

Área de Conocimiento de Tecnología de la
Información y Comunicación

“DISEÑO DE UN SISTEMA DE RADIOCOMUNICACIONES PARA PROVEER EL SERVICIO DE DATOS EN RESIDENCIAL VALLE VERDE, DEPARTAMENTO DE MANAGUA”.

**Trabajo Monográfico para optar al título de
Ingeniero en Electrónica**

Elaborado por:

Tutor:

Br. José Roberto
Zamora Zepeda
Carnet: 2008-23637

Br. Carlos Lenny
Alemán Rojas
Carnet: 93-11075-7

MSc. Ing. Cedrick
Elksnherr Dalla-
Torre Parrales



Área de Conocimiento de
Tecnología de la Información
y Comunicación

Managua, 3 de julio del 2024

Msc. Ing. Claudia Benavidez
Directora Área del Conocimiento TIC
Su Despacho

Estimada Ing. Benavidez, reciba cordiales saludos de mi parte y los mejores deseos de éxitos en el desarrollo de sus funciones.

A través de la presente solicito de sus buenos oficios para la gestión de la defensa del trabajo de monografía con título:

“DISEÑO DE UN SISTEMA DE RADIOCOMUNICACIONES PARA PROVEER EL SERVICIO DE DATOS EN RESIDENCIAL VALLE VERDE. DEPARTAMENTO DE MANAGUA”

Misma que fue desarrollada por: José Roberto Zamora Zepeda, carnet: 2008-23637; Carlos Lenny Alemán Rojas, carnet: 93-11075-7. Para obtener el título de Ingeniero en Electrónica, y de la cual he sido el tutor.

Considerando por concluido la realización del trabajo monográfico se solicita la fecha de realización de la defensa.

Adjunto tres documentos del trabajo monográfico, para los miembros del jurado.

Sin más a hacer referencia me despido reiterándole mis saludos.

Cordialmente,

Cedrick Elksnherr Dalla-Torre Parrales
Docente FEC
Tutor

C/c. Archivo



Decanatura | FEC

Universidad Nacional de Ingeniería
Recinto Universitario "Simón Bolívar"
Facultad de Electrotecnia y Computación
Decanatura
DF-04-2023-18

Managua, 20 de abril del 2023.

Bachilleres.

José Roberto Zamora Zepeda 2008-23637.

Carlos Lenny Alemán Rojas 93-11075-7.

Egresados de la Carrera de Ingeniería Electrónica.

Estimados Bachilleres:

El suscrito Decano de la Facultad de Electrotecnia y Computación, a través de la presente autoriza de manera formal la inscripción de la Monografía Titulada **"DISEÑO DE UN SISTEMA DE RADIOCOMUNICACIONES PARA PROVEER EL SERVICIO DE DATOS EN RESIDENCIAL VALLE VERDE. DEPARTAMENTO DE MANAGUA"**. Para optar al Título de Ingeniero en Electrónico, para tal efecto se nombra como Tutor de la Monografía al **Msc. Cedrick Dalla-Torre**.

Así mismo le solicito proceda a la **Inscripción de dicho Tema Monográfico** en secretaria Académica de la facultad, con la finalidad de darle control y seguimiento, de acuerdo a los reglamentos establecidos.

Se les recuerda que, según la normativa para los trabajos monográficos, a partir de la fecha de inscripción tiene 12 meses para defender dicho trabajo.

Sin más a que referirme y deseándoles mucho éxito en la culminación de esta etapa, me despido.

Atentamente,



Ing. Augusto César Palacios Rodríguez
Decano FEC

C/c: Ing. María Lourdes Montes.
Ing. Marlon Robleto.
Msc. Cedrick Dalla-Torre
Archivo.

Secretaria Académica.
Jefe de Dpto. de Sistemas Digitales y Telecomunicaciones.
Tutor.

☎ Teléfono: (505) 2270 5126

📍 Recinto Universitario Simón Bolívar
Avenida Universitaria.
Managua, Nicaragua.
Apdo: 5595

✉ augusto.palacios@fec.uni.edu.ni
www.fec.uni.edu.ni



Área de Conocimiento de
Tecnología de la Información
y Comunicación
SECRETARÍA DE ÁREA ACADÉMICA

F-8: CARTA DE FINALIZADO PLAN DE ASIGNATURA

El Suscrito Secretario del **ÁREA DEL CONOCIMIENTO DE TECNOLOGÍA DE LA INFORMACIÓN Y COMUNICACIÓN** hace constar que:

ZAMORA ZEPEDA JOSÉ ROBERTO

Carné: **2008-23637** Turno: **Diurno** Plan de Asignatura: **97** de conformidad con el Reglamento Académico vigente en la Universidad, ha aprobado todas las asignaturas correspondientes a la carrera de **INGENIERÍA ELECTRÓNICA**, en el año 2016 y solo tiene pendiente la realización de una de las formas de culminación de estudio.

Se extiende la presente **CARTA DE FINALIZADO PLAN DE ASIGNATURA**, a solicitud del interesado en la ciudad de Managua, a los tres días del mes de julio del año dos mil veinte y cuatro.

Atentamente,



Ing. Cedrick Elksnherr Dallarre Parrales
SECRETARIO DE ÁREA ACADÉMICA



Teléfono: (505) 2270 0723



Recinto Universitario Simón Bolívar
Avenida Universitaria.
Managua, Nicaragua.
Apdo: 5595



Área de Conocimiento de
Tecnología de la Información
y Comunicación

SECRETARIA DE ÁREA ACADÉMICA

F-8: CARTA DE FINALIZADO PLAN DE ASIGNATURA

El Suscrito Secretario del **ÁREA DEL CONOCIMIENTO DE TECNOLOGÍA DE LA INFORMACIÓN Y COMUNICACIÓN** hace constar que:

ALEMAN ROJAS CARLOS LENNY

Carné: **93-11075-7** Turno: **Diurno** Plan de Asignatura: **UNICO** de conformidad con el Reglamento Académico vigente en la Universidad, ha aprobado todas las asignaturas correspondientes a la carrera de **INGENIERÍA ELECTRÓNICA**, en el año 2000 y solo tiene pendiente la realización de una de las formas de culminación de estudio.

Se extiende la presente **CARTA DE FINALIZADO PLAN DE ASIGNATURA**, a solicitud del interesado en la ciudad de Managua, a los tres días del mes de julio del año dos mil veinte y cuatro.

Atentamente,



Ing. Cedrick Elksnherr Dalla Torre Parrales
SECRETARIO DE ÁREA ACADÉMICA



Teléfono: (505) 2270 0723



Recinto Universitario Simón Bolívar
Avenida Universitaria.
Managua, Nicaragua.
Apdo: 5595



cedrick.dallatorre@fec.uni.edu.ni
www.fec.uni.edu.ni

DEDICATORIA.

Dedico y doy gracias de este trabajo a Dios primeramente por guiarme y brindarme la sabiduría, a mis padres, Roberto Zamora y Mónica Zepeda por ser mi pilar de apoyo en todo momento y por su amor incondicional, a mis hermanos mayores Daniel Rivas y Aura Zamora que a través de sus consejos formaron parte importante de mi crecimiento personal, por último quisiera agradecer a todos los profesores que me brindaron el pan del saber en lo que fue mi formación académica, por su dedicación y loable labor reúno mi admiración y agradecimiento por ayudarme a culminar esta de las muchas metas que quiero alcanzar a nivel de estudios superiores.

José Roberto Zamora Zepeda.

Agradezco al Creador por permitirme llegar hasta la actual etapa del presente trabajo, a pesar de las dificultades surgidas durante su desarrollo, sin la voluntad de Dios no hubiera sido posible la elaboración y culminación del mismo, agradezco a mis padres por su constante e incondicional apoyo en cada una de las etapas de mis años de estudio llegando a ser una de las motivaciones para seguir adelante, agradezco a los nuevos compañeros y amigos que conocí durante el desarrollo del presente trabajo sobre todo porque tuvieron la disposición y tiempo de colaborarme, al profesor Msc. Ing. Cedrick Dalla-Torre Parrales quien además de transmitirnos sus conocimientos, en lo personal, considero que sus reflexiones y consejos para nosotros en momentos difíciles sin duda alguna nos animan a continuar y no desistir.

Carlos Lenny Alemán Rojas.

RESUMEN.

En el presente trabajo monográfico se abordan aspectos técnicos que permiten aportar acerca de las consideraciones para el diseño de un sistema de comunicación a través de radioenlace que permita proveer los servicios de internet desde la comarca de Sabana Grande hasta Residencial Valle Verde debido a que en la actualidad en la zona del residencial no se cuenta con una buena infraestructura por parte de los proveedores de servicios de internet.

Para tales propósitos se realiza el análisis de parámetros técnicos, geográficos y climatológicos que permitan obtener óptimos resultados de acuerdo al análisis teórico para así garantizar la mejor comunicación en cuanto a propagación y transmisión de señal entre los sitios indicados.

A través del uso de software como Google Earth Pro, Radio Mobile, UISP Design Center (Software en línea para equipos de Ubiquiti Networks) y RADWIN Link Budget Calculator (Software planner en línea para cálculos de equipos del portafolio RADWIN 2000), se efectúan las simulaciones correspondientes a los sistemas de radiocomunicación por medio de los cuales se pueden conocer y a la vez verificar los valores obtenidos en los análisis para los diferentes parámetros, de modo que se obtenga un diseño satisfactorio que permita el cumplimiento de los valores previamente calculados.

Ventajas y Desventajas de los Radioenlaces.

Al tratarse de un sistema de red inalámbrico, el cual casi no hace uso de cables se pueden describir las principales ventajas y desventajas que presenta este tipo de sistemas.

Ventajas.

- ❖ Resulta ser la opción más viable cuando se tienen condiciones topográficas adversas, tales como zonas aisladas.
- ❖ Por sus características ofrece mayor facilidad de instalación.
- ❖ Se requiere de una infraestructura significativamente menor si se le compara con la instalación de una infraestructura de red cableada.
- ❖ En cuanto a requerimientos de ampliaciones, el sistema de radioenlace ofrece la posibilidad de ser expandido mediante la incorporación de nuevos equipos.
- ❖ Mediante un ancho de banda de gran capacidad de transmisión de datos se pueden dar respuesta a las aplicaciones de gran demanda.
- ❖ Ofrecen altos niveles de fiabilidad y requieren menores tiempos de mantenimiento en comparación con otro tipo de tecnología.

Desventajas.

- ❖ En los radioenlaces se debe de garantizar trayectorias con línea de vista, en caso contrario se tendrán afectaciones por obstrucciones.
- ❖ En los sitios de instalación de los sistemas de radioenlaces, los cuales en la mayoría de los casos son de difícil acceso, deben procurarse condiciones estables de suministro de energía eléctrica, así como condiciones mínimas para el alojamiento de equipos tipo ODU e IDU.
- ❖ Pueden producirse desviaciones de la señal como resultado de desvanecimientos intensos provocados por condiciones atmosféricas severas.
- ❖ La implementación de antenas sectoriales implica un costo mayor con respecto a las antenas omnidireccionales o las antenas direccionales, para poder delimitar lo mejor posible las zonas de cobertura y así evitar interferencias.

ÍNDICE DE CONTENIDO

I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. ANTECEDENTES.....	2
III. JUSTIFICACIÓN.....	5
IV. OBJETIVOS.....	6
4.1 Objetivo General:.....	6
4.2 Objetivos Específicos:	6
V. MARCO TEÓRICO.....	7
5.1 Ondas Electromagnéticas.....	7
5.2 Microondas.....	7
5.3 Elección de la Polarización.....	7
5.4 Propagación por Onda Espacial o Propagación por Línea Visual (LOS).....	8
5.5 Bandas de Frecuencia sin Licencia.....	8
5.6 Radioenlace Punto a Punto.....	9
5.7 Radioenlace Multipunto.....	9
5.8 Sistema MIMO.....	10
5.9 Dispositivos MIMO 2x2.....	10
5.10 Modulación de Amplitud en Cuadratura (QAM).....	10
5.11 Multiplexación por División de Frecuencias Ortogonales (OFDM).....	11
5.12 Sistema de Transmisión MIMO – OFDM.....	11
VI. Diseño Metodológico.....	11
6.1 Zona de Fresnel.....	11
6.1.2 Verificación de Condiciones de Libramiento.....	12
6.1.3 Altura del Despeje de la Primera Zona de Fresnel.....	13
6.2 Propagación y Pérdidas por Trayectoria en el Espacio Libre.....	13
6.3 Atenuación por Lluvia.....	14
6.4 Pérdidas del Equipo de Transmisión / Recepción (Miscelánea).....	16
6.5 Pérdidas Netas del Enlace.....	16
6.6 Pérdidas en la Potencia de Recepción.....	17
6.7 Margen de Desvanecimiento.....	17
6.8 Potencia Isótropa Radiada Equivalente (PIRE).....	18
6.9 Indisponibilidad y Confiabilidad del Enlace.....	19
6.10 Orientación de las Antenas; Azimut y Elevación.....	20

6.11 Ángulo del Azimut.....	21
6.12 Ángulo de Elevación.....	21
6.13 Realización de Cálculos Matemáticos.....	22
6.13.1 Consideraciones para el Cálculo del Radioenlace.....	22
6.13.2 Conversión a Radianes de Coordenadas en Punto A.....	24
6.13.3 Conversión a Radianes de Coordenadas en Punto B.....	24
6.14 Cálculo para el Radio de la Primera Zona de Fresnel Cuando el Obstáculo se Encuentra en el Centro.....	25
6.14.1 Cálculo del Máximo Radio en Metros de la 1 ^{ra} Zona de Fresnel Tomando en Consideración que el Obstáculo del Enlace se Encuentra en un Punto Central de la Trayectoria.....	26
6.14.2 Cálculo de la Altura de Despeje para la Primera Zona de Fresnel.....	26
6.14.3 Cálculo del Despeje de la Primera Zona de Fresnel.....	27
6.15 Cálculo de Pérdida por Trayectoria en el Espacio Libre.....	27
6.16 Cálculo de pérdidas del Equipo de Transmisión / Recepción (Miscelánea).....	27
6.17 Cálculo de Pérdidas Total.....	28
6.18 Cálculo de Pérdidas en la Potencia de Recepción.....	28
6.19 Cálculo del Margen de Desvanecimiento para el Radioenlace.....	28
6.20 Cálculo del Margen de Desvanecimiento Cuando se Conoce la Sensibilidad del Receptor.....	28
6.21 Cálculo de Indisponibilidad y Confiabilidad del Enlace.....	29
6.22 Cálculo de PIRE.....	30
6.23 Cálculo de Campo Eléctrico “E”.....	30
6.24 Cálculo de Orientación de las Antenas entre el Transmisor y el Receptor.....	31
6.25 Cálculo de Azimut para Orientación de las Antenas de Radioenlace PTP.....	32
6.26 Cálculo de Ángulo de Elevación.....	32
6.27 Cálculo de Altura de las Torres de Antenas.....	33
6.28 Cálculos para el Radioenlace Punto Multipunto.....	36
6.28.1 Coordenadas de Sitio Pozo de Agua SAVESA.....	36
6.28.2 Coordenadas de Sitio Cliente Modelo.....	36
6.29 Cálculo para el Radio de la 1 ^{ra} Zona de Fresnel Cuando el Obstaculo se Encuentra en el Centro.....	37
6.29.1 Cálculo del Máximo Radio en Metros de la 1 ^{ra} Zona de Fresnel, Tomando en Consideración el Obstáculo del Enlace se Encuentra en un Punto Distinto del Centro de la Trayectoria.....	37

6.29.2 Cálculo de la Altura de Despeje para la 1 ^{ra} Zona de Fresnel.....	37
6.29.3 Cálculo del Despeje de la Primera Zona de Fresnel.....	38
6.30 Cálculo de Pérdida por Trayectoria en el Espacio Libre.	38
6.31 Cálculo de las Pérdidas por Propagación.	38
6.32 Cálculo de Pérdidas del Equipo de Transmisión / Recepción (Miscelánea).....	38
6.33 Cálculo de Pérdidas Total.....	39
6.34 Cálculo de Pérdidas en la Potencia de Recepción.	39
6.35 Cálculo del Margen de Desvanecimiento Cuando se Conoce la Sensibilidad del Receptor	39
6.36 Cálculo de Indisponibilidad y Confiabilidad del Enlace.	39
6.37 Cálculo de Campo Eléctrico “E”.....	40
6.37.1 Para Antena Sectorial.....	40
6.37.2 Para Antena Cliente Modelo.	40
6.38 Cálculo de Orientación de las Antenas entre Pozo de Agua SAVESA y Cliente Modelo.....	40
6.38.1 Cálculo del Azimut.	40
6.38.2 Cálculo de Azimut para Orientación de las Antenas de Radioenlace PTMP.....	41
6.38.3 Cálculo de Ángulo de Elevación.	41
6.39 Normativa de Ley en Nicaragua.	42
6.39.1 Normativos Jurídicos Legales de Nicaragua.....	42
6.39.2 Instalaciones Físicas para el Radioenlace de Acuerdo al Marco de Ley.....	42
6.39.3 Requisitos para el Permiso e Instalación de Estructuras de Soporte.....	43
6.40 Descripción de Software a Utilizar.	43
6.40.1 Google Earth Pro.	43
6.40.2 Radio Mobile.....	44
6.40.3 RADWIN Link Budget Calculator.	44
6.40.4 UISP Design Center.....	44
6.41 Simulaciones y Equipos.....	45
6.41.1 Equipos Considerados para el Diseño de los Radioenlaces.....	45
6.42 RADWIN.	49
6.43 Equipos de Ubiquiti Networks, Rocket Prism 5AC.....	49
6.43.1 LBE 5AC GEN2.	50
6.43.2 Antena Sectorial AM-5G16-120.	51

6.43.3 UISP Switch y UISP Router.	52
6.43.4 Simulaciones de los Radioenlaces.	53
6.44 RADWIN Link Budget Calculator “LBC”.	53
6.45 Radio Mobile.	55
6.45.1 Ubicación del Sitio de Radioenlace Troncal y Nodos Maestro y Esclavo.	56
6.45.2 Creación de Mapa en Radio Mobile.	56
6.45.3 Parámetros Longley-Rice.	57
6.45.4 Sistema de Radio.	57
6.45.5 Asociación de Unidad Taller Boza.	58
6.45.6 Topología de Red.	59
6.45.7 Resultados de Simulación Radio Mobile.	59
6.45.8 Representación del Perfil con RMPATH.	60
6.46 Google Earth Pro.	61
6.47 Simulación Punto a Multipunto con Radio Mobile.	62
6.47.1 Configuraciones de Propiedades de las Redes para Antena Sectorial.	62
6.47.2 Configuraciones de Propiedades de las Redes para Cliente Modelo.	64
6.48 Simulación con UISP.	68
6.48.1 Topología de Red del Sistema de Radioenlace desde PTP A PTMP.	71
6.49 Comparativa de Resultados Calculados y Resultados Obtenidos por Simulación.	74
6.50 Observaciones Finales del Diseño.	74
VII. CONCLUSIONES.	77
VIII. RECOMENDACIONES.	78
ANEXOS.	i
1. Encuesta para Determinar Servicios de Internet Existentes y Conformidad de los Residentes.	ii
2. Tipo de Encuesta a Realizar.	iii
2.1 Resultados de la Encuesta.	iv
3. Foto de los Sitios Propuestos.	v

ÍNDICE DE FIGURAS.

Figura 1. Representación de Onda Electromagnética en el Espacio.....	7
Figura 2. Polarización Vertical.....	8
Figura 3. Representación de un Radioenlace Punto a Punto.....	9
Figura 4. Representación de un Radioenlace Punto a Multipunto.....	9
Figura 5. Representación de MIMO 2X2.....	10
Figura 6. Representación Zonas de Fresnel en un Radioenlace.....	11
Figura 7. Despeje del 60 %, donde C1 debe ser Mayor o Igual que 0.6 de d1..	12
Figura 8. Atenuación Debida a la Lluvia.....	15
Figura 9. Identificación de la Zona de Lluvia para Nicaragua, UIT-P.837-1.....	15
Figura 10. Sistema de Coordenadas de Azimut y Elevación con Respecto al Plano.....	20
Figura 11. Representación de Angulo de Elevación.....	22
Figura 12. Perfil de Elevación del Radioenlace PTP con Google Earth Pro.....	25
Figura 13. Topología del diseño del Radioenlace Completo entre Comarca Sabana Grande y Residencial Valle Verde.....	48
Figura 14. Vista Frontal y Posterior del Equipo Modelo RW-2050-D100.....	49
Figura 15. Vista Frontal y Posterior del Equipo Rocket PRISM 5AC.....	50
Figura 16. Vista Frontal y Posterior del Equipo LBE 5AC.....	51
Figura 17. Vista Frontal y Posterior del Equipo AM-5G16-120.....	51
Figura 18. Especificaciones de Antena AM-5G16-120.....	52
Figura 19. Vista Frontal y Posterior del Equipo UISP-S Y UISP-R.....	53
Figura 20. Elección de Equipo y Llenado de Campo de Valores en LBC.....	53
Figura 21. Elección de Tipo de Clima, Tipo Difícil.....	54
Figura 22. Resultado de la Calculadora de Presupuesto del Enlace.....	54
Figura 23. Ubicaciones de los Sitios, Maestro y Esclavo.....	56
Figura 24. Proceso de Creación de Mapa.....	56
Figura 25. Cuadro de Dialogo Propiedades de las Redes.....	57
Figura 26. Cuadro de Dialogo para Definición del Sistema de Radio.....	58
Figura 27. Asociación de las Unidades, Taller Boza y Pozo SAVESA.....	58
Figura 28. Topología de la Red.....	59
Figura 29. Resultado de la Simulación del Radioenlace Punto a Punto.....	59
Figura 30. Representación de Zona de Fresnel con RMpath.....	61
Figura 31. Representación del enlace Punto a Punto con Google Earth Pro..	61

Figura 32. Representación de los Dos Puntos del Enlace Punto a Punto con Google EarthPro.....	61
Figura 33. Coordenadas de “Cliente Modelo” en Radio Mobile.....	62
Figura 34. Configuración de Parámetros para Antena Sectorial en Radio Mobile.	62
Figura 35. Configuración de Topología, de Antena Sectorial en Radio Mobile.....	63
Figura 36. Asignación de Rol de Miembro en el Sistema de Red para la Antena Sectorial.....	63
Figura 37. Configuración de Parámetros de Radio para la Antena Sectorial.....	63
Figura 38. Configuración de Parámetros para “Cliente Modelo”.....	64
Figura 39. Configuración de Topología de “Cliente Modelo”.....	65
Figura 40. Asignación de Rol de Miembro en el Sistema de Red para “Cliente Modelo”.....	65
Figura 41. Configuración de Parámetros de Radio para “Cliente Modelo”...65	
Figura 42. Simulación de Radioenlace con Respecto a la Antena Sectorial.....	66
Figura 43. Simulación de Radioenlace con Respecto a “Cliente Modelo” ...	67
Figura 44. Representación de 1 ^{er} Zona de Fresnel con RMPATH “Cliente Modelo”.....	67
Figura 45. Representación del AP en el Residencial Valle Verde.....	68
Figura 46. Representación de Conexión del AP y el “Cliente Modelo”.....	69
Figura 47. Espectro de Cobertura de Antena Sectorial.....	70
Figura 47. Representación de Conexión de Red a Equipo de Transmisor de PTP.....	71
Figura 48. Conexión de Cable de Red a Router y Redirigido hacia el Equipo de Radio del Transmisor.....	71
Figura 49. Representación del Enlace Final Punto a Punto al Receptor Pozo de agua SAVESA.....	72
Figura 50. Representación de Topología Final Punto Multi Punto.....	72
Figura 51. Representación del AP, con Línea de Vistas a Clientes con Google Earth Pro.....	73
Figura 52. Representación de “Cliente Modelo” con Vista hacia el AP.....	73
Figura 53. Encuesta Realizada a los Habitantes del Residencial Valle Verde.....	iii
Figura 54. Resultados Obtenidos a Pregunta Número 1 de Encuesta.....	iv
Figura 55. Resultados Obtenidos a Pregunta Número 2 de Encuesta.....	iv

Figura 56. Resultados Obtenidos a Pregunta Número 3 de Encuesta.....	iv
Figura 57. Resultados Obtenidos a Pregunta Número 4 de Encuesta.....	iv
Figura 58. Resultados Obtenidos a Pregunta Número 5 de Encuesta.....	v
Figura 59. Sitio Taller Boza, Sabana Grande.....	.v
Figura 60. Sitio Pozo de Agua SAVESA, Residencial Valle Verde.....	vi
Figura 61. Casas del Residencial Valle Verde.....	vi
Figura 62. Banner de Bienvenida al Residencial.....	vi

ÍNDICE DE TABLAS.

Tabla 1. Zonas Hidrometeorológicas, Intensidad de la Lluvia UIT-R P.837-1. ...	16
Tabla 2. Datos Obtenidos de la Inspección.	47
Tabla 3. Especificaciones del Modelo RW-2050-D100.....	49
Tabla 4. Especificaciones del Rocket PRISM 5AC.....	50
Tabla 5. Especificaciones del LBE 5AC.	51
Tabla 6. Especificaciones UISP-S Y UISP-R.....	52
Tabla 7. Comparativa de Resultados Obtenidos Calculados vs Simulados para Radioenlace PTP.....	74
Tabla 8. Comparativa de Resultados Obtenidos Calculados vs Simulados para Radioenlace PTMP.....	74
Tabla 9. Presupuesto Instalación de Torre de Transmisión Pozo de Agua SAVESA.	76
Tabla 10. Presupuesto de Equipamiento Radio y Antenas para los Radioenlaces.....	76
Tabla 11. Presupuesto de Accesorios, Renta y Acceso de Red para el Diseño del Radioenlaces.	77
Tabla 12. Inversión Total para el Diseño del Radioenlace.	77
Tabla 13. Correspondencia del Nivel de Confianza “Z” y el Coeficiente de Confianza.	ii

I. INTRODUCCIÓN.

En el presente trabajo se realiza el diseño de un radioenlace para el establecimiento de comunicaciones en el ámbito residencial, teniendo en consideración que en el sitio del proyecto en la actualidad no se dispone ampliamente de los servicios de internet por parte de las empresas de telecomunicaciones. El diseño del radioenlace implica el análisis de parámetros que permitan distinguir y seleccionar los valores más adecuados para la frecuencia de operación, equipos de radio, tipo de antenas, ganancia y altura de antenas, valoración de pérdidas producidas por elementos externos al sistema de forma que se obtenga al final un medio de transmisión con optima velocidad de transmisión y, por ende, rápido acceso a la información requerida por los usuarios. Tomando en cuenta la reciente instalación del residencial en la zona se contempla la realización de un diseño de radioenlaces que satisfaga dicha necesidad con el propósito de llevar el servicio de internet de manera inalámbrica a sus habitantes.

El presente proyecto constará con el diseño de un sistema de comunicación inalámbrico mediante radioenlace punto a punto en Residencial Valle Verde que utiliza el protocolo 802.11 ac (Wi-Fi), con frecuencia de operación de 5.8 GHz desde la comarca de Sabana Grande ubicada al “Este” del departamento de Managua hasta un sitio estratégico ubicado en el Residencial Valle Verde, siendo este último el punto de acceso a internet para una Red Punto Multipunto que brinde el servicio de internet a una determinada cantidad de usuarios. Los radioenlaces punto a punto son un sistema de conexiones entre dos terminales o antenas que utilizan ondas electromagnéticas para transmitir datos, estos pueden ser servicios de telefonía o servicio de conexión de datos (internet), se ubican generalmente en lugares donde no existen otras formas de servicio de internet, lugares de difícil acceso donde no se cuenta con cableado de fibra. Para la conexión de estos dos puntos se necesita de un transmisor de radio que envía una señal a través de una antena hacia un receptor ubicado en el punto donde se necesita llevar el enlace.

II. ANTECEDENTES

Se realizó una investigación y búsqueda en el centro de documentación monográfica de la Universidad Nacional de Ingeniería, así mismo como en el repositorio online institucional ribuni.uni.edu.ni, habiendo obtenido como resultado tres trabajos monográficos para optar al título de Ingeniero en Electrónica en los años 2018 – 2019, también se encontraron dos trabajos monográficos para optar al título de Ingeniero en Telecomunicaciones en los años 2017 y 2022.

Primer tema [1]. Septiembre, 2018, “Aplicación de técnicas de transmisión digital para el diseño de radioenlaces PTP en bandas libres utilizando la herramienta Pathloss 5. 0”. Presentando por Carlos Miguel Aburto Cruz y como tutor del presente trabajo de investigación, el Msc. Cedrick Dalla-Torre [1] Obteniendo los siguientes resultados:

En [1] se presenta un estudio técnico conciso, que contendrá: El sistema simulado en la herramienta de simulación antes descrita con diferentes gráficas de comportamiento para su análisis e interpretación. Para finalizar, con el desarrollo y culminación de este proyecto de fin de carrera, se interactuó con la herramienta de simulación para diseño de radioenlaces de transmisión, permitiendo al estudiante poder interactuar a través de la experimentación simulada con el entorno de este novedoso tipo de sistemas y no solo de modo teórico o conceptual, debido a que permite incrementar el nivel de comprensión y diseño de un radioenlace, muy necesarias en el mercado laboral actual.

Segundo tema [2]. Diciembre 2018 “DISEÑO DE UN SISTEMA DE RADIOCOMUNICACIONES PARA EL TRIANGULO MINERO EN LA RAAN DE NICARAGUA”. Presentado por Álvaro Javier Rocha Ulloa y Hazel Karina González Rodríguez y como tutor del presente trabajo de investigación, el Msc. Cedrick Dalla-Torre [2] Obteniendo los siguientes resultados:

En [2] se realizó un análisis para el diseño de un sistema de radiocomunicaciones en Bonanza y Rosita (parte del triángulo minero), no existe conexión entre Siuna-Bonanza, ni tampoco Siuna-Rosita, precisamente por el tipo de geografía, no hay cumplimiento de línea de vista, por lo que no hay libramiento de la primera y segunda zona de Fresnel, por ello únicamente se muestra el diseño del radioenlace Bonanza y Rosita, el cual servirá como propuesta para comunicarse entre estas dos zonas, en caso de situaciones de desastre. Este estudio se determinó las características y parámetros de ingeniería que se requerirían para su posible implementación.

Para la realización de los perfiles de transmisión de enlaces punto a punto, se utilizó la herramienta Pathloss 4.0, dicha herramienta tiene módulos con los cuáles se determinó la viabilidad de los radioenlaces entre Bonanza y Rosita. Además, se definieron parámetros como frecuencia, altura óptima de antena, tipo de antena y tipo de transmisor. [2]

Tercer tema [3]. 26 de julio de 2019 “Diseño de un Sistema de Radiocomunicaciones para brindar acceso a Internet a dos escuelas Santa Enriqueta y La Hammonia en los departamentos de Jinotega y Matagalpa”. Presentado por Luis Carlos Poveda Valdivia y como tutor del presente trabajo de investigación, el Ing. Carlos Ortega [3] Obteniendo los siguientes resultados:

En [3] se realizó un diseño ordenado de la red de transmisión y la red de datos en base a las mejores prácticas, para facilitar la adición de nuevos dispositivos, así como la prevención y la resolución de problemas. El proyecto concluyó con la elaboración de un Manual de Resolución de Problemas, diseñado para los usuarios finales: maestros y alumnos.

Cuarto tema [4]. Septiembre de 2022, el trabajo consiste en “Diseño de un sistema de radiocomunicación para proveer servicios de internet a Ciudad Residencial El Doral” elaborado por Carlos Rafael López Dávila y Guillermo Silvestre Martínez

Pulido, siendo el tutor del trabajo: Msc. Ing. Cedrick Dalla-Torre Parrales, obteniéndose el resultado siguiente:

En [4] se encuentra la condición de dificultad en cuanto al acceso de los servicios de internet disponibles en la zona específicamente de residencial Ciudad El Doral, debido a los altos costos que implica la instalación de una infraestructura cableada, ante lo cual se desarrolla el diseño y simulación de un enlace punto a punto para el enlace troncal entre la Gruta Xavier y residencial Ciudad El Doral, utilizando los software de simulación del proyecto y la determinación de los parámetros de transmisión el programa Radiomobile y Google Earth. Se realizaron simulaciones de enlaces multipunto para la cobertura del servicio de internet de la zona.

Quinto tema: [5]. Octubre de 2017, el trabajo consiste en “Implementación de enlace microondas como última milla de la red CLARO para disminuir la brecha de las comunicaciones en la comunidad San Pedro del Norte, Bocana de Paiwas, RAAS” elaborado por Eduardo Antonio Obando Jácamo, Fernando Josué Oviedo González y Guillermo Alejandro Zeledón Palacios, siendo el tutor del trabajo: Msc. Ing. Fernando Flores, obteniéndose el resultado siguiente:

En [5] se realiza el diseño de un radio enlace de microondas para el establecimiento de comunicación que permita ampliar la cobertura de la red disponible por la empresa CLARO desde el cerro La Sirena hasta San pedro de Norte, se utilizaron los programas PATHLOSS 5.0 y RADIO MOBILE para la elaboración del perfil de comunicación y las simulaciones correspondientes, así mismo se realizó análisis comparativo de 3 modelos de radio a utilizar.

Se ha determinado que los 5 trabajos realizados presentan vinculo desde el punto de vista didáctico contribuyendo así a una misma área de investigación, pero manteniendo cada uno de ellos distintos enfoques y áreas de aplicación, demostrando así aplicaciones distintas conforme lo planteado en sus objetivos.

III. JUSTIFICACIÓN.

Para la realización de este trabajo se toma en cuenta que actualmente se ha experimentado una expansión poblacional en la zona oriental de Managua Distrito VI, entre las cuales se incluyen diversos proyectos habitacionales.

De acuerdo a revisión que se realizó acerca de la cobertura de los servicios de telecomunicaciones disponibles en la zona antes indicada, se observa poca presencia de parte de los operadores actuales, esta información se ha obtenido del sitio WEB que dispone el ente regulador de las comunicaciones en Nicaragua (TELCOR), lográndose identificar sitios específicos por medio del apoyo de los mapas de cobertura de los servicios de comunicación, entre estos sitios se encuentra el proyecto habitacional Residencial Valle Verde donde hay 1,100 viviendas ya habitadas y con un plan de expansión a futuro de 2000 viviendas divididas en cuatro etapas. [6]

En nuestro país actualmente operan compañías que brindan servicio de comunicaciones, sin embargo, la empresa que dispone la mayor cobertura de red no tiene infraestructura en la zona de Residencial Valle Verde para brindar servicio, debido a esta situación se experimentan dificultades de comunicación y acceso a los servicios lo cual genera problemas a sus habitantes, quienes para acceder a los servicios deben trasladarse distancias considerables hasta otros sitios donde se dispone de cobertura por alguna empresa operadora de telefonía celular y sus múltiples aplicaciones como transmisión de información, llamadas, entre otras.

Es así que surge la necesidad de brindar una solución mediante el diseño de un radioenlace punto a punto cuya fuente de transmisión se ubicará en el sitio más cercano disponible por el mejor proveedor de servicios, el sitio de recepción se ubicará en un punto estratégico dentro del complejo habitacional Residencial Valle Verde que permita condiciones de acceso óptimo a sus habitantes.

IV. OBJETIVOS.

4.1 Objetivo General:

- Diseñar un sistema de radiocomunicación punto a punto desde Sabana Grande hasta el Residencial Valle Verde en el Distrito VI de Managua, para el establecimiento del servicio de internet.

4.2 Objetivos Específicos:

- Identificar las ventajas y desventajas para el servicio de internet mediante radioenlace punto a punto.
- Determinar el equipamiento que se requiere para establecer el radioenlace punto a punto.
- Analizar el requerimiento de potencia y modulación de los equipos según la distancia para el diseño del radioenlace punto a punto.
- Simular el perfil de transmisión para la verificación de disponibilidad del radioenlace como un requerimiento indispensable de los operadores de telecomunicaciones.

V. MARCO TEÓRICO.

5.1 Ondas Electromagnéticas.

Las ondas electromagnéticas, como otras formas de radiaciones, tales como la luz, viajan en el espacio libre o vacío a velocidad de 3×10^8 m/s, y pueden ser reflejadas, refractadas y difractadas. Una onda electromagnética está compuesta por dos campos variables de fuerza, eléctrico y magnético. Las líneas de fuerza de los dos campos están en ángulo recto entre sí y son mutuamente perpendiculares a la dirección del recorrido. [7]

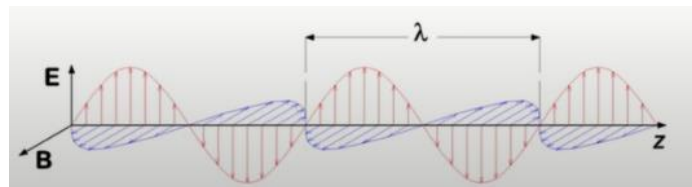


Figura 1. Representación de Onda Electromagnética en el Espacio. [8]

5.2 Microondas.

Las Microondas son señales con una frecuencia mayor que 1GHz, en general se considera que la región de las microondas se extiende hasta 30GHz, aun cuando algunas definiciones incluyen frecuencias de hasta los 300GHz. En el intervalo de 1 a 30GHz, estas señales tienen longitudes de onda de 1 cm a 30 cm, por lo tanto, a causa de sus altas frecuencias, tienen longitudes de onda relativamente cortas, de ahí el nombre de “micro” ondas. [9]

5.3 Elección de la Polarización.

La dirección del campo eléctrico especifica la polarización de la antena, si es paralelo a la superficie de la onda electromagnética, está polarizada horizontalmente, sin embargo, si dicho campo es perpendicular a la Tierra, entonces está polarizada verticalmente. [9] Para el presente trabajo se selecciona

la polarización vertical, debido a que experimenta menos desvanecimiento con respecto a la lluvia, lo cual es fundamental para frecuencias superiores a los 5 GHz ya que la atenuación por lluvia afecta a partir de este rango.

5.4 Propagación por Onda Espacial o Propagación por Línea Visual (LOS).

La onda espacial es la forma de propagación habitual en las frecuencias superiores a los 30 MHz, también es la responsable de parte de la propagación de las señales transmitidas en las comunicaciones a corta distancia. La onda espacial está compuesta normalmente por dos rayos: uno directo entre la antena transmisora y la receptora y otro reflejado en tierra que parte simultáneamente de la antena transmisora, se refleja en la tierra y llega a la antena receptora con cierto retraso. [10]

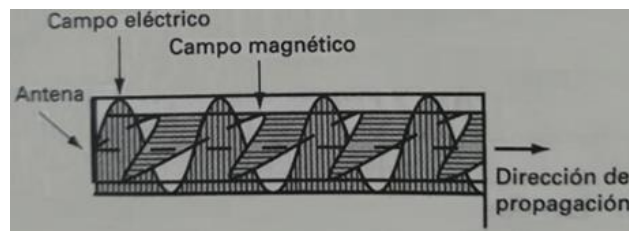


Figura 2. Polarización Vertical. [9]

5.5 Bandas de Frecuencia sin Licencia.

Para cierta parte del espectro existen bandas de frecuencias que no requieren licencia para su utilización, la comisión federal de comunicaciones "FCC" proporciona las bandas libres de licencia como la ISM e U-NIII, para que fueran usadas para propósitos de comunicación inalámbrica, en el caso de la banda de 5 GHz, es ampliamente utilizada por operadores de servicios inalámbricos, sin embargo, existen cuatro desventajas debido al uso de esta parte del espectro; potencia limitada, mayor competencia, Interferencias y falta de disponibilidad.

5.8 Sistema MIMO.

La implementación de los sistemas MIMO resulta en una sustantiva mejora para las redes inalámbricas al aumentar la cobertura debido a que emite señal simultáneamente con varias antenas en un punto de acceso WIFI. La tecnología MIMO se encuentra vinculada al estándar 802.11ac, mediante el cual se permite aumentar el ancho de banda máximo mediante el aumento del número de antenas (dos o más). La bondad principal en la tecnología de MIMO es el aprovechamiento de los rebotes presentes en las redes WIFI. [12]

5.9 Dispositivos MIMO 2x2.

Se tratan de dispositivos que utilizan antenas dobles de transmisión/recepción con flujos de radio dobles, debido a esta característica se disponen de velocidades más rápidas, menos zonas inactivas, menos problemas de conectividad y mejor cobertura.

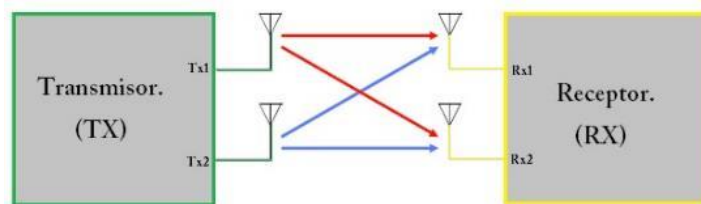


Figura 5. Representación de MIMO 2X2.

5.10 Modulación de Amplitud en Cuadratura (QAM).

Es el proceso en el que se descompone una señal en términos de fase y cuadratura con amplitudes correspondientes y se utilizan 2 portadoras, seno y coseno como dos señales ortogonales las cuales cada una lleva información de forma independiente, existen M puntos posibles en la constelación lo cual le da el orden a la modulación. [13]

5.11 Multiplexación por División de Frecuencias Ortogonales (OFDM).

Se trata de un sistema de modulación multiportadora en el que los datos se transmiten como una combinación de señales de banda estrecha ortogonales, conocidas como subportadoras. [14]

5.12 Sistema de Transmisión MIMO – OFDM.

En una transmisión a velocidades elevadas, la característica multi-trayecto del entorno causado por el canal MIMO presentará selectividad en frecuencia. OFDM puede transformar un canal MIMO selectivo en frecuencia, en un conjunto de canales paralelos y planos en frecuencia, lo cual reduce la complejidad del receptor. [15]

VI. Diseño Metodológico.

6.1 Zona de Fresnel.

Se trata de una serie de regiones elipsoidales con diámetro polar extenso, se encuentran concéntricas de espacio y entre dos antenas: una que trasmite y otra que recibe, existen un número infinito de zona “n” pero generalmente se toman en consideración hasta la tercera zona, esto debido que a partir de ella las demás zonas presentan un efecto de cancelación despreciable, [16] cabe señalar que la primera zona concentra el 50% de la potencia de la señal por consiguiente ésta se debe procurar que se trasmita lo más íntegra hacia el receptor.

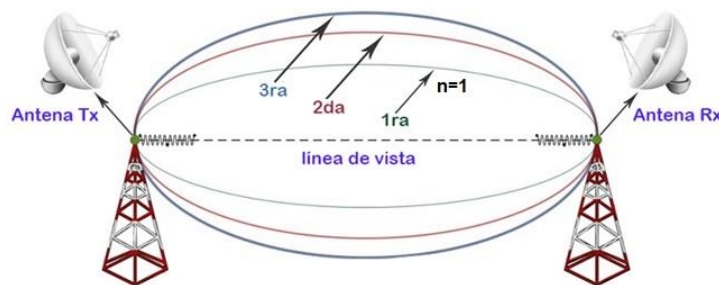


Figura 6. Representación Zonas de Fresnel en un Radioenlace.

Mediante las zonas de Fresnel se puede realizar el estudio del espacio entre transmisor y receptor, llevando a cabo un análisis de los efectos que producirían los obstáculos que existan entre las antenas del sistema, debiéndose entender que no debe haber obstáculos que afecten las transmisiones de la señal, para lo cual se establece que al menos el 60% de la primera zona de Fresnel debe estar libre para un factor $K = 2/3$ (curvatura de la tierra) y para un $K = 4/3$ debe de estar despejada la primera zona a un 100 %, como regla general la obstrucción máxima permitida es del 40%, pero se recomienda que sea un 20 % o menor. [16]

6.1.2 Verificación de Condiciones de Libramiento.

Para conocer las condiciones de libramiento entre los sitios se debe tener en cuenta el uso de la fórmula de Fresnel. [17] Cuando se dispone de la distancia entre los dos puntos del enlace, de acuerdo con la geografía del terreno se determina la ubicación de un obstáculo, de esta manera se plantean las distancias. (En la Figura 7, las distancias están representadas como $L1$ y $L2$ y el radio de Fresnel como $d1$). Para el presente trabajo, conforme la información obtenida en el perfil de elevación con Google earth, el mayor obstáculo se encuentra en el centro del radioenlace, con esta información se puede elegir el tipo de ecuación que se utilizará para calcular la zona de Fresnel.

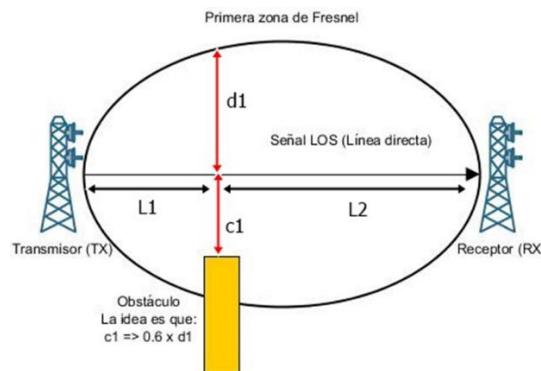


Figura 7. Despeje del 60 %, donde $C1$ debe ser Mayor o Igual que 0.6 de $d1$. [18]

$$r_n = \sqrt{\frac{n \cdot \lambda \cdot d_1 \cdot d_2}{d_1 + d_2}} \quad (1)$$

Para el escenario donde el cálculo del radio de la primera zona de Fresnel se conoce distancia entre las dos antenas, la frecuencia en la cual transmiten la señal y además la ubicación del obstáculo está en el centro de la distancia, se utiliza la ecuación [17] :

$$r_1 = 8.657 * \sqrt{\frac{D}{f}}. \quad (2)$$

r_1 = radio en metros.

D = distancia en km ($d_1=d_2$, $D= d_1+d_2$).

f = frecuencia de la trasmision en GHz ($\lambda=c/f$).

6.1.3 Altura del Despeje de la Primera Zona de Fresnel.

Para realizar este cálculo se tiene que tomar en cuenta la altura del terreno más la altura de la torre tanto para el Tx y Rx, Se utilizará la siguiente ecuación:

$$h_{des} = h_1 + \left(\frac{d_1}{d}\right) * (h_1 - h_2) - \left(h + \left(\frac{d_1 * d_2 * 1000}{2 * k * a}\right)\right). \quad (3)$$

h_1 = altura del punto A (Incluyendo la torre).

h_2 = altura del punto B (Incluyendo la torre).

h = altura del obstáculo d_1 = distancia del Tx al obstáculo.

d = distancia total entre Tx y Rx.

d_2 = distancia del obstáculo al Rx.

K = radio efectivo de la tierra, equivale a 4/3 para la atmósfera estándar.

a = 6371 radio promedio de la tierra.

6.2 Propagación y Pérdidas por Trayectoria en el Espacio Libre.

Cuando una señal viaja de la antena transmisora por el medio hasta la antena receptora, ocurre la propagacion en el espacio libre, considerando parametros

ideales tales como trayectoria rectilínea de la señal, medio uniforme, libre de obstáculos. La atenuación se encuentra únicamente en función de la frecuencia de operación y la distancia desde el origen al destino.

$$FSL_{(dB)} = 32.4 + 20 \log f_{MHz} + 20 \log D_{km} \quad (4)$$

$f_{(MHz)}$: Frecuencia de operación del sistema.

$D_{(km)}$: La distancia existente entre el sistema transmisor y receptor.

6.3 Atenuación por Lluvia.

De los efectos atmosféricos sobre microondas, la atenuación por lluvia es uno de los más importantes, cuando una señal viaja a través de un medio lluvioso se va disminuyendo la intensidad de la señal debido a la absorción y dispersión de su amplitud y componentes de fase debido a las gotas de lluvia, incluso las gotas de lluvia alteran la polarización de la señal transmitida, aunque las señales de acuerdo con su valor de frecuencia no resultan afectadas de la misma manera por este fenómeno siendo despreciable para frecuencias por debajo de 5GHz, entre 5 y 10 GHz crece lentamente y a partir de 10 GHz crece rápidamente. [19]

El diámetro de la gota de lluvia varía entre 0.01 mm y 6 mm, en el caso de gotas con diámetros menores a 0,01 mm estas se evaporan rápidamente, mientras que las gotas con diámetros superiores a 6 mm la tensión superficial no es suficiente para mantener su cohesión, por lo que se fracciona en gotas menores, cabe señalar que la polarización horizontal resulta más afectada debido a la forma específica de la gota de agua, igualmente se tiene que en la medida que aumentan las frecuencias aumenta la atenuación. [19]

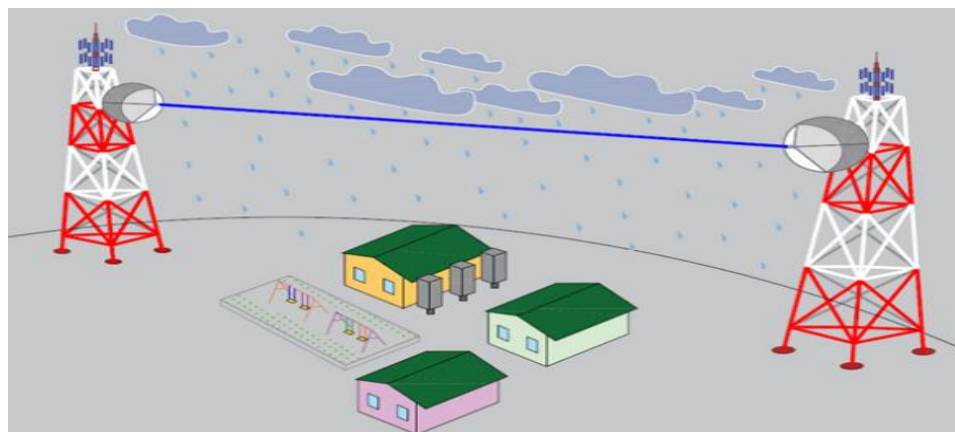


Figura 8. Atenuación Debida a la Lluvia.

En este estudio se trabajará en el rango de frecuencia de 5GHz, las pérdidas no son tan considerables como se ha mencionado anteriormente, pero si se considerara destacar la intensidad de lluvia según la zona “P” en la que se encuentra nuestro país. Conforme la recomendación, “UIT-R P.838-3” [20] (para una disponibilidad del 99,99%), se obtuvo la intensidad promedio de lluvia del 0.01% para Nicaragua, que es de 145 mm³/h, en este caso la zona “N” no se tomará en cuenta debido a que la zona de incidencia directa en el país es la zona “P”, cabe señalar que representa una de las zonas de mayor intensidad de precipitación con respecto a las demás.

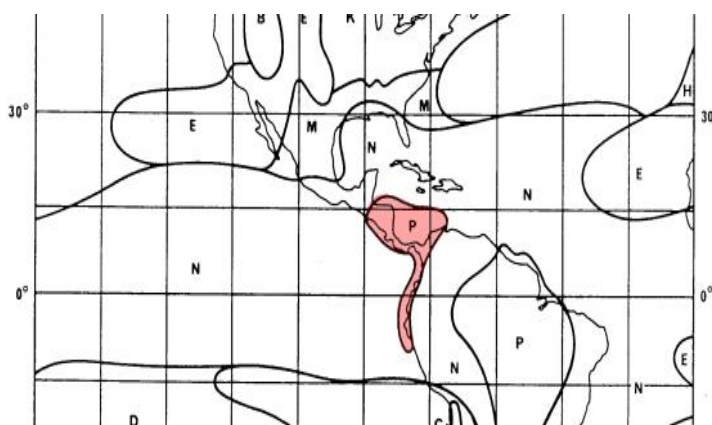


Figura 9. Identificación de la Zona de Lluvia para Nicaragua, UIT-P.837-1. [21]

Porcentaje de tiempo (%)	A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L	M	N	P	Q
1.0	0.1	0.5	0.7	2.1	0.6	1.7	3	2	8	1.5	2	4	5	12	24
0.3	0.8	2	2.8	4.5	2.4	4.5	7	4	13	4.2	7	11	15	34	49
0.1	2	3	5	8	6	8	12	10	20	12	15	22	35	65	72
0.03	5	6	9	13	12	15	20	18	28	23	33	40	65	105	96
0.01	8	12	15	19	22	28	30	32	35	42	60	63	95	145	115
0.003	14	21	26	29	41	54	45	55	45	70	105	95	140	200	142
0.001	22	32	42	42	70	78	65	83	55	100	150	120	180	250	170

Tabla 1. Zonas Hidrometeorológicas, Intensidad de la Lluvia UIT-R P.837-1. [21]

6.4 Pérdidas del Equipo de Transmisión / Recepción (Miscelánea).

Se trata de las pérdidas que son producidas por los equipos en el sistema de transmisión y recepción que intervienen en el diseño. Se les denomina también pérdidas misceláneas (pérdidas causadas por acoplamiento de la ODU y la antena) y otras pérdidas adicionales las cuales se contemplan mediante la siguiente expresión: [22]

$$P_{Tx/Rx} = P_m + P_f + P_{\text{circulador}} + P_s \quad (5)$$

$P_{(Tx/Rx)}$ = Pérdidas del equipo de transmisión/recepción.

P_m = Pérdidas misceláneas.

P_f = Pérdidas en los filtros.

$P_{\text{circulador}}$ = Pérdidas en el circulador.

6.5 Pérdidas Netas del Enlace.

Son las pérdidas que se presentan debido a la propagación en toda la trayectoria del enlace menos la variación de ganancias de ambas antenas, se puede calcular por medio de la expresión siguiente:

$$P_n = P_p - G_{Tx} - G_{Rx} \quad (6)$$

P_n = Pérdidas netas.

G_{Tx} = Ganancia de la antena de transmisión (dBi).

G_{Rx} = Ganancia de la antena de recepción (dBi).

P_p = Pérdidas por propagación.

6.6 Pérdidas en la Potencia de Recepción.

La potencia que se encuentra disponible en el receptor depende de la potencia emitida por el transmisor y por las diferentes pérdidas y ganancias que aparecen en el trayecto entre ambos. Al considerar las variables antes descritas se plantea la ecuación que es conocida como ecuación general del radioenlace: [23]

$$P_{Rx} = P_{Tx} + G_{Tx} + G_{Rx} - P_p \quad (7)$$

P_{Rx} = Pérdidas en la potencia recibida (dBm).

P_{Tx} = Potencia del transmisor (dBm).

G_{Tx} = Ganancia de la antena transmisora (dBi).

G_{Rx} = Ganancia de la antena receptora (dBi).

P_p = Pérdidas por propagación (dB).

6.7 Margen de Desvanecimiento.

Al propagarse una onda electromagnética por la atmosfera terrestre, la señal puede tener pérdidas intermitentes de intensidad, estas pérdidas se pueden atribuir a diversos fenómenos que incluyen efectos de corto y largo plazo, esta variación en la pérdida de la señal se llama desvanecimiento y se puede atribuir a perturbaciones meteorológicas como lluvia, nieve, granizo. Para tener en cuenta el desvanecimiento temporal, se agrega una pérdida adicional de transmisión a la pérdida en trayectoria normal. [24]

$$F_m = 30 \log(D) + 10 \log(6ABf) - 10 \log(1 - R) - 70. \quad (8)$$

Ecuación que proviene de la resolución de confiabilidad de Barnett-Vignant. [24]

F_m : Margen de desvanecimiento para un determinado objetivo de confiabilidad.

D: Distancia en km.

A: Factor de rugosidad.

B: Factor de análisis del clima.

R: Objetivo de la confiabilidad.

F: Frecuencia GHz.

En la expresión se observan tres campos específicos que se indican:

$\log(D)$: Efecto de múltiples trayectorias.

$\log(6ABf)$: Objetivos de confiabilidad.

$\log(1-R)$: Sensibilidad a superficies rocosas, que a su vez se componen de los factores:

A: Factor de rugosidad adopta los valores de acuerdo a las condiciones siguientes:

4= Espejos de agua, ríos muy anchos, etc.

3= Sembradíos densos, pastizales, arenales.

2= Bosques (la propagación va por encima)

1= Terreno normal.

0.25= Terreno rocoso disperejo.

B: Factor climático de acuerdo a las condiciones siguientes:

1 = Áreas marinas o con condiciones de peor mes, anualizadas.

0.5 = Áreas tropicales calientes y húmedas.

0.25 = Áreas mediterráneas de clima normal.

0.125 Áreas montañosas de clima seco y fresco.

6.8 Potencia Isótropa Radiada Equivalente (PIRE).

Se refiere a la cantidad de potencia que emitirá una antena isotrópica de forma tal que se produzca la densidad de potencia en la dirección de máxima ganancia de la antena, por lo que esencialmente PIRE se encuentra conformada por la suma de la potencia del radio, la ganancia de la antena y se restan los valores de las atenuaciones. [25]

$$\text{PIRE} = P_t + G_t - L_c. \quad (9)$$

P_t : Se refiere a la potencia de salida del transmisor, expresado en dBw o dBm.

G_t : Se refiere a la ganancia de la antena transmisora, expresado en dBi.

L_c : Perdidas de conexión entre el Radio y la antena.

6.9 Indisponibilidad y Confiabilidad del Enlace.

Corresponde al tiempo de probabilidad en el cual un radioenlace se permanece en operación, o en actividad de transmisión de información. Mediante la implementación de las ecuaciones de Barnett-Vignant se realiza el cálculo tomando en consideración el margen de desvanecimiento, características climatológicas, topografía del terreno, mediante los parámetros anteriores se puede predecir el comportamiento para la transmisión de la señal.

$$P = 6 * 10^{-7} * A * B * f * D^3 * 10^{-MD/10} \quad (10)$$

$$R = (100 - P) * 100 \quad (11)$$

P: Indisponibilidad.

R: Confiabilidad.

f: Frecuencia.

d: Distancia total del sistema (Km).

MD: Margen de desvanecimiento.

A: Variable del tipo de terreno para el sistema.

B: Factor climático del sitio del enlace.

Los objetivos de indisponibilidad para radioenlaces microondas se definen en las recomendaciones UIT-R F.557-5 [26] y F.695-0 (06/90) [27] en donde se propone como valor provisional una indisponibilidad del 0,3%, el porcentaje debe evaluarse durante un periodo de tiempo suficientemente largo, probablemente superior a un año para que sea válido estadísticamente. Se estipula que el 0.3% del tiempo se

distribuya de forma proporcional a la distancia del enlace, hasta una distancia mínima de 280 Km por debajo de la cual el porcentaje de indisponibilidad se mantiene constante. Se procede así para evitar cifras de indisponibilidad excesivamente pequeñas en enlaces cortos que serían difíciles de conseguir como el enlace entre el punto de comarca sabana grande y residencial valle verde, por lo tanto, el objetivo de indisponibilidad es: Para trayectos menores a 280 km.

$$P_T = 0.3 * 280/2500 \% \quad (12)$$

P_T = Porcentaje de indisponibilidad (%).

Este valor es la indisponibilidad porcentual propuesta por la UIT para enlaces de trayectorias menores de 280 km. Su objetivo de confiabilidad está dado por la siguiente ecuación: [26]

$$R_T = (100 - P_T)\% \quad (13)$$

6.10 Orientación de las Antenas; Azimut y Elevación.

La instalación de antenas tiene partes importantes para su funcionamiento que se deben tomar en cuenta, éstas poseen un ángulo horizontal conocido como Azimut y un ángulo vertical o ángulo de inclinación.

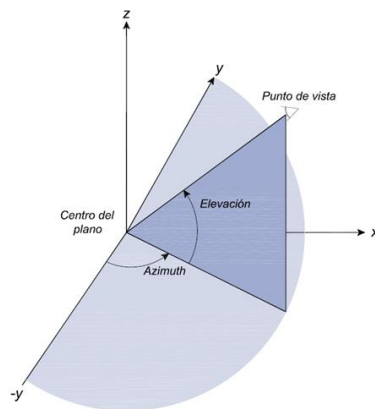


Figura 10. Sistema de Coordenadas de Azimut y Elevación con Respecto al Plano.

En la “Figura 10”, se representan el Azimut y la elevación respectivamente, con respecto al origen del eje. Para el caso del azimut se trata de un ángulo polar en el plano x-y, con ángulos positivos que indican la rotación en sentido contrario a las agujas del reloj. Para el caso de la elevación es el ángulo por encima (ángulo positivo) o por debajo (ángulo negativo) del plano x-y.

$$\text{Ángulo de elevación} = \tan^{-1} \theta. \quad (14)$$

$$\theta = \frac{\Delta \text{Altura}}{\text{Distancia}_{AB}}. \quad (15)$$

$$\frac{\Delta \text{Altura}}{\text{Distancia}_{AB}} = \frac{\text{Altura punto A} - \text{Altura punto B}}{\text{Distancia}_{AB}}. \quad (16)$$

6.11 Ángulo del Azimut.

Para la realización de los cálculos se debe de trabajar en sistema decimal, es decir realizar una conversión de las coordenadas GPS que utilizan un sistema Sexagesimal. Una vez que se ha descrito lo anterior se procede a la utilización de la siguiente formula para convertir de grados, minutos y segundos a decimales:

$$\text{Grados decimales} = \text{Grados} + \left(\frac{\text{Minutos}}{60} \right) + \left(\frac{\text{Segundos}}{3600} \right). \quad (17)$$

$$\theta = \tan^{-1} \frac{(\Delta \text{Longitud})}{(\Delta \text{Latitud})} \quad (18)$$

$$\frac{\Delta \text{Longitud}}{\Delta \text{Latitud}} = \frac{\text{Longitud de punto B} - \text{Longitud de punto A}}{\text{Latitud de punto B} - \text{Latitud de punto A}}. \quad (19)$$

Para la determinación del azimut se debe de verificar en que cuadrante se encuentra según los signos de ΔE y ΔN .

6.12 Ángulo de Elevación.

La eficacia en un sistema de comunicación está en dependencia de una correcta configuración de los sistemas radiantes o antenas. La optimización de éstas se

basa en el ajuste correcto de la pendiente con relación a un eje, dirigiendo irradiación más abajo o hacia arriba, concentrando la energía en una dirección. Para las antenas existen dos tipos de tilt. **Tilt mecánico**, se refiere al ángulo de inclinación que se encarga de variar el patrón de cobertura de la antenna. **Tilt eléctrico**, es el encargado de que el área de cobertura experimente una reducción en la dirección del azimut de la antenna, es decir, la ganancia se reduce uniformemente.

$$\text{Ángulo de elevación} = \tan^{-1} \theta. \quad (20)$$

$$\theta = \frac{\Delta \text{Altura}}{\text{Distancia}_{AB}} \quad (15)$$

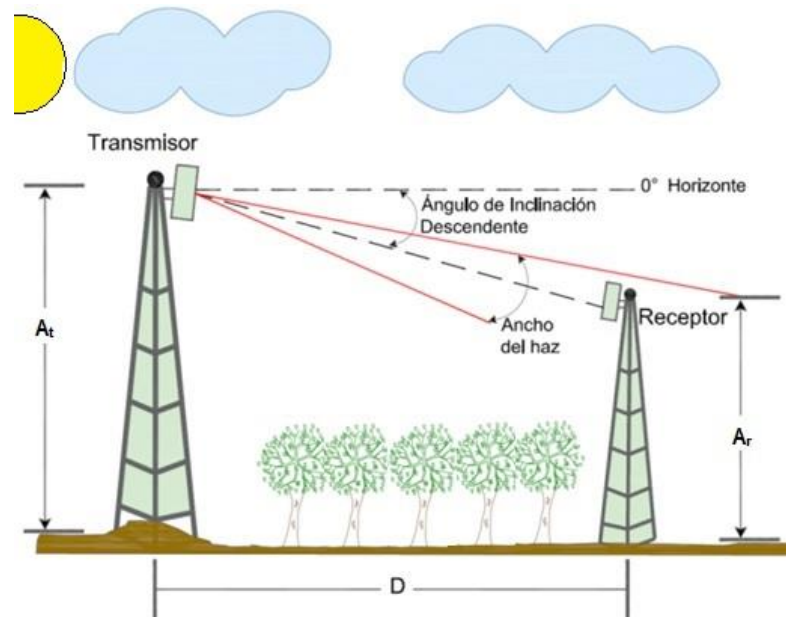


Figura 11. Representación de Ángulo de Elevación.

6.13 Realización de Cálculos Matemáticos.

6.13.1 Consideraciones para el Cálculo del Radioenlace.

Inicialmente se deben obtener los valores de las coordenadas geográficas para cada uno de los sitios que intervienen en el enlace, como primer paso, las coordenadas del sitio determinado como troncal para el enlace, el cual se ubica

en la comarca de Sabana Grande, designándolo como “Punto A: Contiguo a Taller Boza”. Como segundo paso, se obtienen las coordenadas del sitio determinado como el receptor ubicado en residencial Valle Verde, que sita del Km.14 de la carretera panamericana norte, 3 km al sur, designándolo como “Punto B: Pozo de Agua, SAVESA”. Disponiendo de las coordenadas de longitud y latitud las cuales son de interés para el sistema se utiliza la fórmula de Haversine que permite calcular la distancia más corta entre dos puntos.

El uso de esta fórmula requiere de realizar la conversión de los valores decimales de las coordenadas geográficas a grados decimales y así luego se deben de convertir a radianes siendo que, $1 \text{ Grado} = (\pi/180^\circ)$ (21), se tendría que los valores de las coordenadas en radianes se determinarían por la fórmula, $r = d * (\frac{\pi}{180^\circ})$ (22), en la cual la variable “d” corresponde a los valores de latitud y longitud respectivamente.

$$a = \sin\left(\frac{\Delta \text{Lat}}{2}\right)^2 + \cos(\text{Lat } 1) * \cos(\text{Lat } 2) * \sin\left(\frac{\Delta \text{Long}}{2}\right)^2. \quad (23)$$

$\Delta \text{ Lat} = \text{lat } 2 - \text{lat } 1.$

$\Delta \text{ Long} = \text{Long } 2 - \text{Long } 1$

$\text{Lat } 1 = \text{Latitud del punto } 1.$

$\text{Lat } 2 = \text{Latitud del punto } 2.$

$\text{Long } 1 = \text{Longitud del punto } 1.$

$\text{Long } 2 = \text{Longitud del punto } 2.$

$$d = R * C. \quad (24)$$

R, representa el valor de radio de la tierra con un valor de aproximación a 6371 km. [28]

$$C = 2 * \tan^{-1}\left(\frac{\sqrt{a}}{\sqrt{1-a}}\right). \quad (25)$$

6.13.2 Conversión a Radianes de Coordenadas en Punto A.

Latitud 1:

$$r = 12.13482222^\circ * \left(\frac{\pi}{180^\circ}\right) = 0.211792601 \text{ rad.}$$

Longitud 1:

$$r = 86.18178611^\circ * \left(\frac{\pi}{180^\circ}\right) = 1.504155923 \text{ rad.}$$

6.13.3 Conversión a Radianes de Coordenadas en Punto B.

Latitud 2:

$$r = 12.12568055^\circ * \left(\frac{\pi}{180^\circ}\right) = \mathbf{0.211633049 \text{ rad.}}$$

Longitud 2:

$$r = 86.14574167^\circ * \left(\frac{\pi}{180^\circ}\right) = \mathbf{1.503526829 \text{ rad.}}$$

Con los resultados obtenidos se calcula ΔLat y $\Delta Long$ respectivamente.

$$\Delta Lat = Lat 2 - Lat 1.$$

$$\Delta Lat = 0.211633049 - 0.211792601.$$

$$\Delta Lat = \mathbf{-0.000159552 \text{ rad.}}$$

$$\Delta Long = Long 2 - Long 1.$$

$$\Delta Long = 1.503526829 - 1.504155923.$$

$$\Delta Long = \mathbf{-0.000629094 \text{ rad.}}$$

Se procede a la sustitución de datos en la fórmula de Haversine:

$$a = \sin\left(\frac{\Delta Lat}{2}\right)^2 + \cos(Lat 1) * \cos(Lat 2) * \sin\left(\frac{\Delta Long}{2}\right)^2.$$

$$a = \sin\left(\frac{-0.000159552}{2}\right)^2 + \cos(0.211792601) * \cos(0.211633049) * \sin\left(\frac{-0.000629094}{2}\right)^2$$

$$a = 0.000000100935.$$

Habiendo determinado el valor de “a” se procede al cálculo del valor de “c” que se encontraba determinado por $C = 2 * \tan^{-1} \left(\frac{\sqrt{a}}{\sqrt{1-a}} \right)$. Sustituyendo se tiene:

$$C = 2 * \tan^{-1} \left(\frac{\sqrt{0.000000100935}}{\sqrt{1-0.000000100935}} \right) = 0.000635404.$$

Mediante el cálculo de “c” finalmente se aplica la ecuación:

$$d = R * C.$$

$$d = (6371 \text{ km}) * (0.000635404) = 4.048158884 \text{ km}.$$

El valor “d” representa la distancia entre el transmisor y receptor para el radioenlace. La distancia según Google Earth 4.06 km y según Radio Mobile indica 4.04 km.

6.14 Cálculo para el Radio de la Primera Zona de Fresnel Cuando el Obstáculo se Encuentra en el Centro.



Figura 12. Perfil de Elevación del Radioenlace PTP con Google Earth Pro.

De acuerdo con la información obtenida de Google Earth se tienen los datos siguientes para el cálculo de la primera y segunda zona de Fresnel:

$$r_n = \sqrt{\frac{n \cdot \lambda \cdot d_1 \cdot d_2}{d_1 + d_2}} \quad (1)$$

$c = 299792458 \text{ m/s}$ aunque se puede aproximar a $3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$.

$f = 5850 \text{ MHz}$.

$d_1 = 2.02 \text{ km}$.

$d_2 = 2.02 \text{ km}$.

$\lambda = 51.24657$.

“r” cuando $n=1$.

$$r_{n=1} = \sqrt{\frac{(1) \cdot (51.24657) \cdot (2.02) \cdot (2.02)}{(2.02) + (2.02)}} = 7.202724742 \text{ m}.$$

“r” cuando $n=2$.

$$r_{n=2} = \sqrt{\frac{(2) \cdot (51.24657) \cdot (2.02) \cdot (2.02)}{(2.02) + (2.02)}} = 10.18619 \text{ m}$$

6.14.1 Cálculo del Máximo Radio en Metros de la 1^{ra} Zona de Fresnel Tomando en Consideración que el Obstáculo del Enlace se Encuentra en un Punto Central de la Trayectoria.

$$f1_{[m]} = 8.656 \cdot \sqrt{\frac{D(km)}{f(GHz)}} \quad (2)$$

$$f1_{[m]} = 8.656 \cdot \sqrt{\frac{4.04 \text{ km}}{5.85 \text{ GHz}}} = 7.19333021 \text{ m}.$$

6.14.2 Cálculo de la Altura de Despeje para la Primera Zona de Fresnel.

$$h_{des} = h_1 + \left(\frac{d_1}{d}\right) \cdot (h_1 - h_2) - \left(h + \left(\frac{d_1 \cdot d_2 \cdot 1000}{2 \cdot k \cdot a}\right)\right) \quad (3)$$

$$h_1 = 72.5 \text{ m} + 25 \text{ m} = 97.5 \text{ m.}$$

$$h_2 = 72.9 \text{ m} + 20 \text{ m} = 92.9 \text{ m.}$$

$$h = 79 \text{ m.}$$

$$d = 4.04 \text{ km.}$$

$$d_1 = 2.02 \text{ km.}$$

$$d_2 = 2.02 \text{ km.}$$

K= radio efectivo de la tierra, equivale a 4/3 para la atmósfera estándar.

$\alpha = 6371$ radio promedio de la tierra.

$$h_{des} = 97.5 + \left(\frac{2.02}{4.04}\right) * (97.5 - 92.9) - \left(79 + \left(\frac{2.02 * 2.02 * 1000}{2 * \frac{4}{3} * 6371}\right)\right) =$$

$$\mathbf{20.55982577 \text{ m.}}$$

6.14.3 Cálculo del Despeje de la Primera Zona de Fresnel.

$$M = h_{des} - R_n. \quad (26)$$

$$M = 20.55982577 \text{ m} - 7.202724742 \text{ m} = \mathbf{13.357101028 \text{ m.}}$$

6.15 Cálculo de Pérdida por Trayectoria en el Espacio Libre.

$$FSL_{(dB)} = 32.4 + 20 \log f_{\text{MHz}} + 20 \log D_{\text{km}}. \quad (4)$$

$$FSL_{(dB)} = 32.4 + 20 \log(5850) + 20 \log(4.04) = \mathbf{119.8707446 \text{ dB.}}$$

6.16 Cálculo de pérdidas del Equipo de Transmisión / Recepción (Miscelánea).

$$P_{Tx/Rx} = P_m + P_f + P_{\text{circulador}} + P_s. \quad (5)$$

$$P_{Tx/Rx} = 1dB + 1dB + 1dB + 1dB = \mathbf{4dB.}$$

6.17 Cálculo de Pérdidas Total.

$$P_{Total} = P_p + P_{Tx/Rx}. \quad (6)$$

$$P_{Total} = 122.07685803 \text{ dB} + 4 \text{ dB} = \mathbf{126.07685803 \text{ dB}}.$$

6.18 Cálculo de Pérdidas en la Potencia de Recepción.

$$P_{Rx} = P_{Tx} + G_{Tx} + G_{Rx} - P_{Total}. \quad (7)$$

$$P_{Rx} = 20 \text{ dBm} + 26 \text{ dBi} + 26 \text{ dBi} - 126.07685803 \text{ dB} = \mathbf{-54.076858 \text{ dBm}}.$$

6.19 Cálculo del Margen de Desvanecimiento para el Radioenlace.

$$F_m = 30 \log(D) + 10 \log(6ABf) - 10 \log(1 - R) - 70. \quad (8)$$

F_m: Margen de desvanecimiento para un determinado objetivo de confiabilidad.

D: Distancia en km.

A: Factor de rugosidad.

B: Factor de análisis del clima.

R: Objetivo de la confiabilidad.

F: Frecuencia GHz.

$$F_m = 30 \log(4.04) + 10 \log(6 * 4 * 1 * 5.850) - 10 \log(1 - 0.9999) - 70.$$

$$F_m = \mathbf{9.66511203 \text{ dB} \cong 10 \text{ dB}}.$$

6.20 Cálculo del Margen de Desvanecimiento Cuando se Conoce la Sensibilidad del Receptor.

$$M_d = P_R - N_u. \quad (26)$$

Anteriormente se estableció que el nivel de umbral para este equipo de radio a utilizar es de valor igual a $N_u = -64 \text{ dBm}$, habiendo calculado que $P_R = -54.076858 \text{ dBm}$, se tendría:

$$M_d = -54.076858 \text{ dBm} - (-64 \text{ dBm}) = 9.923142 \text{ dBm}$$

6.21 Cálculo de Indisponibilidad y Confiabilidad del Enlace.

$$R = (100 - P) * 100.$$

Donde "P" se calcula como:

$$P = 6 * 10^{-7} * A * B * f * D^3 * 10^{-\frac{MD}{10}}$$

D = 4.04 km.

A = 4.

B = 1.

f = 5.850 GHz.

MD = 9.66511203 dB.

$$P = 6 * 10^{-7} * (4) * (1) * (5.850) * (4.04)^3 * 10^{-\left(\frac{9.66511203}{10}\right)} = 0.0001.$$

$$R = (100 - P) * 100.$$

$$R = (100 - 0.0001) * 100\% = 99.9999\%.$$

Si se procede a realizar los cálculos con respecto al margen de desvanecimiento cuando se conoce la sensibilidad del receptor y la potencia recibida en el receptor se tendrían los siguientes valores para:

$$P = 0.00009423.$$

$$R = 99.99990577 \%$$

Debido a que en ambos extremos del enlace el margen de desvanecimiento es igual, entonces los valores de indisponibilidad y confiabilidad del enlace son los mismos para ambos sentidos. Anteriormente se analizó el objetivo de confiabilidad de un radioenlace propuesto por la UIT, en donde la recomendación UIT-R F695 indica que el porcentaje de confiabilidad sea mayor a 99.9664 %.

$$P_T = 0.3 * 280/2500 \% = 0.0336\%.$$

P_T = Porcentaje de indisponibilidad (%)

Este valor es la indisponibilidad porcentual propuesta por la UIT para enlaces de trayectorias menores de 280 km. Su objetivo de confiabilidad está dado por la siguiente ecuación:

$$R_T = (100 - P_T)\%$$

$$R_T = (100 - 0.0336)\% = \mathbf{99.9664\%}.$$

Para este radioenlace el porcentaje de confiabilidad es igual a 99.9999% por lo que evidentemente se cumple y supera lo propuesto por la UIT.

6.22 Cálculo de PIRE.

$$\mathbf{PIRE = P_t + G_t - L_c. \quad (9)}$$

P_t = Potencia de salida del transmisor en dBW o dBm.

G_t = Ganancia de la antena transmisora en dBi (Antena Isotrópica).

L_c = Valor de atenuación de la señal debido al cable de conexión entre la antena y Tx.

$$\mathbf{PIRE_{(dBm)} = 20 \text{ dBm} + 23 \text{ dBi} - 0 \text{ dB} = 43 \text{ dBm.}}$$

Como el equipo emplea MIMO 2x2 este tendrá una ganancia agregada de +3dB, esta se debe de sumar al valor de PIRE (esta ganancia solo son para MIMO 2X2, para arreglos de más antenas la ganancia es mayor, ejemplo +4.8dB para un radio 3x3 o +6dB para un radio 4x4).

$$\mathbf{PIRE_{(dBm)} = 43 \text{ dBm} + 3 \text{ dB} = 46 \text{ dBm.}}$$

6.23 Cálculo de Campo Eléctrico “E”.

$$E_{(dB\mu V/m)} = E_{(dB\mu V)} - Gr_{(dBi)} + 20 \log f_{(MHz)} - 29.8.$$

$$E_{(dB\mu V/m)} = 42.9897 - 26 + 75.34311732 - 29.8 = \mathbf{62.53281732 \text{ dB}\mu V/m.}$$

Ahora se procede al cálculo de campo “E” para el voltaje de la potencia de recepción:

$$E = 52.99 - 26 + 75.34311732 - 29.8 = 72.53311732 \text{ dB}\mu\text{V}/\text{m}.$$

6.24 Cálculo de Orientación de las Antenas entre el Transmisor y el Receptor.

Coordenadas del punto A (Contiguo a Taller Boza) ubicado en la comarca Sabana Grande.

Latitud: 12° 8' 5.36" N.

$$\text{Grados decimales} = 12^\circ + \left(\frac{8}{60}\right) + \left(\frac{5.36}{3600}\right) = 12.13482222^\circ.$$

Longitud: 86° 10' 54.43" O.

$$\text{Grados decimales} = 86^\circ + \left(\frac{10}{60}\right) + \left(\frac{54.43}{3600}\right) = -86.18178611^\circ.$$

Coordenadas del punto B (Pozo SAVESA) ubicado en residencial Valle Verde.

Latitud: 12° 7' 32.45" N.

$$\text{Grados decimales} = 12^\circ + \left(\frac{7}{60}\right) + \left(\frac{32.45}{3600}\right) = 12.12568055^\circ.$$

Longitud: 86° 8' 44.67" O.

$$\text{Grados decimales} = 86^\circ + \left(\frac{8}{60}\right) + \left(\frac{44.67}{3600}\right) = -86.14574167^\circ.$$

Nota: Para longitudes en el hemisferio Occidental Norte, las coordenadas Oeste son negativas, por lo tanto, se le cambia el signo. Como Nicaragua se encuentra ubicada en el hemisferio norte se procede a realizar el cambio.

6.25 Cálculo de Azimut para Orientación de las Antenas de Radioenlace PTP.

Para el cálculo de orientación de las antenas entre el taller Boza y el pozo de agua, SAVESA, se utiliza la formula topográfica:

$$\frac{\Delta \text{Longitud}}{\Delta \text{Latitud}} = \frac{\text{Longitud de punto B} - \text{Longitud de punto A}}{\text{Latitud de punto B} - \text{Latitud de punto A}}. \quad (19)$$

$$\begin{aligned} \frac{\Delta \text{Longitud}}{\Delta \text{Latitud}} &= \frac{(-86.14574166666668^\circ) - (-86.18178611111112^\circ)}{(12.12568055555556^\circ) - (12.13482222222223^\circ)} \\ &= -3.953812597^\circ. \end{aligned}$$

$$\theta = \tan^{-1}(-3.953812597^\circ) = -75.80637936^\circ.$$

Debido a los signos obtenidos para $\frac{\Delta \text{Longitud}}{\Delta \text{Latitud}}$ se tiene la siguiente condición: Cuando $\Delta \text{Longitud}$ es positivo y este se divide entre $\Delta \text{Latitud}$ negativo, se puede afirmar que estos se encuentran en el segundo cuadrante, entonces para encontrar el azimut, al valor obtenido de " θ ", para el segundo cuadrante se le deben de sumar 180 grados.

$$\text{Azimut}_{(A)} = 180^\circ + (-75.80637936^\circ) = \mathbf{104.1936206^\circ}.$$

Para el cálculo del $\text{Azimut}_{(B)}$ también llamado contra $\text{Azimut}_{(A)}$ se le suman 180°:

$$\text{Contra Azimut}_{(A)} = \mathbf{284.1936206^\circ}.$$

6.26 Cálculo de Ángulo de Elevación.

En base a los conceptos antes descritos, se realiza el planteamiento para el cálculo del ángulo de elevación de acuerdo a la ecuación siguiente:

$$\text{Ángulo de elevación} = \tan^{-1} \theta.$$

$$\theta = \frac{\Delta \text{Altura}}{\text{Distancia}_{AB}}.$$

Y a la vez:

$$\frac{\Delta \text{Altura}}{\text{Distancia}_{AB}} = \frac{97.5 \text{ m} - 92.9 \text{ m}}{4040 \text{ m}} = \mathbf{0.001138613}.$$

$$\theta = \mathbf{0.001138613 \text{ rad.}}$$

$$\text{Ángulo de elevación} = \tan^{-1} 0.001138613 \text{ rad.}$$

$$\text{Ángulo de elevación} = \mathbf{0.001138613 \text{ rad.}}$$

Una vez realizado el cálculo se convierte a grados para obtener el Ángulo de elevación:

$$\text{Radianes a grados} = 0.001138613 \text{ rad} * \left(\frac{\pi}{180^\circ} \right) = 0.065237719398891^\circ.$$

$$\text{Ángulo de elevación} = \mathbf{0.065237719398891^\circ}.$$

6.27 Cálculo de Altura de las Torres de Antenas.

La altura del primer obstáculo se ubica a 2 km de distancia del transmisor, con una altura de 79 metros. La altura del segundo obstáculo se ubica a 3.67 km de distancia medida desde el transmisor con una altura de 71 metros (datos obtenidos del perfil de elevación con Google Earth Pro ver “Figura 12”).

$$\text{Punto A} = 72.5 + h_1.$$

$$\text{Punto B} = 72.9 + h_2.$$

D= 4.04 Km, es la distancia total de A hacia B.

Altura del punto A= 72.5 m, representa la altura sobre el nivel del mar.

Altura del punto B= 73 m, representa la altura sobre el nivel del mar.

Altura del obstáculo 1 = 73.9 m, representa la altura sobre el nivel del mar.

Altura del obstáculo 2 = 70.7 m, representa la altura sobre el nivel del mar.

$$\mathbf{Punto_{obst1} = 73.9 + hc_{obs1} + rc_{obs1}. (27)}$$

Ahora tratando la Tierra como si fuera completamente plana se aplica el factor de corrección de curvatura.

$$h_c = 0.0548 * (d_1) * (d_2).$$

$$r_c = 548 * \sqrt{\frac{(d_1) * (d_2)}{D * f}}.$$

Sustituyendo en la ecuación se tiene:

$$Punto_{obst1} = (73.9) + (0.0585) * (2) * (4.04 - 2) + 548 * \sqrt{\frac{(2) * (4.04 - 2)}{(4.04 * 5850)}}.$$

$$\mathbf{Punto_{obst1} = 81.33883796 m.}$$

$$Punto_{obst2} = 70.7 + hc_{obs2} + rc_{obs2}.$$

$$Punto_{obst2} = (70.7) + (0.0585) * (3.67) * (4.04 - 3.67) + 548$$

$$* \sqrt{\frac{(3.67) * (4.04 - 3.67)}{(4.04 * 5850)}}.$$

$$\mathbf{Punto_{obst2} = 74.93323958 m.}$$

$$\mathbf{y = Punto_{obst1} - Punto_{obst2}.}$$

$$y = 81.33883796 m - 74.93323958 m = \mathbf{6.40559838 m.}$$

$$\tan \theta = \frac{x}{2} = \frac{y}{1.67} = \frac{z}{0.37}$$

$$x = \frac{2(6.40559838)}{1.67} = 7.6713753 \text{ m.}$$

$$z = \frac{0.37 * (6.40559838)}{1.67} = 1.41920443 \text{ m.}$$

Ahora se procede a igualar las ecuaciones:

$$\text{Punto A} = 81.33883796 + x$$

$$\text{Punto A} = 72.5 + h_1$$

$$72.5 + h_1 = 81.33883796 + x$$

$$72.5 + h_1 = 81.33883796 + 7.6713753$$

$$h_1 = 81.33883796 + 7.6713753 - 72.5 = 16.51021326 \text{ m.}$$

Se procederá de igual forma para el punto B:

$$\text{Punto B} = 72.9 + h_2$$

$$\text{Punto B} = 74.93323958 - z$$

$$72.9 + h_2 = 74.93323958 - z.$$

$$h_2 = 74.93323958 - 1.41920443 - 72.9 = 0.61403515 \text{ m.}$$

Nota: Para la realización del cálculo de altura de torres se debe de resaltar que este cálculo será el mínimo para tener despejada la primera zona de Fresnel es decir que no necesariamente se debe de emplear en el diseño y quedará a criterio del diseñador si se aumentan estas alturas previendo obstáculos ajenos al perfil de elevación como edificaciones y árboles. Para la elaboración de este trabajo se ha decidido que se emplearan torres con alturas diferentes, siendo para el punto A, una torre de 25 m y para el punto B, una torre con 20 m, de este modo se asegura un 100% de la primera zona de Fresnel y un margen prudente de altura con respecto a edificaciones y o árboles por ser una zona de expansión.

6.28 Cálculos para el Radioenlace Punto Multipunto.

En la realización de los cálculos Punto Multipunto se ha ubicado como ejemplo y referencia a un destino denominado “Cliente Modelo”. Primeramente, se realizará el cálculo de la distancia.

6.28.1 Coordenadas de Sitio Pozo de Agua SAVESA.

Latitud 1: 0.211633049 rad.

Longitud 1: 1.503526829 rad.

6.28.2 Coordenadas de Sitio Cliente Modelo.

Latitud 2: 0.211718753 rad.

Longitud 2: 1.503564324 rad.

$$\Delta \text{ Latitud} = 8.5704 \times 10^{-5}$$

$$\Delta \text{ Longitud} = 3.7495 \times 10^{-5}$$

$$a = \sin\left(\frac{8.5704 \times 10^{-5}}{2}\right)^2 + \cos(0.211633049) * \cos(0.211718753) * \sin\left(\frac{3.7495 \times 10^{-5}}{2}\right)^2.$$

$$a = 2.17225 \times 10^{-9}.$$

$$c = 2 * \tan^{-1}\left(\frac{\sqrt{2.17225 \times 10^{-9}}}{\sqrt{1 - 2.17225 \times 10^{-9}}}\right) = 0.00009321.$$

$$d = 6371 * 0.00009321 = 0.593840910 \text{ km.}$$

6.29 Cálculo para el Radio de la 1^{ra} Zona de Fresnel Cuando el Obstaculo se Encuentra en el Centro.

$c = 299792458 \text{ m/s}$, aunque se puede aproximar a $3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$.

$f = 5850 \text{ MHz}$.

$d_1 = 0.37 \text{ km}$.

$d_2 = 0.22 \text{ km}$.

De lo anterior se tiene que $\lambda = 51.24657$.

“r” cuando $n=1$.

$$r_{n=1} = \sqrt{\frac{(1) * (51.24657) * (0.37) * (0.22)}{(0.37) + (0.22)}} = 2.65900159 \text{ m.}$$

“r” cuando $n=2$.

$$r_{n=2} = \sqrt{\frac{(2) * (51.24657) * (0.37) * (0.22)}{(0.37) + (0.22)}} = 3.76039611 \text{ m.}$$

6.29.1 Cálculo del Máximo Radio en Metros de la 1^{ra} Zona de Fresnel, Tomando en Consideración el Obstáculo del Enlace se Encuentra en un Punto Distinto del Centro de la Trayectoria.

$$f1_{[m]} = 8.656 * \sqrt{\frac{0.594 \text{ km}}{5.85 \text{ GHz}}} = 2.75824307 \text{ m.}$$

6.29.2 Cálculo de la Altura de Despeje para la 1^{ra} Zona de Fresnel.

$h_1 = 72.9 \text{ m} + 14 \text{ m} = 86.9 \text{ m}$.

$h_2 = 68.5 \text{ m} + 7 \text{ m} = 75.5 \text{ m}$.

$h = 9.11 \text{ m}$.

$d = 0.594 \text{ km}$.

$d_1 = 0.37 \text{ km}$.

$d_2 = 0.22 \text{ km}$.

K= radio efectivo de la tierra, equivale a 4/3 para la atmósfera estándar.
 $\alpha = 6371$ radio promedio de la tierra.

$$h_{des} = 86.9 + \left(\frac{0.370}{0.594}\right) * (86.9 - 75.5) - \left(9.11 + \left(\frac{0.370 * 0.220 * 1000}{2 * \frac{4}{3} * 6371}\right)\right) =$$

84.88621885 m.

6.29.3 Cálculo del Despeje de la Primera Zona de Fresnel.

$$h_{des} = 84.88621885 \text{ m.}$$

$$r_{n=1} = 3.76039611 \text{ m.}$$

$$M = 20.55982577 \text{ m} - 7.202724742 \text{ m} = 13.357101028 \text{ m.}$$

$$r = \frac{1}{1 + \left(\frac{0.594}{3.996216592}\right)} = 0.87059434.$$

$$d_{eff} = (0.594 \text{ km}) * (0.87059434) = 0.51713303 \text{ Km.}$$

6.30 Cálculo de Pérdida por Trayectoria en el Espacio Libre.

$$FSL_{(dB)} = 32.4 + 20 \log(5850) + 20 \log(0.594) = 103.21884622 \text{ dB.}$$

6.31 Cálculo de las Pérdidas por Propagación.

$$P_p = 0.56787319 \text{ dB} + 103.21884622 \text{ dB} = 103.78671941 \text{ dB.}$$

6.32 Cálculo de Pérdidas del Equipo de Transmisión / Recepción (Miscelánea).

$$P_{Tx/Rx} = 1dB + 1dB + 1dB + 1dB = 4 \text{ dB.}$$

6.33 Cálculo de Pérdidas Total.

$$P_{Total} = 103.78671941 \text{ dB} + 4 \text{ dB} = 107.78671941 \text{ dB}.$$

6.34 Cálculo de Pérdidas en la Potencia de Recepción.

$$P_{Rx} = 10 \text{ dBm} + 19 \text{ dBi} + 26 \text{ dBi} - 107.78671941 \text{ dB} = -52.78671941 \text{ dBm}.$$

6.35 Cálculo del Margen de Desvanecimiento Cuando se Conoce la Sensibilidad del Receptor.

Anteriormente se estableció que el nivel de umbral para los equipos de radio a utilizar sería de valor igual a $N_u = -75 \text{ dBm}$ y -77 dBm ya que son dos equipos distintos tendrán un margen de desvanecimiento distinto.

Habiendo calculado que $P_R = -52.78671941 \text{ dBm}$, se tendría al sustituir:

$$M_d = -52.78671941 - (-75 \text{ dBm}) = 22.21328059 \text{ dB}.$$

$$M_d = -52.78671941 - (-77 \text{ dBm}) = 24.21328059 \text{ dB}.$$

6.36 Cálculo de Indisponibilidad y Confiabilidad del Enlace.

$$D = 0.594 \text{ km}.$$

$$A = 4.$$

$$B = 1.$$

$$f = 5.850 \text{ GHz}.$$

$$MD = 22.21328059 \text{ dB}.$$

$$P = 6 * 10^{-7} * (4) * (1) * (5.850) * (0.594)^3 * 10^{-\left(\frac{22.21328059}{10}\right)}.$$

$$P = 0.00000001.$$

$$R = (100 - 0.00000001) * 100\% = 99.9999999\%.$$

6.37 Cálculo de Campo Eléctrico “E”.

6.37.1 Para Antena Sectorial.

Campo E requerido.

$$E_{(dB\mu V/m)} = 51.99 - 26 + 75.34311732 - 29.8 = 71.53311732 \text{ dB}\mu V/m.$$

Ahora se procede al cálculo de campo “E” para la potencia de recepción:

$$E = 29.99 - 26 + 75.34311732 - 29.8 = 49.53311732 \text{ dB}\mu V/m.$$

Como se utilizan equipos diferentes en cada extremo los valores del campo eléctrico serán:

6.37.2 Para Antena Cliente Modelo.

$$E_{(dB\mu V/m)} = 51.99 - 19 + 75.34311732 - 29.8 = 78.53311732 \text{ dB}\mu V/m.$$

Ahora se procede al cálculo de campo E para la potencia de recepción:

$$E = 31.99 - 19 + 75.34311732 - 29.8 = 58.53311732 \text{ dB}\mu V/m.$$

6.38 Cálculo de Orientación de las Antenas entre Pozo de Agua SAVESA y Cliente Modelo.

6.38.1 Cálculo del Azimut.

Coordenadas del punto A (Pozo SAVESA) ubicado en residencial Valle Verde.

Latitud: 12° 7' 32.45" N.

Grados decimales = 12.12568055°.

Longitud: $86^{\circ} 8' 44.67''$ O.

$$\text{Grados decimales} = -86.14574167^{\circ}.$$

Coordenadas del punto B (Cliente Modelo) ubicado en residencial Valle Verde.

Latitud: $12^{\circ} 07' 50.1''$ N.

$$\text{Grados decimales} = 12.13059^{\circ}.$$

Longitud: $86^{\circ} 08' 52.4''$ O.

$$\text{Grados decimales} = -86.14789^{\circ}.$$

6.38.2 Cálculo de Azimut para Orientación de las Antenas de Radioenlace PTMP.

$$\frac{\Delta \text{Longitud}}{\Delta \text{Latitud}} = \frac{(-86.14789^{\circ}) - (-86.14574167^{\circ})}{(12.13059^{\circ}) - (12.12568055^{\circ})} = -0.43759076^{\circ}.$$

$$\theta = \tan^{-1}(-0.43759076^{\circ}) = -23.63374230^{\circ}.$$

Debido a los signos obtenidos para $\frac{\Delta \text{Longitud}}{\Delta \text{Latitud}}$ estos se encuentran en el segundo cuadrante, entonces, al valor obtenido de " θ ", se le deben de sumar 180 grados.

$$\text{Azimut}_{(A)} = 180^{\circ} + (-23.63374230^{\circ}) = 156.3662577^{\circ}.$$

Para el cálculo del Azimut_(B) también llamado contra Azimut_(A) se tiene:

$$\text{Contra Azimut}_{(A)} = 156.3662577^{\circ} + 180^{\circ} = 336.3662577^{\circ}.$$

6.38.3 Cálculo de Ángulo de Elevación.

$$\frac{\Delta \text{Altura}}{\text{Distancia}_{AB}} = \frac{87 \text{ m} - 75.5 \text{ m}}{594 \text{ m}} = 0.01936026.$$

$$\theta = 0.01936026 \text{ rad.}$$

$$\text{Ángulo de elevación} = \tan^{-1} 0.01936026 \text{ rad} = 0.019357842 \text{ rad.}$$

$$\text{Radianes a grados} = 0.001138613 \text{ rad} * \left(\frac{\pi}{180^\circ} \right) = 1.10912264708384^\circ.$$

$$\text{Ángulo de elevación} = \mathbf{1.10912264708384^\circ}.$$

6.39 Normativa de Ley en Nicaragua.

6.39.1 Normativos Jurídicos Legales de Nicaragua.

Según dicta la “Ley General de Telecomunicaciones y Servicios Postales”, publicado en la Gaceta No. 2 del 4 de enero del 2005”. Ley No. 200, Ley General de Telecomunicaciones y Servicios Postales, publicada en la Gaceta No. 154, del 18 de agosto de 1995 y el Decreto No. 19-96 y sus reformas, atribuye las bandas de frecuencia radioeléctrica, de entre otros aspectos contenidos para propósitos de soportar la selección de la frecuencia, para el presente trabajo, basados en los acuerdos adquiridos por la autoridad reguladora como se describe a continuación, en la Banda de 5725 a 5850 MHz, se pueden utilizar antenas de transmisión de ganancia direccional mayores a 6 dBi en radioenlaces punto a punto, en esta banda pueden emplearse antenas de transmisión con ganancia direccional de hasta 23 dBi sin la correspondiente reducción de la potencia de salida pico del transmisor. [29]

6.39.2 Instalaciones Físicas para el Radioenlace de Acuerdo al Marco de Ley.

Para aspectos relacionado con la selección de un área adecuada para la instalación de torres y su altura, en base a lo establecido en la ley aprobada el 2 de octubre del año 2019, ley No 843. La presente ley es aplicable en todo el territorio nacional, a todas las empresas operadoras de telecomunicaciones debidamente autorizadas y personas naturales o jurídicas propietarias de estructuras de soporte para equipos que hacen uso del espectro radioeléctrico. [30]

6.39.3 Requisitos para el Permiso e Instalación de Estructuras de Soporte.

Para casos de estructuras menores y servicios de transmisión de datos y acceso a internet, no requerirán del Permiso establecido en la Ley, pero estará sujeto a las disposiciones de la Ley No. 200 y su reglamento, en lo que se refiere a la autorización del uso del espectro, en adición a la disposición del Artículo 16 de la Ley, las estructuras de soporte objeto de ésta, deben cumplir al menos con las siguientes condiciones; utilización de la Norma TIA/EIA222, en dependencia de la altura, en adición a las disposiciones de la Ley, la estructura de soporte debe sujetarse a los siguientes parámetros, en las áreas urbanas, las estructuras menores de 36 metros de altura pueden estar soportadas en un solo elemento, arriostradas o auto soportadas y no requieren de Cerca Perimetral, salvo cuando tengan tanques de almacenamiento de combustible. En las áreas urbanas la altura máxima permitida para la instalación de la estructura de soporte será de 45 metros. Cuando se encuentre construida, instalada o se vaya a instalar en edificios o azoteas no podrá ser superior a los 9 metros, medidos a partir del nivel del piso terminado donde se apoya, en estas estructuras no se requiere de Barreras Físicas y se deberá cumplir con las limitaciones establecidas para la navegación aérea. [30]

6.40 Descripción de Software a Utilizar.

6.40.1 Google Earth Pro.

Inicialmente se debe indicar que Google Earth hace referencia a una plataforma que permite a los usuarios realizar visualizaciones y por ende análisis de imágenes de nuestro planeta. Se dispone mediante esta herramienta de un almacenamiento extenso de imágenes satelitales y aéreas que comprende tanto sitios con características geológicas como edificaciones de zonas urbanas.

6.40.2 Radio Mobile.

Consiste de un software de distribución libre, con propiedad intelectual de Roger Coudé, mediante el cual es posible realizar el diseño de redes de telecomunicaciones, el programa funciona en rangos de frecuencia que van desde 20 MHz hasta los 20 GHz. [31] Radio Mobile utiliza el modelo de propagación ITM que se trata de un modelo de propósito general que puede ser utilizado en una amplia variedad de problemas de ingeniería. El modelo se encuentra basado en la teoría electromagnética y análisis estadístico de acuerdo a las características del terreno y las mediciones de radio, predice la atenuación de una señal de radio en función de la distancia y la variabilidad de la señal en el tiempo.

6.40.3 RADWIN Link Budget Calculator.

La Calculadora de presupuesto de enlaces en línea de RADWIN es una herramienta web a la que se puede acceder desde un navegador de internet. Se utiliza para calcular el rendimiento esperado de un enlace inalámbrico del portafolio RADWIN 2000 y las posibles configuraciones para un rango de enlace en específico, realiza el cálculo del RSS esperado del enlace y evalúa el tipo de servicios y su rendimiento efectivo para las condiciones de implementación, este posee integración con Google Earth.

6.40.4 UISP Design Center.

Se trata de una herramienta web de integración que se utiliza para el diseño de redes de datos inalámbricas mediante la cual permite la optimización de sitios de ubicación de los puntos de acceso Wi-Fi. La utilización de esta herramienta resulta ser muy completa pues brinda resultados de simulaciones esperados con respecto a software de simulación profesionales, entre sus bondades se encuentra que posee integración de herramientas extras que ayudan a proveedores de internet, tales como una calculadora de rentabilidad.

6.41 Simulaciones y Equipos.

6.41.1 Equipos Considerados para el Diseño de los Radioenlaces.

Para dar inicio de este apartado se realizó una previa inspección a los sitios destinados para el diseño de los radioenlaces PTP Y PTMP, para determinar los requerimientos técnicos y parametrización de los equipos a implementar. Para el punto A del radioenlace PTP, se determinó que la comarca de Sabana Grande, departamento de Managua, contiene el lugar de interés de donde se suministrará la red de datos hacia el residencial, este sitio posee una torre para servicios de telefonía y datos de más de 35 metros de altura siendo un punto ideal para la colocación del equipo a implementar.

Para el punto B, se determinó dentro del Residencial Valle Verde que sita del km 14 de la carretera panamericana norte, 3 km al sur, la instalación y construcción de una torre arriostrada dentro de las instalaciones del Pozo de Agua SAVESA, de donde se colocarán los equipos de recepción del enlace PTP y el equipo de AP, que brinde el servicio de datos a todo el residencial, este último punto cuenta con cerca perimetral de acceso restringido al público en general y su ubicación permite las condiciones para la operación de una antena sectorial que cubra todo el residencial, siendo este un punto idóneo. De acuerdo a la inspección se logró constatar que no es necesario la implementación de repetidores ya que existe total línea de vista, siendo los perfiles de elevación entre la distancia de los puntos relativamente plano y el obstáculo más prominente con respecto a los dos puntos es apenas de 6 metros refiriéndose a las alturas a nivel del suelo con respecto a la elevación del mar.

En la Tabla 2, se presentarán los principales aspectos evaluados de la inspección de los sitios, como primer punto de interés se denotarán, las coordenadas geográficas, donde se ubicaron los sitios en el mapa para incorporarlos a Google Earth pro, para que ayude a determinar la distancia total del enlace en línea recta

y la verificación de la existencia de línea de vista entre los sitios de acuerdo a los niveles de altura que posean los puntos con respecto al nivel del mar, esto beneficiará también a determinar la altura de torres y colocación de los equipos de acuerdo al perfil de elevación y topografía entre los enlace.

Proyecto Residencial Valle Verde.				
Proyecto.	Radio Enlace PTP.		Radio Enlace PTMP.	
Sitio.	Sitio A	Sitio B	Sitio A	Sitio B
Nombre.	Taller Boza.	Pozo de agua SAVESA.	Pozo de agua SAVESA.	Cliente Modelo.
Ubicación.	Managua - Comarca Sábana Grande.	Managua - Residencial Valle Verde.	Managua - Residencial Valle Verde.	Managua - Residencial Valle Verde.
Fecha.	14 de Mayo, 2023.	14 de Mayo, 2023.	14 de Mayo, 2023.	14 de Mayo, 2023.
Latitud.	12° 8' 5.36" N.	12° 7' 32.45" N.	12° 7' 32.45" N.	12° 7' 50.1" N.
Longitud.	86° 10' 54.43" O.	86° 8' 44.67" O.	86° 8' 44.67" O.	86° 8' 52.4" O.
Altura sobre nivel del mar. (Mts)	72.5	72.9	66.6	68.5
Disponibilidad de Energía Eléctrica.	Si.	Si.	Si.	Si.
Disponibilidad de Fibra Óptica.	Si.	No.	No.	No.
Condiciones de Acceso.	Urbano Normal.	Terreno plano urbano Normal.	Terreno plano urbano Normal.	Terreno plano urbano Normal.
Disponibilidad de Torre.	Si.	No.	No.	No.
Altura de Torre Necesaria. (Mts)	25	20	14	2 - 3
Distancia del Enlace. (Km)	4.04.	4.04.	0.59.	0.59.
Distancia al Obstáculo. (Km)	2		0.37	
Altura del Obstáculo. (Mts)	79		72	

Tabla 2. Datos Obtenidos de la Inspección.

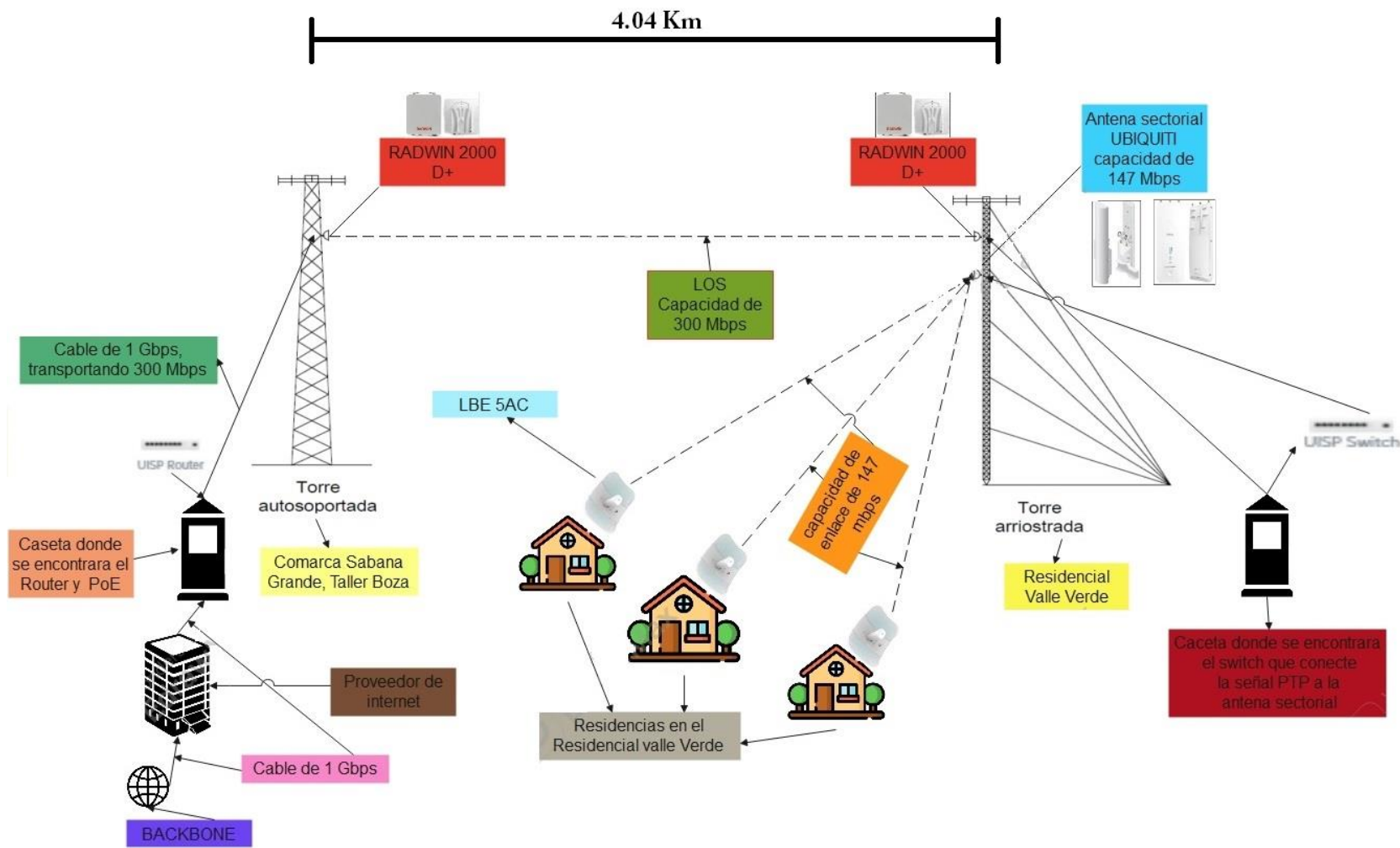


Figura 13. Topología del diseño del Radioenlace Completo entre Comarca Sabana Grande y Residencial Valle Verde.

6.42 RADWIN.

En el presente trabajo se utilizará el equipo RADWIN 2000 D+ el cual ofrece la característica de presentar una capacidad con hasta 750Mbps, este equipo opera en frecuencias debajo de 6 GHz, posee características de ser radios multibanda para poderse mover en diferentes rangos de frecuencias. Utiliza tecnología OFDM-MIMO, que ofrece gran estabilidad ante interferencias, sobre todo cuando se trabaja en las denominadas bandas libres. [32]



Figura 14. Vista Frontal y Posterior del Equipo Modelo RW-2050-D100. [33]

Product Specifications:				
Radio				
Max Capacity	750 Mbps net aggregate throughput			
Range	Up to 40 km / 25 miles			
Channel Bandwidth	Configurable: 10, 20, 40, 80 MHz (for the default band)			
Modulation	2x2 MIMO-OFDM (BPSK/QPSK/16QAM/64QAM/256QAM)			
Max Tx Power	25 dBm			
Supported Bands				
Band	Channel BW 5MHz [GHz]	Channel BW 10MHz [GHz]	Channel BW 20MHz [GHz]	Channel BW 40MHz [GHz]
5.1 GHz Universal	-	5.145-5.340	5.140-5.345	5.130-5.355
5.4 GHz Universal	-	5.470-5.725	5.465-5.730	5.455-5.740
5.8 GHz FCC/IC (default)	-	5.725-5.850	5.725-5.850	5.725-5.850
Integrated Antenna				
Gain	23 dBi			

Antenna Pattern

Frontal @ 1.50m

Antenna Pattern

Angular @ 1.50m

Tabla 3. Especificaciones del Modelo RW-2050-D100. [33]

6.43 Equipos de Ubiquiti Networks, Rocket Prism 5AC.

Para la realización de este trabajo se utilizarán dispositivos Ubiquiti en los radioenlaces del residencial valle verde, para la elección del Radio destinado a la antena sectorial se seleccionó el Rocket Prism 5AC que ofrece un máximo rendimiento inalámbrico en áreas de alta densidad. La implementación de este modelo ofrece una cobertura completa del espectro de 5GHz.



Figura 15. Vista Frontal y Posterior del Equipo Rocket PRISM 5AC. [34]

Specifications							
RP-5AC-Gen2							
Channel Sizes	PtP Mode			PtMP Mode			
	10/20/30/40/50/60/80 MHz			10/20/30/40 MHz			
Operating Frequency (MHz)							
Worldwide	5150 - 5875						
USA	U-NII-1: 5150 - 5250	U-NII-2A: 5250 - 5350 MHz	U-NII-2C: 5470 - 5725 MHz	U-NII-3: 5725 - 5850			
RP-5AC-Gen2 Output Power: 28 dBm							
TX Power Specifications				RX Power Specifications			
Modulation	Data Rate	Avg. TX	Tolerance	Modulation	Data Rate	Sensitivity	Tolerance
airMAX ac	1x BPSK (½)	28 dBm	± 2 dB	airMAX ac	1x BPSK (½)	-96 dBm	± 2 dB
	2x QPSK (¼)	28 dBm	± 2 dB		2x QPSK (¼)	-95 dBm	± 2 dB
	2x QPSK (¼)	28 dBm	± 2 dB		2x QPSK (¼)	-92 dBm	± 2 dB
	4x 16QAM (¼)	28 dBm	± 2 dB		4x 16QAM (¼)	-90 dBm	± 2 dB
	4x 16QAM (¼)	28 dBm	± 2 dB		4x 16QAM (¼)	-86 dBm	± 2 dB
	6x 64QAM (2/3)	28 dBm	± 2 dB		6x 64QAM (2/3)	-83 dBm	± 2 dB
	6x 64QAM (¼)	27 dBm	± 2 dB		6x 64QAM (¼)	-77 dBm	± 2 dB
	6x 64QAM (5/6)	26 dBm	± 2 dB		6x 64QAM (5/6)	-74 dBm	± 2 dB
8x 256QAM (¼)	24 dBm	± 2 dB	8x 256QAM (¼)	-69 dBm	± 2 dB		

Tabla 4. Especificaciones del Rocket PRISM 5AC. [34]

6.43.1 LBE 5AC GEN2.

El Lite Beam 5AC es un equipo de radio con antena integrada, implementa 2x2 MIMO y tiene una velocidad máxima de Internet de 450 Mbps y un amplio rango de frecuencia en 5GHz. Su antena incorporada es de 23 dBi y es capaz de funcionar como punto de acceso o estación. Además, cuenta con una inmunidad al ruido mejorada para un mayor rendimiento.

Specifications						
LBE-5AC-Gen2						
Gain				23 dBi		
Channel Sizes	PtP Mode		PtMP Mode			
	10/20/30/40/50/60/80 MHz		10/20/30/40 MHz			
Operating Frequency (MHz)						
Worldwide	5150 - 5875					
US/CA	U-NII-1: 5150 - 5250	U-NII-2A: 5250 - 5350 MHz	U-NII-2C: 5470 - 5725 MHz	U-NII-3: 5725 - 5850		
LBE-5AC-Gen2 Output Power: 25 dBm						
TX Power Specifications			RX Power Specifications			
Modulation	Data Rate	Avg. TX	Tolerance	Modulation		
airMAX ac	1x BPSK (1/2)	25 dBm	± 2 dB	1x BPSK (1/2)	-60 dBm Min.	± 2 dB
	2x QPSK (1/2)	25 dBm	± 2 dB	2x QPSK (1/2)	-65 dBm	± 2 dB
	2x QPSK (3/4)	25 dBm	± 2 dB	2x QPSK (3/4)	-62 dBm	± 2 dB
	4x 16QAM (1/2)	25 dBm	± 2 dB	4x 16QAM (1/2)	-60 dBm	± 2 dB
	4x 16QAM (3/4)	25 dBm	± 2 dB	4x 16QAM (3/4)	-66 dBm	± 2 dB
	6x 64QAM (2/3)	25 dBm	± 2 dB	6x 64QAM (2/3)	-83 dBm	± 2 dB
	6x 64QAM (3/4)	24 dBm	± 2 dB	6x 64QAM (3/4)	-77 dBm	± 2 dB
	6x 64QAM (5/6)	23 dBm	± 2 dB	6x 64QAM (5/6)	-74 dBm	± 2 dB
8x 256QAM (1/4)	21 dBm	± 2 dB	8x 256QAM (1/4)	-69 dBm	± 2 dB	
8x 256QAM (5/6)	21 dBm	± 2 dB	8x 256QAM (5/6)	-65 dBm	± 2 dB	

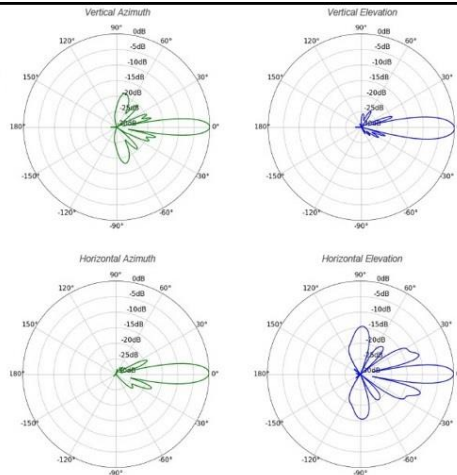


Tabla 5. Especificaciones del LBE 5AC. [35]



Figura 16. Vista Frontal y Posterior del Equipo LBE 5AC. [35]

6.43.2 Antena Sectorial AM-5G16-120.

Esta antena sectorial se caracteriza por su funcionamiento en la banda de 5 GHz, es una antena de doble polarización que se complementa junto a Rocket Prism ac, creando una estación base 2x2 MIMO Punto multipunto.



Figura 17. Vista Frontal y Posterior del Equipo AM-5G16-120. [36]

Specifications

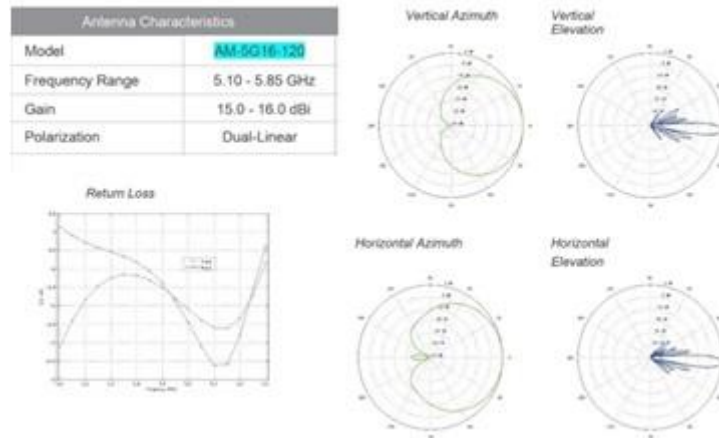


Figura 18. Especificaciones de Antena AM-5G16-120. [36]

6.43.3 UISP Switch y UISP Router.

Estos equipos son ideales para implementaciones de ISP inalámbricos (WISP), el switch es un conmutador, y el router es un enrutador, ambos PoE de capa 2 sin ventilador con (8) puertos GbE RJ45 para una opción de enlace ascendente adicional. Con un suministro PoE total de 110 W. El interruptor UISP se administra con la aplicación UISP, una plataforma centralizada donde puede monitorear y administrar todos sus dispositivos.

UISP Switch		UISP Router	
Mechanical		Mechanical	
Dimensions	230.4 x 95 x 29 mm (8.28 x 3.74 x 1.14")	Dimensions	230.4 x 95 x 29 mm (8.28 x 3.74 x 1.14")
Weight	630 g (1.34 lb)	Weight	600 g (1.32 lb)
Enclosure material	Polycarbonate	Enclosure material	Polycarbonate
Hardware		Hardware	
Total non-blocking throughput	9 Gbps	Networking interface	(8) 10/100/1000 MbE RJ45 ports (1) 10 SFP port
Switching capacity	18 Gbps	Management interface	Ethernet In-band Bluetooth BLE
Forwarding rate	13,392 Mpps	Processor	Dual-core 880 MHz, MP51004Kc
Networking interface	(8) 10/100/1000 MbE RJ45 ports (1) 10 SFP port	Memory	512 MB DDR3
Management interface	Ethernet In-band Bluetooth BLE	Onboard flash storage	512 MB NAND
Power method	External AC/DC adapter	Power method	External AC/DC adapter
Power supply	27VDC, 4.4A power adapter (included)	Power supply	27VDC, 4.4A power adapter (included)
Supported voltage range	24 - 28VDC	Supported voltage range	24 - 28VDC
Max. power consumption	8W (excludes PoE output)	Max. power consumption	10W (excludes PoE output)
ESD/EMP protection	Air: ± 15 kV, contact: ± 8 kV	ESD/EMP protection	Air: ± 15 kV, contact: ± 8 kV
Operating temperature	-10 to 50° C (14 to 122° F)	Operating temperature	-10 to 50° C (14 to 122° F)
Operating humidity	5 to 95% non-condensing	Operating humidity	5 to 95% non-condensing
Certifications	CE, FCC, IC	Certifications	CE, FCC, IC
PoE		PoE	
PoE interface	(8) 27V passive PoE: 2 pair	PoE interface	(8) 27V passive PoE: 2 pair
Max. Passive PoE wattage per port	30W/27VDC	Max. Passive PoE wattage per port	30W/27VDC
Passive PoE voltage range	27VDC	Passive PoE voltage range	27VDC

Tabla 6. Especificaciones UISP-S Y UISP-R. [37]



Figura 19. Vista Frontal y Posterior del Equipo UISP-S Y UISP-R. [37]

6.43.4 Simulaciones de los Radioenlaces.

6.44 RADWIN Link Budget Calculator “LBC”.



Figura 20. Elección de Equipo y Llenado de Campo de Valores en LBC. [38]

En la figura 20, se realiza la colocación de parámetros de acuerdo al equipo a utilizar a sí mismo a la colocación de las coordenadas de los sitios y la altura de los equipos en torre.

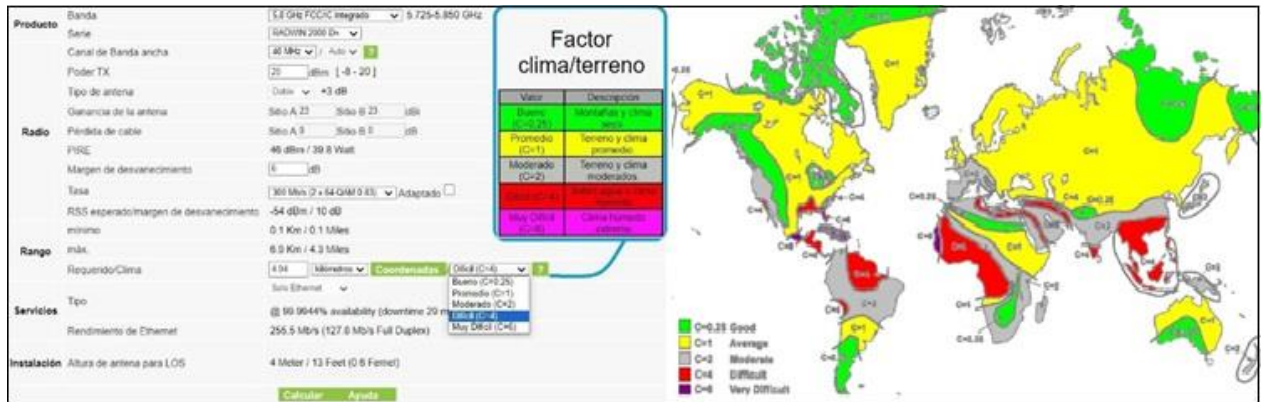


Figura 21. Elección de Tipo de Clima, Tipo Difícil.

En la figura 21, se realiza la elección del tipo de clima de acuerdo a las coordenadas así mismo la calculadora podrá brindar cálculos de disponibilidad e indisponibilidad del enlace y el margen de desvanecimiento.



Figura 22. Resultado de la Calculadora de Presupuesto del Enlace.

En la Figura 22, se detallan una vez llenados los campos con las frecuencias, distancias, ancho del canal a utilizar con el equipo RADWIN 2000 D+ de tipo integrado, el primer punto de interés de los cálculos es la potencia regulada a 20 dBm, el programa automáticamente calcula la potencia idónea según la distancia, este posee una capacidad de hasta 25 dBm.

El segundo aspecto a resaltar es el cálculo del PIRE de 46 dBm, tercer punto, el tipo de modulación admitida, ya que se puede utilizar como máximo para este radioenlace una modulación de 2x64 QAM con una tasa de codificación de 5/6, para un Throughput de 300 Mb/s. Como cuarto aspecto de interés se encuentra la intensidad de señal recibida de -54 dBm y como quinto punto de interés se resalta la disponibilidad del radioenlace con un 99.9944% y una indisponibilidad por año de 29 minutos, estos dos últimos datos son importantes puesto que para las recomendaciones de la UIT para que un radioenlace sea exitoso este debe de cumplir una disponibilidad de al menos 99.96 %, por lo cual se supera la recomendación.

La utilización de esta herramienta complementa significativamente las simulaciones de Radio Mobile ya que ayuda a rellenar alguno de los campos con los valores reales de los equipos de la marca RADWIN con los que se trabajará.

6.45 Radio Mobile.

Se procede con los pasos de la parametrización para el radioenlace troncal, para suministrar los datos de coordenadas hay dos formas, la primera consiste en introducir las coordenadas digitando directamente los valores de latitud y longitud en el recuadro del programa. La segunda forma consiste en la utilización previa del programa Google Earth Pro, de donde se obtienen estas coordenadas, basta con seleccionar y copiar los nombres de los puntos de interés previamente localizados en Google Earth Pro.

6.45.1 Ubicación del Sitio de Radioenlace Troncal y Nodos Maestro y Esclavo.

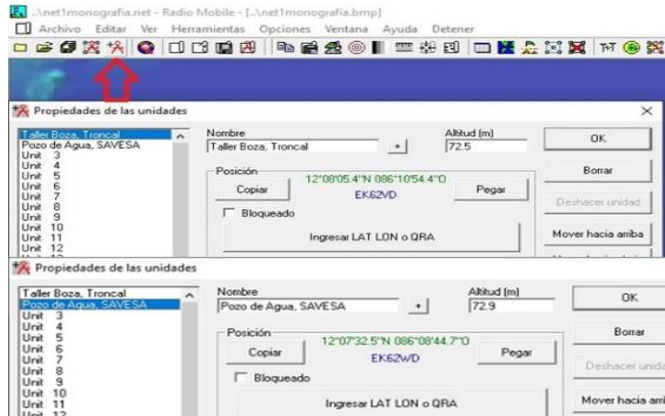


Figura 23. Ubicaciones de los Sitios, Maestro y Esclavo.

En “Propiedades de las unidades” se definen los nombres según las ubicaciones de las unidades que conforman el enlace, según corresponde Maestro y Esclavo.

6.45.2 Creación de Mapa en Radio Mobile.



Figura 24. Proceso de Creación de Mapa.

En el cuadro de dialogo se selecciona la viñeta “Seleccionar un nombre de ciudad” en la cual se selecciona la ciudad “Managua”, se ingresa la selección presionando “ok” y se pulsa la viñeta “Extraer”.

6.45.3 Parámetros Longley-Rice.

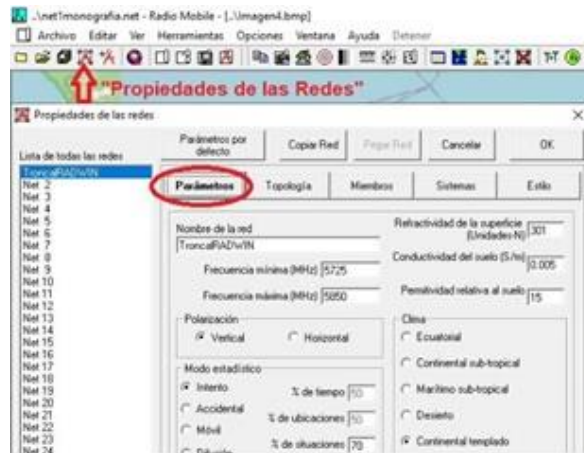


Figura 25. Cuadro de Dialogo Propiedades de las Redes.

En “Propiedades de las Redes”, en la viñeta parámetros se ingresan el nombre de la red, la cual se estableció como **Troncal RADWIN**, en el mismo cuadro de dialogo se asignan las frecuencias mínima y máxima conforme la hoja de datos del radio, también se establece el tipo de polarización del sistema, vertical para este caso debido a que experimentan menor atenuación en la superficie terrestre, se selecciona el modo de variabilidad, para el presente caso en el modo “Intento o Spot” establecido para transmisiones entre estaciones fijas y se elige clima continental templado. Al carecer de los datos exactos para refractividad de la superficie, conductividad del suelo y permitividad relativa del suelo se utilizan los valores establecidos por defecto.

6.45.4 Sistema de Radio.

En este caso los parámetros se obtienen de la respectiva Datasheet del radio, la Potencia de transmisión se ajusta a 20dBm, el umbral de recepción a -64dBm, las pérdidas (cables+conectores) serán de 0dB. el tipo de antena seleccionado será antena yagi, con una ganancia de la antena de 23dBi, (+3dB MIMO 2X2”), con altura de la antena de 25 m.

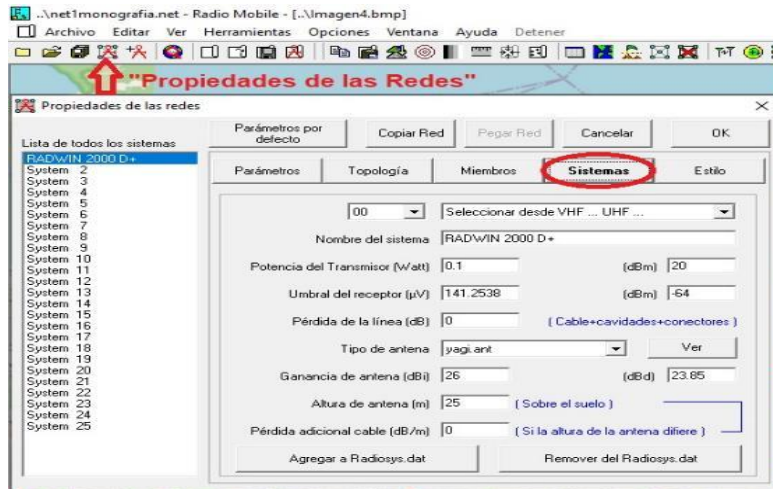


Figura 26. Cuadro de Dialogo para Definición del Sistema de Radio.

6.45.5 Asociación de Unidad Taller Boza.

En la casilla “Lista de todas las redes” se seleccionan las unidades de radio ubicadas en el mapa y la red a la que pertenecen, en este caso las unidades para la red **Troncal RADWIN**. Para el caso de la unidad Taller Boza se desempeña como “Maestra” y la altura de su antena se ubica a 25 metros, orientada hacia la unidad Pozo de agua SAVESA. De similar manera para la unidad Pozo de agua SAVESA desempeña la función de “esclava” con una altura para su antena de 20 metros, orientada hacia la unidad Taller Boza, el programa también brindara automáticamente el Azimut y Angulo de elevación para sus orientaciones.

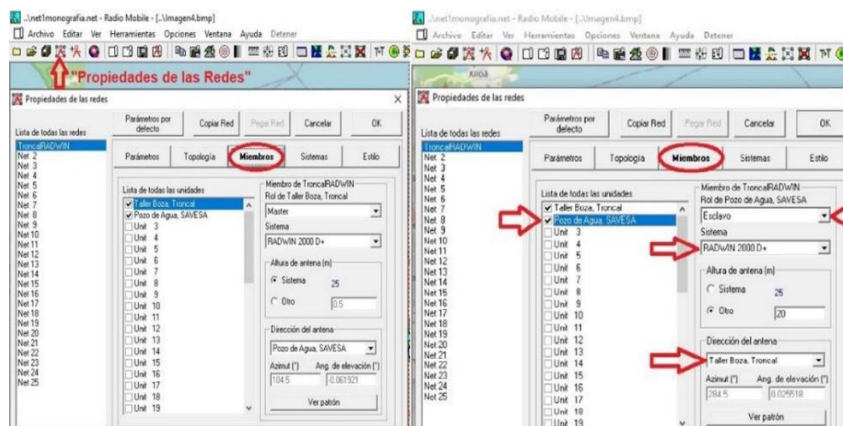


Figura 27. Asociación de las Unidades, Taller Boza y Pozo SAVESA.

6.45.6 Topología de Red.

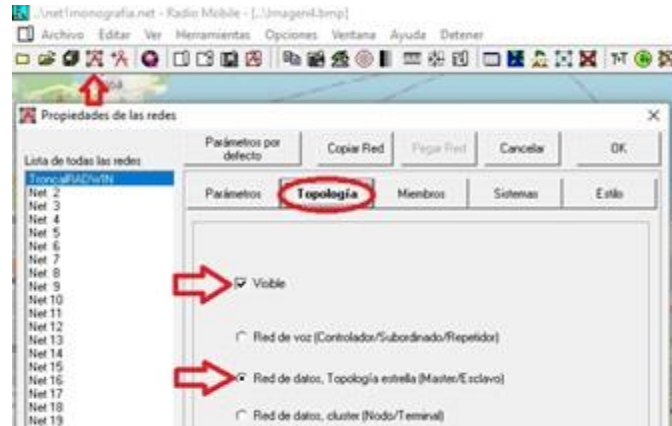


Figura 28. Topología de la Red.

Se definirá la topología de red del radioenlace, en la opción “Propiedades de las redes, Topología”. Se habilita la opción “Visible” para que la red sea visible en el mapa de trabajo y se habilita la opción “Red de datos, Topología estrella (Master/Esclavo)” para definir a la red como una estación maestra que controla estaciones esclavas.

6.45.7 Resultados de Simulación Radio Mobile.

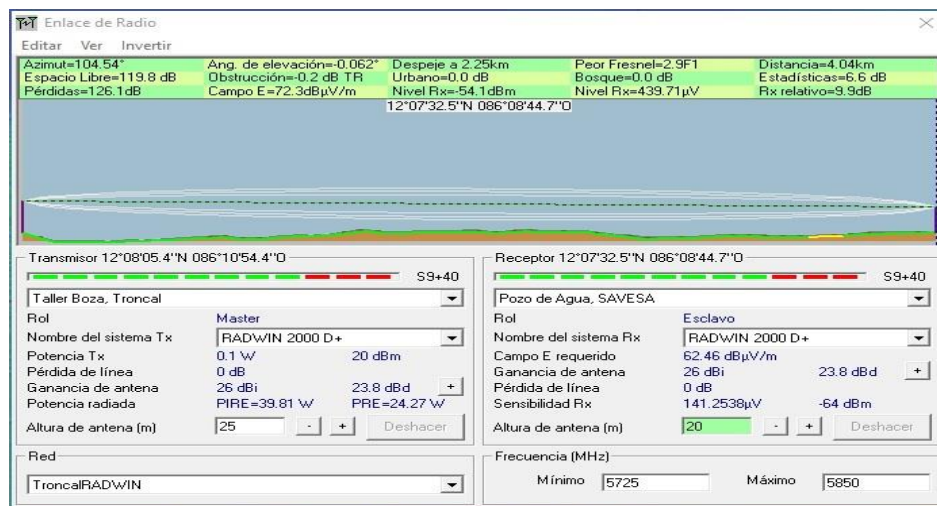


Figura 29. Resultado de la Simulación del Radioenlace Punto a Punto.

En los resultados de la simulación para el radioenlace punto a punto se obtienen los puntos de interés, como lo son la potencia de recepción de -54.1dBm con una pérdida total en el espacio libre de 126.1dB y un margen de desvanecimiento de 9.9dB, con un PIRE de 39.81 W, así mismo se obtiene la distancia total entre los dos puntos la cual es de 4.04 km con un despeje de 2.25 km del transmisor hasta el obstáculo, obteniendo un peor Fresnel de 2.9 F1 el cual asegura el 100% de despeje de la primer zona de Fresnel que es uno de los puntos de mayor interés el obtener este despeje, como último punto se obtiene el azimut y ángulo de elevación los cuales ayudan en la orientación y colocación de las antenas para su montaje en las torres de transmisión.

Ya que ambos sitios poseen los mismos equipos se obtienen iguales valores de simulación en ambos sitios, no obstante, sí hay variación en el azimut y el ángulo elevación para poder tener línea de vista entre los dos equipos. Otro cambio notable de los valores obtenidos para el lado del receptor es “el despeje” que es la distancia referida del obstáculo al receptor.

6.45.8 Representación del Perfil con RMpath.

En la Figura 30, RMpath brinda la representación de la primera zona de Fresnel entre los dos puntos, la línea azul en el centro del elipsoide interno representa la línea de vista directa del enlace mientras que las dos líneas de color negro que dibujan dos elipsoides concéntricos representan 60% y 100% de la primera zona de Fresnel. El programa también muestra el perfil de elevación del terreno según las coordenadas, del mismo modo muestra la altura de torres en que estarán montadas las antenas del radioenlace.

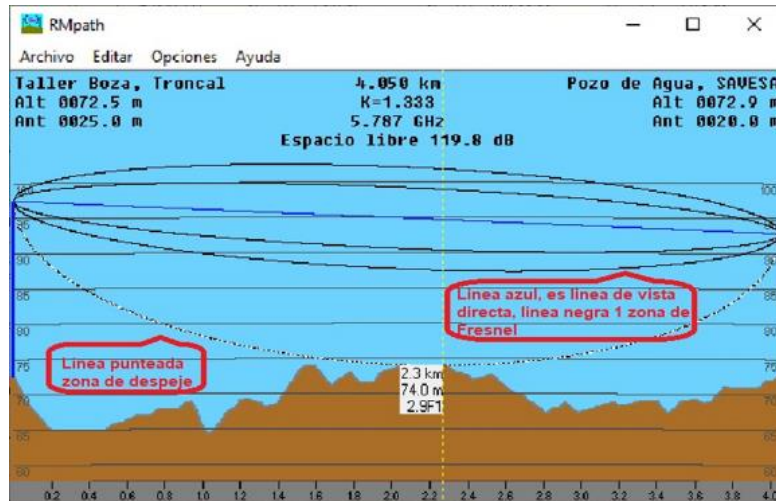


Figura 30. Representación de Zona de Fresnel con RMPATH.

6.46 Google Earth Pro.

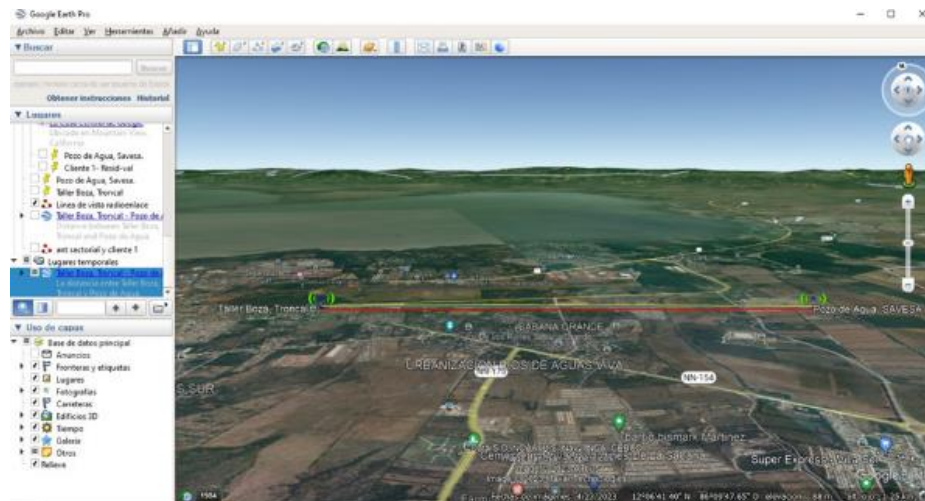


Figura 31. Representación del enlace Punto a Punto con Google Earth Pro.



Figura 32. Representación de los Dos Puntos del Enlace PTP con Google Earth Pro.

6.47 Simulación Punto a Multipunto con Radio Mobile.



Figura 33. Coordenadas de “Cliente Modelo” en Radio Mobile.

En la Figura 33, se puede observar la colocación de coordenadas de Cliente Modelo, quien será el ejemplo referente para el radioenlace PTMP. La colocación de coordenadas de la antena sectorial en Radio Mobile para este radioenlace está en coincidencia en la misma torre de recepción del enlace punto a punto al cual se ha etiquetado como “Pozo de Agua SAVESA”. La antena sectorial se colocará 6 metros por debajo de la antena receptora del radioenlace PTP.

6.47.1 Configuraciones de Propiedades de las Redes para Antena Sectorial.

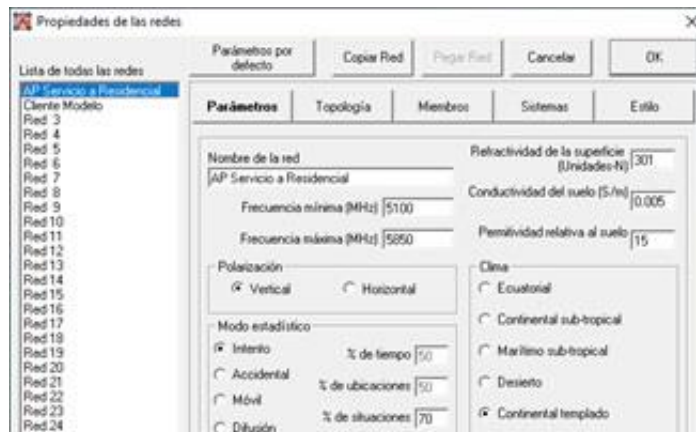


Figura 34. Configuración de Parámetros para Antena Sectorial en Radio Mobile.

En la Figura 34, se configurarán los parámetros de rangos de frecuencia de la antena sectorial de acuerdo con el Datasheet del fabricante, así como el nombramiento de red, en este caso etiquetado como “AP Servicio a Residencial”, el tipo de polarización en vertical, el tipo de clima y el modo estadístico.

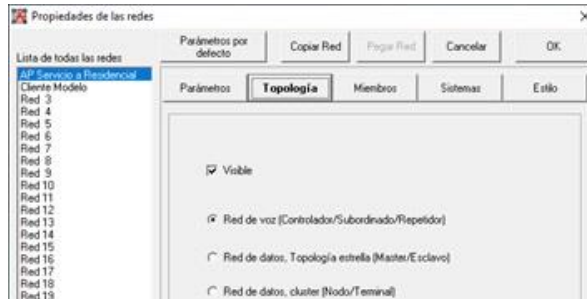


Figura 35. Configuración de Topología, de Antena Sectorial en Radio Mobile.

En la Figura 35, se configurará la topología de la red como red de voz (Controlador/Subordinado/Repetidor).

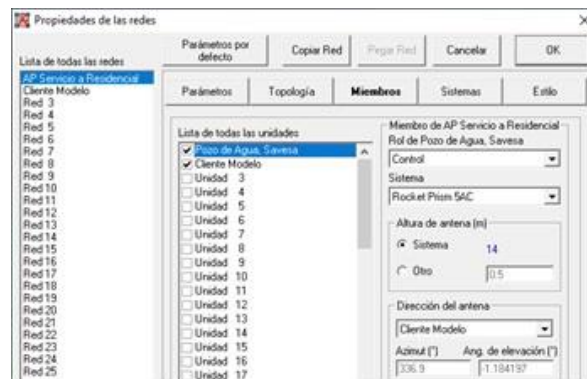


Figura 36. Asignación de Rol de Miembro en el Sistema de Red para la Antena Sectorial.

En la Figura 36, se asignará el rol de miembro de la red para la antena sectorial en este caso se configura como control, con una altura de 14 metros apuntando hacia la dirección de Cliente Modelo.



Figura 37. Configuración de Parámetros de Radio para la Antena Sectorial.

En la Figura 37, se realizan las configuraciones del radio y antena para el AP, se etiqueta el nombre del sistema como “Rocket Prism 5AC”, se coloca la potencia de transmisión, para este caso reducida a 10 dBm ya que el equipo tiene una potencia máxima de 28 dBm, por ser un radioenlace relativamente corto no se necesitará de una gran potencia. La sensibilidad del receptor será de -75 dBm. La pérdida por cable y conectores se estimará a 1 dB ya que esta antena sectorial no es de tipo integrada. Para el tipo de antena se selecciona tipo cardio, esta selección se realiza mediante el Datasheet del fabricante, la ganancia de la antena es de 16 dBi, pero tomando en cuenta que el equipo es de tipo MIMO 2X2, tendrá una ganancia agregada de +3dB (se agregará a la ganancia de la antena para Radio Mobile), la altura respectiva de la antena estará a 14 metros desde el nivel del suelo, una vez configurado el sistema se clikea la pestaña “Agregar a Radiosys.dat”.

6.47.2 Configuraciones de Propiedades de las Redes para Cliente Modelo.

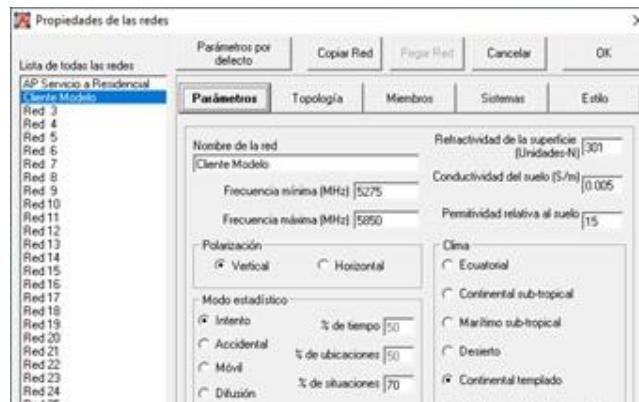


Figura 38. Configuración de Parámetros para “Cliente Modelo”.

En la Figura 38, se realiza la configuración de parámetros para “Cliente Modelo”, se colocan las frecuencias de operación, polarización, clima y modo estadístico.

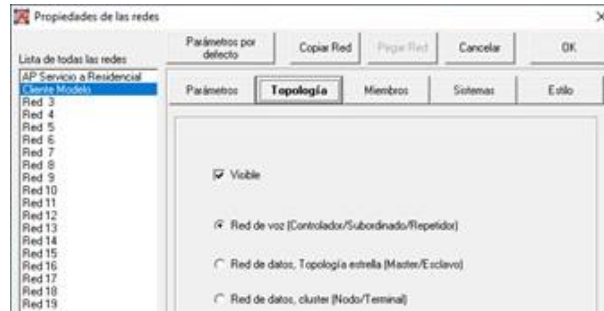


Figura 39. Configuración de Topología de “Cliente Modelo”.

De igual manera como se realizó para la antena sectorial se coloca red de voz (Controlador/Subordinado/Repetidor) que es el modo de trabajo para radioenlaces PTMP.

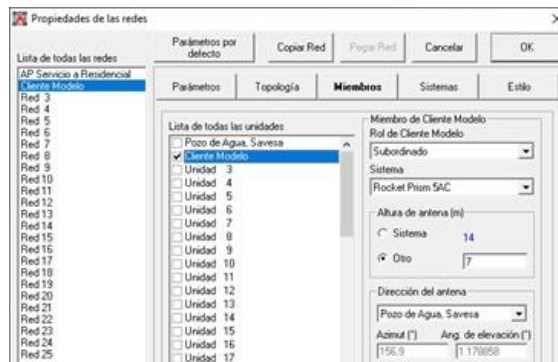


Figura 40. Asignación de Rol de Miembro en el Sistema de Red para “Cliente Modelo”.

En la Figura 40, se configura el “Cliente Modelo” como subordinado y se selecciona el sistema de red etiquetado como Rocket Prism 5AC, se configura una altura de 7 metros desde el nivel del suelo, esta a su vez estará orientada hacia el Pozo de Agua SAVESA.

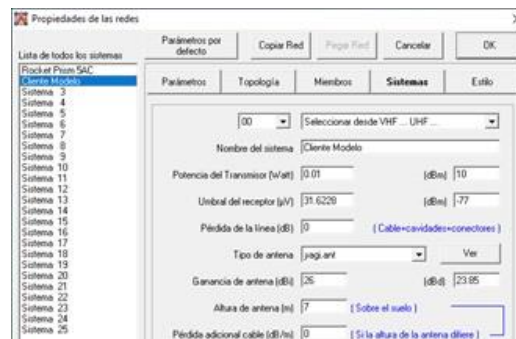


Figura 41. Configuración de Parámetros de Radio para “Cliente Modelo”.

Se realizan las configuraciones de sistema del radio y la antena de “Cliente Modelo”, para la potencia del transmisor se colocarán 10 dBm (misma potencia que utiliza la antena sectorial), la sensibilidad del equipo es de -77 dBm y las perdidas por cable y conectores es de “0”, esto debido al equipo de tipo integrado, la antena por medio de su Datasheet será yagi, y su ganancia es de 23dBi, esta posee un arreglo MIMO 2X2 lo cual brinda una ganancia agreda de +3dB. Una vez realizada las configuraciones del sistema para “Cliente Modelo” se cliquea la pestaña en el inferior izquierdo que dice “Agregar a Radiosys.dat”.

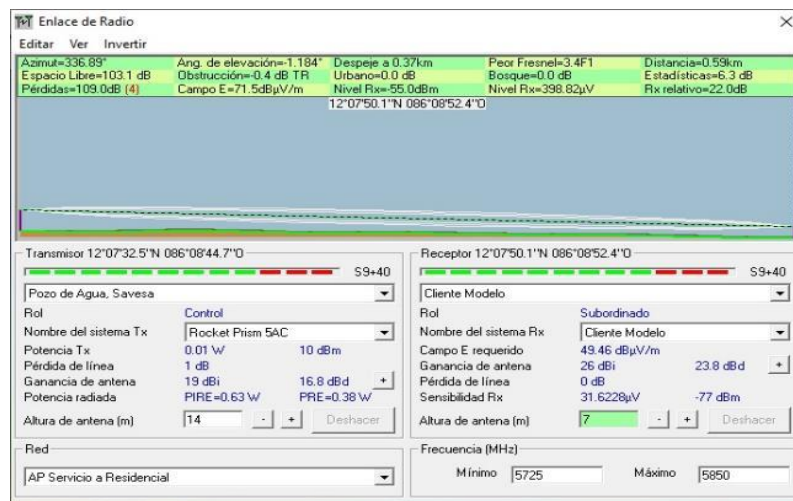


Figura 42. Simulación de Radioenlace con Respecto a la Antena Sectorial.

En la Figura 42, se muestran los resultados obtenidos para la antena sectorial, como se puede apreciar la potencia de recepción es de -55 dBm superando el umbral de -77 dBm previamente establecido para poder llevar a cabo el radioenlace con “Cliente Modelo”. Otro aspecto importante de señalar es el despeje de la zona de Fresnel, con un valor de 3.4 F1, obteniendo el 100% de despeje de F1 considerando la condición que para un factor $K=4/3$ esta tiene que estar completamente despejada.

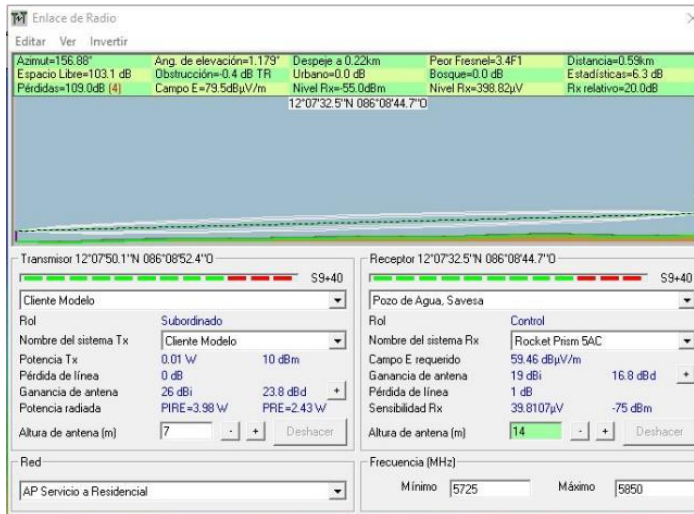


Figura 43. Simulación de Radioenlace con Respecto a “Cliente Modelo”.

En la Figura 43, se obtienen los resultados de simulación para la parte de “Cliente Modelo”, como ambos lados se han configurado con la misma potencia se obtienen los mismos valores de pérdidas en el espacio libre así como libramiento de zona de Fresnel, la potencia de recepción es de -55 dBm superando el nivel umbral de -75 dBm previamente establecido para la antena sectorial, los aspectos a resaltar con valores diferidos para este caso sería el PIRE ya que se están utilizando dos equipos diferentes en cada extremo así como perdida adicional en los conectores en el extremo del AP y la ganancia de cada una de las antenas.

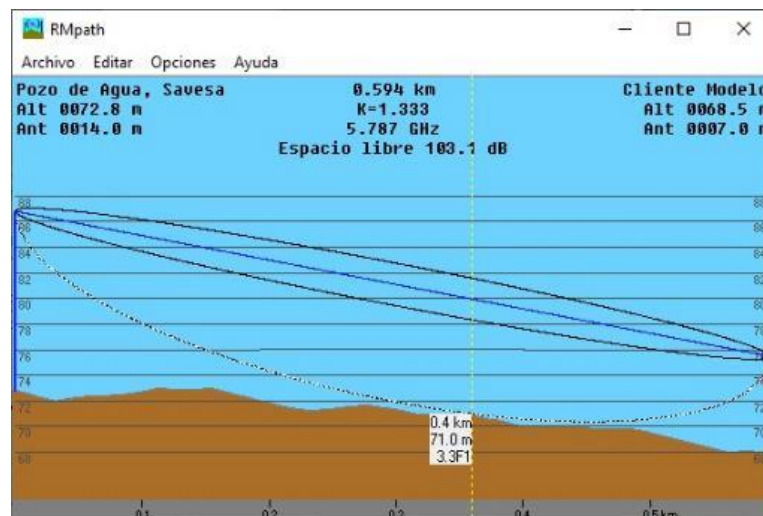


Figura 44. Representación de 1er Zona de Fresnel con RMPATH “Cliente Modelo”.

En la Figura 44, RMPATH muestra el perfil de terreno y la representación de la zona de Fresnel, se obtiene así un mejor entendimiento del radioenlace en cuanto a libramiento de las zonas de Fresnel, altura de las antenas distancia total del radioenlace, frecuencia central en la que trabaja, pérdida del espacio libre y el factor de curvatura de la tierra.

6.48 Simulación con UISP.

Para la simulación de punto a multipunto se ha decidido emplear UISP Design Center [39] como complemento a las simulaciones de Radio Mobile puesto que los equipos a utilizar son de la marca en cuestión y poseen su propio software de simulación para elaboración de diseños de ISP.



Figura 45. Representación del AP en el Residencial Valle Verde.

En la Figura 45, se puede apreciar la ubicación de la antena de recepción del enlace punto a punto, en coubicación de la misma torre en la que se encontrará la antena sectorial que dará el servicio a los clientes del residencial, ésta será una antena sectorial de 120 grados de 16 dBi modelo, AM-5G16-120. En la pestaña del AP servicio de residencial se puede observar a modo de ejemplo que está brindando servicio a 8 estaciones o posibles clientes, estos podrían ser más en dependencia de cuanto ancho de banda se ofrezca el servicio, pero como ya se ha mencionado es en dependencia del ancho de banda que se brinde, para este

caso “solo se harán las simulaciones para un solo cliente” el cual se etiquetara como “Cliente Modelo”.



Figura 46. Representación de Conexión del AP y el “Cliente Modelo”.

En la Figura 46, se puede apreciar la conexión del AP, con el cliente modelo, en la cual se puede observar las configuraciones de los equipos para llevar a cabo este enlace. Para las configuraciones del equipo Rocket Prism 5AC se tienen las coordenadas de la torre en la que estará montada la antena, como segundo paso el tipo de producto, en otras palabras, el modelo y la especificación de la ganancia de la misma, como serán enlaces cortos y no se necesita de una antena con tanta ganancia, pero si de una antena de buena apertura, se eligió una antena de 120 grados y 16 dBi para dar cobertura a todo el residencial.

Como tercer apartado de configuración del equipo, se encuentra la potencia de transmisión, como se mencionó anteriormente serán enlaces cortos no se necesita potencias elevadas, de modo que se configura con 10 dBm, con un canal de 20 MHz para que los enlaces no se traslapen y ocasionen algún tipo de ruido y se degrade la red por la utilización de un canal mayor. Como cuarto y quinto apartado de configuración se encuentran el azimut, la elevación, altura de 14 m, esta se encontraría por debajo de la antena del punto a punto con una altura de 20 m, y con una intensidad de señal de -54 dBm.

Para la configuración de “Cliente Modelo”, se establecen los siguientes parámetros, primero la etiqueta de “Cliente Modelo”, previamente establecida como propósito de ejemplo, segundo apartado de configuración las coordenadas, en este caso el domicilio de “Cliente Modelo”, tercer apartado de configuración el equipo a utilizar siendo una antena modelo LiteBeam 5AC con radio integrado, con ganancia de 23 dBi y una potencia de 10 dBm igual a la potencia del AP, para el cuarto apartado de configuración se encuentra el azimut, elevación y altura de la antena esta se configuro a 7 metros tomando como referencia el nivel del suelo, colocándose sobre el techo de las residencia, asumiendo que las casas tengan una altura promedio de entre 4 y 5 metros de altura por la variedad de modelos ofrecidos por el residencial se tendría que colocar un mástil de entre 2 y 3 metros para completar los 7 metros requeridos para la línea de vista.

Una vez terminado los parámetros se puede apreciar si se ha realizado cuidadosa y correctamente la capacidad total del radioenlace con el “Cliente Modelo” esta capacidad es de 147 Mbps, es una capacidad que se esperaría para el canal de 20 MHz que se utilizara y la cual al mismo tiempo debe de ser la misma para los demás futuros cliente, de bajar este ancho de banda podría haber una degradación de la calidad de todo el sistema.

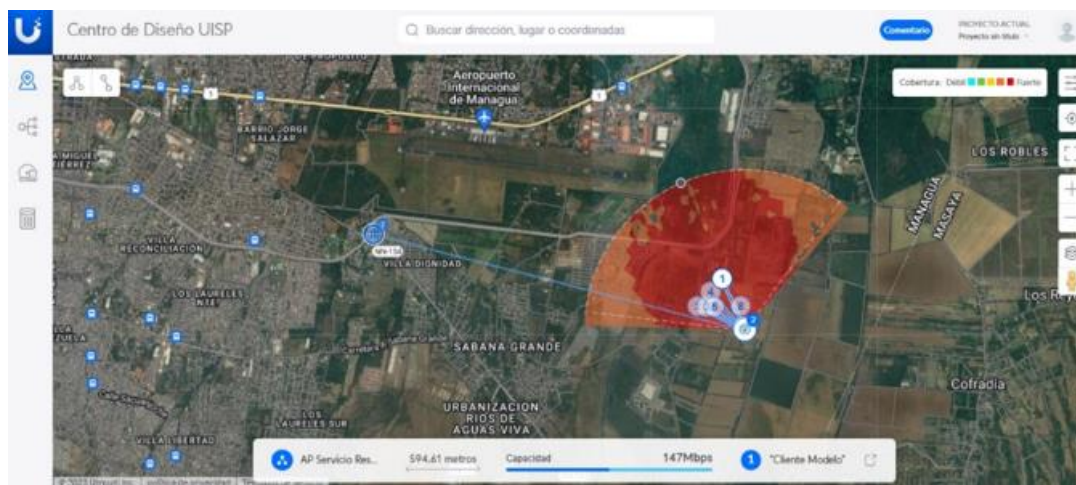


Figura 47. Espectro de Cobertura de Antena Sectorial.

6.48.1 Topología de Red del Sistema de Radioenlace desde PTP A PTMP.



Figura 47. Representación de Conexión de Red a Equipo de Transmisor de PTP.

En la Figura 47, se puede observar la conexión de red mediante un cable de red de 1.0 Gbps al equipo transmisor, este cable ira conectado hacia un enrutador o router como se podrá apreciar en la siguiente figura.



Figura 48. Conexión de Cable de Red a Router y Redirigido hacia el Equipo de Radio del Transmisor.

En la Figura 48, se puede apreciar la conexión entre el router y el radio mediante un cable de 1 Gbps, luego el equipo enviará la conexión por un sistema de radioenlace de tipo punto a punto hacia el receptor con un Throughput de 300 Mbps (el Throughput real con equipo RADWIN) que ha sido etiquetado como torre de enlace troncal y de punto de acceso a residencial.



Figura 49. Representación del Enlace Final Punto a Punto al Receptor Pozo de agua SAVESA.

En la Figura 49, se observa el enlace final del punto a punto, este pasará por un cable de 1 Gbps hacia un switch y este mandará esa señal por otro cable de red de 1 Gbps hacia la antena sectorial para dar servicio a los clientes finales.



Figura 50. Representación de Topología Final Punto Multi Punto.

En la Figura 50, se puede observar la topología final del radioenlace en la cual este estará transmitiendo a cada cliente con una capacidad de 147 Mbps, en un canal de 20 MHz.

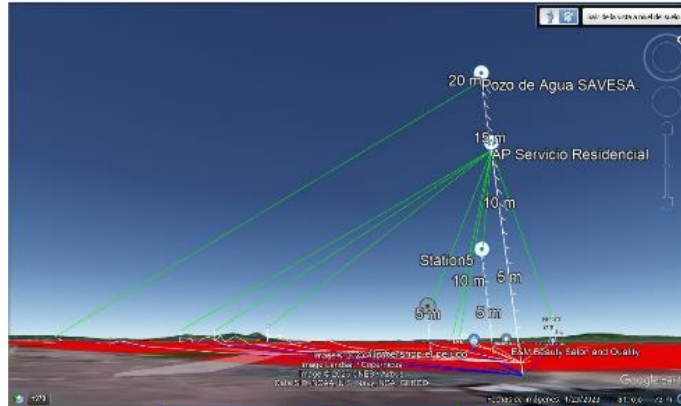


Figura 51. Representación del AP, con Línea de Vistas a Clientes con Google Earth Pro.

En la Figura 51, se muestra la torre ubicada en el Pozo de Agua, SAVESA, esta torre contendrá dos antenas, el primer equipo con una altura de 20 metros, forma parte del sistema de radioenlace punto a punto, el segundo equipo con una altura de 14 metros, se ubicará el “AP” que dará servicio de internet a los clientes del residencial Valle Verde.

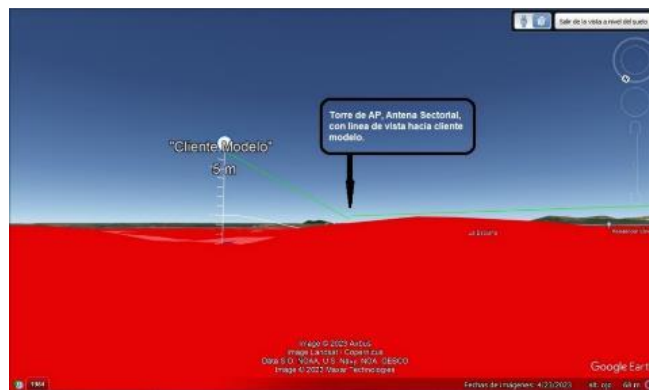


Figura 52. Representación de “Cliente Modelo” con Vista hacia el AP.

En la Figura 52, se representa el “Cliente Modelo” quien será el ejemplo que se tomará como uno de los tantos posibles cliente al cual se brinde servicio de internet, este cliente tendrá su antena de recepción a 7 metros a partir del suelo, es preciso aclarar que se tendrá en cuenta la altura de las casas y se colocara un mástil en el techo para completar esta altura, si consideramos una altura de las casas de entre 4 y 5 metros se necesitaran mástiles de entre 2 y 3 metros.

6.49 Comparativa de Resultados Calculados y Resultados Obtenidos por Simulación.

Resultados Obtenidos									
Configuración de Radioenlace PTP		Banda Libre 5.8 GHz	Rango de Frecuencias 5725 - 5850 MHz		Ancho de Canal 40 MHz	Potencia de Transmisión 20 dBm	Ganancia de Antenas 23 dBi	Sensibilidad del Receptor -64dBm	
Azímuth Calculado	Azímuth Obtenido por Simulación	Ángulo de Elevación Calculado	Ángulo de Elevación Obtenido por Simulación	Potencia de Recepción Calculada	Potencia de Recepción Obtenida por Simulación	Distancia Calculada	Distancia Obtenida por Simulación	Perdidas en el Espacio Libre Calculadas	Perdidas en el Espacio Libre Obtenida por Simulación
Punto A: 104.1936206°	104.54°	-0.0652377193°	-0.062°	-54.0768 dBm	-54.1 dBm	4.0481588 km	4.04 Km	119.87074 dB	119.8 dB
Punto B: 284.1936206°	284.55°	0.0652377193°	0.026°	-54.0768 dBm	-54.1 dBm	4.0481588 km	4.04 Km	119.87074 dB	119.8 dB
PIRE Calculado	PIRE Obtenida por Simulación	Campo Eléctrico Calculado	Campo Eléctrico Obtenido por Simulación	Campo Eléctrico Requerido. Calculado	Campo Eléctrico Requerido. Obtenido por Simulación	Margen de Desvanecimiento. Calculado.	Margen de Desvanecimiento. Obtenido por Simulación	Disponibilidad calculada del PTP	Disponibilidad simulada del PTP
Punto A: 46 dBm	46 dBm	72.5331 dBμV/m	72.4 dBμV/m	62.532 dBμV/m	62.46 dBμV/m	10 dB	9.9 dB	99.9990577 %	99.9944 %
Punto B: 46 dBm	46 dBm	72.5331 dBμV/m	72.4 dBμV/m	62.532 dBμV/m	62.46 dBμV/m	10 dB	9.9 dB	99.9990577 %	99.9944 %

Tabla 7. Comparativa de Resultados Obtenidos Calculados vs Simulados para Radioenlace PTP.

Resultados Obtenidos									
Configuración de Radioenlace PTMP		Banda Libre 5.8 GHz	Rango de Frecuencias 5725 - 5850 MHz		Ancho de Canal 20 MHz	Potencia de Transmisión 10 dBm	Ganancia de Antenas AP 16 dBi Cliente Modelo 23 dBi	Sensibilidad del Receptor -75dBm -77dBm	
Azímuth Calculado	Azímuth Obtenido por Simulación	Ángulo de Elevación Calculado	Ángulo de Elevación Obtenido por Simulación	Potencia de Recepción Calculada	Potencia de Recepción Obtenida por Simulación	Distancia Calculada	Distancia Obtenida por Simulación	Perdidas en el Espacio Libre Calculadas	Perdidas en el Espacio Libre Obtenida por Simulación
Punto A: 336.3662577°	336.89°	1.10912264°	-1.184°	-54.0768 dBm	-54.1 dBm	0.59384 km	0.59 Km	103.21884 dB	103.1 dB
Punto B: 156.3662577°	156.88°	1.10912264°	1.179°	-54.0768 dBm	-54.1 dBm	0.59384 km	0.59 Km	103.21884 dB	103.1 dB
PIRE Calculado	PIRE Obtenida por Simulación	Campo Eléctrico Calculado	Campo Eléctrico Obtenido por Simulación	Campo Eléctrico Requerido. Calculado	Campo Eléctrico Requerido. Obtenido por Simulación	Margen de Desvanecimiento. Calculado.	Margen de Desvanecimiento. Obtenido por Simulación	Disponibilidad calculada del PTMP	Disponibilidad simulada del PTMP
Punto A: 36 dBm	36 dBm	71.53311 dBμV/m	71.5 dBμV/m	49.5331 dBμV/m	49.46 dBμV/m	24.21328059 dB	22 dB	99.99999 %	99.9957 %
Punto B: 28 dBm	28 dBm	78.53311 dBμV/m	79.5 dBμV/m	58.53311 dBμV/m	59.46 dBμV/m	22.21328059 dB	20 dB	99.99999 %	99.9957 %

Tabla 8. Comparativa de Resultados Obtenidos Calculados vs Simulados para Radioenlace PTMP.

6.50 Observaciones Finales del Diseño.

Terminada la etapa de elaboración del diseño para brindar servicio de internet al residencial Valle Verde cabe destacar los aspectos técnicos de los radioenlaces, el troncal con equipos RADWIN 2000 D+ brinda una capacidad de 300 Mbps en un canal de 40 MHz que llegan hacia un switch que reinyecta esta señal al radio Rocket Prism 5AC, este a su vez manda la señal a la antena sectorial en un canal

de 20 MHz la cual estará transmitiendo a los clientes con una capacidad de 147 Mbps, cada cliente posee esta capacidad no obstante esto no significa que a cada cliente se le brindara esa capacidad de ancho de banda puesto que es la capacidad total que posee el AP.

En dependencia de esto se dispone de un ancho de banda limitado para cada cliente, este se encontrará delimitado de la siguiente manera, se propondrá a los residentes un ancho de banda para cada casa de 4 Mbps con cláusula de contrato de 2 años con 6 meses, a un costo de 25 dólares, el diseño contemplará la capacidad de 36 clientes en la antena sectorial que brinde señal a los residentes que decidan adquirir el servicio de internet, este diseño tiene capacidad de escalabilidad e incorporación de más antenas sectoriales para ampliar la demanda no obstante se ha decidido delimitar a la capacidad antes mencionada para este trabajo.

6.50.1 Costo de los Equipos e Infraestructura Involucrados en los Radioenlaces.

En las siguientes tablas se mostraran los costo del equipamiento necesarios para la realizacion del diseño del radioenlace asi como la infraestructura de torre para el Access Point en el residencial Valle Verde.

SUMINISTRO E INSTALACION DE TORRE DE COMUNICACIÓN TIPO SENEFA DE 80 PIES DE ALTURA					
ID.	DESCRIPCION	COSTO UNITARIO	CANTIDAD	UNIDAD	COSTO TOTAL
1	TRAMO DE 10 PIES x 19 PULG. ANCHO (TUBO DE 1 1/4 ")	7,000.00	8	UND.	56,000.00
2	RETENIDAS.	1,500.00	1	GLOBAL	1,500.00
3	ANCLAS Y TENSORES.	1,500.00	3	UND.	4,500.00
4	PERNO CENTRAL.	800.00	1	UND.	800.00
5	BASE DE TORRE.	2,000.00	1	UND.	2,000.00
6	PUNTA PARARRAYO 1/2 X 24".	1,482.02	1	UND.	1,482.02
7	BASE DE PARARRAYO PARA TUBO DE 1.5" - 2".	1,787.10	1	UND.	1,787.10
8	BASE UNIVERSAL PARA 1/2.	938.65	1	UND.	938.65
9	BARRA DE CU 1/4" X 4" X 20", CON PLANTILLA DE AGUJEROS.	7,159.89	1	UND.	7,159.89
10	INSTALACIÓN DE TORRE DE 80 PIES, 19 PULG. ANCHO.	18,000.00	1	GLOBAL	18,000.00
TOTAL C\$					94,167.66
TOTAL U\$					2,545.07

Tabla 9. Presupuesto Instalación de Torre de Transmisión Pozo de Agua SAVESA.

Precio de Equipos para Radio enlace - Proyecto Residencial Valle Verde.				
Item.	Descripcion.	Cantidad	Precio Unitario U\$	Precio Total U\$
1	Radio Marca RADWIN 2000 D+. Modelo RW-2050-D100, 5GHz, 25 dBm, con antena integrada de 23dBi.	2	2,537.50	5,075.00
2	Radio Ubiquiti Rocket Prism 5AC. Rango de frecuencia de 5GHz.	1	361.05	361.05
3	Antena Sectorial Ubiquiti Mod: AM-5G16-120. Banda de 5GHz.	1	114.55	114.55
4	Radio con antena integrada de 23 dBi, Ubiquiti Mod: LBE 5AC. Rango de Frec. 5GHz.	36	94.25	3,393.00
5	UISP Switch Ubiquiti. PoE de capa 2 sin ventilador con (8) puertos GbE RJ45 y (1) puerto SFP 1G.	1	158.05	158.05
6	UISP Router Ubiquiti. PoE de capa 2 sin ventilador con (8) puertos GbE RJ45 y (1) puerto SFP 1G.	1	158.05	158.05
TOTAL U\$				9,259.70

Tabla 10. Presupuesto de Equipamiento Radio y Antenas para los Radioenlaces.

ACCESORIOS COMPLEMENTARIOS					
ID.	DESCRIPCION	COSTO UNITARIO	CANTIDAD	UNIDAD	COSTO TOTAL
1	ESTACION DE TRABAJO (COMPUTADOR PORTATIL)	18,500.00	1	UND.	18,500.00
2	CABLE DE RED TIPO UTP CAT 5E P. EXTERIOR	20.00	60	MTS	1,200.00
3	CABLE DE RED TIPO STP CAT 5.	16.00	252	MTS	4,032.00
4	CONECTORES RJ-45 TIPO BLINDADO	20.00	4	UND.	80.00
5	CONECTORES RJ-45	5.00	72	UND.	360.00
6	MODEM	1,200.00	36	UND.	43,200.00
7	UPS FORZA DE 500 VA (NT-511)	1,600.00	2	UND.	3,200.00
TOTAL C\$					70,572.00
TOTAL US\$					1,907.35
COSTO ANUAL POR RENTA DE ESPACIO Y ACCESO A SERVICIOS.					
ID.	DESCRIPCION.	VALOR	MESES	MONTO	
1	ACCESO A SERVICIO DE PROVEEDOR UBICADO EN TALLER BOZA	150	12	1,800.00	
2	ACCESO Y USO DE AREA DE 15 Mis ² AREA EN SITIO POZO DE AGUA SAVESA	200	12	2,400.00	
TOTAL US\$					4,200.00

Tabla 11. Presupuesto de Accesorios, Renta y Acceso de Red para el Diseño del Radioenlaces.

RESUMEN DE COSTOS		
ID.	DESCRIPCION.	MONTO
1	SUMINISTRO E INSTALACION DE TORRE DE COMUNICACIÓN TIPO SENEFA DE 80 PIES DE ALTURA.	2,545.07
2	EQUIPOS PARA RADIO ENLACE - PROYECTO RESIDENCIAL VALLE VERDE.	9,259.70
3	ACCESORIOS COMPLEMENTARIOS	1,907.35
4	COSTO ANUAL POR RENTA DE ESPACIO Y ACCESO A SERVICIOS.	4,200.00
TOTAL US\$		17,912.12

Tabla 12. Inversión Total para el Diseño del Radioenlace.

VII. CONCLUSIONES.

Para la culminación de este trabajo se elaboró y se completó el diseño de radioenlace que brindará el servicio de internet a los residentes del Residencial Valle Verde, este diseño constó de un enlace PTP, con una capacidad de 300 Mbps con una modulación de 64 QAM en un canal de 40 MHz, desde Sabana Grande que lleve la red de datos hasta el residencial en un punto estratégico que permitiera a una antena sectorial de 120 grados en un canal de 20 MHz con una

capacidad de enlace neta de 147 Mbps, cubrir todo el residencial y que todos los posibles clientes tuviesen acceso a la señal y no se encontrasen fuera de rango.

La realización del diseño implicó el uso de 2 software de simulación y 2 herramientas web de cálculo y planeación para ISP, propiedad de las marcas de los equipos propuestos, que facilitaron las condiciones de equipamiento y comportamiento del radioenlace, así mismo se realizaron cálculos matemáticos para corroborar los resultados obtenidos de las simulaciones. Se realizó una encuesta a los residentes para determinar el nivel de necesidad y satisfacción con respecto a las pocas opciones de conectividad a internet cuyo objetivo principal fue hacer un sondeo de la aceptación del tipo de tecnología que pudiese cubrir la necesidad de conexión a internet en el residencial, siendo este sondeo muy positivo puesto que se obtuvo una buena aceptación de la tecnología propuesta. Por último, se puede concluir que los radioenlaces al día de hoy siguen siendo una opción muy viable puesto que brindan soluciones rápidas a problemas de conectividad en cualquier parte del mundo a un menor costo frente a otros tipos de tecnologías.

VIII. RECOMENDACIONES.

Se recomienda la instalación de paneles solares con sus debidas baterías, como respaldo cuando falle el suministro de energía eléctrica del residencial, así mismo se recomienda una vez agotado el número de suscriptores de la antena sectorial se emplee otro equipo sectorial para añadir más clientes y aprovechar todo el máximo del Throughput del radioenlace PTP. Como el residencial se encuentra en una zona de expansión se puede contemplar la instalación de más equipos en la torre del AP para brindar servicios de internet a clientes fuera del residencial.

REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍAS.

- [1] C. M. Aburto Cruz , Artist, “*Aplicación de técnicas de transmisión digital para el diseño deradioenlaces PTP en bandas libres utilizando la herramienta Pathloss 5. 0*”. [Art]. Universidad Nacional de Ingeniería, 2018.
- [2] Á. J. Rocha Ulloa y H. K. González Rodríguez, Artists, “*DISEÑO DE UN SISTEMA DE RADIOCOMUNICACIONES PARA EL TRIANGULO MINERO EN LA RAAN DE NICARAGUA*”. [Art]. Universidad Nacional de Ingeniería, 2018.
- [3] L. C. Poveda Valdivia , Artist, “*Diseño de un Sistema de Radiocomunicaciones para brindar acceso a Internet a dos escuelas Santa Enriqueta y La Hammonia en los departamentos de Jinotega y Matagalpa*”. [Art]. Universidad Nacional de Ingeniería., 2019.
- [4] C. R. López Dávila y G. S. Martínez Pulido, Artists, “*Diseño de un sistema de radiocomunicación para proveer servicios de internet a Ciudad Residencial El Doral*”. [Art]. Universidad Nacional de Ingeniería, 2022.
- [5] E. A. Obando Jácamo, F. J. Oviedo González y G. A. Zeledón Palacios, Artists, “*Implementación de enlace microondas como última milla de la red CLARO para disminuir la brecha de las comunicaciones en la comunidad San Pedro del Norte, Bocana de Paiwas, RAAS*”. [Art]. Universidad Nacional de Ingeniería., 2017..
- [6] Lacayo Fiallos, «Residencial Valle Verde,» [En línea]. Available: <https://residencialvalleverdeoficial.negocio.site/>.
- [7] J. Huntoon, Radio Amateur’s Handbook. En castellano, 27ª ed., Buenos Aires, Argentina: Arbó S. A. C. e I, 1971.
- [8] I. Despujol Zabala, «Introducción a las radiocomunicaciones: Ondas electromagnéticas,» [En línea]. Available: <https://media.upv.es/#/portal/video/7850ddc0-47ad-11e8-9c86-a91ab40a668c>.
- [9] L. E. Frenzel Jr., Electrónica aplicada a los sistemas de las comunicaciones, 3ª ed., Distrito Federal , México: Alfaomega, 2003.
- [10] crecj.org, «Propagación de las ondas de Radio,» [En línea]. Available: <https://crecj.org/propagacion-de-las-ondas-de-radio/>.
- [11] INFOVISION PARAGUAY S.A., «SERVICIO DE RADIOENLACE PUNTO A PUNTO Y PUNTO MULTIPUNTO (ENLACES INALÁMBRICOS),» [En línea]. Available: <https://infovision.com.py/servicios-de-radio-enlace/>.
- [12] J. Jiménez, «Tecnología MIMO: qué es y para qué se utiliza,» [En línea]. Available: <https://www.redeszone.net/tutoriales/redes-wifi/tecnologia-mimo-red-wifi-que-es/>.
- [13] D. A. Estupiñán Calderón, Artist, *Beamforming performance assessment for QAM and OFDM modulation schemes in MIMO wireless systems*. [Art]. PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA, Bogotá, Colombia. 2020.
- [14] MathWorks, «Orthogonal Frequency-Division Multiplexing (OFDM),» [En línea]. Available: <https://es.mathworks.com/discovery/ofdm.html#:~:text=La%20multiplexaci%C3%B3n%20por%20divisi%C3%B3n%20de,estrecha%20ortogonales%2C%20conocidas%20como%20subportadoras>.
- [15] C. V. Vargas, W. E. Lopez y C. F. da Rocha, Artists, *Sistemas de Comunicación Inalámbrica MIMO - OFDM*. [Art]. Universidad Federal de Santa Catarina, 2007.
- [16] J. L. Martínez, «Zonas de Fresnel en un radioenlace,» [En línea]. Available: <https://www.prored.es/zonas-de-fresnel-en-un-radioenlace/>.
- [17] Mundo teleco , «Zona de Fresnel,» [En línea]. Available:

- <https://mundotelecomunicaciones1.blogspot.com/2014/10/zona-de-fresnel.html>.
- [18] E. Chang, «Zonas de Fresnel: ¿Por qué son importantes?,» [En línea]. Available: <https://eachang.wordpress.com/2016/08/24/zonas-de-fresnel-importancia/>.
- [19] M. A. Santacruz Maridueña, Artist, "ESTIMACIÓN Y COMPARACIÓN DE LA ATENUACIÓN DEBIDO A LA LLUVIA PARA ENLACES SATELITALES QUE OPERAN EN FRECUENCIAS SUPERIORES A 10 GHZ PARA LAS CIUDADES DE GUAYAQUIL Y QUITO EN ECUADOR". [Art]. ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL, Guayaquil, Ecuador. 2017.
- [20] ITU, «Modelo de la atenuación específica debida a la lluvia para los métodos de predicción. UIT-R P.838-3,» [En línea]. Available: https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/p/R-REC-P.838-3-200503-!!!PDF-S.pdf.
- [21] ITU, «Características de la precipitación para establecer modelos de propagación. UIT-R PN.837-1,» [En línea]. Available: https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/p/R-REC-P.837-1-199408-S!!PDF-S.pdf.
- [22] M. A. Tercero Carrasco y R. N. Rivera Morales , Artists, *Diseño de interconexión para enlace de microondas punto a punto entre las comunidades de San Carlos y el archipiélago de Solentiname*. [Art]. Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, 2013.
- [23] ITU, «Noción de pérdidas de transmisión en los enlaces radioeléctricos,» [En línea]. Available: <https://www.itu.int/rec/R-REC-P.341-7-201908-l/es>.
- [24] Lostt, «Margen de Desvanecimiento,» [En línea]. Available: <https://www.clubensayos.com/Tecnolog%C3%ADa/Margen-De-Desvanecimiento/899559.html>.
- [25] G. Olvera, «¿Qué es el PIRE (EIRP)?,» [En línea]. Available: <https://foro.tvc.mx/docs/que-es-el-pire-eirp>.
- [26] ITU, «Objetivo de disponibilidad en sistemas de relevadores radioeléctricos para un trayecto digital ficticio de referencia,» [En línea]. Available: <https://www.itu.int/rec/R-REC-F.557-5-201402-l/es>.
- [27] ITU, «Objetivos de disponibilidad para enlaces de relevadores radioeléctricos digitales reales que forman parte de un circuito de "grado alto" de calidad dentro de una red digital de servicios integrados,» [En línea]. Available: <https://www.itu.int/rec/R-REC-F.695/es>.
- [28] T. Balasco, «Cual Es El Radio Y Diametro De La Tierra?,» [En línea]. Available: <https://radiofisherton.com.ar/radio/cual-es-el-radio-y-diametro-de-la-tierra.html>.
- [29] División de Información Legislativa de la Asamblea Nacional de Nicaragua, «EMISIÓN DE LA NORMATIVA TÉCNICA N°. 001-2006, SISTEMAS DE ACCESO INALÁMBRICO EN LAS BANDAS: 900 MHZ, 2.4 GHZ, 5 GHZ,» [En línea]. Available: [http://legislacion.asamblea.gob.ni/Normaweb.nsf/\(\\$All\)/F90B393971DA9EC9062582B300756547](http://legislacion.asamblea.gob.ni/Normaweb.nsf/($All)/F90B393971DA9EC9062582B300756547).
- [30] División de Información Legislativa de la Asamblea Nacional de Nicaragua, «REGLAMENTO DE LA LEY 843 "LEY QUE REGULA LA UBICACIÓN, CONSTRUCCIÓN E INSTALACIÓN DE ESTRUCTURAS DE SOPORTE PARA EQUIPOS DE TELECOMUNICACIONES QUE HACEN USO DEL ESPECTRO RADIOELÉCTRICO,» [En línea]. Available: <http://legislacion.asamblea.gob.ni/normaweb.nsf/9e314815a08d4a6206257265005d21f9/6bd0e88197e2a8e10625861c007cf74f?OpenDocument>.
- [31] R. Coudé , «Radio Móvil,» [En línea]. Available: <https://www.ve2dbe.com/data.html>.

- [32] RADWIN Ltd, «PORTAFOLIO RADWIN 2000,» [En línea]. Available: <http://btwsa.com.ar/wp-content/uploads/2022/01/RADWIN-2000-BROCHURE.pdf>.
- [33] BTW SA, «Productos RADWIN,» [En línea]. Available: <http://btwsa.com.ar/radwin-2000d/>.
- [34] Help Tech Company, «UBiQUiTi Networks RP-5AC-GEN2 rocket PRISM AC-Gen2 5 GHz airMAX ac Radio BaseStation,» [En línea]. Available: <https://www.helptechco.com/content/RP-5AC-GEN2>.
- [35] Microless, «Ubiquiti Networks LBE-5AC-Gen2 LiteBeam AC Gen2 2x2 MIMO airMAX ac CPE with Management Wi-Fi Radio | LBE-5AC-Gen2,» [En línea]. Available: <https://saudi.microless.com/product/ubiquiti-networks-lbe-5ac-gen2-litebeam-ac-gen2-2x2-mimo-airmax-ac-cpe-with-management-wi-fi-radio-lbe-5ac-gen2/>.
- [36] TVCenLinea, «UBIQUITI AM-5G16-120 - Antena Sectorial Airmax 5GHz / Exterior / 16 dBi / 120 Grados apertura,» [En línea]. Available: <https://tvc.mx/products/8545/ubiquiti-am-5g16-120-antena-sectorial-airmax-5ghz#5524>.
- [37] Getic, «Conmutador UISP,» [En línea]. Available: <https://www.getic.com/product/ubiquiti-uisp-switch-for-micropop-applications>.
- [38] RADWIN, «RADWIN Link Budget Calculator,» [En línea]. Available: <https://tools.radwin.com/planner/>.
- [39] Ubiquiti , «Centro de Diseño UISP,» [En línea]. Available: <https://ispdesign.ui.com/#>.
- [40] B. Requena Serra, «TAMAÑO DE LA MUESTRA,» [En línea]. Available: <https://www.universoformulas.com/estadistica/descriptiva/tamano-muestra/>.
- [41] encuesta.com, «Preguntas dicotómicas: qué son y cómo usarlas,» [En línea]. Available: <https://encuesta.com/blog/preguntas-dicotomicas/>.

ANEXOS.

1. Encuesta para Determinar Servicios de Internet Existentes y Conformidad de los Residentes.

En la elaboración de la encuesta se determinó un universo de población estadística finita de 1100 viviendas habitadas en el residencial Valle Verde. La determinación del tamaño de la muestra se realizará mediante el uso de un muestreo probabilístico aleatorio de universo finito. [40] Por lo cual se empleará la siguiente ecuación que indicará el número de la muestra:

$$n = \frac{N * Z_{\alpha}^2 * p * q}{e^2 * (N-1) + Z_{\alpha}^2 * p * q}. \quad (28)$$

n: Tamaño de muestra buscado.

N: tamaño de la población o Universo.

Z: Parámetro estadístico que depende del nivel de confianza (NC)

E: Error de estimación máximo aceptado.

p: Probabilidad de que ocurra el evento estudiado

q: (1 – p) = Probabilidad de que no ocurra el evento estudiado.

Para el caso de la presente investigación se ha elegido el coeficiente de confianza de Z = 1.96, al cual le corresponde un 95%.

Nivel de confianza Z (1-α)	90%	95%	95.50%	99%
Coefficiente de confianza	1.64	1.96	2	2.58

Tabla 13. Correspondencia del Nivel de Confianza “Z” y el Coeficiente de Confianza. [40]

Para los casos de las variables “p y q”, si sus valores no son conocidos se les puede otorgar un valor de probabilidad de 50% para ambas variables. Para el caso de “e” o error de estimación también se determina de acuerdo al criterio del porcentaje de nivel de confianza que tendrá el estudio. [40]

$$n = \frac{1100 * (1.96)^2 * 50 * 50}{5^2 * (1100 - 1) + (1.96)^2 * 50 * 50} = 284.92.$$

2. Tipo de Encuesta a Realizar.

La encuesta implementada es de tipo dicotómica, utilizando el diseño de un cuestionario que realiza cinco preguntas cerradas en las que el encuestado tiene que elegir entre dos posibilidades, son preguntas con respuestas Sí/No, se ha considerado iniciar el cuestionario con una pregunta que permita captar la atención de la persona a encuestar. Las ventajas que se obtienen de las preguntas dicotómicas son dos, la primera es que son fáciles de comprender y la segunda es que son breves. De este modo la persona encuestada no se sentirá presionada a extender una respuesta y no le tomará mucho de su tiempo, como el objetivo es comprender claramente las experiencias, cualidades y opiniones de los encuestados. [41]

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
ÁREA DE CONOCIMIENTO DE TECNOLOGÍA DE LA
INFORMACIÓN Y COMUNICACIÓN

La presente encuesta tiene como propósito únicamente conocer su experiencia actual y opinión con los servicios de internet en residencial Valle Verde.

1. ¿Cuenta con servicio de internet?
Si , No .
2. ¿Utiliza en la actualidad internet?
Si , No .
3. ¿Se encuentra satisfecho con el actual servicio de internet en el residencial?
Si , No .
4. ¿Es indispensable en su vida cotidiana el uso del servicio de internet?
Si , No .
5. ¿Contrataría o utilizaría usted un Servicio de Internet inalámbrico por radioenlace en ausencia de la fibra óptica?
Si , No .

Figura 53. Encuesta Realizada a los Habitantes del Residencial Valle Verde.

2.1 Resultados de la Encuesta.



Figura 54. Resultados Obtenidos a Pregunta Número 1 de Encuesta.

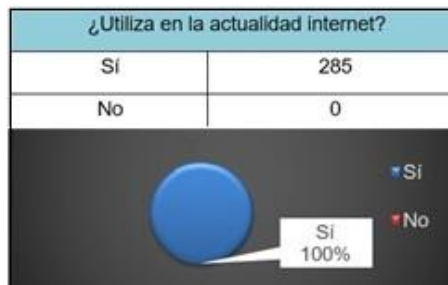


Figura 55. Resultados Obtenidos a Pregunta Número 2 de Encuesta.



Figura 56. Resultados Obtenidos a Pregunta Número 3 de Encuesta.

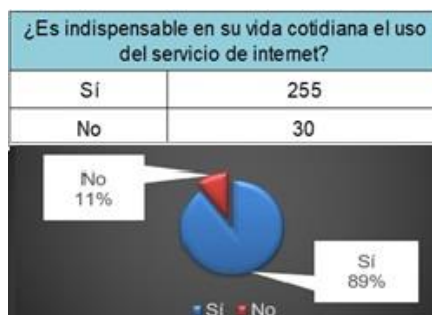


Figura 57. Resultados Obtenidos a Pregunta Número 4 de Encuesta.



Figura 58. Resultados Obtenidos a Pregunta Número 5 de Encuesta.

3. Foto de los Sitios Propuestos.



Figura 59. Sitio Taller Boza, Sabana Grande.



Figura 60. Sitio Pozo de Agua SAVESA, Residencial Valle Verde.



Figura 61. Casas del Residencial Valle Verde.



Figura 62. Banner de Bienvenida al Residencial.