósfera. La magnitud de la

curvatura se ha tenido en cuenta al calcular el factor K, el cual representa el gradiente del índice de refracción y corresponde al radio eficaz de la tierra.

- Los enlaces se hacen entre puntos visibles, es decir, puntos altos de la topografía. Esto se debe a que a largas distancias la curvatura natural de la tierra ya es un factor a tomar en cuenta para obtener línea vista entre los equipos transmisor y receptor. Cualquiera que sea la magnitud del sistema de microondas, para funcionamiento correcto, es necesario que los recorridos entre enlaces tengan una altura libre adecuada para la propagación en toda época del año; además de tomar en cuenta las variaciones de las condiciones atmosféricas de la región.

- Para poder calcular las alturas libres debe conocerse la topografía del terreno; así como la altura y ubicación de los obstáculos que puedan existir en el trayecto. Antes de hacer mediciones en el terreno, es necesario el estudio de los planos topográficos de la zona, se escogen estaciones separadas de 10 a 50 Km. o más. Una vez escogidos los sitios de ubicación propuestos para las torres de las antenas, y al haberse determinado la elevación del terreno comprendido entre dichos sitios, se prepara un diagrama de perfiles.

- Las microondas no atraviesan bien los edificios, aun cuando el haz puede estar bien enfocado en el transmisor, hay cierta divergencia en el espacio. Algunas ondas pueden refractarse en las capas atmosféricas más bajas y tardar un poco más en llegar que las ondas directas. (Vera M)

II.2. Estructura general de un enlace de microondas

Un enlace vía microondas consiste en tres componentes fundamentales: el transmisor, el receptor y el espacio aéreo por donde las ondas electromagnéticas se desplazarán. El transmisor es el responsable de modular una señal a la frecuencia utilizada para transmitir, el espacio aéreo representa un camino abierto entre el

transmisor y el receptor y, como es de esperarse, el receptor es el encargado de capturar la señal transmitida y llevarla de nuevo a señal.

El factor limitante de la propagación de la señal en enlaces de microonda es la distancia que se debe cubrir entre el transmisor y el receptor; además, esta distancia debe ser libre de obstáculos. Otro aspecto que debe señalarse es que en estos enlaces el camino entre el receptor y el transmisor debe tener una altura mínima sobre los obstáculos en la vía, para compensar este efecto se utilizan torres para ajustar dichas alturas.

La distancia cubierta por enlaces de microondas puede ser incrementada por el uso de repetidoras, las cuales amplifican y redireccionan la señal. Es importante destacar que los obstáculos de la señal pueden ser salvados a través de reflectores pasivos. La Figura 1 muestra cómo trabaja un repetidor y como se ven los reflectores pasivos.

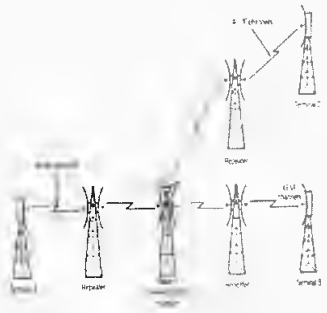


Figura 1. Enlace Microondas con equipos terminales, repetidores y reflectores pasivos

Fuente: http://es.geocities.com/allcircuits5/microondas.com

La función de los repetidores es salvar la falta de visibilidad impuesta por la curvatura terrestre y conseguir así enlaces superiores al horizonte óptico. La distancia entre repetidores se llama vano. Los repetidores pueden ser activos o pasivos; estos últimos también llamados reflectores, debido a que en ellos la señal no obtiene ninguna ganancia para su retransmisión y sólo se limita a cambiar la dirección de la señal al salvar algún obstáculo. La señal de microondas transmitidas es distorsionada

y atenuada mientras viaja desde el transmisor hasta el receptor; estas atenuaciones y distorsiones son causadas por una pérdida de potencia dependiente a la distancia, reflexión y refracción debido a obstáculos y superficies reflectoras, y a pérdidas atmosféricas. En cada estación, sea terminal o repetidor, se requieren dos frecuencias por radio canal: la frecuencia de emisión y la de recepción. En una estación repetidora que tiene como mínimo una antena por cada dirección, es necesario que las frecuencias de emisión y recepción estén suficientemente separadas debido a:

- La gran diferencia entre los niveles de las señales emitidas y recibidas, que puede ser de 60 a 90 dB.
- La necesidad de evitar los acoples entre ambos sentidos de transmisión.
- La directividad insuficiente de las antenas sobre todas las ondas métricas.

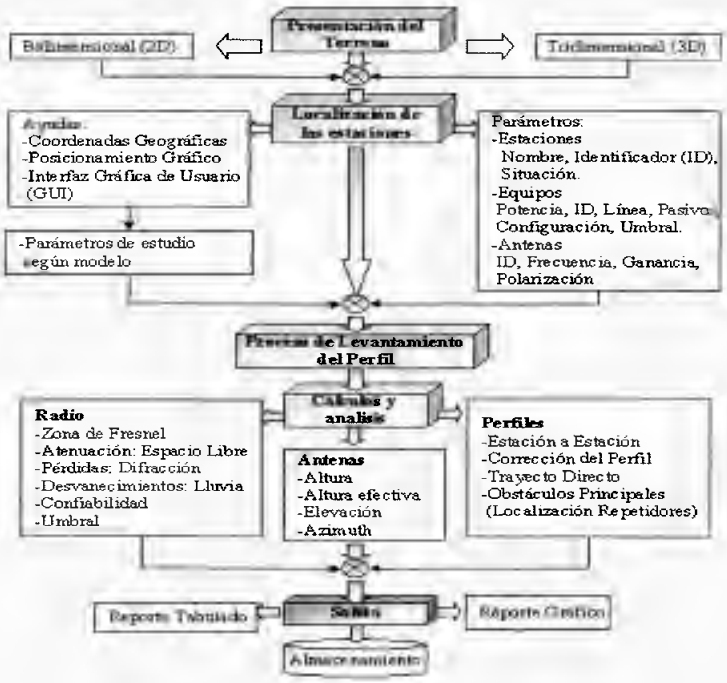


Figura 2. Esquema en bloque --Estructura General de los Enlaces Microondas

Fuente: O. J. Zuluaga, A. F. *Diseño automatizado de enlaces microondas sobre sistemas de información geográfica.* España: Universidad Nacional, Sede Manizales, Grupo de Control y Procesamiento Digital de Señales.

II.3. Curvatura de la tierra

El gradiente del índice de refracción o factor K que corresponde al radio eficaz de la tierra se define como el grado y la dirección de la curvatura que describe el haz de microondas durante su propagación.

$$K = R' / Rt \qquad (A1)$$

Donde Rt es el radio real terrestre y R' es el radio de la curvatura ficticia de la tierra. Cualquier variación del índice de refracción provocada por la alteración de las condiciones atmosféricas, se expresa como un cambio del factor K. En condiciones atmosféricas normales, el valor de K varía desde 1.2 para regiones elevadas y secas (o 4/3 en zonas mediterráneas), hasta 2 ó 3 para zonas costeras húmedas. Cuando K se hace infinito, la tierra aparece ante el haz como perfectamente plana, ya que su curvatura tiene exactamente el mismo valor que la terrestre. Si el valor de K disminuye a menos de 1, el haz se curva en forma opuesta a la curvatura terrestre. Este efecto puede obstruir parcialmente al trayecto de transmisión, produciéndose así una difracción.

El valor de la curvatura terrestre para los distintos valores de K se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$f = \frac{d1 \cdot d2}{2 \cdot k \cdot Ro} \qquad (A2)$$

Donde

dl = Distancia desde un punto hasta uno de los extremos del trayecto.

d2 = Distancia desde el mismo punto anterior hasta el otro extremo del trayecto.

K = Factor del radio eficaz de la tierra.

Ro= Radio de la tierra

Con excepción del desvanecimiento por efecto de trayectos múltiples, los desvanecimientos son fácilmente superables mediante la diversidad de espacio, frecuencia o polarización. Las alteraciones del valor de K desde 1 hasta infinito, tienen escasa influencia en el nivel de intensidad con que se reciben las señales, cuando el trayecto se ha proyectado en forma adecuada. Las anomalías de propagación ocurren cuando K es inferior a 1, el trayecto podría quedar obstruido y por lo tanto sería vulnerable a los Fuertes desvanecimientos provocados por el efecto de trayectos múltiples. Cuando K forma un valor negativo, el trayecto podría resultar atrapado entre capas atmosféricas y, en consecuencia, sería susceptible a sufrir desvanecimiento total. (Prillwitz, E, 2005).

II.4. Cálculo del enlace

Cálculos necesarios a aplicar para poder obtener los valores reales con lo que se debe trabajar para el diseño de un sistema de enlaces.

II.4.1. Modelo de tierra ficticia

Para evitar utilizar representación de trayectorias curvas se ha desarrollado un procedimiento mediante el cual se sustituye la tierra real, rodeada por una atmósfera con variación del índice de refracción, por una tierra ficticia de radio *KRO* donde no existe variación en su índice de refracción ($dn'/dh'=0$). Para valores de K menores de 1 la tierra parece sobresalir e interponerse al trayecto más que en el caso de K=1 (tierra real). En cambio cuando K es superior a la unidad, la curvatura efectiva es menor, este efecto se denomina "aplanamiento de la tierra". El valor de K depende pues de dn/dh. Para España lo más normal de adoptar es K igual a 4/3. El caso peor que se suele tomar es de K=2/3.

Por lo tanto con el método de tierra ficticia el efecto de la refracción se modela mediante el cálculo de la constante K que nos sirve para dibujar la "nueva tierra" Los rayos permanecen rectilíneos simplificando el cálculo.

Los diferentes obstáculos que aparecen sobre la superficie de la tierra verán incrementada su altitud debido a la redondez de la tierra. Este modelo se muestra en la Figura 3.

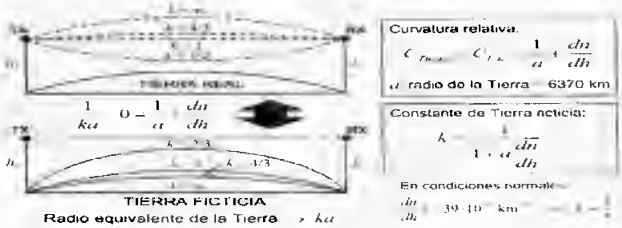
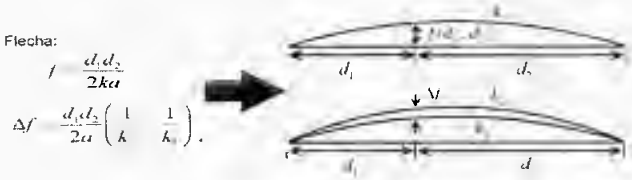


Figura 3. Modelo de Tierra Ficticia

Fuente: Barrios, J. J. (2009). *Modelos de Propagación capitulo 5.* Caracas.



(A3)

$$h(d) = \frac{h2-h1}{d1+d2} * d1 + h1 - xd \qquad \text{(A4)}$$

II.4.2. Elipsoides de Fresnel

Los elipsoides de Fresnel son regiones que rodean la trayectoria de la onda desde la antena transmisora hasta la receptora. La región interna del primer elipsoide de Fresnel se conoce como primera zona de Fresnel y contiene la mayor parte de la potencia que alcanza el receptor. Es posible obtener su radio mediante la siguiente formula

$$R(1) = \sqrt{1 * \frac{c}{f} * \frac{d1 * d2}{d1 + d2}} \qquad \text{(A5)}$$

d1 = distancia entre el transmisor y el obstáculo.

d2 = distancia entre el obstáculo y el receptor.

C= Velocidad de la luz

F= frecuencia de trabajo

Lo ideal para un enlace microondas, es que la primera zona de Fresnel no esté obstruida, pero normalmente es suficiente despejar el 60% del radio de la primera zona de Fresnel para tener un enlace satisfactorio.

$h/R \quad 0{,}57$ → Obstrucción
$h/R \quad 0{,}57$ → Interferencia
h: claridad o despejamiento
R_1: radio de la 1ª zona de Fresnel

(A6)

Cuando queda completamente libre la primera zona de Fresnel, la atenuación de la onda directa entre las dos antenas es prácticamente idéntica a la de espacio libre. En estas condiciones se dice que el enlace presenta línea de vista. (Pramos, 2001)

II.4.3. Cálculo del nivel de señal recibida en enlaces de microonda.

El nivel de señal recibida, RSL (*Received Signal Level*) nivel de señal recibida, por sus siglas en inglés puede ser estimado utilizando la siguiente fórmula:

$$RSL\ (dbm) = Pout - FL1 + G1 + G2 - FL2 - Lp \qquad (A7)$$

En donde:

Pout es la potencia de salida del transmisor (en dbm)

FL1 es la pérdida en el *feeder* o guía de onda en el lado del transmisor (en db)

G1 es la ganancia de la antena transmisora (en dB)

G2 es la ganancia de la antena receptora (en dB)

FL2 es la pérdida en el *feeder* o guía de onda en el lado receptor (en dB)

Lp es la pérdida total del enlace

Este diseño de enlace es muy importante para determinar posibles problemas potenciales durante la instalación o puesta en servicio de un enlace. (Pramos, 2001)

II.4.4. Confiabilidad

Las normas de seguridad de funcionamiento de los sistemas de microondas han alcanzado gran rigidez. Por ejemplo, se utiliza un 99.98% de confiabilidad general en un sistema patrón de 6000 Km. de longitud, lo que equivale a permitir sólo un máximo de 25 segundos de interrupción del año por cada enlace.

Las empresas industriales que emplean sistemas de telecomunicaciones también hablan de una confiabilidad media del orden de 99.9999%, es decir, un máximo de 30 segundos de interrupciones por año, en los sistemas de microondas de largo alcance. Los cálculos estimados y cómputos de interrupciones del servicio por fallas de propagación, emplean procedimientos parcial o totalmente empíricos.

Los resultados de dichos cálculos generalmente se dan como tiempo fuera de servicio (TFS) anual por enlace o porcentaje de confiabilidad por enlace. La confiabilidad de los enlaces de microondas puede darse según fallas de equipo, al aplicar cálculos de probabilidad. Los resultados de los cálculos de confiabilidad de los equipos de microondas se expresan como disponibilidad (del equipo) por enlace (D).

$$D = TES / TTD \qquad (A8)$$

Donde TES es el tiempo de servicio dentro de un período determinado y TTD es el tiempo total disponible. Una aplicación lógica de este método de cálculo es sumar las interrupciones por enlace durante el año causadas por averías del equipo o malas condiciones de propagación. Con el resultado se obtiene el TFS total que se puede aplicar como cifra de mérito de confiabilidad del enlace. Los cálculos de TES y de

TFS de los equipos de microondas siempre descansan en dos factores básicos: el tiempo medio de funcionamiento entre falla (TMEF), el tiempo medio de interrupción hasta el servicio (TMHR). Por lo tanto el TMHR representa el promedio de tiempo real fuera de servicio debido a fallas. La conexión entre el TMEF y el TMHR determina la relación de TFS de servicio debido a fallas (tiempo no disponible o ND)

$$\text{TFS (ND)} = \text{TMHR} / \text{TMEF} \tag{A9}$$

$$\text{TES (D)} = 1 - \text{ND} \tag{A10}$$

$$\text{TFS anual} = 8760 * \text{(ND) horas} \tag{A11}$$

El concepto de confiabilidad está dado por confiabilidad = TES * 100%. (Prillwitz, E, 2005).

II.4.5. Atenuaciones

Una vez que las ondas electromagnéticas dejan la antena del transmisor, estas se ven afectada por fenómenos atmosféricos como la lluvia, neblina, vegetación, incluso el sol, siendo de las principales causas que alteran la propagación de la energía electromagnética, interrumpiendo la transmisión. Para buscar una solución a este problema, es importante estudiar los fenómenos apoyándose en modelos estadísticos que permiten conocer el efecto de ésta en las comunicaciones. Los modelos se basan en análisis meteorológicos o climáticos, así como también en experimentos donde se pone particular atención al tipo de perturbaciones que este efecto produce sobre los medios de transmisión entre sistemas y estaciones. Entre estas perturbaciones se encuentra la atenuación y la transpolarización.

La magnitud máxima de la atenuación y la transpolarización en un enlace de comunicación, pueden calcularse aproximadamente mediante modelos físicos y estadísticos ampliamente difundidos. Los modelos más exitosos se derivan de los

propuestos en las recomendaciones R PN.837-1 (1994) y 838 (1992) así como en el informe 564-4 (1990) de la UIT.

II.4.5.1. Reflexión

Cuando una onda incide sobre la superficie de separación entre dos medios diferentes, una parte de su energía se transmite al segundo medio en forma de una onda transmitida de características similares al incidente, mientras que otra parte de la energía incidente rebota en dicha superficie y se propaga hacia atrás, al primer medio, para constituir una onda reflejada. Este fenómeno de reflexión y transmisión de perturbaciones oscilatorias es común tanto a las ondas mecánicas como a la luz y otras ondas electromagnéticas.

Las frecuencias de las ondas incidente, transmitida y reflejada son iguales. En cambio, la longitud de onda de la onda transmitida lT difiere del incidente lI en una relación que depende de sus índices de refracción respectivos:

$$\frac{\lambda_T}{\lambda_I} = \frac{n_1}{n_2} \qquad \text{(A12)}$$

La fracción de energía del haz luminoso que se transmite al segundo medio depende del tipo de superficie de separación, de la dirección de incidencia sobre la misma, del campo eléctrico asociado al haz y de los índices de refracción de los dos medios. Así, en el paso del aire al vidrio se transmite aproximadamente un 96% de la energía incidente, mientras que cuando el segundo medio tiene una superficie de separación pulida y reflectante (por ejemplo, un espejo), se refleja prácticamente toda la energía y apenas existe transmisión.

Una onda que llega a la frontera entre dos medios en parte se refleja al primer medio y en parte se transmite al segundo (normalmente refractada, con otra dirección de propagación).

II.4.5.2. Refracción

El índice de refracción de la atmósfera está relacionado con la constante dieléctrica que a su vez depende de la presión, de la temperatura y de la humedad, como indica la siguiente expresión

$$N = (n-1)10^6 = \frac{77.6\cdot(p+4810\cdot\frac{e}{t})}{t} \qquad \text{(A13)}$$

Dónde:

N es el índice de refracción modificado o refractividad.

n es el índice de refracción de la atmósfera.

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

T es la temperatura absoluta (en grados Kelvin).

II.4.5.3. Difracción

La difracción es el fenómeno que ocurre cuando una onda electromagnética incide sobre un obstáculo. La tierra y sus irregularidades pueden impedir la visibilidad entre las antenas transmisora y receptora en ciertas ocasiones. La zona oculta a la antena transmisora se denomina zona de difracción (Figura 4). En esta zona los campos no son nulos debido a la difracción causada por el obstáculo, y por tanto es posible la recepción, si bien con atenuaciones superiores a las del espacio libre.

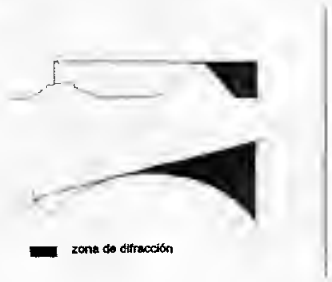


Figura 4. Zona de Difracción

Fuente: Pramos. (2001). Prácticas de Radiocomunicaciones.

El principio de *Huygens* afirma que cualquier punto de un frente de onda puede ser considerado como un elemento radiante que origina nuevas ondas. El siguiente frente de ondas es la envolvente de estas ondas secundarias, así una onda plana o esférica vuelven a reconstruirse.

Aunque la difracción es producida únicamente por la superficie del suelo, a la hora de calcular los diferentes parámetros involucrados en ella, hay que tener en cuenta la refracción media de la atmósfera. Por lo tanto con el fenómeno de la difracción se puede justificar enlaces donde el rayo directo se ve interrumpido.

II.4.5.3.1. Cálculo de la difracción producida por uno y/o múltiples obstáculos.

Un obstáculo en forma de arista en el trayecto bloquea una parte de la energía radioeléctrica, el resto será objeto de difracción en torno a la arista. El CCIR proporciona la forma de calcular la atenuación producida por el obstáculo en función del parámetro adimensional v, definido como:

$$v = h \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot (d1 + d2)}{\lambda \cdot d1 \cdot d2}} \qquad \text{(A14)}$$

Donde h es el despejamiento, λ la expresión de onda de la señal, d1 y d2 las distancias del obstáculo al emisor y receptor respectivamente.

La atenuación por difracción en expresión de v es:

$$Ld(v) = -10\log(0.5(0.5 - C(v))^2 + (0.5 - S(v))^2))db \qquad (A15)$$

Siendo C (v) y S (v) las expresiones de Fresnel de argumento v:

$$Cv = \int_0^V COS(\frac{\Pi t^2}{2})dt \qquad (A16)$$

$$Sv = \int_0^V SIN(\frac{\Pi t^2}{2})dt \qquad (A17)$$

Esta expresión de la atenuación por difracción se corresponde con la Figura 5.

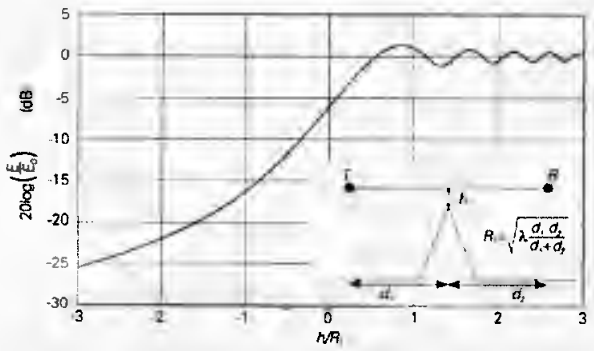


Figura 5. Atenuación por difracción

Fuente Pramos. (2001). Prácticas de Radiocomunicaciones.

Afortunadamente, para las aplicaciones más usuales a la radiocomunicación se puede aproximar Ld(n) por la siguiente expresión numérica:

$$Ld(v) = 6.9 + 20\log(\sqrt{((v - 0.1)^2 + 1} - v - 0.1)db \qquad (A18)$$

Esta aproximación nos lleva a la curva de la Figura 6, normalmente utilizada en la mayoría de los casos.

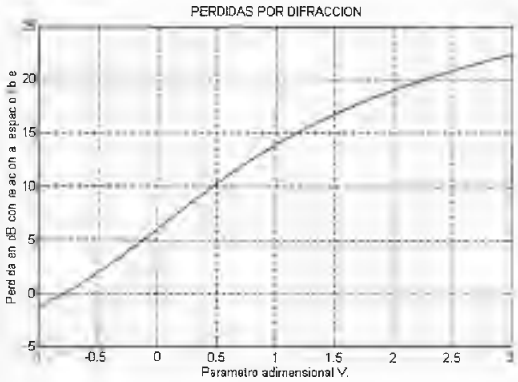


Figura 6. Curva por pérdida de Difracción

Fuente: Pramos. (2001). Prácticas de Radiocomunicaciones.

Hay que tener en cuenta que la expresión anterior únicamente es válida para n aproximadamente mayores de -1, ya que para valores menores en realidad se produce una oscilación amortiguada alrededor del 0 dB (debido a que vamos ocultando sucesivamente zonas de Fresnel pares e impares).

II.4.5.4. Pérdidas por espacio libre

El espacio libre se define como un medio dieléctrico homogéneo, isótropo y alejado de cualquier obstáculo, el cual tiene perdida. Para calcularla supongamos un equipo transmisor con una potencia, que se denomina PT; que viene dada por:

$$PT = 4\Pi SR^2 \qquad (A19)$$

Donde S es la densidad de potencia y R es la distancia a la expresión. Además supondremos que la expresión de dicho equipo radia igual en todas las direcciones del espacio, si el medio no posee pérdidas, no se produce absorción de energía.

Debido a que las antenas no son omnidireccionales, sino que concentran la energía en determinadas direcciones, denominaremos GT (ganancia) al incremento de radiación en la dirección preferente con lo que en dicha dirección tenemos:

$$PT * GT = 4\Pi SR^2 \rightarrow S = \frac{PtGt}{4\Pi R^2} \qquad (A20)$$

El equipo receptor poseerá una antena que captará parte de esa densidad de potencia y la entregará al receptor. Para calcular cuánto es dicha energía definimos la expresión (AE) de la expresión receptora como la relación de potencia captada por la expresión receptora y la densidad de potencia incidente sobre ella. Por lo tanto la potencia recibida (PR):

$$PR = S * AE = \frac{Pt}{4\Pi R^2} Gt * Ae \qquad (A21)$$

Si tenemos en cuenta otros factores como la polarización (CP) y las posibles pérdidas en el medio (CM), llegamos a la ecuación:

$$PR = S * AE = \frac{PT * GT * AE * CM * CP}{4\Pi\ R2} \qquad (A22)$$

Además existe una expresión que relaciona la apertura efectiva con la directividad (D) de la antena receptora. Dicha expresión es:

$$AE = \frac{\lambda 2 * D}{4\Pi} \qquad (A23)$$

Si tomamos la expresión vista en (A89) y en otra expresión tenemos en cuenta la eficiencia de las antenas, sustituyendo la directividad por la ganancia (la directividad y la ganancia difieren sólo en el término de eficiencia de antena),

podemos calcular la atenuación como el cociente entre la potencia recibida y transmitida. Siendo igual a:

$$A = \frac{PT}{Pr} = \frac{4\Pi d^2}{\lambda} * \frac{1}{GT * Gr} \qquad (A24)$$

Se denomina atenuación en el espacio libre a la atenuación sin tener en cuenta la ganancia de las antenas receptora (GR) y transmisora (GT):

$$A = \frac{PT}{Pr} = \frac{4\Pi d^2}{\lambda} \qquad (A25)$$

Como podemos observar la atenuación del espacio libre depende únicamente de la frecuencia y la distancia de separación de los equipos. Conforme aumenta la frecuencia aumenta además la atenuación. Si consideramos la ganancia GT y GR (en dB), nos encontramos con la expresión de expresión de Friis:

$$A\ (dB) = 32.45 + 20\log\ (f\ MHz) + 20\log\ (d\ Km) - GT - GR \qquad (A26)$$

Y las pérdidas por espacio libre:

$$A(db) = 32.45 + 20 * \log fMhz + 20 * \log dKm \qquad (A27)$$

Dónde:

F = Frecuencia

D = Distancia de la trayectoria

La atenuación del espacio libre es únicamente debida a la expansión de las ondas electromagnéticas en el medio y al tamaño físico limitado de las antenas y no a ningún otro fenómeno. (Pramos, 2001)

II.4.5.5. Efectos climáticos

La propagación de las ondas se ven afectadas por algunos fenómenos climáticos y como consecuencia, la tecnología no está ajena a estos efectos. Considerando que el viento, humedad, temperatura del aire, lluvia, neblina, nieve, etc., son factores que se combinan de formas muy distintas, en algunas ocasiones sus efectos pueden presentar una combinación muy adversa para la propagación de las ondas, en especial en frecuencias altas. Por lo anterior, cuando se calcula un enlace, el factor por condiciones climáticas ha de considerarse siempre, en el entendido que la magnitud de la atenuación que produzca el fenómeno climático será mayor cuanto mayor sea la frecuencia de operación del sistema que estemos evaluando.

II.4.5.5.1. Lluvia

En los radioenlaces troposféricos y por satélite, existe también una componente de atenuación debida a la absorción y dispersión por hidrometeoros (lluvia, nieve, granizo). La UIT R PN 838 recomienda la aplicación del siguiente procedimiento para evaluar la atenuación por la lluvia rebasada durante un porcentaje de tiempo igual el p%. Tal atenuación es:

$$A\,(R,p) = \gamma(R,p) * Lef \qquad (A28)$$

Donde $\gamma(R, p)$ es la atenuación específica (dB/km) para la intensidad de lluvia R (mm/h) y el porcentaje de tiempo p (%) y Lef (km) es la longitud efectiva del trayecto. La atenuación específica se obtiene a partir de la intensidad de lluvia mediante la ley exponencial:

$$\gamma = k * R^{\alpha} \qquad (A29)$$

Las constantes k y a dependen de la frecuencia y la polarización. En la Tabla 1 se facilitan valores para diferentes frecuencias y polarizaciones H y V. Pueden obtenerse valores para frecuencias diferentes mediante interpolación, utilizando una

escala logarítmica para la frecuencia y para k y una escala lineal para a, R es el índice de precipitación (mm/h) excedido durante el p% del tiempo, con un tiempo de integración de un minuto y se obtiene a partir de estadísticas de lluvias. El CCIR da valores de R para diferentes porcentajes de tiempo y zonas hidrometeorológicas.

Frecuencia (GHz)	k_H	k_V	α_H	α_V
1	0,0000387	0,0000352	0,912	0,880
2	0,000154	0,000138	0,963	0,923
4	0,000650	0,000591	1,121	1,075
8	0,00454	0,00395	1,327	1,310
10	0,0101	0,00887	1,276	1,264
12	0,0188	0,0168	1,217	1,200
15	0,0367	0,0335	1,154	1,128
20	0,0751	0,0691	1,099	1,065
30	0,187	0,167	1,021	1,000
40	0,350	0,310	0,939	0,929
60	0,707	0,642	0,826	0,824

* Interpolación lineal para α e interpolación logarítmica para f y k

Tabla 1. Valores para diferentes frecuencias y polarizaciones H y V

Fuente: Barrios, J. J. (2009). *Modelos de Propagación capitulo 5.* Caracas.

II.4.5.5.2. Gases y vapores atmosféricos

Para trayectos troposféricos, las moléculas de O2 y H2O absorben energía electromagnética, produciendo una atenuación que puede ser muy elevada en ciertas frecuencias. Esta atenuación adicional sólo tiene importancia en frecuencias superiores a 10 GHz En los trayectos poco inclinados, próximos al suelo, la atenuación debida a estos efectos se calcula mediante la expresión:

$$A\alpha = \gamma\alpha * d \qquad \text{(A30)}$$

Donde γA es la atenuación específica (dB/m) y d, la distancia. El parámetro γA se desglosa en dos:

$$\gamma\alpha = \gamma o - \gamma w \qquad \text{(A31)}$$

Donde γO y γW son las atenuaciones específicas para el oxígeno y el vapor de agua, respectivamente.

$$\gamma o\left(\frac{db}{Km}\right) = \left[7.19 \cdot 10^{-3} + \frac{6.09}{f^2 + 0.227} + \frac{4.81}{(f-57)^2 + 1.5}\right] \cdot f^2 \cdot 10^{-3} \quad \text{(A32)}$$

$$\gamma w\left(\frac{db}{Km}\right) = \left[0.05 + 0.0021 \cdot \rho + \frac{3.5}{(f-22.2)^2 + 2.5} + \frac{10.6}{(f-183.3)^2 + 9} + \frac{8.9}{(f-325.4)^2 + 26.3}\right] \cdot f^2 \cdot 10^{-4} \cdot \rho \quad \text{(A33)}$$

II.4.5.5.3. Vegetación

Cuando el receptor de un sistema de comunicación se encuentra en el interior de un terreno boscoso, hay una pérdida adicional por penetración de las ondas a través de él. La recomendación UIT R PN 833 facilita las curvas que proporcionan la atenuación por unidad de longitud, en función de la frecuencia y de la polarización. Las curvas representan un promedio aproximado para todos los tipos de bosque, en frecuencias de hasta 3.000 MHz Cuando la atenuación adicional es alta (por ejemplo, superior a 30 dB), debe considerarse la posibilidad de difracción, en obstáculo agudo o el modelo de tierra esférica. (R. B. Wells, 1999)

II.5. Antenas microondas

Una antena es un dispositivo que sirve para transmitir y recibir ondas electromagnéticas que han sido radiadas en el espacio libre. Las antenas deben de dotar a la onda radiada con un aspecto de dirección. Es decir, deben acentuar un solo aspecto de dirección y anular o mermar los demás. Esto es necesario ya que solo nos interesa radiar hacia una dirección determinada. Las antenas también deben dotar a la onda radiada de una polarización, la polarización de una onda es la figura geométrica descrita, al transcurrir el tiempo, por el extremo del vector del campo eléctrico en un punto fijo del espacio en el plano perpendicular a la dirección de propagación. Para todas las ondas, esa figura es normalmente una elipse, pero hay dos casos particulares de interés y son cuando la figura trazada es un segmento, denominándose linealmente polarizada, y cuando la figura trazada es un círculo, denominándose circularmente

polarizada. Una onda está polarizada circularmente o elípticamente a derechas si un observador viese a esa onda alejarse, y además viese girar al campo en el sentido de las agujas de un reloj. Lógicamente, si lo viese girar en sentido contrario, sería una onda polarizada circularmente o elípticamente a izquierdas.

II.5.1. Campo radiado

Un patrón de radiación es un diagrama polar o gráfica que representa las intensidades de los campos o las densidades de potencia en varias posiciones angulares en relación con una antena. Si el patrón de radiación se traza en términos de la intensidad del campo eléctrico (E) o de la densidad de potencia (P), se llama patrón de radiación absoluto. Si se traza la intensidad del campo o la densidad de potencia en relación al valor en un punto de referencia, se llama patrón de radiación relativo. Se suele hacer es un corte en el diagrama de radiación en tres dimensiones para pasarlo a dos dimensiones. Este tipo de diagrama es el más habitual ya que es más fácil de medir y de interpretar.

II.5.2. Parámetros del patrón de radiación

Factores que intervienen en la radiación de la señal por la antena

II.5.2.1. Impedancia

La Impedancia de Entrada Ze mediante relaciones tensión-corriente en ese punto. Poseerá una parte real Re (w) y una imaginaria Xe (w), ambas dependientes en general de la frecuencia. Si Ze no presenta una parte reactiva a una frecuencia, se dice que es una Antena Resonante. Dado que la antena radia energía, hay una pérdida neta de potencia hacia el espacio debida a radiación, que puede ser asignada a una resistencia de radiación Rr, definida como el valor de la resistencia que disiparía óhmicamente la misma potencia que la radiada por la antena.

La impedancia de entrada es un parámetro de gran trascendencia ya que condiciona las tensiones de los generadores que se deben aplicar para obtener

determinados valores de corriente en la antena y, en consecuencia una determinada potencia radiada.

Tomando en cuenta lo anteriormente explicado, se deduce que para una transferencia de energía eficiente, la *impedancia* del radio, la antena, y el cable de transmisión que las conecta debe ser la misma. Las antenas y sus líneas de transmisión generalmente están diseñadas para una impedancia de 50 ohm. Si la antena tiene una impedancia diferente a 50 ohm, hay una desadaptación, y se necesita un circuito de acoplamiento de impedancia. Cuando alguno de estos componentes no tiene la misma impedancia, la eficiencia de transmisión se ve afectada

II.5.2.2. Eficiencia

Relacionado con la impedancia de la antena tenemos la eficiencia de radiación y la eficiencia de reflexión. Estas dos eficiencias nos indicarán una, cuanto de buena es una antena emitiendo señal, y otra, cuanto de bien está adaptada una antena a una línea de transmisión. La Eficiencia de Radiación se define como la relación entre la potencia radiada por la antena y la potencia que se entrega a la misma antena. Como la potencia está relacionada con la resistencia de la antena, podemos volver a definir la Eficiencia de Radiación como la relación entre la Resistencia de radiación y la Resistencia de la antena

La Eficiencia de Adaptación o Eficiencia de Reflexión es la relación entre la potencia que le llega a la antena y la potencia que se le aplica a ella. Esta eficiencia dependerá mucho de la impedancia que presente la línea de transmisión y de la impedancia de entrada a la antena, luego se puede volver a definir la Eficiencia de Reflexión como:

$$1 - \text{módulo del Coeficiente de reflexión} \qquad (A34)$$

Siendo el coeficiente de reflexión el cociente entre la diferencia de la impedancia de la antena y la impedancia de la línea de transmisión, y la suma de las mismas impedancias.

$$\text{Eficiencia de Reflexión} = 1 - (\text{Coeficiente de Reflexión})^2 \qquad (A35)$$

Donde Algunas veces se define la Eficiencia Total, siendo esta el producto entre la Eficiencia de Radiación y la Eficiencia de Reflexión.

$$\text{Eficiencia Total} = \text{Eficiencia de Radiación} \times \text{Eficiencia de Reflexión} \qquad (A36)$$

La eficiencia de una antena no alcanzará al 100%, es decir que la energía que es capaz de capturar o generar no es igual al total de la energía disponible. Tomando en cuenta los factores influyentes, que se describen a continuación así como las características que componen a la antena, la eficiencia estará comprendida entre el 50% y el 75%.

II.5.2.3. Ganancia de una antena

La ganancia de las antenas a emplear, está relacionada con la superficie de la parábola, a mayor tamaño mayor colimación del haz tendremos y por lo tanto mayor ganancia en una menor apertura angular. El elemento radiante es el alimentador, el cual puede iluminar en forma directa a la parábola o en forma indirecta mediante un sub-reflector, dependiendo del diseño de la misma. El alimentador está generalmente ubicado en el foco de la parábola. El alimentador, en sí mismo, también es una antena de apertura (se denominan antenas de bocina) que puede utilizarse sin reflector, cuando el objetivo es una cobertura más amplia.

II.5.2.3.1. Ganancia directiva

La ganancia directiva es la relación de la densidad de potencia radiada en una dirección en particular con la densidad de potencia radiada al mismo punto por una antena de referencia, suponiendo que ambas antenas irradian la misma cantidad de

potencia. El patrón de radiación para la densidad de potencia relativa de una antena es realmente un patrón de ganancia directiva si la referencia de la densidad de potencia se toma de una antena de referencia estándar, que por lo general es una antena isotrópica. Matemáticamente, la ganancia directiva es:

$$Gd = 10\log\left(\frac{4\pi Ao}{\lambda^2}\right);\ \text{Con}\ Ao = \eta\pi\left(\frac{d}{2}\right)^2 \qquad \text{(A37)}$$

Donde Ao es la superficie efectiva proyectada de la abertura del reflector, λ es la longitud de onda en el espacio libre, d el diámetro de la antena y η la eficiencia de la apertura expresada en %. Por lo tanto, se observa que la ganancia de una antena es proporcional a la frecuencia, la eficacia de la apertura y el diámetro del reflector.

II.5.2.3.2. Ganancia de potencia

La ganancia de potencial es igual a la ganancia directiva excepto que se utiliza el total de potencia que alimenta a la antena (o sea, que se toma en cuenta la eficiencia de la antena). Se supone que la antena indicada y la antena de referencia tienen la misma potencia de entrada y que la antena de referencia no tiene perdidas (h = 100%). Matemáticamente, la ganancia de potencia (A_p) es:

$$A_p = D\ h \qquad \text{(A38)}$$

Si una antena no tiene perdidas, irradia 100% de la potencia de entrada y la ganancia de potencia es igual a la ganancia directa. La ganancia de potencia para una antena también se da en decibeles en relación con alguna antena de referencia. (Cardama, 1998)

II.5.2.4. Polarización de la antena

La polarización de una antena se refiere solo a la orientación del campo eléctrico radiado desde ésta. Una antena puede polarizarse en forma lineal (por lo general, polarizada horizontal o vertical), en forma elíptica o circular. Si una antena

irradia una onda electromagnética polarizada verticalmente, la antena se define como polarizada verticalmente; si la antena irradia una onda electromagnética polarizada horizontalmente, se dice que la antena está polarizada horizontalmente; si el campo eléctrico radiado gira en un patrón elíptico, está polarizada elípticamente; y si el campo eléctrico gira en un patrón circular, está polarizada circularmente. Los diferentes tipos de polarización los podemos observar en la Figura 7 y Figura 8. (Barrios, 2009)

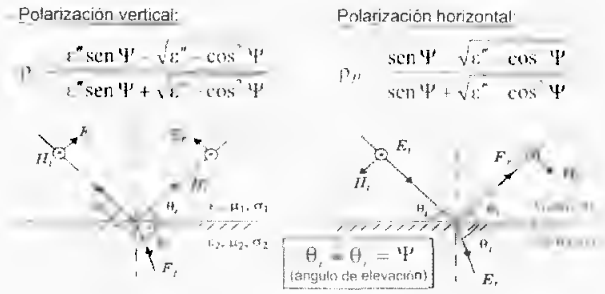


Figura 7. Diagrama de Polarización

Fuente: Barrios, J. J. (2009). *Modelos de Propagación capitulo 5.* Caracas.

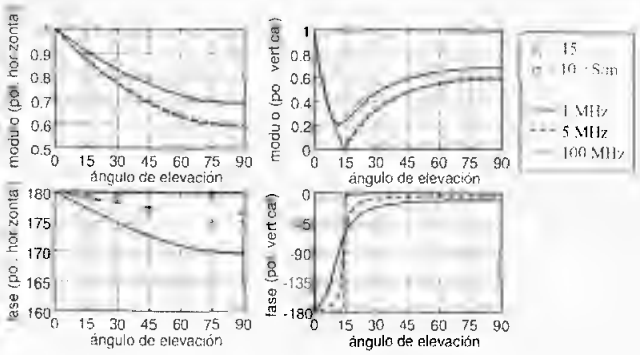


Figura 8 Curvas de coeficientes de reflexión

Fuente: Barrios, J. J. (2009). *Modelos de Propagación capitulo 5.* Caracas.

II.5.2.5. Ancho del haz de la Antena

El ancho del haz de la antena es sólo la separación angular entre los dos puntos de media potencia (-3dB) en el lóbulo principal del patrón de radiación del plano de la antena, por lo general tomando en uno de los planos "principales"

II.5.2.6. Ancho de banda de la antena

El ancho de banda de la antena se define como el rango de frecuencias sobre las cuales la operación de la antena es "satisfactoria". Esto, por lo general, se toma entre los puntos de media potencia, pero a veces se refiere a las variaciones en la impedancia de entrada de la antena.

II.5.2.7. Angulo de radiación

Es el ángulo sobre el horizonte con respecto al eje del lóbulo principal de radiación y que va ligado directamente a la polarización de la antena (horizontal o vertical) como a la altura por sobre la superficie del suelo, frecuencia de funcionamiento.

II.5.2.8. Frecuencia resonante

Es la frecuencia a la cual la antena se vuelve eléctricamente resonante, y en la cual existe una cancelación interna mínima de la señal de radio.

A esta frecuencia resonante la antena irradia el 100% de la señal que se le proporciona. Normalmente la longitud de los elementos irradiantes coincide con las longitudes de onda resonantes para lograr este efecto, las cuales son los múltiplos impares de la media onda (½, 3/2, 5/2, etc.). Sin embargo dependiendo de las antenas pueden usarse otras longitudes con similar éxito

II.5.2.9. Factor Q de la antena

El factor Q de la antena es la medida del factor de calidad o factor de mérito. Este factor permite elegir la antena más conveniente

$$Q = \frac{fo}{fh - fl} = \frac{fo}{\Delta f} \qquad \text{(A39)}$$

Dónde:

fo es igual a la Frecuencia resonante

Δf es igual al ancho de banda

II.5.2.10. Directividad de la antena

También llamada Ganancia Directiva Máxima Es la capacidad de una antena para concentrar el máximo valor de radiación en una dirección deseada seleccionando el objetivo donde se desea trasmitir o recepcionar en el caso inverso.

El significado de esta definición es más fácil de entender definiendo primeramente una cantidad conocida como intensidad de radiación. La potencia radiada por unidad de área en cualquiera dirección viene dada por el vector de Poynting P. para un campo distante en el que E y H sean ortogonales en un plano normal al vector radial y en el que E=ηH, el flujo de potencia por unidad de área viene dado por:

$$P = \frac{E^2}{\eta} \text{ W/m}^2 \qquad \text{(A40)}$$

Hay un r^2 metros cuadrados de superficie por unidad de ángulo sólido, y definiendo la intensidad de radiación Φ (θ, φ) en una dirección como la potencia por unidad de ángulo sólido en tal dirección, vemos que:

$$\Phi(\theta,\varphi) = r^2 P = \frac{r^2 E^2}{\eta} \text{ W/ángulo sólido unidad} \quad \text{(A41)}$$

Teniendo en cuenta lo mencionado anteriormente podemos decir que la directividad de una antena se calcula fácilmente cuando su longitud efectiva y resistencia de radiación se conocen. Por ejemplo, para un elemento de corriente Idl, el campo distante en la dirección de máxima radiación es

$$E = \frac{60\pi}{r} I \left(\frac{dl}{y}\right) \quad \text{(A42)}$$

Y la corriente necesaria para radiar 1 vatio es

$$I = \frac{3}{\sqrt{80\pi dl}} \text{ Amp} \quad \text{(A43)}$$

Con una intensidad de campo correspondiente en la dirección de máxima radiación de

$$E = \frac{60}{r\sqrt{80}} \text{ V/m} \quad \text{(A44)}$$

La intensidad de radiación será

$$\Phi = \frac{60^2}{80x120\pi} = \frac{3}{8\pi} \quad \text{(A45)}$$

Por lo que la directividad o ganancia directiva máxima del elemento de corriente es:

$$D = 4\pi\Phi \quad \text{(A46)}$$

De tal manera que calculando D tenemos como resultado igual a 1,5.

Por otra parte; se puede obtener la directividad, en general, a partir de conocimiento del diagrama de radiación de la antena. Si se define el diagrama normalizado

$$t(\theta,\varphi) = \frac{\rho(\theta,\varphi)}{\rho max} \qquad \text{(A47)}$$

La expresión de la directividad puede escribirse en la forma

$$D = \frac{4\pi}{\iint_{4\pi} t(\theta,\varphi)\, d\Omega} = \frac{4\pi}{\Omega e} \qquad \text{(A48)}$$

Donde Ωe, se define como el ángulo sólido equivalente, el cual se obtiene de sacar el área de la antena. Por lo que sí es una antena isotrópica la D es igual 1 ya que es una esfera de Ωe igual a4π. Para una antena parabólica tenemos que el Ωe es 2π, siendo la directividad "D" igual 2

II.5.2.11. Longitud de onda

La longitud de onda de una onda describe cuán larga es la onda. La distancia existente entre dos crestas o valles consecutivos es lo que llamamos longitud de onda. Las ondas de agua en el océano, las ondas de aire, y las ondas de radiación electromagnética tienen longitudes de ondas.

La letra griega "λ" (lambda) se utiliza para representar la longitud de onda en ecuaciones. La longitud de onda es inversamente proporcional a la frecuencia de la onda. Una longitud de onda larga corresponde a una frecuencia baja, mientras que una longitud de onda corta corresponde una frecuencia alta

La onda electromagnética viaja en el espacio a una velocidad cercana a los 300,000 Kilómetros por segundo dependiendo del medio en que lo hace, por lo que podemos calcular que una onda de radio demora aproximadamente 1/7 de segundo para dar la vuelta al mundo, siguiendo las líneas del círculo máximo.

La frecuencia y longitud de onda de una onda están relacionadas entre sí mediante la siguiente ecuación:

$$\lambda = \frac{c}{f} \tag{A49}$$

Donde "c" es la velocidad de la onda electromagnética o la velocidad de la luz, y "f" es la frecuencia

II.5.2.12. Área efectiva

El concepto de área efectiva está definido a partir de magnitudes eléctricas, y no coincide necesariamente con las dimensiones reales de las antenas. En algunos casos, guarda relación directa. Vale decir que la extracción de potencia que realiza la antena al frente de ondas, se realiza en una región denominada área efectiva de captación. Se define entonces como la relación entre la potencia que entrega la Antena a su carga y la densidad de potencia de la onda incidente. Representa físicamente a la porción del frente de onda que la antena ha de interceptar y drenar de él toda la potencia contenida hacia la carga. La definición mencionada, lleva implícita la dependencia con la ZL, la adaptación, y la polarización de la onda.

$$Ae = \frac{\lambda^2 Gd}{4\pi} \tag{A50}$$

Donde λ= longitud de onda (Cardama, 1998).

II.5.3. Tipos de antenas

Existen dos tipos fundamentales de antenas que se emplean dependiendo de la dirección en la que se desee transmitir

II.5.3.1. Direccional

Las antenas direccionales son aquellas que han sido concebidas y construidas para favorecer que la mayor parte de la energía sea radiada en una dirección en concreto. Con las antenas direccionales descubrimos el término de lóbulo principal, se trata de la dirección donde se proyectará la mayor parte de la energía. Puede darse el caso en que se desee emitir en varias direcciones, pero siempre estaremos hablando de un número de direcciones determinado donde se encontrarán el lóbulo principal y los secundarios. Tomando en cuenta que es importante saber en qué rango de direcciones (o abertura) recibirá el mayor porcentaje de energía; así como nos interesará que el lóbulo principal sea lo más estrecho posible, así ganamos en direccionalidad, pero esto repercute directamente en el coste económico de la antena.

También tendremos, por el simple hecho de trabajar en un medio físico no ideal, un número determinado de lóbulos secundarios. Estos lóbulos proyectarán energía en direcciones que no son la deseada, o en caso de recepción nos captarán señales que no provienen directamente de nuestra fuente, captando ecos y reflexiones o interferencias de otras fuentes. Normalmente nos interesará una relación entre el lóbulo principal y los secundarios lo más grande posible.

Para entender cómo puede afectar eso usaremos el ejemplo de antena direccional que más hemos visto: la antena de recepción de televisión del tejado de nuestra casa. Esta antena se compone de una barra con unas espinas horizontales y detrás de todo tiene otras dos barras con espinas en una disposición de V. La disposición horizontal de esas espinas se debe a la polarización de la señal, en Inglaterra por ejemplo serian verticales, esto depende de cómo se emite la señal. La barra central se encarga de recibir la señal, esta barra apunta directamente al repetidor de televisión más próximo, cuanto más alineada está la antena con el repetidor mejor es la calidad de la señal que recibimos, entonces tenemos el lóbulo principal apuntando directamente al repetidor. Las dos barras de la parte de atrás de la antena puesta en forma de V son reflectores, y se encargan de aprovechar mejor la señal que

nos llega, es una manera de utilizar la forma de la antena a nuestro favor. La antena también puede recibir señal desde la parte de atrás, imaginemos, por ejemplo en medio de una ciudad donde nuestra antena apunta al repetidor pero detrás tenemos un edificio que nos refleja la señal y nos la devuelve a la antena, como esta señal habrá recorrido una distancia mayor que la señal que nos llega directamente por la parte de delante de la antena, el nuevo señal no coincidirá del todo con el original, así se nos formará el molesto efecto de imagen doble. Una buena manera de solucionar este problema es haciendo que la señal reflejada sea muy débil respecto a la original, y esto se consigue consiguiendo una relación muy alta entre el lóbulo principal (delante) y el lóbulo secundario (detrás), claro que para esto deberemos gastarnos más dinero en una antena de más calidad. (Figura 9)

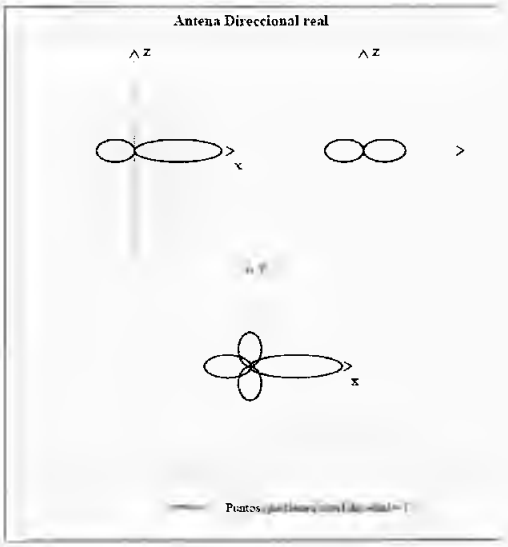


Figura 9. Patrón de Radiación de las Antenas Direccionales

Fuente: Tanyà, F. (s.f.). Conceptos Básicos sobre Antenas. Recuperado el 16 de Agosto de 2009, de http://80.24.102.10/wireless/antenas/ Conceptos_basicos_sobre_antenas.pdf

Otra de las finalidades de las antenas direccionales es la confidencialidad. Si difundimos nuestra información en todas direcciones cuando realmente sólo queremos llegar a un punto corremos más peligro de que nuestros datos confidenciales puedan ser captados por alguien que no nos interesa.

Otra aplicación importante es para evitar la saturación de frecuencias, ya que si usamos una frecuencia en un camino muy recto entre dos antenas direccionales lo que conseguimos es dejar el resto de espacio disponible para usar esa misma frecuencia.

II.5.3.1.1. Antena direccional parabólica

Un caso especial dentro de las antenas direccionales son las antenas parabólicas. Su topología las hace muy adecuadas para una gran direccionalidad y para evitar la debilitación de la señal en la distancia.

Usando un reflector con forma parabólica conseguimos que la señal que se radia de forma radial pase a ser una onda plana, así desaparece la dispersión de la energía en la distancia. Recordemos que para cualquier antena la atenuación de la señal es de $1/r^2$ además de la atenuación propia del aire. Con una onda plana la energía sólo tiene la atenuación del aire que es muy leve. (Figura 10)

El esquema nos muestra cómo se consigue este efecto:

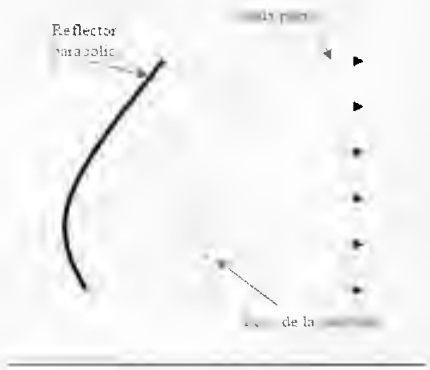


Figura 10. Efecto en forma radial, usando un reflector con forma parabólica

Fuente: Tanyà, F. (s.f.). Conceptos Básicos sobre Antenas. Recuperado el 16 de Agosto de 2009, de http://80.24.102.10/wireless/antenas/ Conceptos_basicos_sobre_antenas.pdf

II.5.3.2. Antenas omnidireccionales reales

El uso habitual hace que una antena omnidireccional no emita exactamente en todas direcciones, sino que tiene una zona donde irradia energía por igual (por ejemplo el plano horizontal). Por ejemplo no nos puede interesar emitir o recibir señal de la parte que está exactamente encima de la antena, imaginémonos la antena de radio del coche: difícilmente tendremos la fuente de señal exactamente encima de la antena, así que favorecemos la emisión o recepción en otras direcciones (como puede ser el plano horizontal) en detrimento de otras (el plano vertical). Nos puede parecer una frivolidad despreciar un rango tan grande de direcciones, pero si tenemos en cuenta la distancia entre la antena emisora y nuestra antena receptora nos daremos cuenta que el ángulo respecto al plano horizontal de la antena es muy pequeño. Debemos tener en cuenta también que en el plano horizontal sí que el comportamiento es totalmente omnidireccional. En el siguiente esquema Figura 11 podemos observar este comportamiento, fijémonos que la cantidad de señal enviada en dirección z es 0, en cambio la que se envía en las direcciones x e y es máxima, y entre los dos límites hay una graduación.

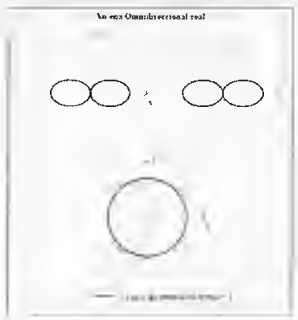


Figura 11. Antena Omnidireccional Real

Fuente: Tanyà, F. (s.f.). Conceptos Básicos sobre Antenas. Recuperado el 16 de Agosto de 2009, de http://80.24.102.10/wireless/antenas/ Conceptos_basicos_sobre_antenas.pdf

Podríamos determinar la cantidad de energía en un ángulo de 45° sobre la vertical trazando una línea en el gráfico y determinando la longitud del vector

respecto del máximo (si el gráfico está normalizado el máximo siempre será 1). Lo vemos en la Figura 12.

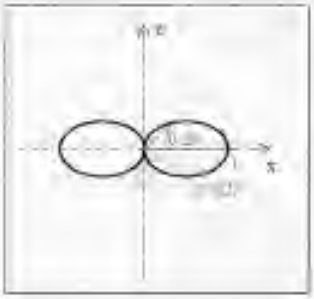


Figura 12. Cálculo de la cantidad de energía en un ángulo de 45° sobre la vertical

Fuente: Tanyà, F. (s.f.). Conceptos Básicos sobre Antenas. Recuperado el 16 de Agosto de 2009, de http://80.24.102.10/wireless/antenas/ Conceptos_basicos_sobre_antenas.pdf

Se pueden usar para toda red punto-multipunto (por ejemplo, un AP que tiene conectados X usuarios) que requiera conexiones en puntos muy dispersos en el espacio, pero que no estén muy alejados de la zona de emisión. Por ejemplo, se podría usar para un centro de emisión que necesite dar abasto a clientes dispersos en 360° alrededor de él. Como decimos antes, siempre y cuando estos clientes no se encuentren muy lejos. (Tanya, 2003)

II.6. Sistema de seguridad y control para sistemas de comunicaciones

Son sistemas de seguridad y control para las estaciones donde se encontraran los equipos, son de vit5al importancia para asegurar el buen funcionamiento del enlace.

II.6.1. Sistema de puesta a tierra

Por puesta a tierra generalmente entendemos una conexión eléctrica a la masa general de la tierra, siendo esta última un volumen de suelo, roca etc., cuyas dimensiones son muy grandes en comparación al tamaño del sistema eléctrico que está siendo considerado. La definición de la IEEE de puesta a tierra es: "Tierra (sistema de tierra). Una conexión conductora, ya sea intencional o accidental, por

medio de la cual un circuito eléctrico o equipo se conecta a la tierra o a algún cuerpo conductor de dimensión relativamente grande que cumple la función de la tierra"

Es importante mencionar ciertas razones que más frecuentemente se citan para tener un sistema bien aterrado:

- Proporcionar una impedancia suficientemente baja para facilitar la operación satisfactoria de las protecciones en condiciones de falla.
- Asegurar que seres vivos presentes en la vecindad de las subestaciones no queden expuestos a potenciales inseguros, en régimen permanente o en condiciones de falla.
- Mantener los voltajes del sistema dentro de límites razonables bajo condiciones de falla (tales como descarga atmosférica, ondas de maniobra o contacto inadvertido con sistemas de voltaje mayor), y asegurar que no se excedan los voltajes de ruptura dieléctrica de las aislaciones.
- Limitar el voltaje a tierra sobre materiales conductivos que circundan conductores o equipos eléctricos.

Otras razones citadas menos frecuentemente, incluyen:

- Estabilizar los voltajes fase a tierra en líneas eléctricas bajo condiciones de régimen permanente, por ejemplo, disipando cargas electrostáticas que se han generado debido a nubes, polvo, agua, nieve, entre otros.
- Una forma de monitorear la aislación del sistema de suministro de potencia. Para eliminar fallas a tierra con arco eléctrico persistente.
- Para asegurar que una falla que se desarrolla entre los enrollados de alto y bajo voltaje de un transformador pueda ser manejada por la protección primaria.

- Proporcionar una trayectoria alternativa para las corrientes inducidas y de tal modo minimizar el ruido eléctrico en cables.

- Proporcionar una plataforma equipotencial sobre la cual pueda operar equipo electrónico.

En los sistemas de comunicaciones es común que las descargas atmosféricas ingresen a través de diversos medios, por impacto directo o por corrientes inducidas. Esta energía busca su propio camino para llegar a tierra utilizando conexionados de alimentación de energía eléctrica, de voz y de datos, produciendo acciones destructivas ya que se supera el aislamiento de dispositivos tales como plaquetas, rectificadores, entre otros. Para evitar estos efectos, se deben instalar dispositivos de protección coordinados que para el caso de sobretensiones superiores a las nominales, formen un circuito alternativo a tierra, disipando dicha energía. A través de un sistema de puesta a tierra apropiado que asegure una capacidad de disipación adecuada. Finalmente otra fuente importante de disturbios son las redes de energía eléctrica, debido a la conmutación de sistemas y grandes cargas inductivas.

II.6.2. Resistividad y tipo de terreno

La resistividad del terreno se define como la resistencia que presenta 1 m3 de tierra, y resulta de un interés importante para determinar en donde se puede construir un sistema de puesta a tierra. En la resistividad del terreno influyen varios factores que pueden variarla, entre los más importantes se encuentran: naturaleza del terreno, humedad, temperatura, salinidad, estratigrafía, compactación y las variaciones estaciónales. Uno de los factores más importantes que afecta la impedancia del sistema de tierra es la impedancia del medio en el cual está situado el electrodo, es decir, el terreno. La resistividad del terreno se expresa en [Ohm-metro].

Es muy poco frecuente encontrar terreno que puede describirse como terreno uniforme para propósitos de puesta a tierra. Se utiliza el terreno hasta una cierta profundidad, que corresponde a aquella hasta la cual pueden fluir las corrientes de

falla a tierra. Puede ser una delgada capa de terreno superficial, si hay capas de rocas más abajo.

Cada capa de roca sucesiva puede tener menos grietas, sean más sólidas en donde se espera una resistividad mayor. Si un electrodo se instala en la superficie, entonces la distancia, espesor y resistividad real de cada una de las capas serán factores importantes que afectan el valor de su resistencia a tierra. La temperatura y el contenido de agua tienen una influencia importante en la resistividad del terreno y luego en el comportamiento del sistema de tierra. Minerales y sales disueltas en el agua pueden ayudar a reducir aún más la resistividad, particularmente cuando estas están produciéndose en forma natural y no terminan diluyéndose en el tiempo. El contenido de agua varía estacionalmente y es probable que origine variaciones en la impedancia del sistema de tierra.

Es importante que la resistividad pueda verificarse en forma tan precisa como sea posible, ya que el valor de resistencia a tierra del electrodo es directamente proporcional a la resistividad del suelo. Si se usa un valor incorrecto de la resistividad del terreno en la etapa de diseño, la medida de impedancia del sistema de tierra puede resultar significativamente diferente de lo planeado. La prueba se realiza tradicionalmente usando un medidor de tierra (terrómetro) de cuatro terminales. Cuatro estacas se clavan en el suelo como se muestra en el diagrama, separadas una distancia a metros. La profundidad de cada estaca se trata de que no exceda a dividido por 20 y normalmente es inferior a 0,3 metros. Las dos estacas exteriores se conectan a los terminales de corriente C1 y C2 del instrumento y las estacas interiores, a los terminales de potencial P1 y P2.

Es importante asegurarse que las estacas de prueba no están insertadas en línea con cables o tuberías metálicas enterradas, ya que estos introducirán errores de medida.

Se ha comprobado que la forma más eficaz de hacer un sistema de aterramiento para proteger la planta externa en lugares muy secos y con alta

resistividad, es por medio de sistemas con mezcla de material despolarizante, siendo el más recomendable la aleación de ventonita con carbón mineral molido, en relación de 2 a 1 respectivamente, en una área aproximada de 70 centímetro cúbico.

Si R es la lectura de resistividad del instrumento, en ohm, para una separación de a metros, entonces la resistividad aparente está dada por la siguiente fórmula:

$$\text{Resistividad} = (2p\ R)*(a)\ [\text{ohm-metro}]. \qquad (A51)$$

$$Ro = 2\pi R*a\ [ohm\text{-}metro] \qquad (A52)$$

Durante la realización de la medida se debe dibujar una curva de resistividad versus separación. Esta curva proporcionará información respecto de la estructura general del terreno en la localidad, identificando lecturas extrañas y ayudando a decidir cuántas medidas se requieren. Si hay grandes fluctuaciones en los valores medidos, es probable que las condiciones del suelo sean variables, la tierra ha sido compuesta o existen tuberías enterradas en el área. En tales casos, las medidas deben tomarse en algunas direcciones transversales a través del sitio. Algunas de estas transversales deben ser en ángulo recto unas de otras, para permitir la identificación de interferencias de cables eléctricos cercanos. (Guerrero M. José H., 2005)

II.6.3. Protección contra descargas atmosféricas

II.6.3.1. Pararrayos

La presencia de una antena y su estructura soporte, puede que no incremente la probabilidad de que caiga un rayo en una localización en particular. Sin embargo, si el sitio o el área circundante es alcanzado por un rayo, la antena y su estructura soporte puede convertirse en el punto focal del rayo. Por lo tanto las consideraciones de puesta a tierra para protección de las estaciones radio eléctricas son extremadamente importantes.

Deben colocarse puntas de pararrayos en la parte más alta de las torres y soportes, las mismas serán de un material adecuado que permitan atraer al rayo sin que este cause algún daño físico a las antenas y equipos que se encuentren en la estructura. Las puntas de pararrayos deben tener por lo menos 45,72 cm (18 in.) de separación vertical de las antenas o equipos a ser protegidos ubicados en la torre o estructura que las soporten.

Debe colocarse un conductor de pararrayos de cobre calibre N± 2 AWG o mayor que esté conectado directamente al anillo de aterramiento de la torre mediante una soldadura exotérmica (*Cadweld*). El trayecto de este conductor debe ser el más recto posible, y debe evitarse cualquier curvatura indeseada que provoque que el sistema no sea efectivo. Las canalizaciones metálicas, cubiertas, estructuras y otras partes metálicas, de equipos eléctricos que no transportan corriente, se mantendrán a 1,80 metros de distancia, por lo menos, de las barras y conductores bajantes de puntas de pararrayos, o ellos serán puenteadas a los bajantes de pararrayos en los lugares donde su separación es menor a 1,80 metros. Las líneas de transmisión de las antenas son susceptibles a cualquier descarga producto de un rayo, por su ubicación en exteriores. (UNEXPO, 2007)

II.7. Otros enlaces

Además de los enlaces microondas existen otros enlaces que también hacen posible la comunicación entre dos puntos, entre ellos podemos destacar dos modelos que pueden permitir la ampliación del proyecto planteo para este trabajo especial de grado

II.7.1. Enlaces UHF

(Siglas del inglés: *Ultra High Frequency*, frecuencia ultra alta) Radio Enlaces en la banda del espectro electromagnético que ocupa el rango de frecuencias de 300 MHz a 3 GHz En esta banda se produce la propagación por onda espacial troposférica, con una atenuación adicional máxima de 1 dB si existe despejamiento de

la primera zona de Fresnel. Uno de los servicios UHF más conocidos por el público son los canales de televisiones tanto locales como nacionales. Según los países, algunos canales ocupan las frecuencias entre algo menos de 470 MHz y unos 862 MHz

La UHF puede ser de más provecho por el ducto troposférico donde la atmósfera se calienta y enfría durante el día. La principal ventaja de la transmisión UHF es la longitud de onda corta que es debido a la alta frecuencia. El tamaño del equipo de transmisión y recepción (particularmente antenas), está relacionado con el tamaño de la onda. En este caso microondas. Los equipos más pequeños, y menos aparatosos, se pueden usar con las bandas de alta frecuencia. La UHF es ampliamente usada en sistemas de transmisión y recepción para teléfonos inalámbricos. Las señales UHF viajan a través de trayectorias que son las líneas de vista. (Pramos,2001)

II.7.2. Enlaces satelitales

Los enlaces satelitales son utilizados ampliamente a nivel mundial para alcanzar zonas geográficas donde no existe la infraestructura de telecomunicaciones necesaria para establecer conexiones haciendo uso de enlaces microondas, celulares o cualquier otra tecnología. El establecimiento de un enlace satelital solo requiere de un equipo receptor que se encarga de recibir la señal emitida por el satélite. En función de su órbita los satélites pueden ser polares o geoestacionarios. Los satélites polares dan la vuelta a la Tierra cada 90 minutos y suelen encontrarse a unos 700 km de la Tierra. Los satélites geoestacionarios se sitúan a 36.000 km del ecuador de la Tierra, y rotan con ésta una vez cada 24 horas.

Para que la señal recorra estas distancias es necesario adaptarla en la tierra haciendo uso de una serie de elementos de comunicaciones que aumentan su robustez. En general la señal es modulada para llevarla a frecuencias y luego pasa por un amplificador de alta potencia que le da la potencia suficiente para que la señal

pueda viajar desde la tierra hasta el satélite. Una vez en el satélite la señal es demodulada y amplificada para que sea posible su uso.

Los tipos de satélites son: **Satélites Orbitales:** o no síncronos, que giran alrededor de la Tierra en un patrón elíptico o circular de baja altitud. Los satélites no síncronos están alejándose continuamente o cayendo a Tierra, y no permanecen estacionarios en relación a ningún punto particular de la Tierra. **Satélites Geoestacionarios:** o geosíncronos, que son satélites que giran en un patrón circular, con una velocidad angular igual a la de la Tierra. Consecuentemente permanecen en una posición fija con respecto a un punto específico en la Tierra.

Entre las principales características se tienen:

- Ofrece una alternativa de interconexión a los lugares más remotos y de difícil acceso sin mayor cantidad de equipos de instalación que una antena especial para enlaces satelitales y el arrendamiento de una banda de frecuencia comercial (banda Ka, Ku, utilizan frecuencias entre 11 y 12 GHz y banda C, utilizan frecuencias entre 3,7 y 4,2 GHz y desde 5,9 hasta 6,4 GHz).

- Los satélites geoestacionarios poseen la ventaja de permanecen fijos con respecto a un punto específico de la Tierra, por lo tanto para poder comunicarse con ellos las antenas de las estaciones terrestres permanecen estáticas, ya que no necesitan seguir al satélite, en consecuencia podrán ser instaladas de forma relativamente sencilla.

- Esta tecnología actualmente ofrece servicios como internet banda ancha, VoIP, video conferencia, audio y video "*streaming*" a costos razonables.

Las comunicaciones de enlace satelital proveen una cobertura global y es necesario línea de vista para realizar la transmisión. Es una de las tecnologías más susceptibles a errores y fallas por desvanecimientos en condiciones climáticas

adversas lo que la hace vulnerable frente a otras tecnologías de interconexión. Además de presentar ciertos retrasos en las transmisiones por las distancias que deben recorrer las ondas electromagnéticas.

Ahora bien el sistema satelital consiste de tres secciones básicas:

Modelo de subida: El principal componente dentro de la sección de subida satelital, es el transmisor de estación terrena. Un típico transmisor de la estación terrena consiste de un modulador de IF, un convertidor de microondas de IF a RF, un amplificador de alta potencia (HPA) y algún medio para limitar la banda del último espectro de salida (por ejemplo, un filtro pasa-bandas de salida). La Figura 13 muestra el diagrama a bloques de un transmisor de estación terrena satelital.

Convertidor Ascendente

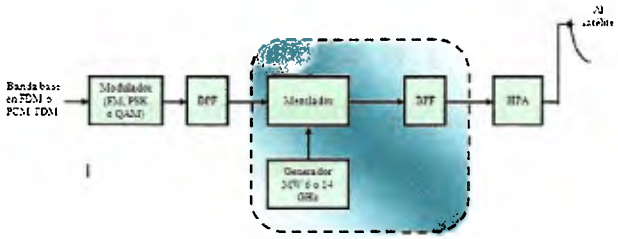


Figura 13. Modelo de Subida del Satélite

Fuente: Propia

Transponder: Un típico transponder satelital consta de un dispositivo para limitar la banda de entrada (BPF), un amplificador de bajo ruido de entrada (LNA), un repetidor de frecuencias, un amplificador de potencia de bajo nivel y un filtro pasa-bandas de salida. Este transponder es un repetidor de RF a RF. La Figura 14 muestra un diagrama a bloques simplificado de un transponder satelital

Repetidor de Frecuencia

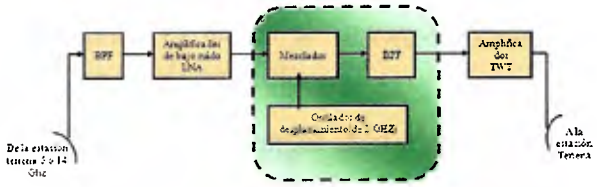


Figura 14. Transponder del Satélite

Fuente: Propia

Modelo de bajada: Un receptor de estación terrena incluye un BPF de entrada, un LNA y un convertidor de RF a IF. Nuevamente, el BPF limita la potencia del ruido de entrada al LNA. La Figura 15 muestra un diagrama a bloques de un receptor de estación terrena típico. (JVG ca., 2003)

Convertidor Descendente

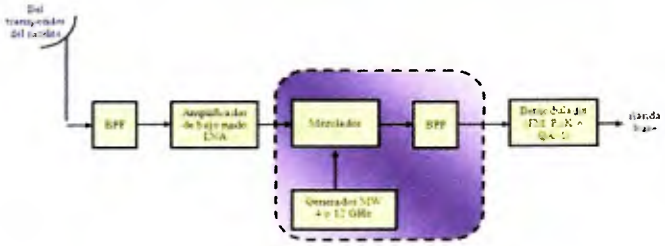


Figura 15. Modelo de Bajada del Satélite

Fuente: Propia

CAPITULO III. Marco Metodológico

Al realizar un Trabajo Especial de Grado es necesario seguir ciertas etapas para lograr resolver el proyecto planteado en el mismo. Es por ello que debe existir una metodología bien estructurada para lograr cada uno de los objetivos planteados en el proyecto. Específicamente para este Trabajo Especial de Grado se siguieron las siguientes fases metodológicas para poder llegar a los resultados y dar la oportunidad de abrir nuevas investigaciones relacionados con las mismas áreas y tópicos para futuros proyectos. En la Figura 16 podemos apreciar el esquema en bloques de la metodología.

Figura 16. Etapas del diseño

Fuente: Propia

III.1. Investigación

En esta primera etapa se investigaron los conceptos y basamentos teóricos concernientes a Enlaces de microonda, al igual que los antecedentes de los enlaces de este tipo a nivel nacional y se profundizó en los aspectos más importantes del problema planteado.

III.2. Reconocimiento y evaluación de los enlaces microonda actuales

En esta fase se recolectó la información concerniente al estado de la calidad y tipo de los enlaces microondas actuales que presenta GLOBOVISIÓN, fijando un esquema global de los mismos, punto de ubicación, requerimientos específicos de

cada uno, puntualización de las necesidades, condiciones, características, tipo de información y servicio a prestar.

III.3. Diseño del enlaces microondas

3.1 Ya obtenida y recabada toda la información concerniente a los enlaces de microondas actuales y a la evaluación de las prioridades y características de cada uno. Se procedió al diseño de un enlace microondas para GLOBOVISIÓN que reestructure los enlaces fijos y móviles actuales del canal de televisión, basado en la investigación teórica

3.2 Se procedió a realizar las pruebas necesarias a los radioenlaces mediante el *software* de simulación PATHLOSS que permitan estimar, graficar y monitorear el comportamiento de la red en sus diferentes etapas y bajo distintas condiciones

III.4. Revisión y selección de la tecnología.

Obtenidos los datos relacionados con los enlaces de microondas actuales, se investigaron las tecnologías que puedan contribuir a darle solución efectiva al diseño de los nuevos enlaces de microondas y la información necesaria para el desarrollo del trabajo.

III.5. Estimación de costos

Se procedió a realizar un estimado de los costos para la implementación del proyecto, tomando en cuenta las especificaciones técnicas de los equipos propuestos.

III.6. Posibilidades de ampliación

Se procedió a evaluar y explicar de forma breve, clara y concisa (tres) 3 posibilidades de ampliación del proyecto, utilizando otros modelos de enlaces y/o utilización de una estación repetidora.

CAPÍTULO IV. Desarrollo

Este capítulo explica en forma detallada cada una de las fases de la investigación del marco metodológico de este Trabajo Especial de Grado; También se abordan los objetivos, propósitos y logros del proyecto.

IV.1. Reconocimiento y evaluación del enlace microonda actual

Se recolectó la información concerniente al estado de la calidad y tipo de los enlaces microondas actuales que presenta GLOBOVISIÓN, fijando un esquema global de los mismos, punto de ubicación, requerimientos específicos de cada uno, puntualización de las necesidades, condiciones, características, tipo de información y servicio a prestar.

IV.1.1. Topología del Enlace Microonda Actual

Las estaciones móviles microondas dirigen su señal hacia la estación de Mecedores , esta redireccionan la señal hacia la estación EL VOLCAN (Figura 17), y la estación EL VOLCAN transmite hacia el destino final que es la estación GLOBOVISIÒN (Figura 18). Este enlace es bidireccional cada sentido presenta tres enlaces microondas para un total de 6 enlaces todos resguardados por medio de *Hot standby*[1]. Es importante destacar que este sistema de enlace microonda no fue diseñado en un solo enlace entre la estación repetidora Mecedores (más cercana) y GLOBOVISIÓN, debido a que la línea de vista entre ambas está comprometida (Figura 19) no permitiendo la transmisión y recepción de la señal.

Para estas 3 gráficas la línea verde significa que existe línea de vista y la línea roja que no existe línea de vista

1 *Hot Standby*: Consiste en 2 transmisores funcionando en paralelo con la misma frecuencia portadora. Mediante un Switch de conmutación se selecciona una de ambas señales. El comando de conmutación se genera en base a alarma de potencia del transmisor. En recepción se dispone de un separador y dos circuitos receptores. La separación se efectúa en forma desbalanceada. El receptor principal recibe una atenuación de 1 dB mientras que el de reserva recibe una atenuación de 7 dB. De esta forma el receptor principal trabaja con mayor potencia durante la mayoría del tiempo. La conmutación se efectúa ante fallas del receptor a nivel de señal de banda base digital. Este esquema solo permite una mejora del tiempo de **indisponibilidad (US)** debido a fallas del equipo. No produce mejoras en la calidad (SES y DM) de la señal. (Universidad Nacional de Rosario Santa Fe - República Argentina, 2000)

Figura 17. Perfil Mecedores –EL VOLCAN

Fuente Propia

Figura 18. Perfil EL VOLCAN GLOBOVISIÒN

Fuente: Propia

Figura 19. Perfil Mecedores GLOBOVISIÒN

Fuente: Propia

IV.2. Diseño de la reestructuración del enlace microonda

Se procedió al diseño de un enlace de microondas que reestructure los enlaces fijos y móviles actuales de GLOBOVISIÓN, basado en la investigación teórica expuesta en el marco referencial y las autorizaciones que posee la empresa para la explotación del espectro radio eléctrico en el país como canal de televisión abierta. Posteriormente se realizaron las pruebas necesarias a los radioenlaces mediante *software* de simulación PATHLOSS que permitan estimar, graficar y monitorear el comportamiento de la red en sus diferentes etapas y bajo distintas condiciones

IV.2.1. Topología del Enlace

Se configuraron dos modelos de enlaces bidireccionales: el primero Punto a Punto entre las estaciones EL JUNQUITO/GLOBOVISIÓN y el segundo Punto a Multipunto entre las estaciones EL JUNQUITO/La Gran Caracas.

La elección de las frecuencias de difusión de los enlaces, están basadas en el **CUADRO NACIONAL DE ATRIBUCIÓN DE BANDAS DE FRECUENCIAS (CUNABAF)** capítulo 3 artículo 10 de la República Bolivariana de Venezuela y las bandas de frecuencias autorizadas por CONATEL a la empresa. Dentro de las diferentes opciones de frecuencia presentadas por el CUNABAF y las recomendaciones del UIT-R a las que hace referencia, se ubicaron los canales que presentan un ancho de banda de 7 MHz adecuado para enlace microonda de estaciones televisoras y se seleccionaron dos de estos canales uno para cada enlace (punto a punto, punto a multipunto). Una vez ubicados los pares de frecuencia de cada enlace se utiliza la distribución recomendada por la UIT en donde la frecuencia más baja del par de cada canal será asignada a la estación principal y la más alta a la estación secundaria; en el caso del enlace punto a punto GLOBOVISIÓN será la estación principal y EL JUNQUITO la estación secundaria, en el caso de los enlaces punto a multipunto las microondas móviles serán las estaciones principales y EL JUNQUITO será las estaciones secundaria según se establezca la conexión ((UIT ,

1990). En la Tabla 2 y Tabla 3 se observa la distribución de frecuencia para cada enlace con sus pares de frecuencias seleccionados.

Canal	GLOBOVISION	EL JUNQUITO	Ancho de Banda
12	7,366 GHz	7,205 GHz	7 MHz

Tabla 2. Frecuencia de trabajo punto a punto

Fuente: Propia

Canal	GLOBOVISION	Microondas móviles	Ancho de Banda	Asignación
1	7,352 GHz	7,191 GHz	7 MHz	El Paraíso
2	7,352 GHz	7,191 GHz	7 MHz	Las Mercedes
3	7,352 GHz	7,191 GHz	7 MHz	UCV
4	7,352 GHz	7,191 GHz	7 MHz	Parque del Este
5	7,352 GHz	7,191 GHz	7 MHz	Petare

Tabla 3. Frecuencia de trabajo punto a multipunto

Fuente: Propia

La topología propuesta del sistema es que las estaciones móviles microondas dirigen su señal hacia la estación repetidora EL JUNQUITO con una frecuencia de 7,191 GHz, la señal es recibida y pasada a otro equipo microonda que transmite con una frecuencia de 7,205 GHz hacia el destino final que es la estación GLOBOVISIÓN (Figura 20). Por ser un enlace bidireccional, la estación GLOBOVISIÓN dirige su señal hacia la estación repetidora EL JUNQUITO en una frecuencia de 7,366 GHz; la señal es recibida y transferida a otro equipo Microonda que transmite con una frecuencia de 7,352 GHz hacia el destino final que es la estación móvil microondas (Figura 21). Las microondas móviles se conectaran una a la vez con la estación de EL JUNQUITO.

Ambos enlaces (punto a punto/ punto multipunto) presentan un enlace microonda en cada dirección para un total de 4 enlaces, ambos resguardados por medio de *Hot*

standby, ya que entre la estación repetidora EL JUNQUITO y GLOBOVISIÓN existe línea de vista libre que permite la transmisión y recepción de la señal sin obstáculos. En la 0 podemos observar en forma de grafica el sistema completo.

Ambas figuras se obtuvieron mediante el *software* RADIOMOBILE, permitiendo observar si existe línea de vista en ambas direcciones

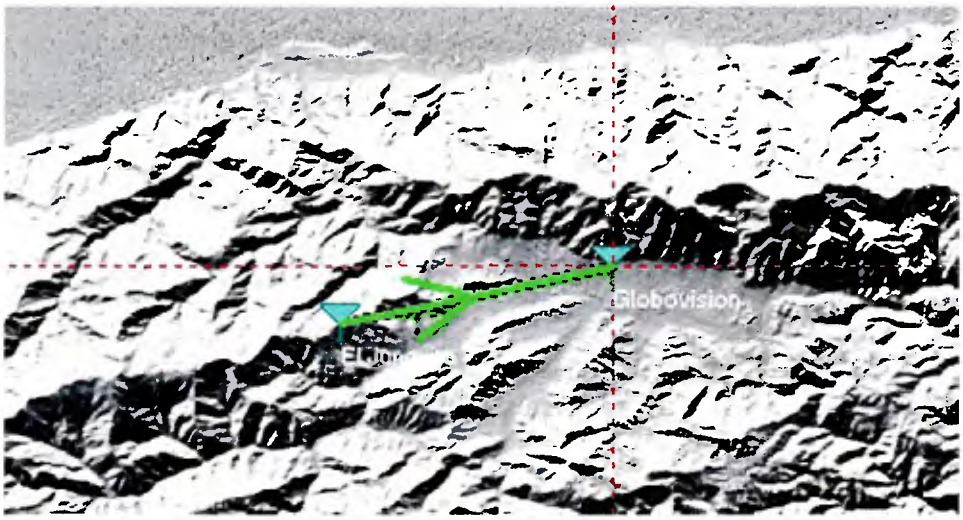


Figura 20. Topología del sistema en sentido Microondas móviles-EL JUNQUITO- GLOBOVISIÒN

Fuente Propia

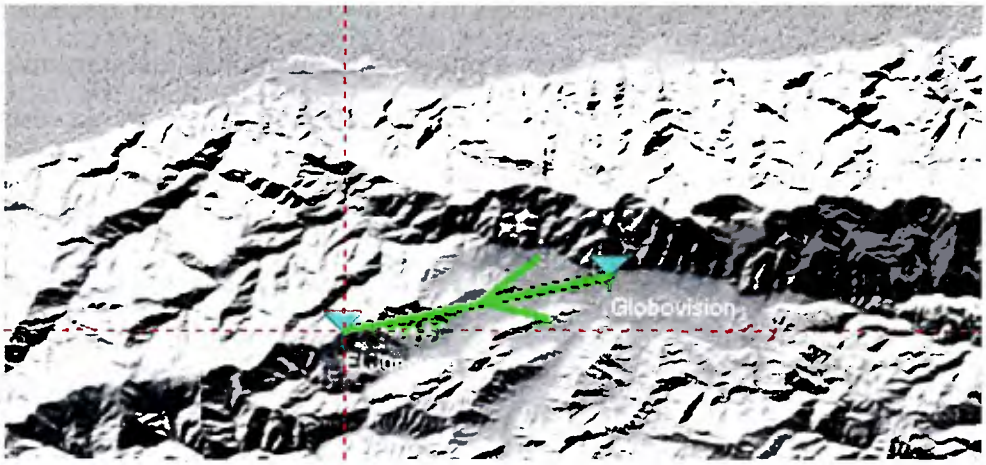


Figura 21. Topología del sistema en sentido GLOBOVISIÒN -EL JUNQUITO- Microondas móviles

Fuente Propia

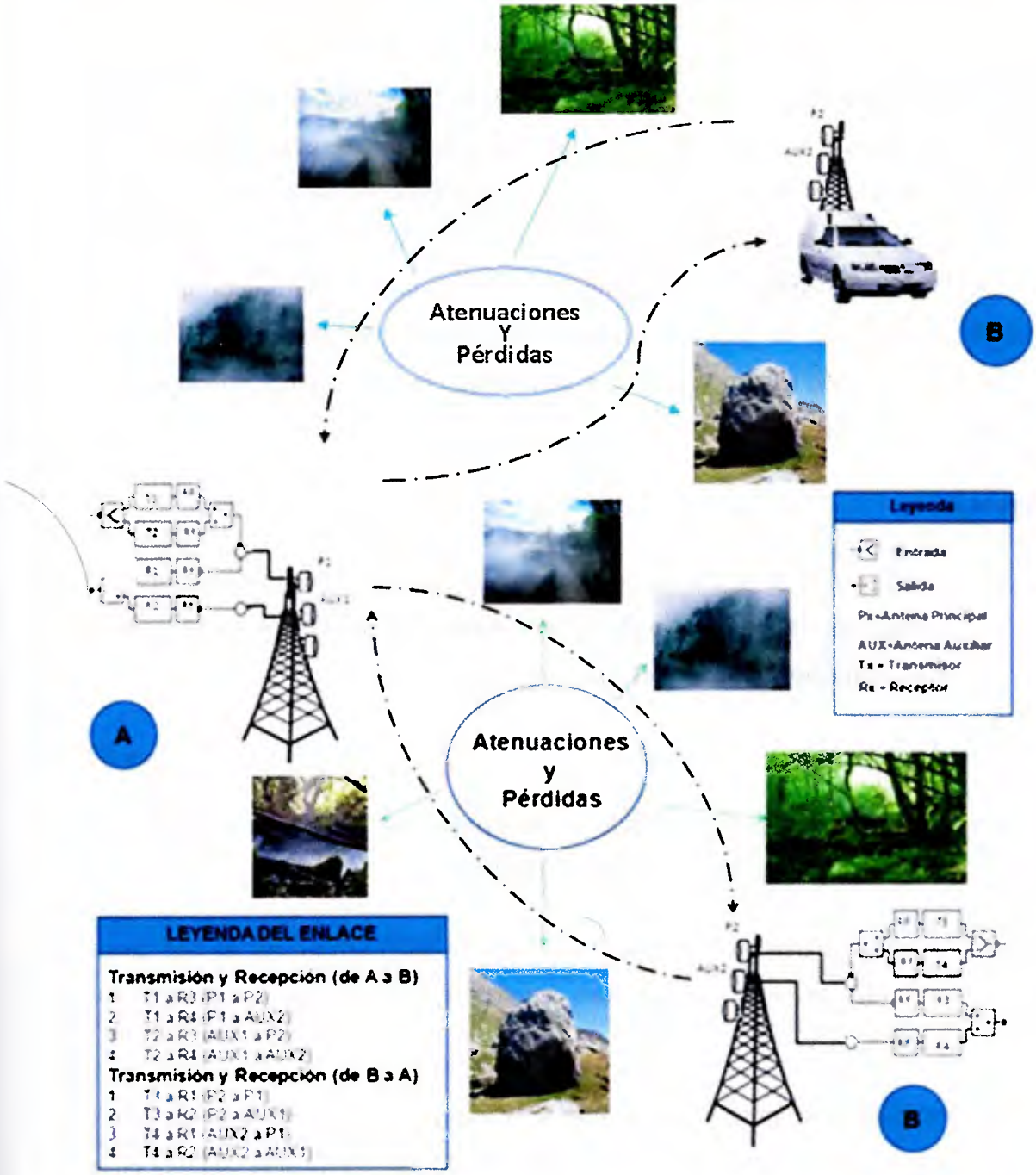


Figura 22. Diagrama del Sistema

Fuente Propia

IV.2.2. Evaluación de la factibilidad del enlace reestructurado

Este proyecto es un diseño que aporta para GLOBOVISIÓN la oportunidad de instalar un nuevo enlace de microonda Fijo y Móvil; Factible, Eficiente, Rápido y Eficaz; permitiendo al canal disminuir la problemática que tiene al necesitar aumentar la calidad del enlace, debido a las limitaciones que le proporcionan las instalaciones de las estaciones MECEDORES y VOLCAN. Es un enlace sencillo y propio de GLOBOVISIÓN debido a la presencia de una Estación Repetidora que tiene completamente línea de vista con la estación GLOBOVISIÓN, con una distancia de 13.94 Km.; logrando tener cobertura con las zonas de la gran Caracas, sin importar la ubicación de la estación móvil.

Ventajas

a) El volumen de inversión se reduce ya que se hace una inversión inicial para el montaje de la estación repetidora y subsecuentemente un pago para el mantenimiento y cuidado del enlace de bajo costo.

b) La instalación es rápida y sencilla.

c) Puede superarse las irregularidades del terreno, que presenta la comunicación directa entre Mecedores y GLOBOVISIÓN.

d) La estación repetidora es propiedad de GLOBOVISIÓN por lo que puede transmitir con alta calidad, para brindar el servicio que se merecen los usuarios

e) Posibilidad de ampliación, porque se ofrece la oportunidad de en un futuro poder implementar dos sistemas de comunicaciones adicionales como lo es: la transmisión en frecuencia UHF y transmisión satelital. Además aplicar una nueva tecnología como lo es en los servicios de TV Digital

Desventajas

a) Necesidad de acceso adecuado a las estaciones repetidoras, en las que hay que disponer de energía y acondicionamiento para los equipos y servicios de conservación.

b) Los Factores externos pueden ocasionar desvanecimientos intensos y en ocasiones pérdida total del enlace, los cuales son tomados en previsión para la puesta en marcha de cualquier enlace, esto implica utilizar sistemas de seguridad y equipos auxiliares para garantizar la comunicación entre la estación repetidora EL JUNQUITO, la estación GLOBOVISIÓN y las microondas móviles, incrementando un poco los costos.

c) Regulaciones, las frecuencias usadas para la transmisión se encuentran dentro del marco legal exigido por CONATEL y dispone de una ancho de banda requerido por el enlace para la transmisión de señales de TV por su composición de voz y video

Tiempo:

El punto de ubicación para la estación repetidora permite que la señal pase directamente por la estación repetidora y de ahí a la Estación GLOBOVISIÓN, al contrario del enlace actual que la señal pasa por dos estaciones repetidoras, Mecedores y Volcán, debido a que la estación más cercana a GLOBOVISIÓN, que es Mecedores no tiene línea de vista o en el mejor de los escenarios presenta un enlace muy comprometido con GLOBOVISIÓN

Diseño:

Se tiene un diseño factible:

a) Existen las frecuencias, a la que se puede transmitir la señal, con el ancho de banda, necesario para la transmisión de TV, cumpliendo así, con las normativas la Ley Orgánica de Telecomunicaciones.

b) Los cálculos con los software de simulación y los cálculos teóricos dicen que el enlace es realizable; debido a que:

   i) Se logra reducir las atenuaciones presentes en el enlace actual

   ii) Existe una leve interferencia en la Zona de Fresnel del enlace; debido a que los cálculos de la regla de diseño dicen que es mayor a 0,57.

   iii) Se logra obtener una flecha de la tierra favorable

   iv) Los cálculos dicen que el Nivel de Señal Recibida es aceptable, ya que no está cerca, ni es igual a -80 db que es el nivel de ruido estándar.

Se logra compensar todas aquellas irregularidades que pueden afectar el enlace. Pudiendo hacer el diseño del enlace con sus equipos requeridos, permitiendo una comunicación de alta calidad, un enlace estable y siempre activo

c) Existen los equipos y antenas apropiadas para poder implementar el enlace, tomando en cuenta que dichos equipos son de costo accesible para su instalación

El posicionamiento de las torres y su respectiva altura, para el montaje de la antena, son adecuados en cada uno de los sectores donde se van a instalar dichas antenas transmisoras y receptoras.

IV.3. Revisión y selección de la tecnología.

Una de las bases fundamental para el éxito del diseño de un enlace microondas es la buena selección de la tecnología a utilizar; se debe garantizar que esta tecnología cumpla con el fin indicado en la solución del proyecto planteado

adaptándose apropiadamente, además de ofrecer una excelente calidad de servicio al menor costo posible. Por lo tanto se hace imperativo el uso de una tecnología que sea capaz de proveer la interconexión ofreciendo capacidades acordes a los servicios que se ofrecen en una planta televisiva operativa en la banda UHF y con la mayor cantidad de ventajas posibles. Todo ello con la aplicación de una tecnología capaz de soportar los enlaces y cuyos costos de implementación sean moderados con respecto a los beneficios que aportaría.

En base a esto se analizaron los diferentes sistemas microondas ofrecidos en el mercado con sus respectivos equipos y formas de funcionamiento, seleccionando entre estos el sistemas de radios digitales con modulación exterior; debido a que evita las atenuaciones causadas por guías de ondas, está especialmente diseñado para frecuencias superiores a los 4 GHz, compatible para la transmisión de televisión digital, ahorro de espacio en el cuarto de e quipos, además de ser una de las tecnologías de punta más actuales y recomendadas para el esquema de enlaces propuesto en este proyecto. El esquema del sistema se muestra en la Figura 23.

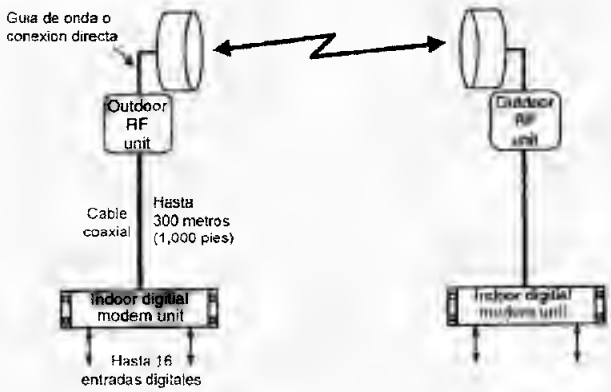


Figura 23. Esquema del sistema de radios digitales con modulación exterior.

Fuente: Propia.

Para este Trabajo Especial de Grado se tuvo la oportunidad de participar en un laboratorio de pruebas microondas en el edificio NEA de la CANTV mostrado en la

Figura 24, en donde se observó el sistema en funcionamiento pudiendo comprobar las ventajas ofrecidas por el sistema y la de sus equipos detallados a continuación.

Figura 24. Laboratorio de prueba de equipos microondas

Fuentes: Propia.

Radio digital de microondas: Estos equipos son una poderosa solución de acceso inalámbrico de punto a punto para establecer conectividad vía microondas a través de propagación de radio en terrenos de características difíciles, como lluvia, obstáculos, humedad etc., y entre dos puntos fijos separados a largas distancias. Posee capacidad para una transmisión robusta del tipo portadora con un amplio rango de servicios habilitados en banda ancha (incluyendo Internet, interconexión LAN, VPN, VoIP, video conferencia y Web *hosting*) y servicios integrados de voz y data (Tv analógica y digital).

Trabaja en las bandas licenciadas en el orden de los GHz permitiendo una asignación de frecuencia exclusiva, minimizando interferencia y garantizando un alto rendimiento. Ofrece una transmisión de alta confiabilidad a través de largas distancias y terrenos difíciles, particularmente sobre agua y terrenos parcialmente obstruidos. El diseño del radio integra técnicas de procesamiento digital de alto rendimiento que incluyen *interleaving*. Estas características minimizan la degradación de transmisión por interferencia y efectos atmosféricos.

Una de las características claves es su multiplexor integrado de gestión de datos, voz y tráfico de IP (*Internet Protocol*) con interfaces configurables de acuerdo

a las necesidades del cliente, permitiendo una integración directa con elementos de red ya establecidos y de próxima generación. Poseen además:

- Gestión de la calidad de servicio (QoS) para priorizar el tráfico de voz y de datos en tiempo real
- Capacidad de ofrecer ancho de banda dinámico, Diferenciación de servicio con la calidad de servicio correcta
- Ofrecen una reducción de costos del 60% respecto a las líneas de alquiladas
- Total de propiedad.
- *Hot-Standby.*
- El sistema se puede ampliar fácilmente agregando módulos y/o sub-bastidores a la configuración existente para aumentar la capacidad de transmisión.

Debido a la importancia de estos equipos en el proyecto se procedió a observar su funcionamiento y comportamiento en el laboratorio de microondas en CANTV, logrando comprobar que sus características permiten cumplir con los objetivos requeridos en el modelo de reestructuración del enlace propuesto. Figura 25

Figura 25. Radio digital de microondas (marca SAGEM). Instalado en el laboratorio de prueba microondas en el NEA CANTV

Fuente: Propia

RF *outdoor*: Los filtros de RF *outdoor* de los equipos impedirán la interferencia causada por las espurias y productos de intermodulación de sistemas y servicios que estén funcionando en otras bandas de frecuencia y que puedan deteriorar la calidad de servicio y la capacidad del sistema ofrecido. Estos tipos de RF se colocaran en la parte superior de la torre cerca de la antena, son completamente impermeable,

herméticos y solo es necesario el uso de guía de onda en su conexión con la antena; su conexión con el radio podrá ser por medio de cable.

Se procedió a observar su funcionamiento y comportamiento en el laboratorio de microondas en CANTV pudiendo comprobar que sus características permiten cumplir con los objetivos requeridos en el modelo de reestructuración del enlace propuesto. Figura 26

Figura 26. RF *Outdoor* (marca SAGEM). Instalado en el laboratorio de prueba microondas en el NEA CANTV

Fuente: Propia

Antena Omnidireccional: de Ganancia entre los 30 - 40 dbi. Proporcionará la radiación de la señal para que en cualquier punto del área de La Gran Caracas se pueda recibir la señal por medio del equipo microonda móvil propuesto, o en forma inversa será capaz de recibir la señal de cualquier punto de la gran caracas.

Antena Direccional microondas: de Ganancia entre los 40 - 50 dbi. Serán las encargadas de transmitir y recibir la señal del enlace punto a punto entre las estaciones GLOBOVISION/EL JUNQUITO.

Estación móvil microondas: Generalmente se utilizan para cubrir eventos locales de forma rápida y segura, manteniendo una buena calidad de imagen. Su utilización le permite al canal cubrir eventos dentro de los 60Km de distancia donde se encuentra ubicado el estudio sin necesidad de corriente eléctrica en la zona, ya que el mismo puede ser alimentado con una batería de 12V / 7 Amp/H con una duración de funcionamiento continuo de 24Hs. También permite cubrir la necesidad de aquellos

que precisan enlazar en forma permanente la producción de la torre de transmisión, permitiendo permanecer a la parte de producción en los lugares más céntricos, además de que les permite que las localidades aledañas mantengan un vínculo fijo y permanente con ellos cubriendo así toda la información de sus alrededores y permitiendo la transmisión de producciones locales en forma directa. Figura 27

Características técnicas:

- El video es modulado en FM en forma directa logrando una calidad *broadcasting* del vínculo.
- Entrada de audio
- Entrada de video: Conector BNC
- AC 220 volts
- DC 12 volts Batería
- Ajuste fino de frecuencia: + - 20 MHz ajustable desde el procesador, por eventuales interferencias.
- Potencia de RF P.I.R.E.: 28 dbm
- Puede transmitir señales analógicas o digitales
- Opción de canal de audio adicional (en caso de señal analógica).
- Apto para operación intemperie
- Apto para transmitir datos
- Etapa de potencia 27 dbm
- Antena parabólica 60 centímetros (60 Km)
- Ganancia: 26dB

Figura 27. Estación microonda móvil

Fuente: Manual RAICOM, equipo ML3.

IV.4. Estimación de costos

La toma de una decisión financiera desde la perspectiva de GLOBOVISIÓN esta principalmente relacionada con la determinación de la manera como el valor de la empresa se verá afectado por los resultados esperados con los rendimientos del proyecto propuesto; ante la factibilidad del proyecto y la oportunidad de invertir proponemos mejoras que proyectan un mayor rendimiento del producto final que afecta de manera positiva los valores de sus activos y su potencial ante el mercado, todo gracias a que el diseño de reestructuración demuestra su eficiencia y eficacia como un enlace completamente mejorado para los avances que necesita el canal y que vienen presentándose en las telecomunicaciones actuales.

El estimado en la estructura de costo presentada, considera la etapa de implementación del proyecto tomando en cuenta la disponibilidad de los equipos en el mercado nacional y la disponibilidad de la infraestructura a precios constantes del mercado, los cuales en comparación con los estándares conocidos presentan un valor aceptable para proceder a definir la aceptabilidad del proyecto y demostrar si la Tasa Interna de Retorno (TIR) es mayor a la Tasa Interna Requerida (costos de los fondos) lo que requiere de un estudio y un análisis financiero de costos y mercadeo que solo la empresa GLOBOVISIÓN debe considerar.

La estructura estimada de costos se dividió en cinco partes:

1) Estación El JUNQUITO

    a. Equipos

    b. Infraestructura

2) Estación GLOBOVISION

    a. Equipos

    b. Infraestructura

3) Instalación e Ingeniería

4) Permisología para el uso del espectro

5) Costos de Mantenimiento

En cada una de ellas se consideraron los rubros que influyen en el desarrollo del proyecto presentando las cantidades necesarias con su valor estimado en dólares y bolívares; ya que algunos de los rubros son adquiridos por medio de importaciones al cambio oficial de la moneda y previo autorización del estado venezolano.

Es importante destacar que en la Tabla 7 donde se resume la estructura de estimados de costos en cada parte se detallan los rubros que son necesarios adquirir para la implementación del proyecto, existen otros rubros (como las microondas móviles o energía de la estación de GLOBOVISION) que la empresa ya posee y no es necesario invertir en ellos.

IV.5. Posibilidades de ampliación

Otra fase importante en el desarrollo de este proyecto es la ampliación en otros enlaces y servicios que le sean de gran utilidad a GLOBOVISIÓN, por lo que se evaluó y explico de forma breve clara y concisa 3 posibilidades de ampliación del proyecto y utilización para otros modelos de enlaces.

IV.5.1. Enlace Satelital

La topología empleada se basa en un modelo de enlace; Punto a Punto bidireccional entre las estaciones EL JUNQUITO/Proveedor de Servicios y Proveedor de servicios/EL JUNQUITO, utilizando un Satélite que abarque la cobertura de Venezuela y países aledaños como medio de transmisión entre las dos estaciones

GLOBOVISION dirige su señal a la estación repetidora EL JUNQUITO que a su vez dirige su señal hacia el transponder del satélite en una frecuencia Banda Base, el enlace de subida modula y transmite la señal al transponder en la banda a usar (para este caso es más aplicada la banda C, por su frecuencia de transmisión) con una frecuencia aproximadamente de 6 GHz; la señal es recibida por el transponder y la transmite en el enlace de bajada de igual manera en banda C, pero con una frecuencia aproximada de 4 GHz, siendo al final demodulada a banda base y transmitida al proveedor de servicios nacional o internacional. (Figura 28).

En sentido contrario El proveedor de servicios nacional o internacional recibe la señal Banda Base de los informantes, la modula en Banda C de 6 GHz para el enlace de subida y la transmite al transponder y este a su vez lo transmite en Banda C de 4 GHz para el enlace de bajada, la cual es demodulada a la frecuencia banda base, a la estación repetidora EL JUNQUITO y este a su destino final GLOBOVISIÓN (Figura 29).

Es importante destacar que este enlace punto a punto, permite abarcar nuevos horizontes donde GLOBOVISIÓN no ha podido llegar, dándole la oportunidad de crecimiento a nivel informativo y además de realizar posibles contratos internacionales para así transmitir noticia internacional veraz y confiable. Sin dejar de mencionar que por ser bidireccional, conforma en total 2 enlaces, ambos empleando el mecanismo de *Hot Standby*, el cual ofrece la oportunidad de tener una mejor conexión en el aire del canal. Así como la utilización de

Modulador/Demodulador cuya atenuación en promedio es de 1dB por medio de la Figura de Ruido.

El satélite posible a utilizar, tiene que cumplir con ciertas características que permitan la conexión y ampliación de la transmisión. Que permitan la conexión del enlace

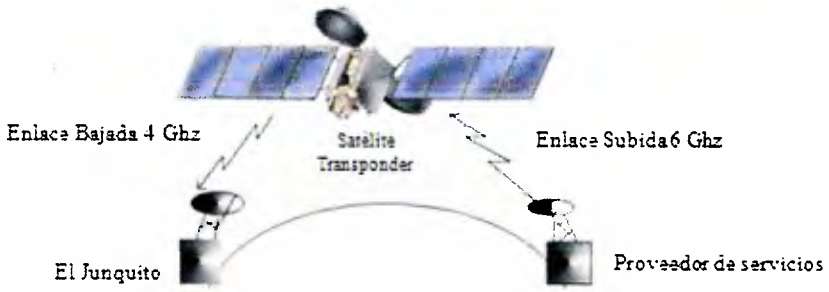


Figura 28. Topología del sistema en sentido GLOBOVISIÓN - EL JUNQUITO

Fuente: Propia

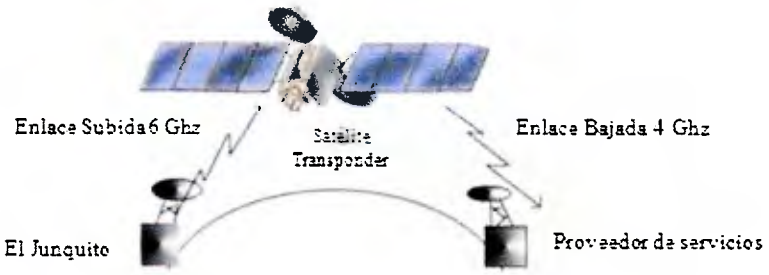


Figura 29. Topología del sistema en sentido EL JUNQUITO – GLOBOVISIÓN

Fuente: Propia.

IV.5.2. Sistema UHF, ampliación de cobertura

Se configuraron dos modelos de enlaces, uno Punto a Punto bidireccional entre las estaciones GLOBOVISIÓN/ EL JUNQUITO y otro Punto a Multipunto unidireccional entre las estaciones EL JUNQUITO y los receptores de los usuarios de la señal abierta del canal en el municipio. La estación GLOBOVISIÓN dirige su señal hacia la estación repetidora EL JUNQUITO en una frecuencia de 7,366 GHz; la

señal es recibida por el equipo microondas y transferida a otro equipo UHF que transmite con una frecuencia en la banda de 585-590 MHz hacia el destino final que son las estaciones de los usuarios en hogares, oficinas, etc. Es importante destacar que estos enlaces (punto a punto/ punto multipunto) presenta un enlace microonda y uno UHF en cada dirección, ambos resguardados por medio de *Hot standby*, ya que entre la estación repetidora EL JUNQUITO y GLOBOVISIÓN existe línea de vista libre que permite la transmisión y recepción de la señal sin obstáculos. En la Figura 30 podemos observar el mapa de cobertura de la señal UHF, el cual comprueba la mejora en la cobertura.

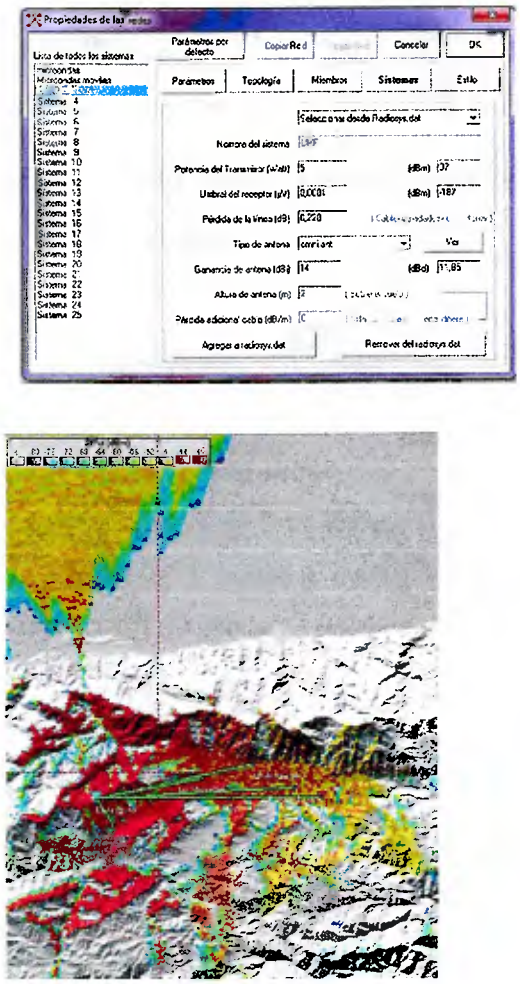


Figura 30. Mapa de cobertura del sistema UHF

Fuente: Propia

IV.5.3. Televisión digital (ISDB-T)

Debido a que Venezuela entrara al mundo de la Televisión Digital Terrestre de la mano del estándar ISDB-Tb (*Integrated Services Digital Broadcasting Terrestrial Built-in)* según informo oficialmente la CENDIT (Centro Nacional de Desarrollo e Investigación en Telecomunicaciones) en octubre del año pasado; este proyecto de restructuración de enlaces microondas debe de prever la incorporación de este servicio en corto período de tiempo. El sistema y equipos propuestos fueron seleccionados y diseñados para proveer las siguientes características técnicas, que exige el estándar ISDB-Tb y así poder incorporar el servicio de forma rápida al momento de ser requerido:

- El uso del códec MPEG-4 (H.264) para compresión de vídeo estándar
- Compresión de audio con HE-AAC
- Modulación en (BST-OFDM-TI)
- Interacción utilizando el *middleware*
- Velocidad de datos máxima de 23Mbps.

Además es posible utilizar ISDB-Tb en 6 MHz, 7 MHz o 8 MHz si es requerido y permite la utilización del mismo par de frecuencias designados por CONATEL para enlaces de microondas y UHF; porque el sistema es totalmente compatible (Kawakita, 2006).

CAPITULO V. Resultados

A continuación se presentan los cálculos teóricos y simulados del sistema microondas propuesto para el enlace.

V.1. Cálculos enlace punto a punto Estación EL JUNQUITTO-GLOBOVISION.

Para este enlace se procedió a hacer la comprobación teórica del enlace y la comprobación simulada de las características técnicas más importantes. Posteriormente ambas se compararon y se analizaron para confirmar la factibilidad del enlace. Los resultados están expresados en la Tabla 4, sentido EL JUNQUITO/GLOBOVISIÓN F=7,205 GHz y en la Tabla 5, sentido estación GLOBOVISIÓN/ EL JUNQUITO F=7,366 GHz

Al observar estos resultados podemos asegurar que el enlace es completamente factible, efectivo y confiable, ya que en ambos cálculos (teóricos y simulados) la potencia de recepción en ambos sentidos se encuentra dentro del rango recomendado en los estándares de propagación de la UIT (0, -80db) con una amplia separación de los extremos; permitiendo que el enlace sea lo suficientemente seguro en su transmisión y recepción para superar los inconvenientes del enlace microonda anterior y soportar posibles futuras interferencias por agentes externos como construcciones, vegetación, cambios climáticos, etc.

de un enlace microondas para el canal GLOBOVISION que reestructure los enlaces fijos y móviles actuales del canal

Datos

K (curvatura)	1,767					
Frecuencia (hz)	7366000000	=	7,366	Ghz	= 7366	Mhz
Distancia Total (km)	13,94	=	13940	m		
d1 (Km)	4,8	=	4800	m		
d2 (km)	9,14	=	9140	m		
Altura Tx (km)	1,546	=	1546	m		
Altura Rx (Km)	0,969	=	969	m		
Altura Obstaculo (Km)	1,1041	=	1104	m		
Potencia Trasmitida (w)	1	=	30	db		
Radio de la tierra (Km)	6370	=	6370000	m		
Perdida por Guia Tx (db/m)	0,114					
Perdida por Guia Rx (db/m)	0,114					
Longitud de la Guia Tx (m)	1	=	0,001	Km		
Longitud de la Guia Rx (m)	1	=	0,001	Km		
K (para formula de perdida por lluvia)	0,001425					
R (para formula de perdida por lluvia)	42					
α (para formula de perdida por lluvia)	1,4745					
Perdidas por Vegetacion (db/m)	0,1					
Eficiencia de apertura de la antena Tx	0,625					
Diametro de la antena Tx (Km)	0,0018	=	1,8	m		
Eficiencia de apertura de la antena Rx	0,625					
Diametro de la antena Rx (Km)	0,0018	=	1,8	m		

Calculos Teoricos

Flecha	0,002	km	=	1,949	m
Despejamiento	0,241	Km	=	241,371	m
Radio de fresnell	11,322	m	=	0,011	Km
Parametro para calcular la atenuacion por obstaculos	0,030				
Longitud de Onda	0,0407	m	=	0,00004073	Km
Regla de diseño	21,320	> 0,57			
Atenuacion por obstaculos	6,294	db			
Atenuacion por perdida en espacio libre	132,680	db			
Atenuacion de la guia de estacion Club de Campo	0,2[illegible]	db			
O2	0,007	db Km			
H2O	0,005	db Km			
H2O+O2	0,012	db Km			
Atenuacion por gases y vapores atmosfericos	0,157	db			
La atenuacion especifica	0,353	db Km			
Atenuacion por lluvia	4,915	db			
Atenuacion por vegetacion	1,394	db			
Total perdidas	**145,668**	db			
Superficie efectiva proyectada de la abertura del reflector Tx	**1,68963E-06**				
Superficie efectiva proyectada de la abertura del reflector Rx	**1,68963E-06**				
Ganancia Ant Tx	**40,80508243**	dbi			
Ganancia Ant Rx	**40,80508243**	dbi			
Ganancia Directiva	**12036,63922**				
Ancho de Banda	**7000000**	hz			
Frecuencia Resonante	**7200000000**	hz			
Eficiencia	**0,625**				
Densida Potencia =	**4,9288E-06**				
Densidad Pen dBm	**-23,07268831**	dBm			
Intensidad de Rad (dB)	**29,81266717**	dB			
Area efectiva	**1,689626**	m^2			
Factor Q	**1028,571429**				
Directividad	**2**				
Nivel de señal recibida	**-34,05803424**	db			

Calculos Simulados

Despejamiento	242,200	m
Atenuacion Por Perdidas en Espacio Libre	132,700	db
Atenuacion por gases y vapores Atmosfericos	0,140	db
Nivel de Señal recibida	-31,200	db
Azimut	77,9°	

Tabla 4. Tabla de cálculos del enlace a 7,366 GHz entre la estación EL JUNQUITO/GLOBOVISIÓN

Fuente: Propia

Datos

K (curvatura)	1,767					
Frecuencia (hz)	7205000000,000	=	7,205	Ghz	=	7205,000 Mhz
Distancia Total (km)	13,940	=	13940,000	m		
d1 (Km)	9,140	=	9140,000	m		
d2 (km)	4,800	=	4800,000	m		
Altura Tx (km)	0,969	=	969,000	m		
Altura Rx (Km)	1,546	=	1546,000	m		
Altura Obstaculo (Km)	1,104	=	1104,000	m		
Potencia Trasmitida (w)	1,000	=	30,000	db		
Radio de la tierra (Km)	6370,000	=	6370000,000	m		
Perdida por Guia Tx (db/m)	0,214					
Perdida por Guia Rx (db/m)	0,214					
Longitud de la Guia Tx (m)	1,000	=	0,001	km		
Longitud de la Guia Rx (m)	1,000	=	0,001	Km		
K (para formula de perdida por lluvia)	0,001					
E (para formula de perdida por lluvia)	42,000					
a (para formula de perdida por lluvia)	1,475					
Perdidas por Vegetacion (db/m)	0,700		R. REC. P. UIT 833-1			
Eficiencia de apertura de la antena Tx	0,625					
Diametro de la antena Tx (Km)	0,002	=	1,800	m		
Eficiencia de apertura de la antena Rx	0,625					
Diametro de la antena Rx (Km)	0,002	=	1,800	m		

Calculos Teoricos

Curvatura	0,002	km	=	1,949	m
Despejamiento	0,241	Km	=	241,371	m
Radio de fresnell	11,447	m	=	0,011	Km
Parametro para calcular la atenuacion por obstaculos	0,030				
Longitud de Onda	0,0416	m	=	0,00004164	Km
Regla de diseño	21,085	> 0,57			
Atenuacion por obstaculos	6,291	db			
Atenuacion por perdida en espacio libre	132,488	db			
Atenuacion de la guias de ondas	0,228	db			
O2	0,007	db/Km			
H2O	0,004	db/Km			
H2O+O2	0,011	db/Km			
Atenuacion por gases y vapores atmosfericos	0,154	db			
La atenuacion especifica	0,353	db/Km			
Atenuacion por lluvia	4,915	db			
Atenuacion por vegetacion	1,394	db			
Total perdidas	**145,470**	db			
Superficie efectiva proyectada de la abertura del reflector Tx	**1,58963E-06**				
Superficie efectiva proyectada de la abertura del reflector Rx	**1,58963E-06**				
Ganancia Ant. Tx	**40,61309785**	dbi			
Ganancia Ant Rx	**40,61309785**	dbi			
Ganancia Directiva	**11516,21554**				
Ancho de Banda	**7000000**	hz			
Frecuencia Resonante	**7200000000**	hz			
Eficiencia	**0,625**				
Densida Potencia =	**4,7157E-06**				
Densidad Pon dBm	**-23,2645429**	dBm			
Intensidad de Rad	**29,62071258**	dB			
Area efectiva	**1,589625**	m²			
Factor Q	**1028,571429**				
Directividad	**2**				
Nivel de señal recibida	**-34,24372873**	db			

Calculos Simulados

Despejamiento	242,200	m
Atenucion Por Perdidas en Espacio Libre	132,510	db
Atenuacion por gases y vapores Atmosfericos	0,130	db
Nivel de Señal recibida	-31,200	db
Azimut	227,9°	

Tabla 5. Tabla de cálculos del enlace a 7,205 GHz entre la estación GLOBOVISIÓN/ EL JUNQUITO

Fuente: Propia

Otro factor importante a evaluar, es el comportamiento del enlace en otros pares de frecuencia en la banda de los 7,1-7,4 GHz debido a que al momento de la aprobación del proyecto por parte de CONATEL existe la posibilidad de que el canal escogido de (7,205-7,366 GHz) esté ya asignado y deba seleccionarse otro canal con frecuencias distintas que puedan comprometer el enlace.

En la Tabla 6 podemos observar que el enlace en la banda completa de los 7,1-7,4 GHz también es completamente factible y seguro, ya que la potencia de recepción en ambos sentidos se encuentra dentro del rango recomendado en los estándares de propagación de la UIT (0, -80db) con una amplia separación de los extremos; permitiendo que el enlace sea lo suficientemente seguro en su transmisión y recepción para superar los inconvenientes del enlace microonda anterior y soportar posibles futuras interferencias por agentes externos como construcciones, vegetación, cambios climáticos, etc.

	Sentido: GLOBOVISION-EL JUNQUITO					Sentido: EL JUNQUITO-GLOBOVISION				
CANAL	F1	Total Perdidas		Nivel de señal recibida		F2	Total Perdidas		Nivel de señal recibida	
1	7.128,00	145,374	db	-34,334	db	7.289,00	145,574	db	-34,146	db
2	7.135,00	145,382	db	-34,326	db	7.296,00	145,582	db	-34,138	db
3	7.142,00	145,391	db	-34,318	db	7.303,00	145,591	db	-34,130	db
4	7.149,00	145,400	db	-34,309	db	7.310,00	145,600	db	-34,122	db
5	7.156,00	145,409	db	-34,301	db	7.317,00	145,608	db	-34,114	db
6	7.163,00	145,418	db	-34,293	db	7.324,00	145,617	db	-34,106	db
7	7.170,00	145,426	db	-34,285	db	7.331,00	145,625	db	-34,098	db
8	7.177,00	145,435	db	-34,276	db	7.338,00	145,634	db	-34,090	db
9	7.184,00	145,444	db	-34,268	db	7.345,00	145,643	db	-34,082	db
10	7.191,00	145,452	db	-34,260	db	7.352,00	145,651	db	-34,074	db
11	7.198,00	145,461	db	-34,252	db	7.359,00	145,660	db	-34,066	db
12	7.205,00	145,470	db	-34,244	db	7.366,00	145,668	db	-34,058	db
13	7.212,00	145,479	db	-34,236	db	7.373,00	145,677	db	-34,050	db
14	7.219,00	145,487	db	-34,227	db	7.380,00	145,685	db	-34,042	db
15	7.226,00	145,496	db	-34,219	db	7.387,00	145,694	db	-34,034	db
16	7.233,00	145,505	db	-34,211	db	7.394,00	145,702	db	-34,026	db
17	7.240,00	145,513	db	-34,203	db	7.401,00	145,711	db	-34,018	db
18	7.247,00	145,522	db	-34,195	db	7.408,00	145,719	db	-34,010	db
19	7.254,00	145,531	db	-34,187	db	7.415,00	145,728	db	-34,002	db
20	7.261,00	145,539	db	-34,179	db	7.422,00	145,736	db	-33,994	db

Tabla 6. Parámetros del enlace entre las estaciones de EL JUNQUITO y GLOBOVISIÓN en la banda de los 7,1-7,4 GHz

Fuente: Propia

V.2. Cálculos enlace punto a multi-punto Estación EL JUNQUITO-GLOBOVISION.

Para la comprobación de la cobertura lograda por el sistema mostrado en la Figura 31, se seleccionaron aleatoriamente cinco puntos de La Gran Caracas para el cálculo teórico y simulado, mediante el *software* RADIOMOBILE, de los parámetros del enlace con cada uno de ellos.

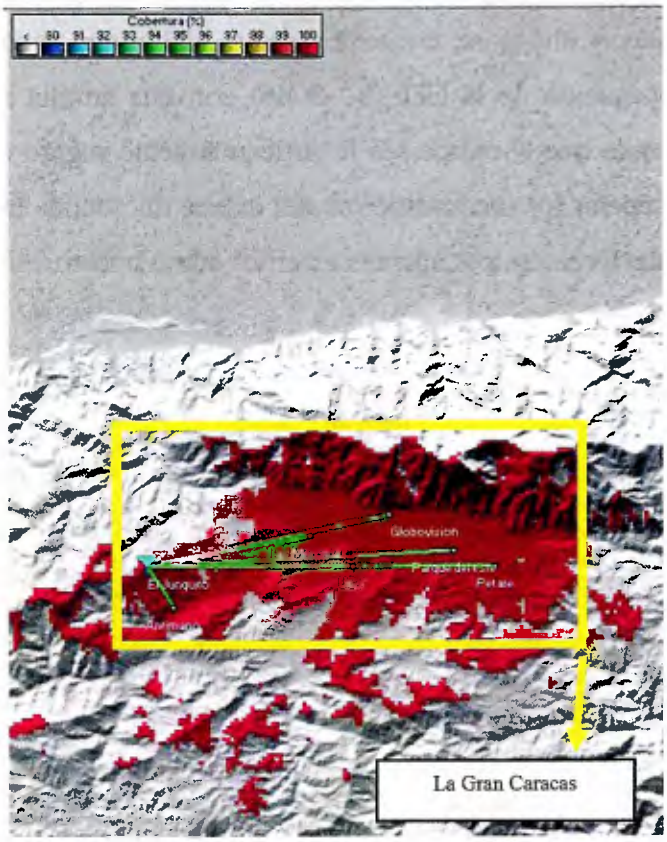


Figura 31. Mapa de Cobertura Estacion Repetidora EL JUNQUITO

Fuente: Propia

Los resultados recabados del calculo de los enlaces, tanto para el enlace EL JUNQUITO/Microondas móviles en la Figura 32 como Microondas móviles/EL JUNQUITO en la Figura 33. Para cada punto escogido se observa que la señal recibida se mantiene con las caracteristicas apropiadas, notando que sin importar cual

sea la distancia de estos puntos con la estación repetidora, los valores obtenidos se mantienen en un rango alejado del limite de señal a ruido la cual es la que nos causaría interferencia trayendo problemas a dicha transmisión.

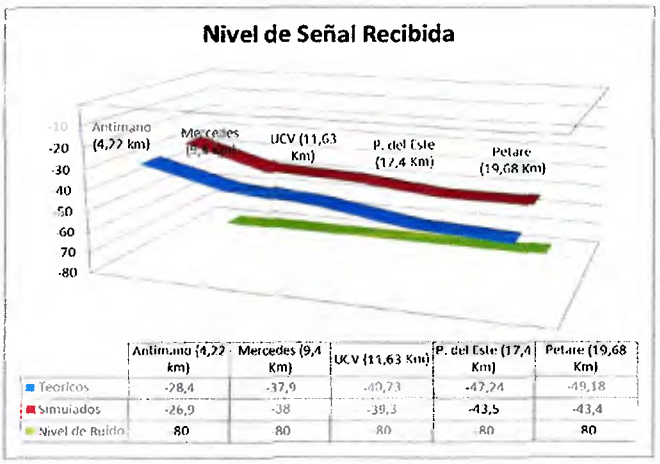


Figura 32. Nivel de Señal Recibida EL JUNQUITO/Microondas moviles

Fuente: Propia

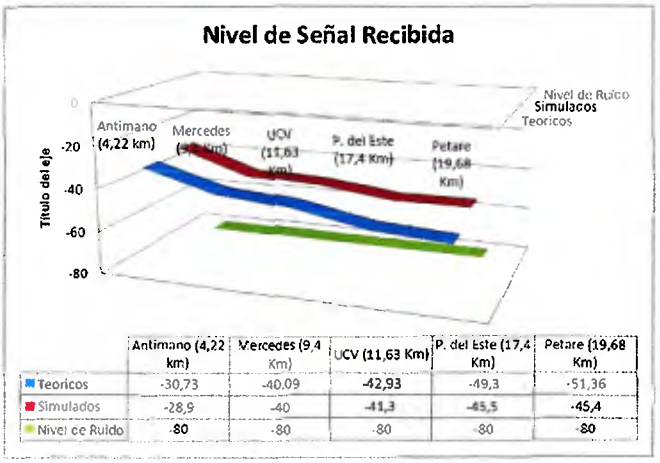


Figura 33. Nivel de Señal Recibida Microondas moviles/EL JUNQUITO

Fuente: Propia

Luego de analizar los niveles de señal recibida, se enfocó como segunda importancia para la transmisión del enlace los factores que pueden causar atenuación en una señal, debido a que las pérdidas pueden llegar a comprometer por completo los

niveles de potencia de la señal recibida. Los resultados mostrados en la Figura 34 y la Figura 35 denotan que la atenuación por espacios libres influye en gran escala y varía según la distancia entre la estación repetidora y las microondas móviles, causando la mayor pérdida en la potencia de la señal recibida; seguida por la atenuación por obstáculos y vegetación

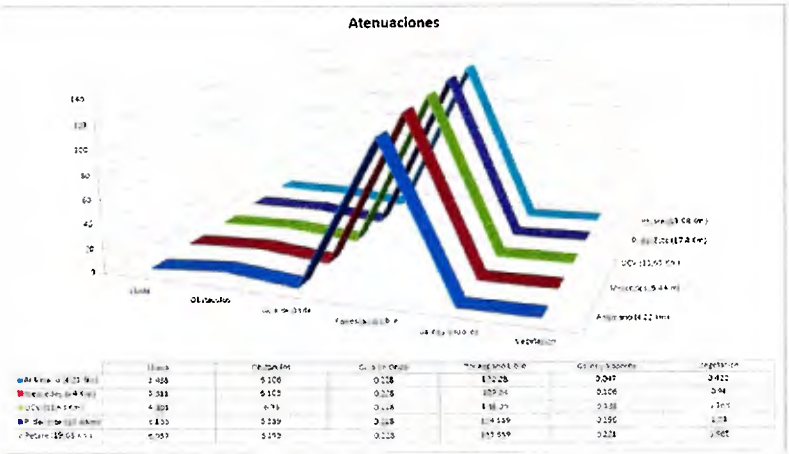


Figura 34. Atenuaciones EL JUNQUITO/Microondas moviles

Fuente: Propia

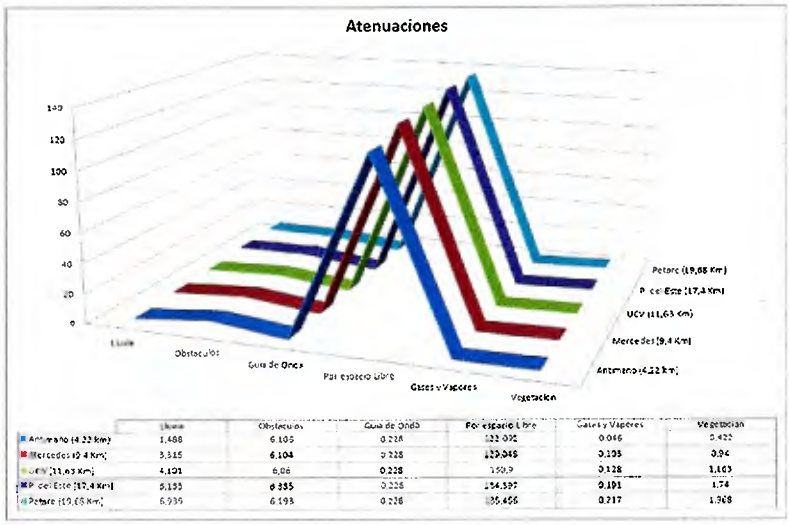


Figura 35. Atenuaciones Microondas moviles/EL JUNQUITO

Fuente: Propia

V.3. Confiabilidad de los enlaces

$$ND = 5 / 5000 = 0.001 = 0.1\%$$

Para el TMHR se ha tomado como un valor de 5 horas que incluye todo el tiempo que transcurre desde el instante en que se produce una avería hasta que el equipo es reparado y puesto nuevamente en servicio. Asimismo, se supone un TMEF de 5000 horas para cada juego de equipo.

Comprende aproximadamente a un procedimiento de dos fallas por año, fallas reales por qué no hay duplicación de equipo.

$$D = 1 - 0.001 = 0.999 = 99.9\%$$

$$\text{TFS anual} = 0.001 * 8760 = 8.76 \text{ horas}$$

En un sistema redundante como él que se propone, se supone que se utilizan dos juegos de equipos, interconectados por conmutadores y detectores automáticos para el traspaso instantáneo del equipo en servicio al de reserva en caso de avería.

También se supone

$$\text{TMEF} = 5000 \text{ horas cada juego de equipo}$$

$$\text{TMHR} = 5 \text{ horas para cualquier falla.}$$

Cualquier falla en un sólo juego de equipo no interrumpe el servicio. La interrupción sólo puede ocurrir si se produce falla en ambos juegos simultáneamente. Al suponer que las fallas de los dos juegos de equipos del enlace se producen en forma errática e independiente.

$$(TMEF)\ red = (TMEF)^2 / TMHR$$

Luego:

$$(TMEF)\ red = (5000)^2 / 5 = 5000000\ horas = 570\ años$$

Con los valores supuestos, el tiempo medio de funcionamiento entre fallas del enlace (averías reales del sistema) sería de 570 años.

La relación TFS del enlace (D red) está dada por

$$ND\ red = TMHR / (TMEF)\ red = (TMHR/ TMER)^2 = (5 / 5000)^2 = 0.001\%$$

$$D\ red = 1 - 0.00001 = 0.9999 = 99.9999\%$$

$$TFS\ anual = 0.000001 * 8760 = 0.0876\ hr = 32\ seg.$$

En base a los valores empleados, las características de confiabilidad del equipo de un enlace pueden especificarse como 32 segundos de TFS anual. Esta cifra es sólo una abstracción matemática. Como la duración de cualquier averiada en indivisible, puede suceder que en 1 año determinado no ocurra ninguna interrupción. De producirse una falla, esta tendría que ser mucho más prolongada (las 5 horas tomadas como ejemplo).

V.4. Ingeniería de detalle de la Estación Repetidora EL JUNQUITO

La ubicación escogida para la estación se muestra en la Figura 36 y los detalles del terreno para la ubicación de la torre y el *Shelter* se muestra en la Figura 37. El diseño dispone de paso peatonal y vehicular con estacionamiento, caseta de seguridad, iluminación a lo largo de todo el terreno, cercado eléctrico por todo el perímetro, fosas de protección por el área cercada y área de expansión para futuras ampliaciones.

Para la puesta a tierra del sistema se construyó en el terreno un hoyo de 120 cm x 120 cm de lado y 200 cm de profundidad rellenos de hormigón. Y se han clavado en el fondo del hoyo tres piquetas de 2 m conectadas eléctricamente a la torre y a los equipos en el interior de la caseta mediante cable de cobre de 35 mm^2.

La toma de tierra exclusiva para los equipos se ha hecho con 30 m de cable de cobre de 35 mm^2 enterrado a lo largo de una zanja de 80 cm de profundidad y 4 picas de 100 cm a lo largo de la zanja conectadas al cable. Este entra en el cuarto de radio atravesando la pared por medio de las cajas exteriores conectoras a la altura de los equipos.

El área demarcada en amarillo es la destina a la construcción de la estación de EL JUNQUITO Coordenadas: 10°24'04.6" N 67°00'01.6" W

Figura 36. Mapa de ubicación estación repetidora EL JUNQUITO

Fuente: Propia

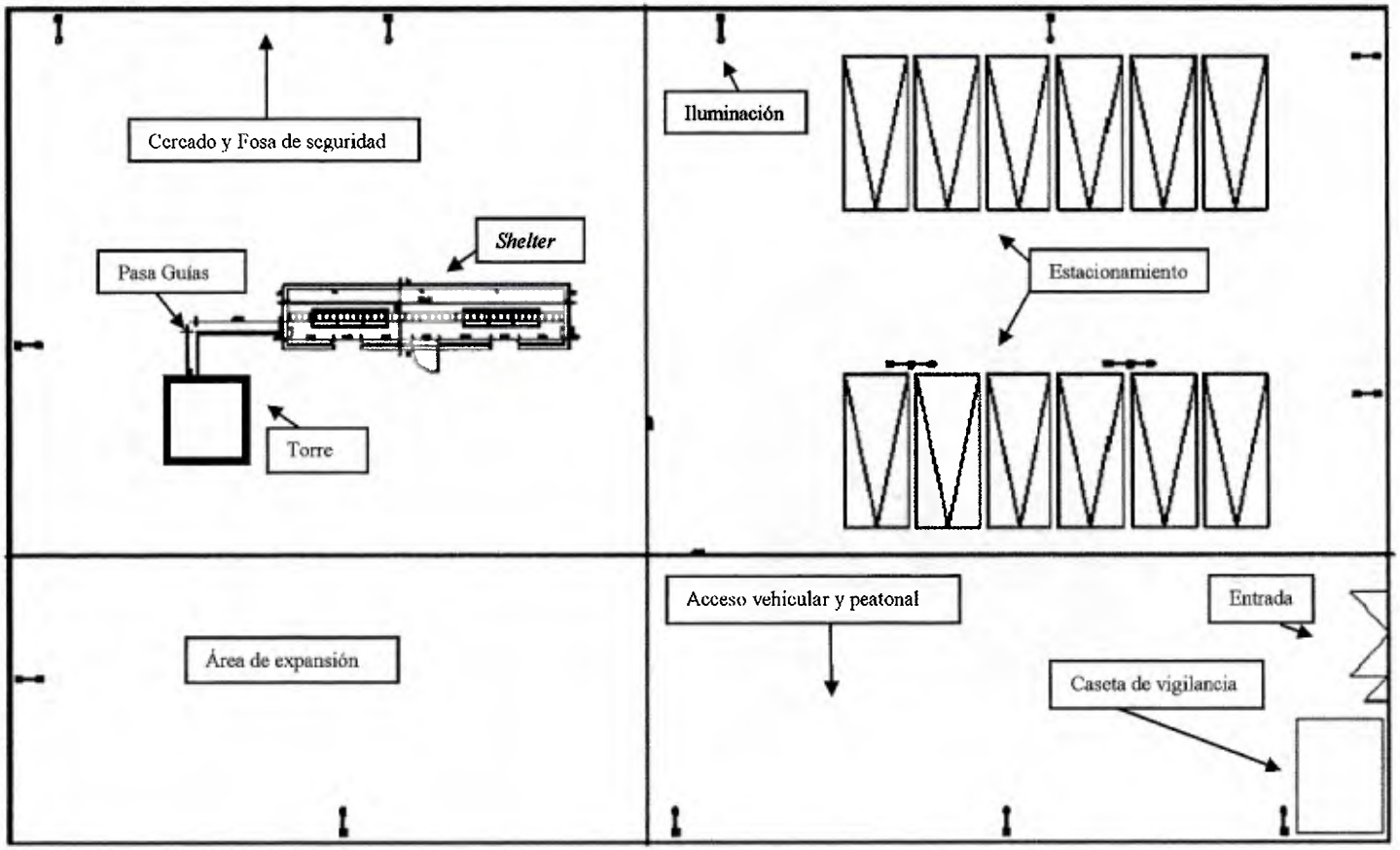


Figura 37. Terreno propuesto para instalación de la estación repetidora EL JUNQUITO

Fuente: Propia

Para la mayor efectividad del enlace se establecieron las siguientes características en la estación:

Torre:

La torre seleccionada mostrada en la Figura 38 será una torre auto soportada de 80mts, iluminada, con fundaciones de concreto, estructura de acero galvanizado, aterrada al anillo con barras, para rayos, escalera de acceso, plataformas de trabajo cada tres metros, y pasaguias. En la torre, se instalaran cuatro antenas, 4 para la banda de 7GHz. Todas se controlan mediante rotor de azimut y elevación. Las antenas, son independientes cada una con su balun. Estas antenas se ven sujetas del balun. Todas las antenas, se seleccionan desde el *Shelter* o cuarto de radio mediante un conmutador de antena situado en la torre, de donde sale un coaxial hasta el cuarto de radio.

Diseño de un enlace microondas para el canal GLOBOVISION que reestructure los enlaces fijos y móviles actuales del canal

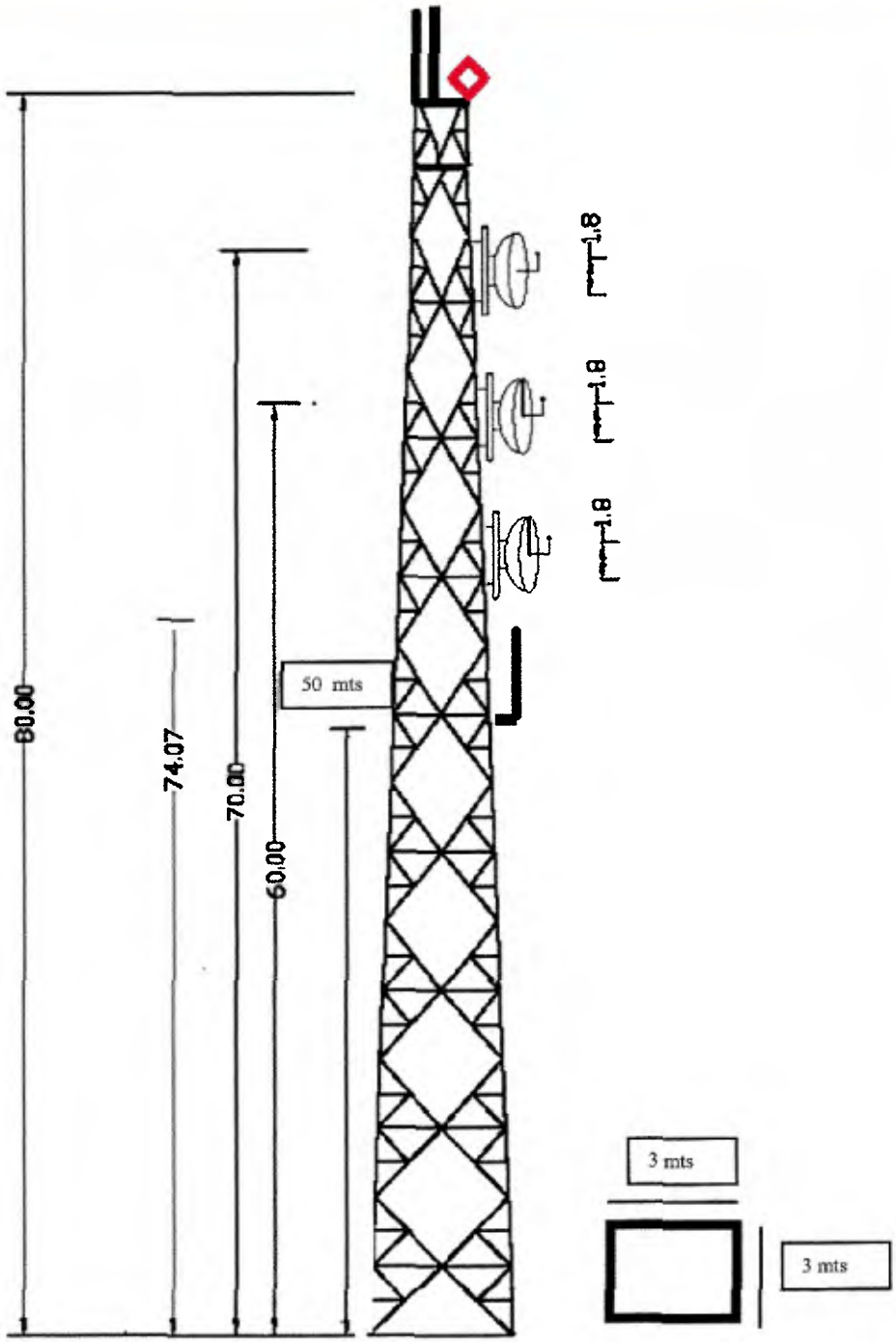


Figura 38. Plano de la Torre

Fuente: Propia

Shelter

Mostrado en la Figura 39 Es un cuarto de máquinas diseñado para servicio en intemperie, que permite alojar equipos electrónicos de telecomunicaciones sensibles al polvo, agua, humedad, vientos etc.; tales como: sistemas de control del enlace. Se diseñó con:

Radiotransmisor #1:

Tipo: digital

Frecuencia: Tx: 7366 MHz Rx: 7205 MHz

Potencia de Tx: 1 watts

Radiotransmisor #2:

Tipo: digital

Frecuencia: Tx: 7191 MHz Rx: 7352 MHz

Potencia de Tx: 5 watts

Capacidad de expansión

Circuitos telefónicos

Acceso al sitio

Estacionamiento:

Seguridad: acceso controlado

Sitio cercado

Ruta de Acceso: Autopistas, calles alfadas, ciudad, Colinas de Montañas fácil acceso

Superficie de montaje de equipos:

Construcción: metal

El *rack* es cuadrado de 60 cm 1.85 m de alto

La temperatura interna dentro del rango optimo rango de operación= -20° a +55°c

Espacio libre frontal mínimo para servicio mínimo frontal= 60 cm

Espacio libre posterior mínimo para servicio mín. Posterior= 40 cm

El *rack* debe estar conectado a un punto en la Barra de aterramiento interna con cable calibre

Escalerilla interna para guías rf (ancho= 30 cm) a 10 cm del tope del *rack*

Piso de concreto revestido por un piso falso para la colocación del sistema eléctrico

Iluminación interna y externa

Extintor de incendio

Primeros auxilios

Disponibilidad de almacén

Energía del sitio

Energía primaria: 110 vac y 220 vac

Existe separación entre breakers

Fuente de energía:

Ups, DC y planta externa

Referencia a tierra negativo

Sistema de energía de respaldo para DC (-48vdc) autonomía mínimo 8 horas

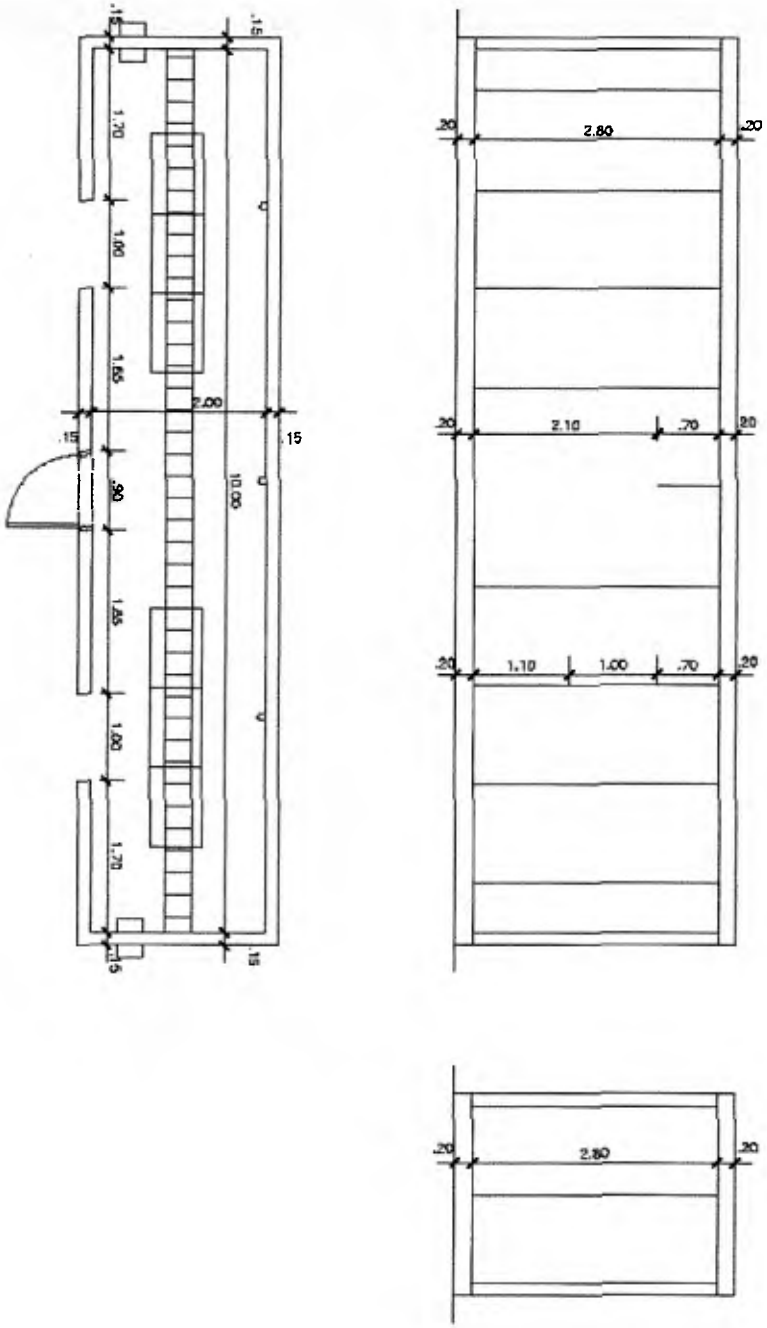


Figura 39. Plano del *Shelter*

Fuente: Propia

V.5. Tabla de Costos

Rubro	Cantidad	Monto por Unidad (US$)	Monto por Unidad (Bs)	Inversión (US$)	Inversión (Bs)	Total por rubro Bs	
Estación Repetidora El Junquito						3.572.057,99	
Equipos							
Unidad de Radio digital 7 [GHz] (transmisor)	4	11.000,00	47.300,00	44.000,00	189.200,00		
Unidad de Radio digital 7 [GHz] (receptor)	4	11.000,00	47.300,00	44.000,00	189.200,00		
Unidad de Procesamiento RF *outdoor* 7 [GHz]	8	3.500,00	36.550,00	68.000,00	292.400,00		
Antenas de Transmisión y Recepción Parabólicas	3	3.200,00	13.760,00	9.600,00	41.280,00		
Antenas de Transmisión y Recepción Omnidireccionales	3	2.200,00	9.460,00	6.600,00	28.380,00		
Distribuidor de cableado para salida al exterior del *Shelter*	1	630,00	2.709,00	630,00	2.709,00		
Conectores y componentes de RF		600,00	2.580,00	600,00	2.580,00		
Infraestructura							
Compra de Terreno, construcción y adaptación al proyecto 30x50 mts	1	604.651,16	2.599.999,99	604.651,16	2.599.999,99		
Energía		42.180,00	181.374,00	42.180,00	181.374,00		
Shelter 2x10 mts	1	2.000,00	8.600,00	2.000,00	8.600,00		
Bastidor	1	395,00	1.698,50	395,00	1.698,50		
Cable coaxial para enlace de microonda (120 m)	1	960,00	4.128,00	960,00	4.128,00		
Escalerillas	1	95,00	408,50	95,00	408,50		
Líneas de transmisión (canaletas subterráneas y guías de ondas)		1.000,00	4.300,00	1.000,00	4.300,00		
Torre Autosoportada 60mts con accesorios (27 secciones de 3 mts c/u)	1	6.000,00	25.800,00	6.000,00	25.800,00		
Estación Globovision						[illegible]	
Equipos							
Unidad de Radio digital 7 [GHz] (transmisor)	2	11.000,00	47.300,00	22.000,00	94.600,00		
Unidad de Radio digital 7 [GHz] (receptor)	2	11.000,00	47.300,00	22.000,00	94.600,00		
Unidad de Procesamiento RF *outdoor* 7 [GHz]	4	3.500,00	36.550,00	34.000,00	146.200,00		
Antenas de Transmisión y Recepción Parabólicas		3.200,00	13.760,00	9.600,00	41.280,00		
Distribuidor de cableado para salida al exterior del *Shelter*	1	630,00	2.709,00	630,00	2.709,00		
Conectores y componentes de RF		600,00	2.580,00	600,00	2.580,00		
Infraestructura							
Mástil de 15 mts con accesorios (5 secciones de 3 mts c/u)	1	1.593,65	6.852,70	1.593,65	6.852,70		
Instalación e Ingeniería						[illegible]	
		10.000,00	43.000,00	10.000,00	43.000,00		
Permisos para el uso de la frecuencias						240.800.000,00	
		56.000.000,00	240.800.000,00	56.000.000,00	240.800.000,00		
Total Inversion Bs							244.803.879,68
Total Inversion US$							$6.931.134,81
Costo de Mantenimiento mensual						602.000,00	
Servicio técnico e Ingeniería	1	4.651,16	20.000,00	4.651,16	20.000,00		
Tarifa mensual uso del espectro	1	140.000,00	602.000,00	140.000,00	602.000,00		
Total							
Total Inversion Bs							622.000,00
Total Inversion US$							144.651,16

Tabla 7. Tabla de estimado de costos

Fuente: Propia

CAPÍTULO VI. Conclusiones y Recomendaciones

Una vez estudiado y analizado el enlace microondas, tomando en cuenta los resultados obtenidos por medio de los 2 *softwares* y las ecuaciones aritméticas, se concluyó que tanto en el enlace punto-punto como en el punto-multipunto se pudo lograr un nivel de señal recibida óptima con un margen amplio de aceptación de interferencias por agentes externos que se puedan generar a futuro; dando así la seguridad de un buen enlace.

Además presentó características técnicas y prácticas del enlace que permitieron diseñar y configurar un sistema microonda factible; adaptada a la normativa venezolana en radiodifusión y a la tecnología de fácil acceso; permitiendo conocer mediante un estimado de costos la vialidad del proyecto en base a los precios actuales del mercado

El sistema permite la conexión entre GLOBOVISION y las antenas microondas móviles que pueden estar dispersas en toda el área de La Gran Caracas, logrando obtener información rápida de algún suceso. Además permite la conexión de GLOBOVISIÓN con los usuarios ofreciendo así una mejora en su calidad de servicio pudiendo transmitir noticias en vivo de manera confiable directa y veraz; debido a que el sistema presenta un único enlace microondas full dúplex con equipos y estaciones propias del canal generando una seguridad de transmisión.

La topología planteada para la restructuración del enlace, es un diseño que ofrece beneficios considerables por encima de las redes tradicionales que el canal posee actualmente, ya que el despliegue de la misma se realiza con un menor número de equipos y enlaces.

Este proyecto es un diseño de vanguardia orientado a su expansión en el futuro, ya que se toma como premisa no limitar el uso de la estructura para un solo modelo de enlace microonda, al contrario permite la implementación de nuevos servicios como por ejemplo TV Digital, enlace UHF y Satelital explicados en el

trabajo, aportando un gran valor a los usuarios y a GLOBOVISIÓN. Esta premisa permite a la empresa generar nuevas fuentes de ingreso y mejoras en las comunicaciones permitiendo llegar a destinos que no han sido alcanzados actualmente y mejorar los ya establecidos.

En este trabajo especial de grado presenta un marco conceptual que podrá ser utilizado en otros diseños de enlaces. Se muestra un proyecto con todos los elementos y ubicación más adecuados que componen la reestructuración de un enlace microonda punto a punto y punto a multipunto, el cual servirá de referencia para futuras investigaciones.

Por último como recomendación se tiene que una de las dificultades en el despliegue de la transmisión son las atenuaciones que se pueden presentar por el espacio libre y/o equipos que se requieren para ofrecer los servicios con mayor calidad. Este fue uno de los tópicos analizados en este trabajo. Se plantearon varias tendencias existentes y se recomienda utilizar tecnología que disminuya dichas atenuaciones y evitar interferencias en el momento de la transmisión, que normalmente existe en cualquier enlace.

Bibliografía

Álvarez., I. J. (Marzo de 2004). *Unitec. Universidad Tecnológica de México, S.C.* Recuperado el 30 de Julio de 2009, de http://members.fortunecity.es/unitec/guia_onda.htm

BARÁ TEMES, J. (1994). *Circuitos de microondas con líneas de transmisión.* Edicions UPC.

Barrios, J. J. (2009). *Modelos de Propagación capitulo 5.* Caracas: Universidad Catolica Andres Bello.

CENDIT. (7 de 10 de 2009). *Centro Nacional de Desarrollo e Investigación en Telecomunicaciones.* Recuperado el 7 de 2 de 2010, de http://www.cendit.gob.ve/index.php/contenidos/cont_cont/142

FCyT, U. . (2001). *Introduccion a la proteccion.* En U. FCyT, *Instalaciones Eléctricas I* (págs. Capitulo 12 1-8).

Gonzalez-Longatt, F. M. (2007). *II Seminario en Seguridad y Riesgos Eléctricos en la Industria.* Puerto Ordaz.

J, A. (2007). *Propagación por onda de superficie.* Grupo de Electromagnetismo Dpto. Teoria de señales y comunicaciones.

Jordán, E. C. (1978). Ondas Electromagnéticas y Sistemas Radiantes. Madrid: Paraninfo.

JVG ca. (03 de 10 de 03). Recuperado el 18 de 01 de 2010, de http://www.aporrea.org/actualidad/a5055.html

Kawakita, O. (6 de 10 de 2006). *Camara de Informatica y Comunicaciones de la Republica Argentina.* Recuperado el 7 de 2 de 2010, de

http://www.cicomra.org.ar/cicomra2/asp/Present.%20O.%20Kawakita%20-%20NEC%20-ISDBT-6-Oct.pdf

L. Jofre, J. R. *Antenas. A. Cardama.* Cataluña: Edicions UPC .

La Comision legislativa Nacional. (2000). *Ley orgánica de telecomunicaciones.* Caracas Venezuela.

Ministerio de infraestructura comisión nacional de telecomunicaciones. (27 de octubre de 2006). *Cuadro nacional de atribución de bandas de frecuencias* . Caracas, venezuela.

MIRANDA, J. M. (2002). *Ingeniería de Microondas, Técnicas Experimentales.* Prentice-Hall.

Manual de instalación y mantenimiento, Western Multiplex, pág. 3-24

NEC CORPORATION. (1997). *Miscelánea de temas para radio digital microondas PDH y SDH.* México: NEC de México, S.A. de C.V.

O. J. Zuluaga, A. F. *Diseño automatizado de enlaces microondas sobre sistemas de información geográfica.* España: Universidad Nacional, Sede Manizales, Grupo de Control y Procesamiento Digital de Señales.

Orihuela N. (2007). *Satélite Simón Bolívar: Soberanía Tecnológica. [Versión electrónica] Con-Ciencia, p.1.* Consultado el 07 de junio, 2008 de http://www.fundacite-carabobo.gob.ve/Documentos/revista/Con-ciencia01-ver-12-c-TODO.pdf

Pramos. (2001). *Prácticas de Radiocomunicaciones.*

Prillwitz, E. A. (Noviembre 2005). *Diseño de un sistema para monitoreo de enlaces de microonda utilizando la radiobase tdma ericsson 884.* Guatemala

Radio Mobile. (sf). Recuperado el 9 de Septiembre de 2008 de http://www.g3tvu.co.uk/Radio_ Mobile.htm

Secretaria de Hacienda unidad Informatica. (2003). *Normas de Seguridad Física y Ambiental.*

Tanyà, F. (s.f). Conceptos Básicos sobre Antenas. Recuperado el 16 de Agosto de 2009, de http://80.24.102.10/wireless/antenas/ Conceptos_basicos_sobre_antenas.pdf

UCAR), U. C. (s.f.). Windows to the Universe (Ventana al Universo). Recuperado el 16 de Agosto de 2009, de hhtp://www.windows.ucar.edu/

UIT-R P.676-7. (2007). *Atenuación debida a los gases atmosféricos.*

UIT-R P.838-3. (2005). *Modelo de la atenuación específica debida a la lluvia.*

UIT (1990). *Publicaciones de la UIT : Métodos de asignación de frecuencias para sistemas de concentración de enlaces del servicio móvil.* Recuperado el 10 de 2 de 2010, de http://www.itu.int/publ/R-REP-M.901/es

Universidad Nacional de Rosario Santa Fe - República Argentina. (13 de 3 de 2000). *Escuela de Ingeniería Electrónica.* Recuperado el 7 de 2 de 2010, de http://www.eie.fceia.unr.edu.ar/ftp/Radioenlaces/1514.PDF

Vera M. *Departamento de Teoría de la Señal y Comunicaciones.* Extraído el 19 de febrero de 2008 desde: http://www.grp.tsc.uvigo.es/rtvs

Wayne, T. (2003). *Sistemas de Comunicaciones Electrónicas.* Person Education.

Apéndice A. Cálculos Enlaces punto a multipunto

En esta sección se muestran las ecuaciones que sustentan los cálculos teóricos del enlace punto a multipunto.

A.1. Enlace ANTIMANO-El JUNQUITO

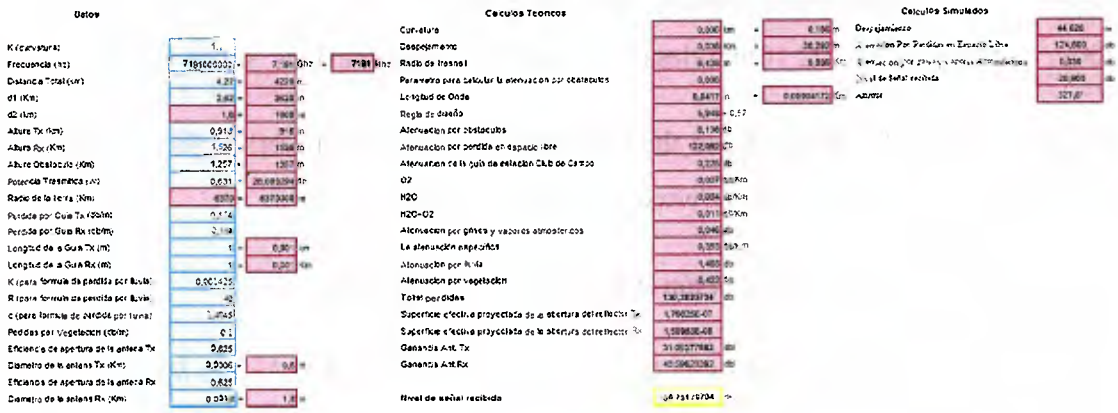


Tabla 8. Enlace Punto a Punto Antimano/EL JUNQUITO F= 7,191 GHz

Fuente: Propia

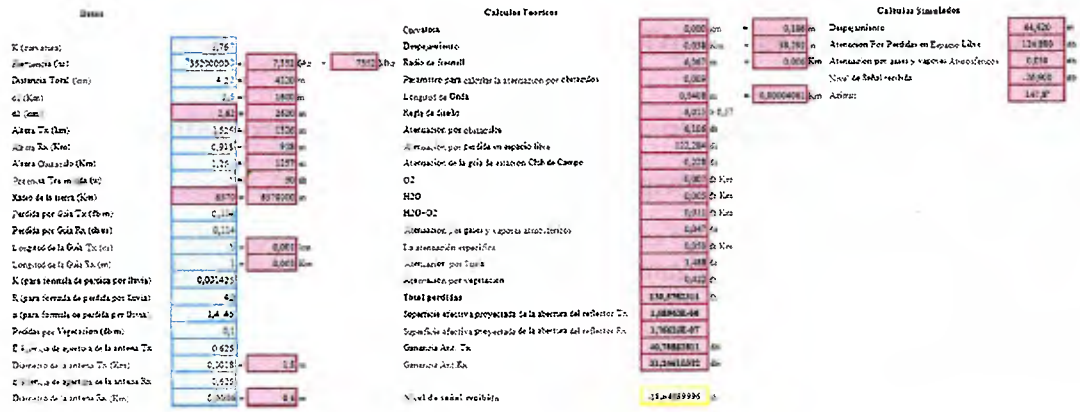


Tabla 9. Enlace Punto a Punto EL JUNQUITO/Antimano F= 7,352 GHz

Fuente: Propia

A.2. Enlace LAS MERCEDES-El JUNQUITO

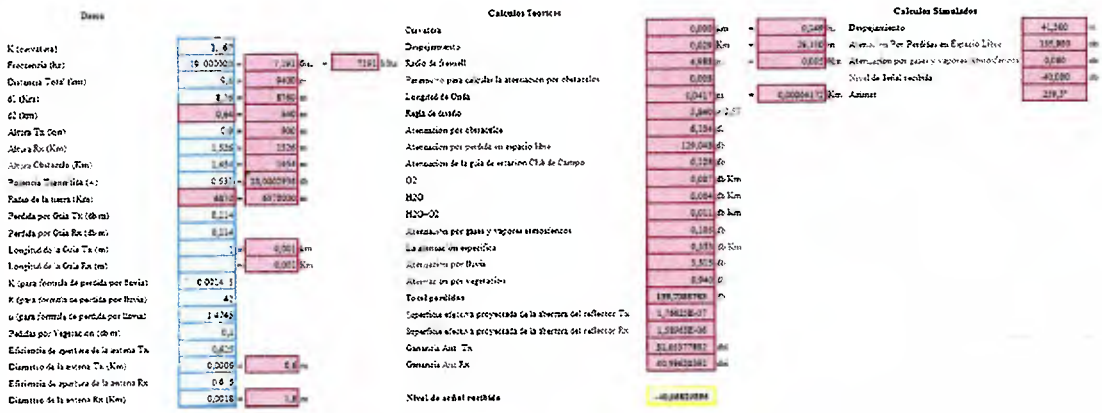


Tabla 10. Enlace Punto a Punto Mercedes/EL JUNQUITO F= 7,191 GHz

Fuente: Propia

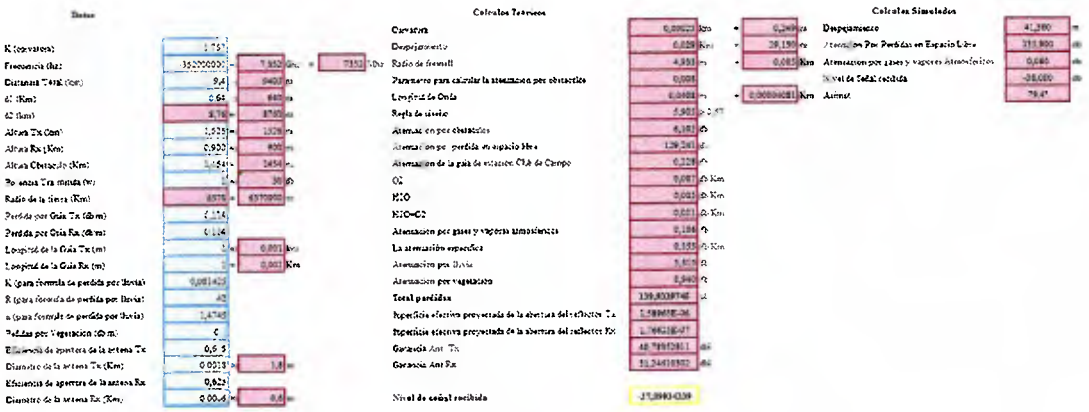


Tabla 11. Enlace Punto a Punto EL JUNQUITO/Mercedes F= 7,352 GHz

Fuente: Propia

A.3. Enlace UCV-El JUNQUITO

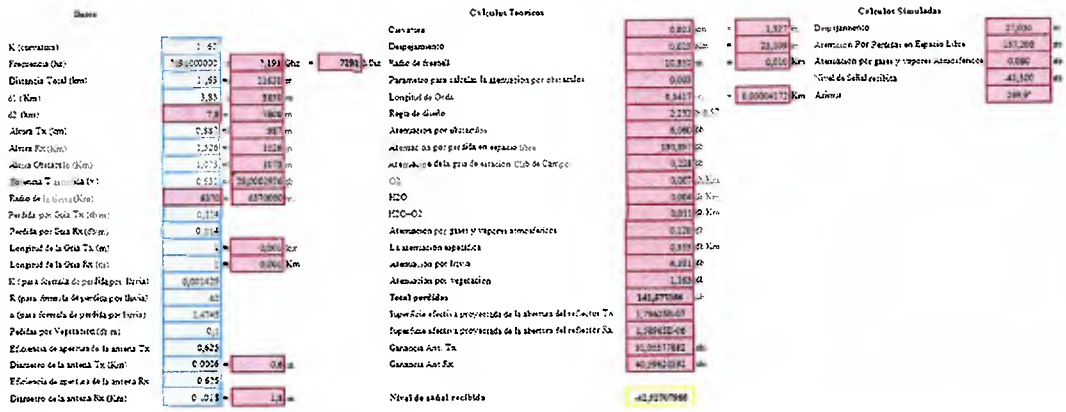


Tabla 12. Enlace Punto a Punto UCV/EL JUNQUITO F= 7,191 GHz

Fuente: Propia

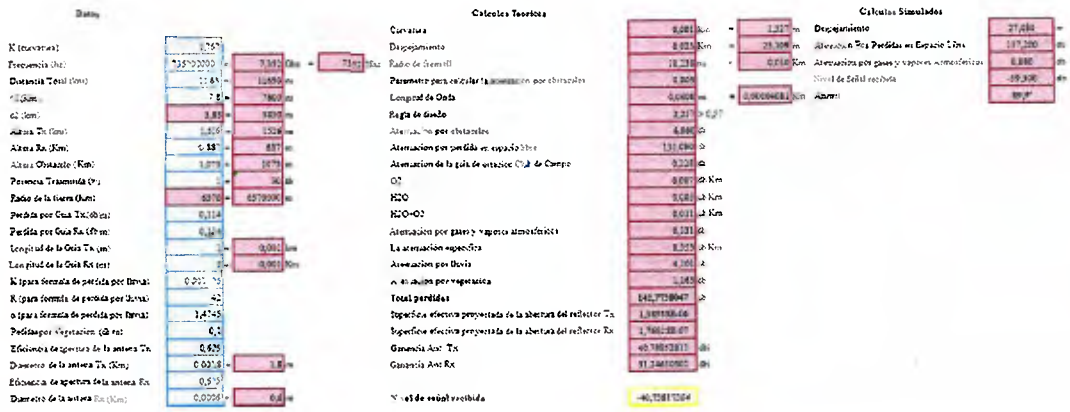


Tabla 13. Enlace Punto a Punto EL JUNQUITO/UCV F= 7,352 GHz

Fuente: Propia

A.4. Enlace PARQUE DEL ESTE-El JUNQUITO

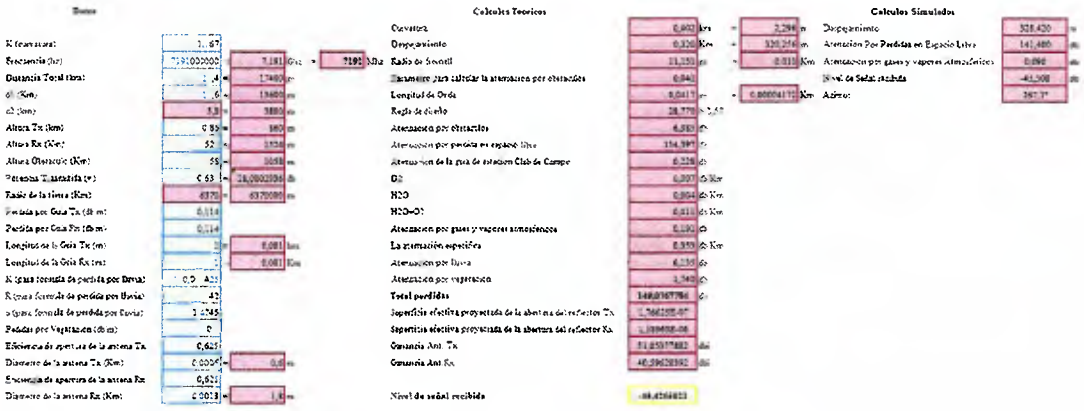


Tabla 14. Enlace Punto a Punto Parque del Este/EL JUNQUITO F= 7,191 GHz

Fuente: Propia

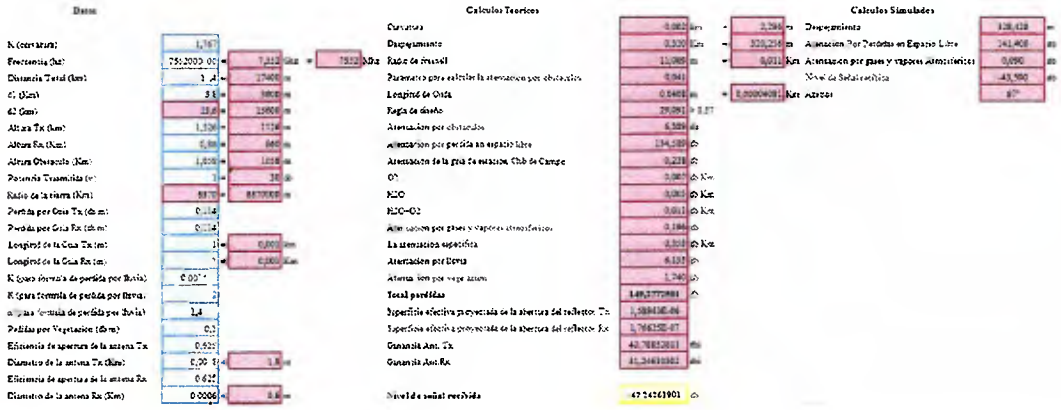


Tabla 15. Enlace Punto a Punto EL JUNQUITO/Parque del Este F= 7,352 GHz

Fuente: Propia

A.5. Enlace PETARE-El JUNQUITO

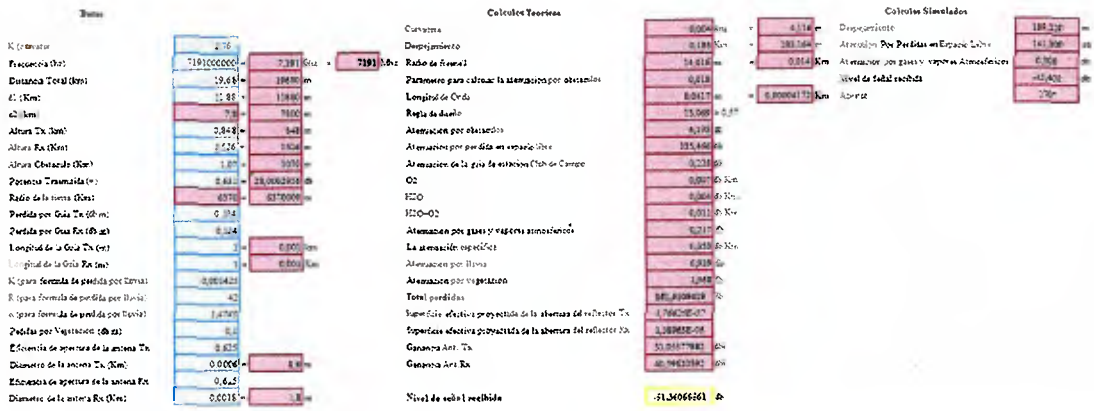


Tabla 16. Enlace Punto a Punto Petare/EL JUNQUITO F= 7,191 GHz

Fuente: Propia

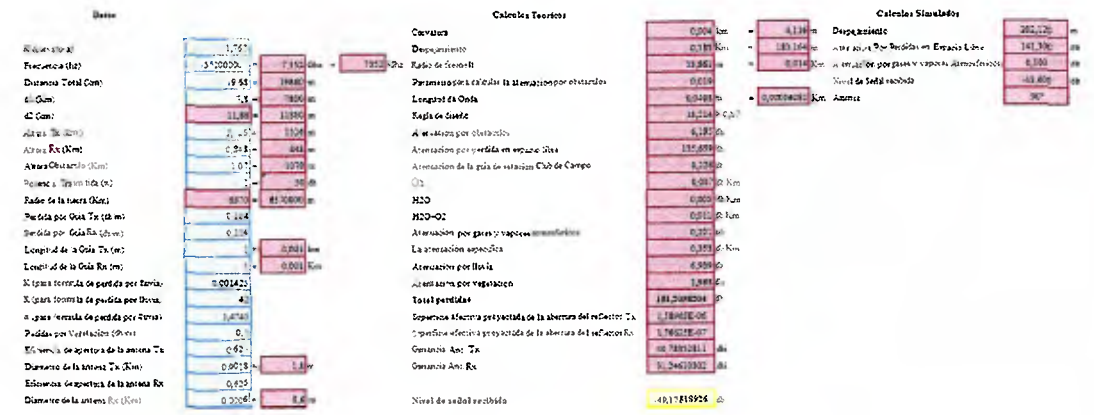


Tabla 17. Enlace Punto a Punto EL JUNQUITO/Petare F= 7,352 GHz

Fuente: Propia

Apéndice B. Simulaciones

B.1. Enlace Punto a Punto entre las estaciones GLOBOVISION y EL JUNQUITO

Para la frecuencia de 7,205 GHz

Nivel de señal recibida

Nivel Rx=-27,3dBm

Figura 40. Nivel de señal recibida enlace GLOBOVISION/EL JUNQUITO F= 7,205 GHz

Fuente: Propia

Depejamiento

Figura 41. Calculo de Despejamiento enlace punto a punto GLOBOVISION/EL JUNQUITO F=7,205 Ghz

Fuente: Propia

Atenuación

Pérdidas de Espacio Libre (dB) 132.51

Figura 42. Calculo de Atenuaciones enlace punto a punto GLOBOVISION/EL JUNQUITO F=7,205 Ghz

Fuente: Propia

Zona de Fresnel

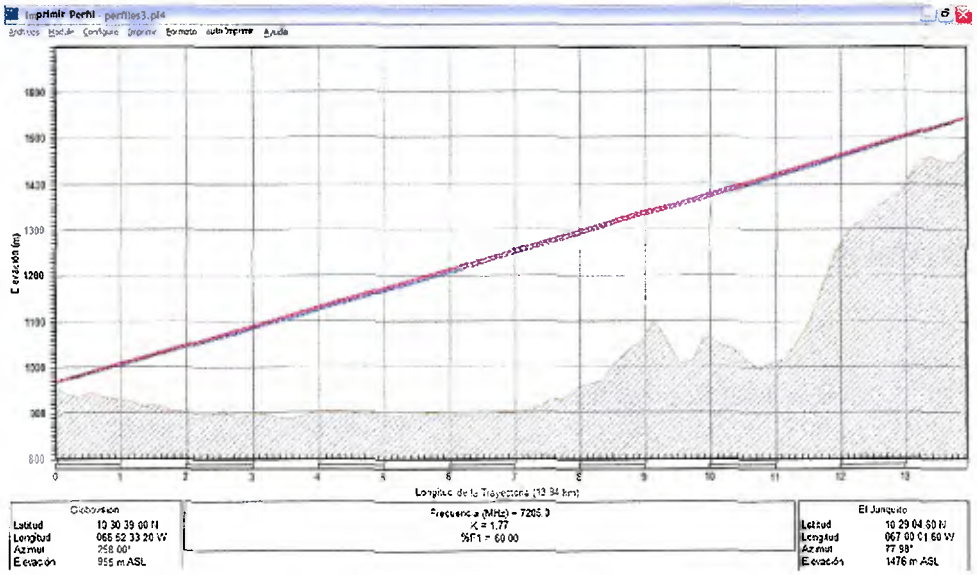


Figura 43. Zona de Fresnel enlace punto a punto GLOBOVISION/EL JUNQUITO F=7,205 Ghz

Fuente: Propia

Para la frecuencia de 7,366 GHz

Nivel de señal recibida

Nivel Rx=-27,3dBm

Figura 44. Nivel de señal recibida enlace EL JUNQUITO/GLOBOVISION F= 7,366 GHz

Fuente: Propia

Depejamiento

Figura 45. Calculo de Despejamiento enlace punto a punto EL JUNQUITO/GLOBOVISION F=7,366 Ghz

Fuente: Propia

Atenuación

Pérdidas de Espacio Libre (dB) 132.70

Figura 46. Calculo de Atenuaciones enlace punto a punto EL JUNQUITO/GLOBOVISION F=7,366 Ghz

Fuente: Propia

Zona de Fresnel

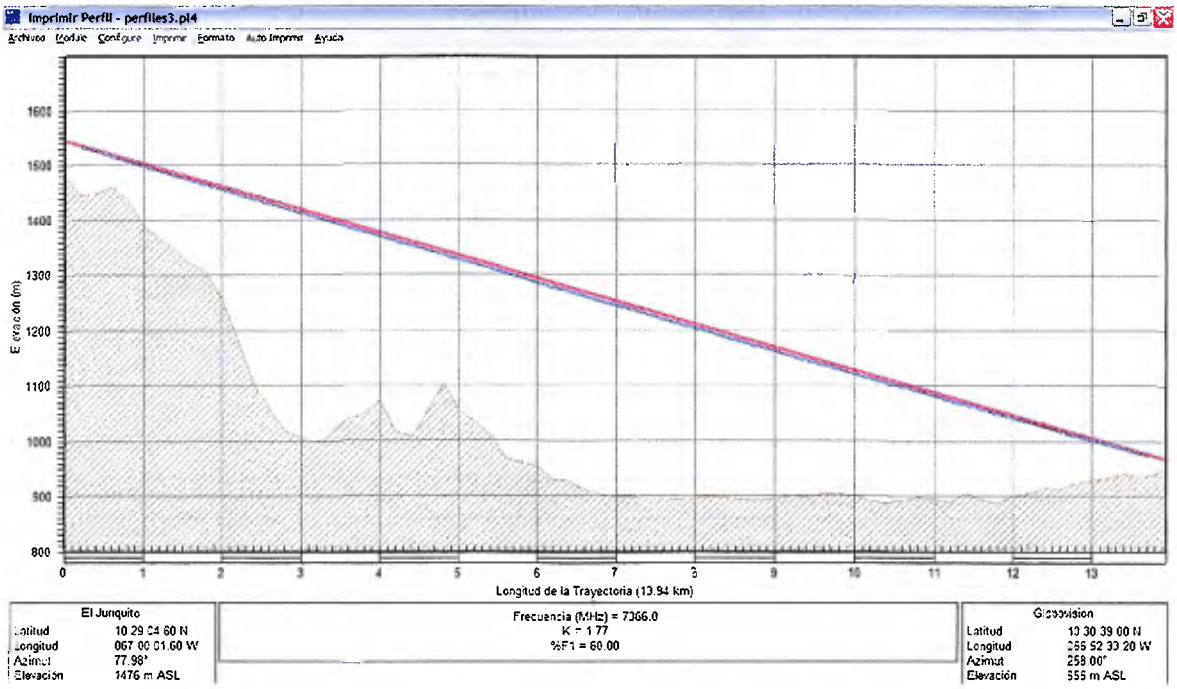


Figura 47. Zona de Fresnel enlace punto a punto EL JUNQUITO/GLOBOVISION F=7,366 Ghz

Fuente: Propia

B.2. EL JUNQUITO/Antimano

Para la frecuencia de 7,191 GHz

Nivel de señal recibida

Nivel Rx=-28,8dBm

Figura 48. Nivel de señal recibida enlace punto a punto ANTIMANO/EL JUNQUITO F= 7,191 GHz

Fuente: Propia

Despejamiento

Figura 49. Calculo de Despejamiento ANTIMANO/EL JUNQUITO F=7,191 Ghz

Fuente: Propia

Atenuación

Pérdidas=124,7dB

Figura 50. Calculo de Atenuaciones ANTIMANO/EL JUNQUITO F=7,191 GHz

Fuente: Propia

Zona de Fresnel

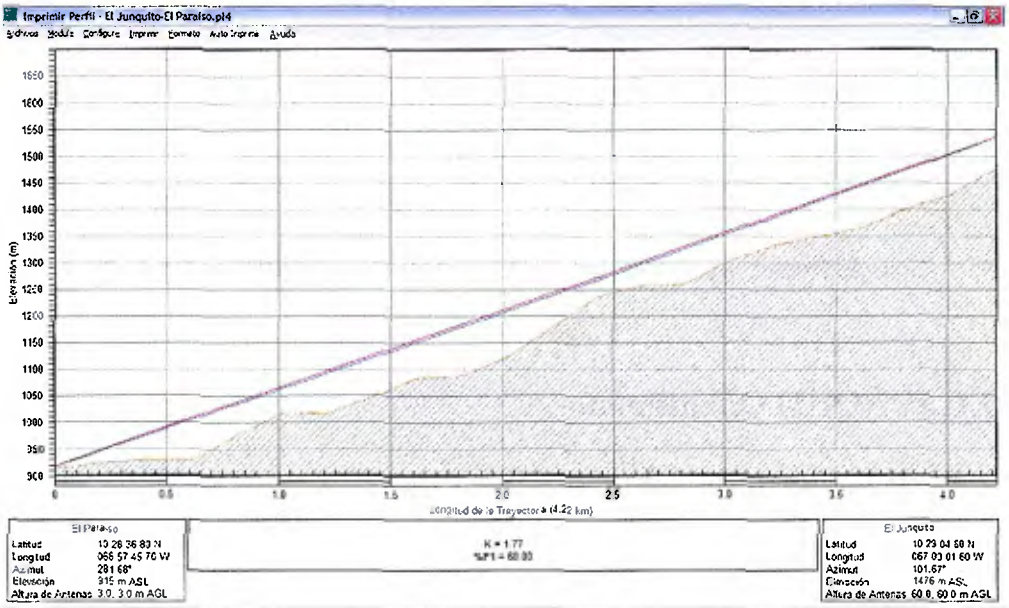


Figura 51. Zona de Fresnel ANTIMANO/EL JUNQUITO F=7,191 Ghz

Fuente: Propia

Para la frecuencia de 7,352 GHz

Nivel de señal recibida

Nivel Rx=-26,8dBm

Figura 52. Nivel de señal recibida enlace punto a punto EL JUNQUITO/ANTIMANO F= 7,352 GHz

Fuente: Propia

Depejamiento

Figura 53. Calculo de Despejamiento EL JUNQUITO/ANTIMANO F=7,352 Ghz

Fuente: Propia

Atenuación

Pérdidas=124,7dB

Figura 54. Calculo de Atenuaciones EL JUNQUITO/ANTIMANO F=7,352 Ghz

Fuente: Propia

Zona de Fresnel

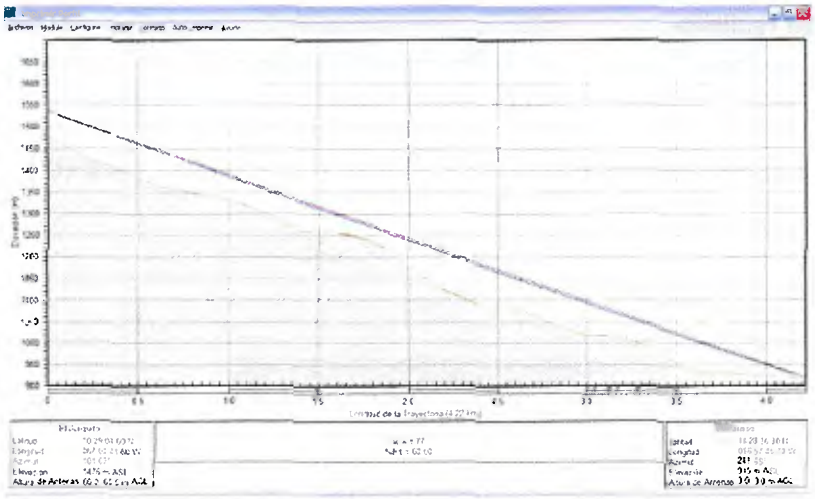


Figura 55. Zona de Fresnel EL JUNQUITO/ANTIMANO F=7,352 Ghz

Fuente: Propia

B.3. EL JUNQUITO/Las Mercedes

Para la frecuencia de 7,191 GHz

Nivel de señal recibida

Nivel Rx=-38,9dBm

Figura 56. Nivel de señal recibida enlace punto a punto las Mercedes/EL JUNQUITO F= 7,191 GHz

Fuente: Propia

Depejamiento

Figura 57. Calculo de Despejamiento las Mercedes/EL JUNQUITO F=7,191 Ghz

Fuente: Propia

Atenuación

Pérdidas=134,8dB

Figura 58. Calculo de Atenuaciones Las Merecedes/EL JUNQUITO F=7,191 Ghz

Fuente: Propia

Zona de Fresnel

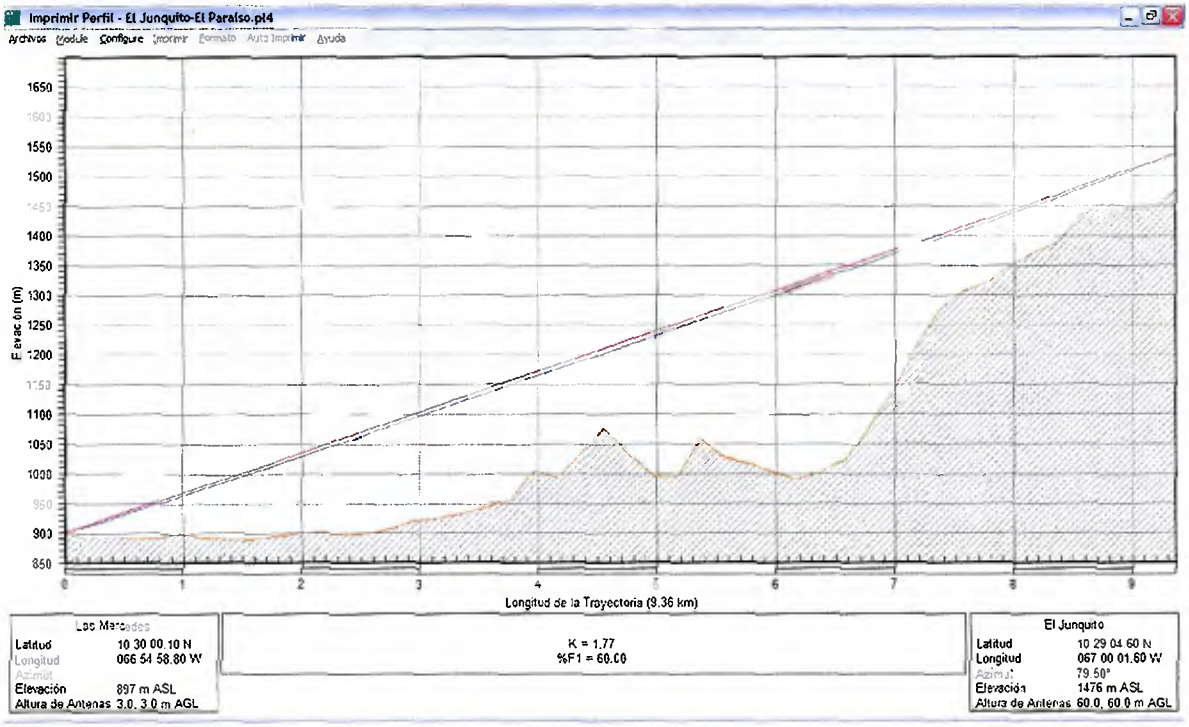


Figura 59. Zona de Fresnel Las Mercedes/EL JUNQUITO F=7,191 Ghz

Fuente: Propia

Para la frecuencia de 7,352 GHz

Nivel de señal recibida

Nivel Rx=-36,9dBm

Figura 60. Nivel de señal recibida enlace punto a punto EL JUNQUITO/ Las Mercedes F= 7,205 GHz

Fuente: Propia

Depejamiento

Figura 61. Calculo de Despejamiento EL JUNQUITO/ las Mercedes F=7,352 Ghz

Fuente: Propia

Atenuación

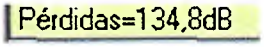


Figura 62. Calculo de Atenuaciones EL JUNQUITO/ Las Merecedes F=7,352 Ghz

Fuente: Propia

Zona de Fresnel

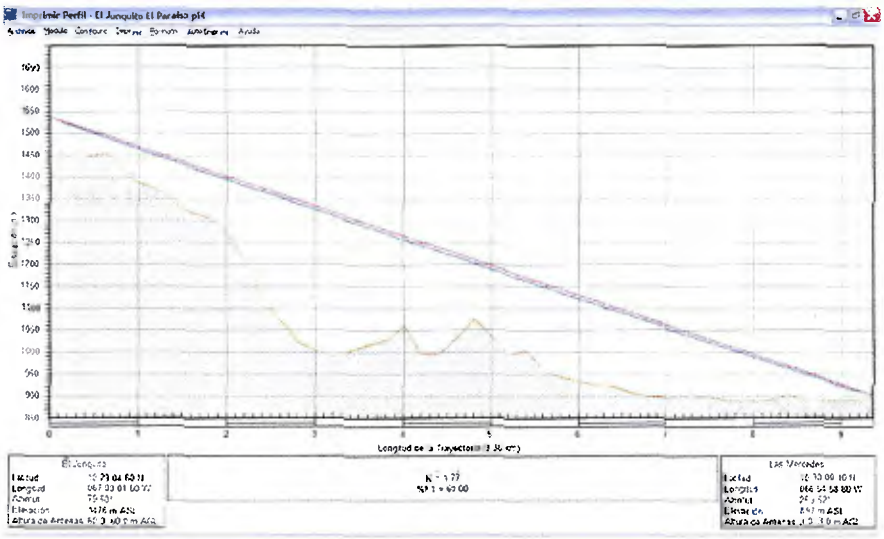


Figura 63. Zona de Fresnel enlace Punto a multipunto EL JUNQUITO/ Las Mercedes F=7,352 Ghz

Fuente: Propia

B.4. EL JUNQUITO/UCV

Para la frecuencia de 7,191 GHz

Nivel de señal recibida

Nivel Rx=-41,4dBm

Figura 64. Nivel de señal recibida enlace punto a punto UCV/EL JUNQUITOF= 7,191 GHz

Fuente: Propia

Depejamiento

Figura 65. Calculo de Despejamiento UCV /EL JUNQUITO F=4,191 Ghz

Fuente: Propia

Atenuación

Pérdidas=137,3dB

Figura 66. Calculo de Atenuaciones UCV /EL JUNQUITO F=7,191 Ghz

Fuente: Propia

Zona de Fresnel

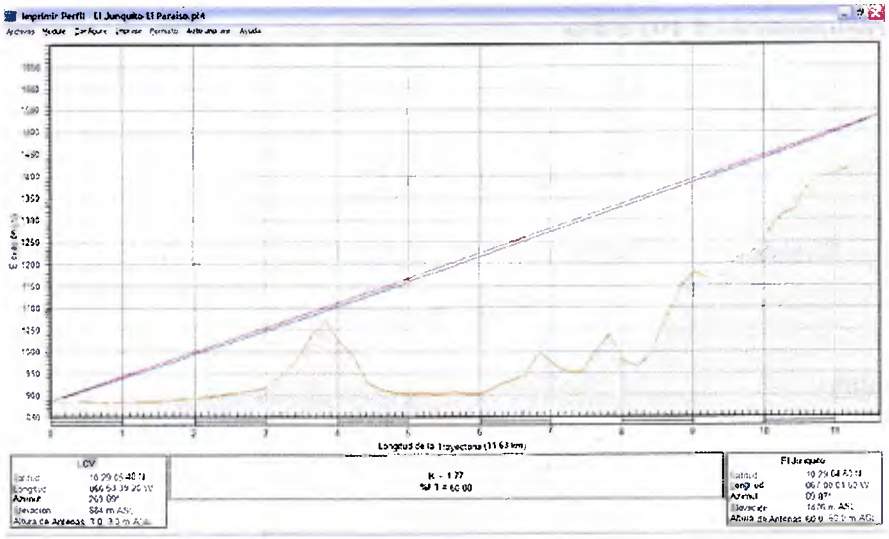


Figura 67. Zona de Fresnel UCV /EL JUNQUITO F=7,191 Ghz

Fuente: Propia

Para la frecuencia de 7,352 GHz

Nivel de señal recibida

Nivel Rx=-39,4dBm

Figura 68. Nivel de señal recibida enlace punto a punto EL JUNQUITO/UCVF= 7,352 GHz

Fuente: Propia

Depejamiento

Figura 69. Calculo de Despejamiento EL JUNQUITO/ UCV F=7,352 Ghz

Fuente: Propia

Atenuación

Pérdidas=137.3dB

Figura 70. Calculo de Atenuaciones EL JUNQUITO/ UCV F=7,352 Ghz

Fuente: Propia

Zona de Fresnel

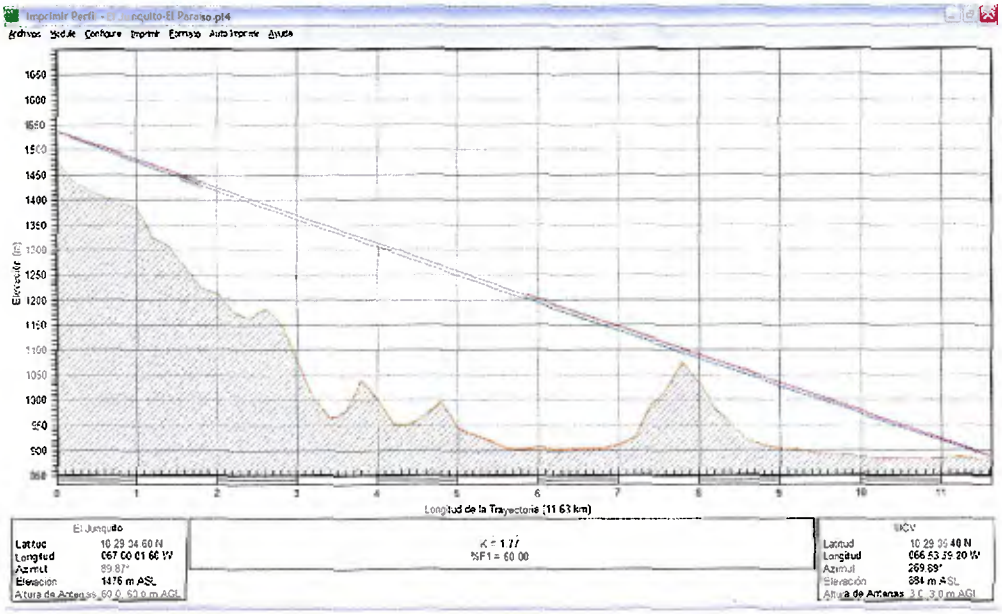


Figura 71. Zona de Fresnel EL JUNQUITO/ UCV F=7,352 Ghz

Fuente: Propia

B.5. EL JUNQUITO/PARQUE DEL ESTE

Para la frecuencia de 7,191 GHz

Nivel de señal recibida

Nivel Rx=-44,0dBm

Figura 72. Nivel de señal recibida enlace punto a punto PARQUE DEL ESTE/EL JUNQUITO F= 7,191 GHz

Fuente: Propia

Despejamiento

Figura 73. Calculo de Despejamiento Parque del Este /El Junquito F= 7,191 Ghz

Fuente: Propia

Atenuación

Pérdidas=139.9dB

Figura 74. Calculo de Atenuaciones Parque del Este /El Junquito F= 7,191 Ghz

Fuente: Propia

Zona de Fresnel

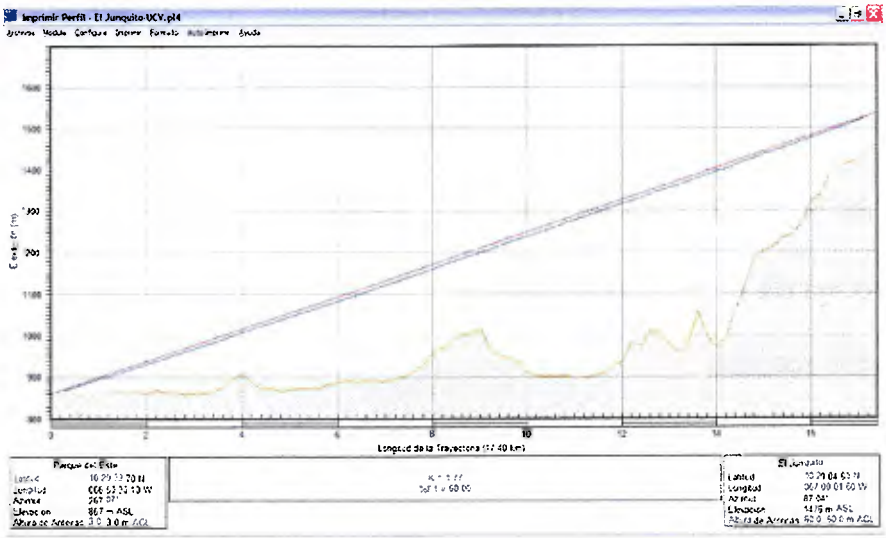


Figura 75. Zona de Fresnel Parque del Este /El Junquito F=7,191 Ghz

Fuente: Propia

Para la frecuencia de 7,352 GHz

Nivel de señal recibida

Nivel Rx=-42,0dBm

Figura 76. Nivel de señal recibida enlace punto a punto EL JUNQUITO/PARQUE DEL ESTE F= 7,352 GHz

Fuente: Propia

Despejamiento

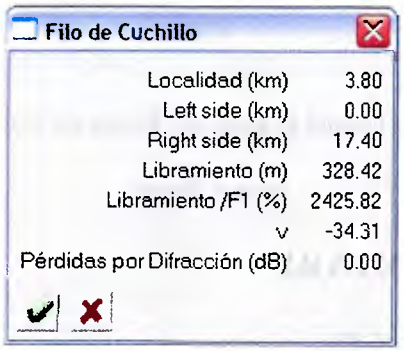


Figura 77. Calculo de Despejamiento El Junquito/ Parque del Este F=7,352 Ghz

Fuente: Propia

Atenuación

Pérdidas=139,9dB

Figura 78. Calculo de Atenuaciones El Junquito/ Parque del Este F=7,352 Ghz

Fuente: Propia

Zona de Fresnel

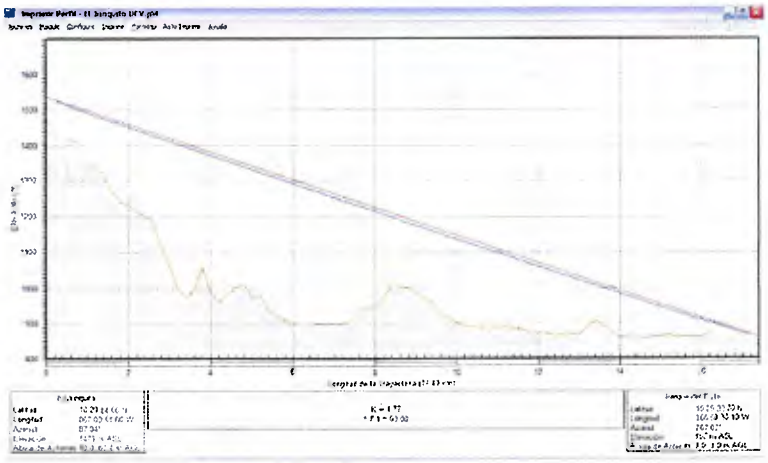


Figura 79. Zona de Fresnel El Junquito/ Parque del Este F=7,352 Ghz

Fuente: Propia

B.6. EL JUNQUITO/PETARE

Para la frecuencia de 7,191 GHz

Nivel de señal recibida

Nivel Rx=-45,1dBm

Figura 80. Nivel de señal recibida enlace punto a punto PETARE/EL JUNQUITO F= 7,191 GHz

Fuente: Propia

Despejamiento

Figura 81. Calculo de Despejamiento Petare/El Junquito F=7,191 Ghz

Fuente: Propia

Despejamiento

Figura 85. Calculo de Despejamiento El Junquito/ Petare F=7,352 Ghz

Fuente: Propia

Atenuación

Pérdidas=141,0dB

Figura 86. Calculo de Atenuaciones El Junquito/ Petare F=7,352 Ghz

Fuente: Propia

Zona de Fresnel

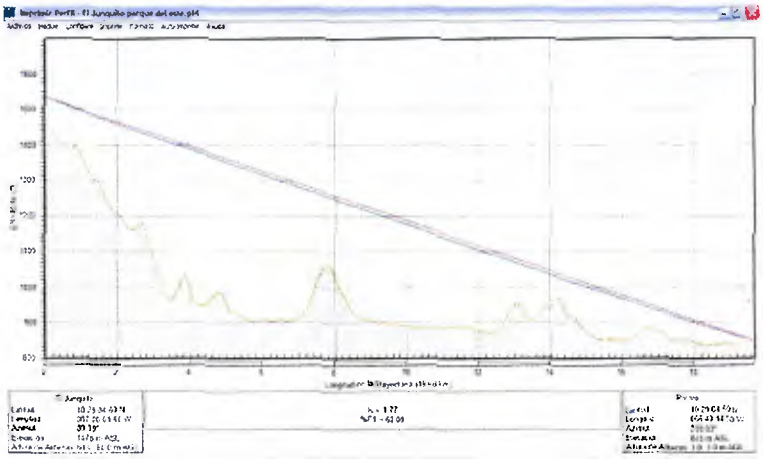


Figura 87. Zona de Fresnel El Junquito/ Petare F=7,352 Ghz

Fuente: Propia