



Facultad de Ingeniería
Carrera de Ingeniería en Telecomunicaciones

PROYECTO FINAL DE GRADO

Diseño de Redes Inalámbricas para brindar servicios de datos y accesos a Internet en entornos rurales, con aplicación a las poblaciones de la Quebrada del Toro

Estudiante: Sulca Vanina Candelaria
Director: Ing. Cavalli Delgado Rafael Duilio

SALTA - 2022

INGENIERIA EN TELECOMUNICACIONES

Director: Ing. Cavalli Delgado Rafael Duilio

Firma:

Alumna: Sulca Vanina Candelaria

Firma:

Tribunal Evaluador:

.....

Firma:

.....

Firma:

.....

Firma:

Fecha de Exposición del trabajo:

DEDICATORIA

A Sigfrido Maximiliano Moroder, en agradecimiento por las obras realizadas en la Quebrada del Toro.



Fig.1. Padre Maximiliano Moroder junto la tesista, tomada en la localidad de las Capillas.
Fuente: <https://www.facebook.com/fundacionalfarcito/photos/a.371274946224844/504722312880106>

Se recuerda al “Padre Chifri” con una gran sonrisa, recorriendo grandes distancias a pie para llegar a diversos parajes, fue un ejemplo bondad y voluntad inquebrantable.

AGRADECIMIENTO

A Dios, por darme la fuerza y entendimiento para poder lograr este objetivo tan importante en mi vida.

A mi familia, por su apoyo incondicional y confianza a lo largo de todos estos años.

A todos aquellos profesores de la facultad que fueron parte de mi formación, por su disposición y guía a lo largo de todos estos años: Ing. Roberto Breslin, Ing. Duilio Cavalli, Ing. Omar Lozano, Ing. Daniel Acuña, Ing. Emilio Horvat, Ing. Ernesto Bonfiglioli, Ing. Emiliano Vera y demás.

A las secretarías académicas Edith, Patricia y Andrea, por su eficiencia para resolver mis dudas y problemas administrativos.

A todos los compañeros y amigos que me ayudaron y estuvieron conmigo haciendo el cursado más llevadero: Ing. Cecilia Castro, Ing. Cinthia Aguirre, Verónica Larrea, Ing. María Jose Espinoza, Analía Guzmán, Yonathan Córdoba, Ing. Matías Sant, Ing. Lucas Le Favi, Ing. Agustín Srur y demás.

Vanina Candelaria Sulca

INDICE GENERAL

DEDICATORIA	2
AGRADECIMIENTO	3
INDICE DE FIGURAS	8
INDICE DE TABLAS	11
RESUMEN.....	12
INTRODUCCIÓN	13
1.1 Planteamiento del problema	13
1.1.1 Ubicación geográfica	13
1.1.2 Población	14
1.1.3 Actividades económicas en la quebrada del Toro	14
1.2 Metodología.....	15
1.2.1 Investigación Descriptiva	15
ESTADO DEL ARTE.....	16
2.1 Antecedente 1	16
2.2 Antecedente 2	17
2.3 Antecedente 3	19
MARCO TEORICO.....	20
3.1 Telecomunicaciones	20
3.1.1 Clasificación	20
3.2 Comunicaciones Inalámbricas.....	20
3.3 Espectro Radioeléctrico.....	21
3.4 Redes de datos	22
3.4.1 Internet	22
3.4.2 Modelo TCP/IP.....	23
3.5 Técnicas de acceso múltiple	24
3.5.1 FDMA.....	25
3.5.2 TDMA.....	26
3.5.3 CDMA	27
3.5.4 SDMA.....	29
3.6 Redes Inalámbricas.....	30
3.6.1 Tipos de redes inalámbricas.....	30
3.6.2 Características de las redes inalámbricas.....	31
3.6.3 Topologías Básicas de Red.....	32
3.6.4 Redes inalámbricas en bandas no licenciadas.....	33
3.7 Alternativas Tecnológicas	34

3.7.1 VHF	34
3.7.2 Conexión satelital (VSAT)	36
3.7.3 WiMAX	37
3.7.4 Wi-Fi.....	38
3.8 Espectro Expandido.....	39
3.8.1 Espectro Expandido por Salto de Frecuencia	40
3.8.2 Espectro Expandido por Secuencia Directa.....	41
3.9 Estándares Wi-Fi	42
3.9.1 IEEE 802.11	42
3.9.2 IEEE 802.11a	42
3.9.3 Estándar 802.11b	43
3.9.4 Estándar 802.11g	44
3.9.5 Estándar 802.11n	44
3.9.6 IEEE 802.11ac	44
3.9.7 IEEE 802.11ax	45
3.10 Autenticación de usuarios con 802.1x.....	46
3.10.1 WPA: Wi-Fi Protected Access	47
3.10.2 WPA2	48
3.10.3 WPA3	48
3.11 Principios de Propagación	49
3.11.1 Onda de superficie	50
3.11.2 Onda ionosférica	50
3.11.3 Onda espacial.....	50
3.11.4 Comportamiento de las ondas de radio.....	51
3.11.5 Zona de Fresnel.....	55
3.12 Concepto básicos de Radiofrecuencia	56
3.12.1 Decibeles y Potencia.....	56
3.12.2 Intensidad señal recibida (RSSI)	56
3.12.3 Piso de Ruido	56
3.12.4 Relación Señal- Ruido (SNR).....	56
3.12.5 Tasa de error Binario	57
3.13 Tipos de sistemas de comunicación	57
3.13.1 Tecnología MIMO	58
3.14 Antenas	58
3.14.1 Omnidireccional	58
3.14.2 Direccional.....	59
3.14.3 Sectorial	59

3.15 Parámetros de una Antena	60
3.15.1 Directividad y Ganancia Directiva	60
3.15.2 Polarización de antena	61
3.15.3 Ancho de Haz de una Antena	61
3.15.4 Patrón de Radiación	62
3.15.5 Relación Frente –Espalda	63
3.15.6 Relación de Onda Estacionaria de Voltaje	63
3.15.7 Impedancia.....	63
3.15.8 Perdida de Retorno	63
3.16 Alineación de Antenas.....	64
3.17 Interferencias	64
3.17.1 Interferencia Cocanal.....	65
3.17.2 Interferencia Canal Adyacentes	65
3.18 Tipos de Enlaces.....	66
3.18.1 Enlaces Punto a Punto	66
3.18.2 Enlaces Punto Multipunto.....	67
3.19 Presupuesto de potencia	67
3.19.1 Factores empleados en el balance de potencia	68
3.19.2 Cálculo del Presupuesto del Enlace	68
3.19.3 Margen de desvanecimiento	69
3.19.4 PIRE.....	69
DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	70
4.1 Delimitación del Problema	70
4.2 Objetivos	71
4.2.1 Objetivo General.....	71
4.2.2 Objetivos Específicos	71
4.3 Justificación.....	71
SOLUCION PROPUESTA.....	72
5.1 Localidades del objetivo del proyecto.....	72
5.2 Topología de la red.....	78
RESULTADOS O VERIFICACIÓN EXPERIMENTAL.....	80
6.1 Dimensionamiento y simulación de los enlaces	80
6.1.1 Características de la red troncal	80
6.1.2 Características de la red de distribución a usuarios finales	96
6.2 Estimación del ancho de banda requerido	103
6.3 Descripción de la tecnología aplicada	104
6.4 Tecnología alternativa	111

6.5 Diseño del subsistema de Infraestructura	112
6.6 Diseño del sistema de puesta a tierra.....	117
6.6.1 Toma a tierra de torres arriostradas	118
6.6.2 Toma a tierra de cables	119
6.6.3 Equipotencialidad del conjunto	121
6.7 Diseño del sistema de alimentación	123
6.8 Cronograma de Actividades	133
6.8.1 Diagrama de Gantt	137
6.9 Costo total del proyecto.....	140
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	141
BIBLIOGRAFIA	142
ANEXOS	145
Anexo I: Simulación de Enlace Multipunto	145
Anexo II: Características de los Routers a utilizar en los nodos	168
Anexo III: Datos considerados en el diseño del sistema de alimentación.....	171
Anexo IV: Casos de éxito Mimosa y ALGcom	175

INDICE DE FIGURAS

Fig.1. Padre Maximiliano Moroder junto la tesista, tomada en la localidad de las Capillas.	2
Fig.2: Espectro Electromagnético	21
Fig.3: Sistema de Telecomunicaciones	22
Fig.4: Modelo TCP/IP	23
Fig.5: Técnicas de acceso múltiple	25
Fig.6: Acceso múltiple por división de frecuencia.....	25
Fig.7: Acceso múltiple por división de tiempo	27
Fig.8: Acceso múltiple por división de código	28
Fig.9: Acceso múltiple por división de espacio	30
Fig.10: Tipos de Redes Inalámbricas	31
Fig.11: Topologías de Red	33
Fig.12: Canales de 2.4 Ghz	34
Fig.13: Canales de 5 Ghz	34
Fig.14: Salto de Frecuencia.....	40
Fig.15: Multiplexación por división de frecuencias ortogonales.....	43
Fig.16: Autenticación de Usuario	46
Fig.17: Onda Electromagnética.....	49
Fig.18: Refracción de un medio menos denso a un medio más denso.....	52
Fig.19: Reflexión en una superficie semiáspera	53
Fig.20: El Principio de Huygens	54
Fig.21: Difracción en la cima de una montaña	54
Fig.22: Zona de Fresnel.....	56
Fig.23: Sistema MIMO con diferentes tipos de diversidad espacial.....	57
Fig.24: Área de cobertura de las ondas electromagnéticas en una antena omnidireccional	59
Fig.25: Cobertura de las ondas electromagnéticas en una antena direccional	59
Fig.26: Cobertura de las ondas electromagnéticas en una antena sectorial	60
Fig.27: Polarización lineal, circular y elíptica de una antena	61
Fig.28: Apertura del haz de una antena.....	62
Fig.29: Grafica de radiación.....	62
Fig.30: Alineación de dos antenas	64
Fig.31: Interferencia cocanal.....	65
Fig.32: Interferencia de canal adyacente.....	66
Fig.33: Enlaces Inalámbricos	66
Fig.34: Trayectoria completa de transmisión entre el transmisor y receptor.....	67
Fig.35: Potencia en dBm en función de la distancia	69

Fig.36: Disposición de las localidades involucradas en el proyecto.....	70
Fig.37: Disposición de las viviendas involucradas en el proyecto.....	77
Fig.38: Topología Física	78
Fig.39: Disposición de los nodos y enlaces	79
Fig.40: Simulación Enlace T1-T2	81
Fig.41: Simulación Enlace T2-T3	82
Fig.42: Simulación Enlace T3-S1	83
Fig.43: Simulación Enlace T3-S2	84
Fig.44: Simulación Enlace S2-S3	85
Fig.45: Simulación Enlace S3-S4	86
Fig.46: Simulación Enlace S5-S6	87
Fig.47: Simulación Enlace S5-A1.....	88
Fig.48: Simulación Enlace S1-A2.....	89
Fig.49: Simulación Enlace T3-A3.....	90
Fig.50: Simulación Enlace S1-A4.....	91
Fig.51: Simulación Enlace S3-A5.....	92
Fig.52: Simulación Enlace T1R-T2R.....	93
Fig.53: Simulación Enlace T2R-T3R.....	94
Fig.54: Simulación Enlaces PMP en la localidad de Santa Rosa del Tastil.....	96
Fig.55: Simulación Enlaces PMP en la localidad de Las Cuevas	97
Fig.56: Simulación Enlaces PMP en la localidad El Alfarcito	98
Fig.57: Simulación Enlaces PMP en la localidad Gobernador Manuel Sola.....	99
Fig.58: Simulación Enlaces PMP en la localidad Ingeniero Maury	100
Fig.59: Simulación Enlaces PMP en la localidad de Chorrillos	101
Fig.60: Simulación Enlaces PMP en las localidades Mollar y El Alisal	102
Fig.61: Grafica de consumo de ancho de banda	103
Fig.62: Mimosa C5x	104
Fig.63: Mimosa C5c.....	105
Fig.64: Antena ALGcom 32 dBi.....	106
Fig.65: Antena ALGcom 30 dBi.....	107
Fig.66: Cambium EPMP 2000	108
Fig.67: Cambium EPMP Force 200	109
Fig.68: Cambium EPMP Force 180	109
Fig.69: Kit de Radio Mimosa B5c	111
Fig.70: Radio con antena integrada MANTBOX19S	111
Fig.71: CPE LHG XL 5 AC.....	112
Fig.72: Características Tramo de Torre	112

Fig.73: Torre Arriostrada	113
Fig.74: Vista cimientto para base	114
Fig.75: Vista cimientto para ancla	115
Fig.76: Riendas para torre de 27 m	115
Fig.77: Toma a tierra en torres arriostradas	118
Fig.78: Cono de Protección.....	119
Fig.79: Kit de PAT.....	120
Fig.80: Vinculación de equipos en torre	121
Fig.81: Vinculación de tierras físicas.....	122
Fig.82: Conexiones Sistema Fotovoltaico	123
Fig.83: Diagrama de Gantt.....	138
Fig.84: Mapa de enlaces multipunto	145
Fig.85: Simulación enlace STR1	150
Fig.86: Simulación enlace STR2	151
Fig.87: Simulación enlace STR3	152
Fig.88: Simulación enlace STR4	153
Fig.89: Simulación enlace STR5	154
Fig.90: Simulación enlace STR6	155
Fig.91: Simulación enlace STR7	156
Fig.92: Simulación enlace STR8	157
Fig.93: Simulación enlace STR9	158
Fig.94: Simulación enlace STR10	159
Fig.95: Simulación enlace STR11	160
Fig.96: Simulación enlace STR12	161
Fig.97: Simulación enlace STR13	162
Fig.98: Simulación enlace STR14	163
Fig.99: Simulación enlace STR15	164
Fig.100: Simulación enlace STR16.....	165
Fig.101: Simulación enlace STR17.....	166
Fig.102: Simulación enlace STR18.....	167
Fig.103: Ficha Técnica Router RB4011iGS+RM.....	168
Fig.104: Ficha Técnica Router CRS112-8P-4S-IN.....	169
Fig.105: Ficha Técnica Router PowerBox Pro	170
Fig.106: Radiacion solar Provincia de Salta	171
Fig.107: Ficha técnica modulo solar	172
Fig.108: Ficha técnica reguladores	173
Fig.109: Ficha técnica batería	174

Fig.110: Caso de éxito MAP	175
Fig.111: Caso de éxito UPNET	175

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Población en las localidades involucradas en el proyecto.	14
Tabla 2: Bandas de Frecuencia	21
Tabla 3: Relevamiento de los clientes a conectar.	77
Tabla 4: Resumen del cálculo de enlaces.....	95
Tabla 5: Ancho de Banda requerido.....	103
Tabla 6: Costos de Equipamiento	110
Tabla 7: Presupuesto para torre arriestrada.....	117
Tabla 8: Presupuesto para puesta a tierra	122
Tabla 9: Consumo de energía Nodo T1	124
Tabla 10: Consumo de energía Nodos T2 y S5	125
Tabla 11: Consumo de energía Nodo T3	126
Tabla 12: Consumo de energía Nodo S1	127
Tabla 13: Consumo de energía Nodos S2 y S3.....	128
Tabla 14: Consumo de energía Nodos S4.....	129
Tabla 15: Consumo de energía Nodos de Acceso (A1, A2, A3, A4 y A5)	130
Tabla 16: Consumo de energía Nodo T2R.....	131
Tabla 17: Presupuesto sistema de alimentación.....	132
Tabla 18: Descripción de actividades	137
Tabla 19: Costos de Recursos Humanos.....	140
Tabla 20: Presupuesto Total.....	140
Tabla 21: Descripción Punto de Acceso 1	146
Tabla 22: Descripción Punto de Acceso 2	147
Tabla 23: Clientes en Nodo de Acceso 2	148
Tabla 24: Detalles de Modulación	149

RESUMEN

Existen diferentes formas de abordar el diseño de redes inalámbricas para entornos rurales, en el presente proyecto se ha llevado a cabo considerando tanto las características de la zona, las necesidades de la población, la tecnología disponible y la factibilidad técnica y económica.

Para permitir el acceso al servicio de internet y datos en las localidades de la Quebrada del Toro se analizó tanto datos teóricos como casos prácticos en zonas con características similares con el objetivo de definir la topología de red y los parámetros a considerar en los enlaces.

Dado que se busca diseñar una red segura, rápida y robusta se propone incluir equipos de fabricantes como Mimosa, Cambium Networks, Mikrotik y ALGcom, enfatizando en el análisis de protocolos, frecuencia, potencia, rendimiento y costos.

INTRODUCCIÓN

1.1 Planteamiento del problema

Pese a que en toda sociedad los avances tecnológicos son necesarios, actualmente en la Argentina existen muchas localidades donde aún no ha llegado internet. Este hecho se visibilizó y profundizó de sobremanera con el surgimiento de la pandemia del COVID-19, no solo en el aspecto educativo sino también en cuanto a las normas que regulan las plataformas de teletrabajo. Esta pandemia está dejando mucho por hacer en infraestructura tecnológica y en digitalización.

En las localidades de la Quebrada del Toro, provincia de Salta, todavía existe falta de acceso a las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC). “La fragilidad organizacional del poblador rural, el aislamiento en el que se mantiene, el analfabetismo digital y lo difícil que significa para él relacionarse con instituciones del Estado” (Bossio et al., 2005, p.7) vuelven evidente la necesidad de plantearse un esquema de conectividad adecuado, sobre todo en escenarios como los que toca vivir en este momento en el que el acceso a internet, así como:

“a los servicios de telecomunicaciones y las tecnologías de la información es un derecho humano que permite habilitar el ejercicio de otros derechos fundamentales como la salud, la educación, la cultura, la seguridad, la libertad de expresión y la movilidad entre otros” (Agudelo et al., 2020, p.3).

Tenemos un compromiso como profesionales de las telecomunicaciones de realizar aportes desde nuestro conocimiento para poder llevar Internet a cada rincón de Salta y disminuir la brecha digital generando oportunidades para todos.

1.1.1 Ubicación geográfica

La Quebrada del Río Toro está situada en el departamento Rosario de Lerma en la provincia de Salta. Transcurre a lo largo de relieve montañoso, con una gradiente altitudinal de 1700 metros, donde el clima pasa de semiárido a árido. La quebrada está situada entre las localidades de Campo Quijano (24° 55' S ; 65° 37' W) y las Cuevas (24° 21' 4.9" S ; 66° 1' 27.9" W), ubicadas en los extremos sur y norte respectivamente (Barbarán y Arias, 2013).

Se aborda esta zona como muestra para el diseño de un proyecto *Wireless Internet Service Provider* (WISP) que tiene como objetivo brindar conectividad a estas pequeñas comunidades que actualmente no tienen acceso ni siquiera a servicio de telefonía móvil.

1.1.2 Población

Según el Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas (2010) la cantidad de habitantes por localidad se expone en la tabla 1.

Localidad	Total	Varones	Mujeres
Las Cuevas	88	37	51
Santa Rosa de Tastil	35	18	17
El Alfarcito	27	15	12
Gobernador Sola	102	54	48
Ingeniero Maury	41	25	16
Chorrillos	25	15	10
El Alisal	30	20	10
El Mollar	21	14	7

Tabla 1: Población en las localidades involucradas en el proyecto.

Todas estas localidades no tienen actualmente internet; en algunos casos existen planes nacionales de programas rurales que le dan cobertura solo a las escuelas, con muy poca velocidad y con cortes de varios días, por eso es importante la presencia de un proveedor de servicios inalámbrico que brinde acceso a internet.

1.1.3 Actividades económicas en la quebrada del Toro

1.1.3.1 Agricultura y Ganadería

El norte de la quebrada, al estar conectado con el borde oriental de la puna, tiene mayor altitud y clima riguroso. Allí predomina la producción de cabras y ovejas, mientras que, en el sur, más benigno, es posible la agricultura bajo riego.

Los principales cultivos de renta son la arveja y el maíz; también se producen acelgas, cebollas, papas, tomates y frutales para autoconsumo, aunque se vende el excedente ocasionalmente (Arias y Barbaran, 2013).

1.1.3.2 Producción y venta de artesanías

La confección de artesanías es la tercera actividad económica, destacándose los tejidos de lana de oveja, los utensilios en madera de cardón y la cestería (Arias y Barbaran, 2013).

La mayoría vende sus artesanías a través de la Fundación Alfarcito, en Salta o Campo Quijano para lo que aprovechan las visitas al pueblo una vez al mes para cobrar subsidios.

Estas actividades se pueden potenciar mucho a través de plataformas *e-commerce* que posibilitan la venta de artesanías y agricultura. Estar integrados al mundo a través de Internet daría la posibilidad de generar oportunidades para la comunidad.

1.2 Metodología

Para la realización de este Trabajo Final de Grado se ejecutaron los siguientes pasos:

- Paso 1: Búsqueda de antecedentes en Argentina y países con características similares.
- Paso 2: Búsqueda bibliográfica sobre Redes Inalámbricas y parámetros a considerar en el diseño de la red.
- Paso 3: Análisis y selección de la información y sus fuentes
- Paso 4: Diseño y simulación de la red inalámbrica
- Paso 5: Redacción del Trabajo final.

1.2.1 Investigación Descriptiva

Sobre la base de Yuni y Urbano (2006) se puede afirmar que el tipo de investigación es descriptiva dado que:

“apunta a hacer una descripción del fenómeno bajo estudio, mediante la caracterización de sus rasgos generales. Estos estudios no implican la comprobación de hipótesis, ya que su finalidad es describir la naturaleza del fenómeno a través de sus atributos “(...)” se va a describir un fenómeno conociendo de antemano cuáles son las variables que lo caracterizan. El fin de las investigaciones de este tipo es precisar las características de una situación particular, en un contexto específico”. (p.80)

ESTADO DEL ARTE

Entre los antecedentes relacionados con el problema de investigación planteado, se pueden mencionar las siguientes investigaciones:

2.1 Antecedente 1

Tema: Diseño de una red wifi de largo alcance, a través del espectro no licenciado, para permitir el acceso al servicio de internet de banda ancha, en los sectores más poblados de la zona rural del Cantón Junín.

- Autor: Peñarrieta Bravo David Fernando
- Año: 2015
- Lugar: Quito, Ecuador

En esta investigación el autor analiza:

“los estándares IEEE 802.11, y el uso actual en enlaces de largo alcance. El diseño final requiere el estudio y comportamiento del espectro radioeléctrico en la banda de frecuencia 2.4 y 5 GHz, correspondientes a franjas del espectro no licenciado” (Peñarrieta Bravo, 2015, p.4).

Para determinar la factibilidad de la red en la zona rural del Cantón de Junín, el autor realiza los cálculos y la simulación de la red empleando principalmente los siguientes programas: Ns2 y *Radio Mobile*, que es un programa gratuito que permite la simulación de enlaces sobre un área con características específicas basado en el modelo de propagación ITM (*Irregular Terrain Model*) o modelo *Longley-Rice*.

“Ns2 es un simulador de eventos discretos dirigidos a la creación de redes de investigación, fue desarrollado por la *Information Sciences Institute* de la *University of Southern California*. Es una herramienta disponible en múltiples plataformas, que ofrece soporte para la simulación de todo tipo de redes tanto cableadas como inalámbricas” (Peñarrieta Bravo, 2015, p.133)

Concluye que en el diseño de redes inalámbricas es importante considerar la distancia, la potencia de transmisión, ganancia de las antenas, la sensibilidad del receptor, tener conocimiento de las características de propagación en la banda elegida y aplicar seguridad con la inclusión de un servidor de autenticación.

“Para la implementación de calidad de servicio en la red, se recomienda la diferenciación de servicio a través de routers que permitan trabajar con clases y políticas de servicio, esto sin duda mejorará el rendimiento de la red WiFi rural, versus el costo en la implementación de la Red WiFi rural del cantón Junín” (Peñarrieta Bravo, 2015, p.181).

2.2 Antecedente 2

Tema: El Plan Nacional de Telecomunicaciones Argentina Conectada (2010-2015) en el marco de las políticas públicas de universalización del acceso a internet.

- Autor: Mariela Inés Baladron
- Año: 2018
- Lugar: Argentina

En esta tesis el autor investiga:

“el surgimiento e implementación del Plan Nacional de Telecomunicaciones Argentina Conectada, creado en 2010 y cuya ejecución estaba prevista entre 2011 y 2015, como principal exponente de la política de universalización del acceso a internet del período y como parte de un proceso o tendencia regional y global de planes de banda ancha”. (Baladron, 2018, p.14).

Las técnicas para la obtención de la información empleadas fueron las entrevistas y el análisis documental con lo que se logró la elaboración de un documento que detalla tanto la implementación del Plan Argentina Conectada como el contexto histórico del surgimiento.

Las metas y resultados que dicho plan logro alcanzar con el desarrollo de la denominada Red Federal de Fibra Óptica (REFEFO) y tecnología satelital son:

-La red troncal daría cobertura a 1700 localidades, hasta 40 km de distancia de la red

De acuerdo con Matías Bianchi (presidente de ARSAT entre 2013 y 2015), la red tenía cerca de 32.000 km tendidos y 12.000 km iluminados a diciembre de 2015, mientras que la gestión entrante a partir del cambio de gobierno coincide en la cifra de kilómetros tendidos, pero manifiesta que aproximadamente 6.500 km son los que recibió iluminados.

Según los funcionarios del área de las Comunicaciones del nuevo gobierno, y también por lo manifestado por el presidente Mauricio Macri en el discurso de la apertura de sesiones legislativas nacionales el 1 de marzo de 2016, al 31 de diciembre de 2015 había 65 localidades conectadas y, en 2 meses, el nuevo gobierno habría casi triplicado esa suma y había alcanzado a 179 localidades (Riera, 2016, citado en Baladron, 2018).

-El mejoramiento de la calidad de las conexiones de banda ancha fija, estableciendo 10 Mbps como piso tecnológico de calidad para las nuevas redes

Para mejorar la velocidad de las conexiones se requiere necesariamente de mayor infraestructura de redes, con tecnologías como la fibra óptica. Por lo tanto, la puesta en servicios y operación de la REFEFO podría generar un importante impacto en la mejora de la velocidad de la conectividad en muchas localidades del país.

-Ampliación de la conectividad de los organismos gubernamentales en los ámbitos nacional, provincial y municipal

A partir de la información publicada por el Ministerio de Planificación se pueden identificar algunas medidas concretas realizadas desde Argentina Conectada para atender a esta meta. Se implementó la Red Federal de Cultura (Plan Nacional Igualdad Cultural); la Red Federal de Seguridad Pública (en articulación con el Ministerio de Defensa); el Plan Nacional de Ciberseguridad (una red de interconsulta a través de videoconferencia que conecta a 281 hospitales en todo el país y salas de atención, en convenio con el Ministerio de Salud); y la Red Federal de Conocimiento y Vinculación Ciudadana (Ministerio de Planificación Federal, Inversión Pública y Servicios, 2015, citado en Baladron, 2018).

-Conectividad al 100% de las escuelas públicas

El proceso de implementación del Servicio Universal tuvo grandes deficiencias, a diciembre de 2015 se habían conectado 4.424 escuelas a través del Programa Internet para Establecimientos Educativos, solo 22% del total.

-La instalación de 2.000 antenas de conectividad a internet satelital, incluyendo escuelas rurales

Si bien esta meta tampoco se cumplió, la cifra de escuelas con conectividad a internet satelital está cerca de la meta propuesta: a diciembre de 2015 se registraban 1848 establecimientos educativos con conexión satelital (Ministerio de Planificación Federal, Inversión Pública y Servicios, 2015, citado en Baladron, 2018). Cabe mencionar que, en este caso, el financiamiento fue provisto por fondos del tesoro nacional.

-La instalación de 11.000 antenas de Televisión Digital Satelital en establecimientos públicos y educativos

Con respecto al cumplimiento de este objetivo, se cursó una consulta al Enacom y desde la Dirección Nacional de Políticas Públicas del organismo se brindó el dato de que fueron realizadas 12.101 instalaciones en escuelas rurales.

-El establecimiento de 250 Núcleos de Acceso al Conocimiento (NAC); extendido luego a 300

A diciembre de 2015 se habían instalado 277 NAC (Ministerio de Planificación Federal, Inversión Pública y Servicios, 2015), por lo tanto, no se alcanzó la meta de 300 NAC, aunque se superó el objetivo inicial de 250 planteado en 2011.

- Multiplicar los Puntos de Acceso Digital (PAD) a través de internet inalámbrica en plazas, paradas de colectivo y otros lugares de uso y circulación público

El total de PAD instalados fue de 123 en 14 provincias (Ministerio de Planificación Federal, Inversión Pública y Servicios, 2015, citado en Baladron, 2018).

-Reordenamiento del espectro radioeléctrico

Con relación al espectro radioeléctrico, se trata del aspecto más conflictivo y donde se verifican menos avances, ya que es uno de los activos más requeridos por los grandes operadores del sector. Aquí se observaron marchas y contramarchas que dejaron sin definiciones el uso de bandas de frecuencia que quedaron reservadas para ARSAT en 2012, cuando se lanzó Libre.ar (Operador Móvil Virtual –OMV- estatal), sin quedar claro si la Red Federal Inalámbrica creada en simultáneo daría soporte a esta iniciativa o comenzaría a operar sobre infraestructura de terceros.

“Los hallazgos realizados en esta tesis abren a su vez nuevas líneas para investigaciones futuras que permitan continuar indagando sobre la política pública de universalización de internet en los años siguientes en la Argentina, o bien comparar este proceso con los planes de banda ancha llevados adelante en otros países de la región durante el periodo analizado” (Baladron, 2018, p.171).

2.3 Antecedente 3

Tema: Diseño de red de radioenlaces vía microondas para acceso al servicio de internet a los pueblos más alejados del distrito de Tambogrande.

- Autor: Angel Jossep Córdova Sandoval
- Año: 2019
- Lugar: Piura, Perú.

En este proyecto el autor diseñó:

“una red de radioenlaces vía microondas que permite el acceso de servicio de internet a las localidades más alejadas del distrito de Tambogrande, para los pueblos que se han considerado como seleccionados se tomó en cuenta las carencias en servicios básicos, vías de acceso y educación con las que cuentan, para ello se recogió datos de fuentes confiables como INDECI y la plataforma distrital de defensa civil del distrito de Tambogrande” (Córdova Sandoval,2019).

Se consideró los fenómenos que afectan a la propagación de las ondas, zona de Fresnel, parámetros de las antenas, modulación, entre otros. Los equipos seleccionados para la implementación fueron de la marca Cambium Networks por lo que se utilizó para la simulación de los enlaces la herramienta *Link Planner*. El software “le permite modelar escenarios basados en la geografía, la distancia, la altura de la antena, la potencia de transmisión y otros factores para optimizar el rendimiento del sistema” (Cordoba Sandoval,2019, p.17).

“Se realizó el diseño de la red de radioenlaces constituida por un nodo matriz o principal, un nodo intermedio y cuatro nodos terminales, en este sistema se cuenta con 5 radioenlaces punto a punto y 7 radioenlaces punto multi punto; las torres autosoportadas en los nodos se encuentran entre los 24 a 48 metros de altura y se propuso que en los beneficiarios se instalen torres ventadas de 10 metros de altura” (Córdova Sandoval, 2019, p.107).

Es importante elegir adecuadamente la ubicación de los nodos, la tasa de datos que se desea transmitir y la frecuencia a utilizar para evitar obstáculos y tener mayor eficiencia en la comunicación.

MARCO TEORICO

3.1 Telecomunicaciones

El término “telecomunicaciones” significa comunicar a distancia. Por otro lado, la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT,2016) la define como:

“Toda transmisión, emisión o recepción de signos, señales, escritos, imágenes, sonidos o información de cualquier naturaleza, por hilos conductores, radioelectricidad, medios ópticos u otros sistemas electromagnéticos”.

3.1.1 Clasificación

De acuerdo con Quesada (2012), las telecomunicaciones se clasifican según su medio de propagación en:

- Telecomunicaciones terrestres. Su medio de propagación son líneas físicas, (cables de cobre, fibra óptica, cable coaxial, cable multipar, entre otros); ejemplo las líneas telefónicas.
- Telecomunicaciones radioeléctricas. Se utiliza como medio de propagación la atmósfera terrestre, realizando la transmisión de las señales de ondas; como por ejemplo las ondas de radio.
- Telecomunicaciones satelitales. Se utiliza como medio de propagación la atmósfera terrestre y parte del espacio exterior es decir las diferentes capas de la atmósfera hasta llegar a la órbita geosíncrona ubicada a 36000 Km sobre el nivel del mar; un ejemplo son los enlaces VSAT.

3.2 Comunicaciones Inalámbricas

Los estándares de IEEE y de la industria de las telecomunicaciones sobre las comunicaciones inalámbricas de datos abarcan la capa física y de enlace de datos. Los cuatro estándares comunes de comunicación de datos que se aplican a los medios inalámbricos son:

- Estándar IEEE 802.11: la tecnología de LAN inalámbrica (WLAN), comúnmente denominada *Wi-Fi*, utiliza un sistema por contienda o no determinista con un proceso de acceso múltiple por detección de portadora y prevención de colisiones (CSMA/CA) para acceder a los medios.
- Estándar IEEE 802.15: el estándar de red de área personal inalámbrica (WPAN), comúnmente denominado *Bluetooth*, utiliza un proceso de emparejamiento de dispositivos para comunicarse a través de distancias de 1 a 100 m.
- Estándar IEEE 802.16: conocido comúnmente como “interoperabilidad mundial para el acceso por microondas” (WiMAX), utiliza una topología de punto a multipunto para proporcionar acceso a servicios de banda ancha inalámbrica.
- Sistema global para comunicaciones móviles (GSM): Incluye las especificaciones de la capa física que habilitan la implementación del protocolo Servicio general de radio por paquetes (GPRS) de capa 2 para proporcionar la transferencia de datos a través de redes de telefonía celular móvil (Cisco,2003).

3.3 Espectro Radioeléctrico

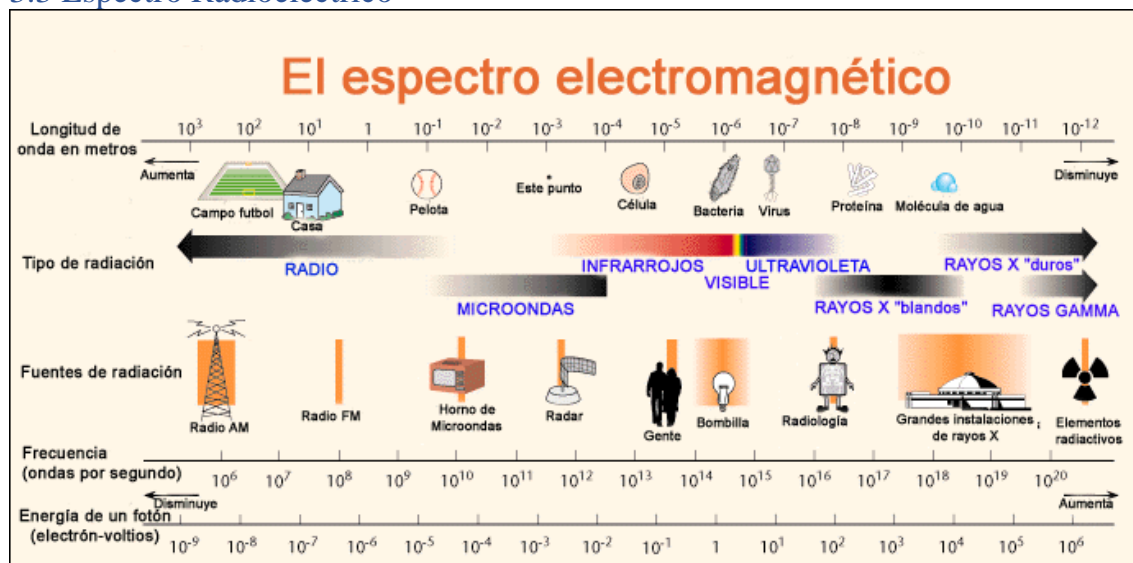


Fig.2: Espectro Electromagnético

Fuente: <https://sites.google.com/a/uaem.mx/satellites-artificiales/espectro-electromagnetico>

El espectro radioeléctrico es el conjunto de frecuencias en las que se propagan las ondas electromagnéticas en el espacio, este rango se encuentra entre las frecuencias de 3kHz y 3000 Ghz. Se trata de un recurso universal y limitado que requiere una regulación y organización. Sin esta ordenación, es decir, si cada estación o servicio de comunicaciones emitiera arbitrariamente en la frecuencia que deseara, sería imposible garantizar una mínima fiabilidad en las telecomunicaciones, ya que las interferencias serían continuas (García y Gregorio, 2012).

Una primera división del espectro se realiza a través de bandas de frecuencias.

Banda	Frecuencia	Longitud de onda	Características	Aplicaciones
VLF	Very Low Frequencies (Muy baja frecuencia) 10 kHz a 30 kHz	30 km a 10 km	Propagación por onda de tierra, atenuación débil. Características estables	Enlaces de radio a gran distancia
LF	Low Frequencies (Baja frecuencia) 30 kHz a 300 kHz	10 km a 1 km	Similar a la anterior, pero de características menos estables	Enlaces de radio a gran distancia, ayuda a la navegación aérea y marítima
MF	Medium Frequencies (Frecuencia media) 300 kHz a 3 MHz	10 km a 1 km	Similar a la anterior, pero con absorción elevada durante el día. Prevalece propagación ionosférica durante la noche	Radiodifusión
HF	High Frequencies (Alta frecuencia) 3 MHz a 30 MHz	100 m a 10 m	Prevalece propagación ionosférica con fuertes variaciones estacionales y en las diferentes horas del día y de la noche	Comunicaciones de todo tipo a media y larga distancia
VHF	Very High Frequencies (Muy alta frecuencia) 30 MHz a 300 MHz	10 m a 1 m	Prevalece propagación directa, ocasionalmente propagación ionosférica o troposférica	Enlaces de radio a corta distancia, televisión, radio FM.
UHF	Ultra High Frequencies (Ultra alta frecuencia) 300 MHz a 3 GHz	1 m a 10 cm	Solamente propagación directa, posibilidad de enlaces por reflexión o a través de satélites artificiales.	Enlaces de radio, ayuda a la navegación aérea, radar, televisión
SHF	Super High Frequencies (Super alta frecuencia) 3 GHz a 30 GHz	10 cm a 1 cm	Como la anterior	Radar, enlaces de radio
EHF	Extra High Frequencies (Extra alta frecuencia) 30 GHz a 3.000 GHz	1 cm a 0,1 mm	Como la anterior	Como la anterior

Tabla 2: Bandas de Frecuencia
 Fuente: García y Gregorio (2012)

3.4 Redes de datos

Una red de datos es la interconexión física o inalámbrica que vincula varios dispositivos informáticos (servidores, computadoras, teléfonos móviles, periféricos, entre otros) para que se comuniquen entre sí, con la finalidad de compartir datos y ofrecer servicios (CISCO, 2019).

Para que exista transmisión de información debe existir como mínimo, un transmisor, un canal y un receptor. Para los sistemas de radio, el canal es el aire, sin embargo, la información que viaja en forma de una onda electromagnética se encuentra con objetos que interfieren o bloquean el camino hacia el receptor (Gómez Rojas et al. ,2019).

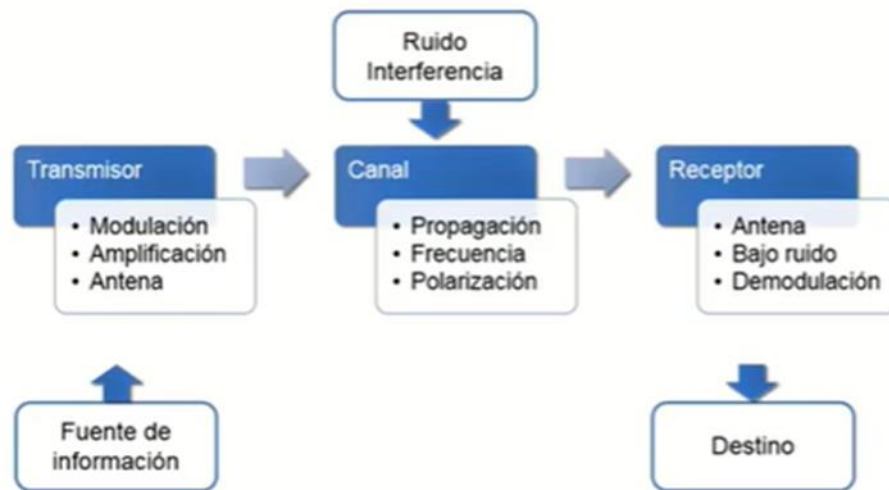


Fig.3: Sistema de Telecomunicaciones

Fuente: <https://www.youtube.com/watch?v=WjdzNd5ERng>

Se describe a continuación los elementos de un sistema de telecomunicaciones:

Transmisor: Encargado de generar y adecuar la información a ser transmitida adaptándola al medio de transmisión requerido.

Canal: es el medio a través del cual viajará la información desde el transmisor hacia él, o los receptores.

Receptor: Encargado de recibir y adecuar la información a ser utilizada, adaptándola nuevamente a la aplicación o utilidad requerida.

3.4.1 Internet

Internet es una de las redes más grandes de telecomunicaciones a nivel mundial, su importancia radica en que a través de ella podemos obtener información rápida y eficaz sobre diversos temas, sin moverse de casa o del lado de su computador, esto entre infinidad de aplicaciones que podemos utilizar. Es una red de computadoras interconectadas entre sí que ofrecen acceso y comparten información a través de un lenguaje común.

La palabra Internet es el resultado de la unión de dos términos: Inter, que hace referencia a enlace o conexión y Net (*Network*) que significa interconexión de redes. Es decir, Internet no es otra cosa que una conexión integrada de redes de computadores o redes interconectadas (Internet, s.f).

3.4.2 Modelo TCP/IP

TCP/IP (Protocolo de Control de transmisión/ Protocolo Internet) es el primer modelo de protocolo en capas para comunicaciones de *internetwork*, se creó a principios de la década de los setenta y se conoce con el nombre de modelo de Internet. Define cuatro categorías de funciones que deben tener lugar para que las comunicaciones sean exitosas (Cisco,2003).

En la actualidad TCP/IP es utilizado por cualquier dispositivo que quiera conectarse a Internet.

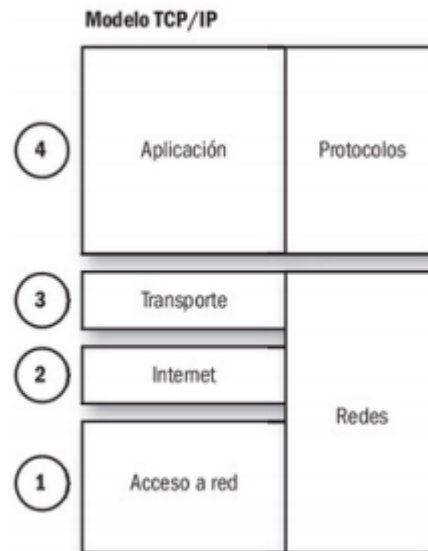


Fig.4: Modelo TCP/IP
Fuente: Salvetti (2011)

Acceso a red: es el nivel que atiende las cuestiones relacionadas con el tipo de red local sobre la que se dirige la comunicación. En términos comparativos, los protocolos en este nivel de la pila se ubican en las Capas de Enlace y Física del modelo OSI (modelo de referencia para los protocolos de la red). Es decir que aquí se manejan los detalles del medio de comunicación sobre el que se transmitirán y recibirán los datagramas generados por IP entre dos máquinas diferentes conectadas indirectamente o sobre el mismo enlace. La funcionalidad de los protocolos de este nivel puede desarrollarse en hardware, por ejemplo, en las placas de red, y en software. Antes de enviar los datagramas sobre el medio físico específico, estos serán acondicionados con el agregado de un encabezado generado por protocolos de este nivel, por ejemplo, para agregar algún tipo de direccionamiento con significado local, a diferencia de IP cuyo direccionamiento es de significado global. Muchos protocolos de este nivel también agregan al final un campo para control de errores. Uno de los protocolos más antiguos que operan en este nivel es el Protocolo de Resolución de Direcciones (ARP, *Address Resolution Protocol*). En el caso de redes de acceso múltiple, este protocolo trabaja en conjunto con el protocolo IPv4, para relacionar direcciones IP con las correspondientes direcciones del nivel de enlace (Liberatori, 2018).

Internet: existe un único protocolo a este nivel y su función es la de lograr la interconexión de redes. IP cuenta con capacidad de manejo de datagramas o paquetes y su misión es que los mismos se muevan hacia el destino, a través de diversas redes. El servicio de transmisión de datagramas IP es un servicio sin conexión, no confiable, pero que permite lograr uno de los objetivos más importantes de manera sencilla: la interconectividad. Como su principal trabajo es el ruteo, en su versión más antigua, el protocolo IPv4 posee un esquema de

direccionamiento de tipo jerárquico, de 32 bits, conocido como esquema de direcciones IP. La versión más moderna IPv6 cuenta con un espacio de direcciones mucho más grande, de 128 bits. El servicio de ruteo es tipo salto a salto o *hop-by-hop*, con comunicación entre sistemas conectados directamente hasta llegar al router más cercano al destino final. IP puede cargar mensajes de muchos protocolos del nivel superior, identificados con un campo especial en el encabezado, denominado campo de número de protocolo, que le permite realizar multiplexado para poder entregar de manera correcta el mensaje encapsulado. Entre los protocolos encapsulados por IP, podemos mencionar: el ICMP (Protocolo de Mensajes de Control de Internet), y los protocolos TCP (Protocolo de Control de Transmisión) y UDP (Protocolo de datagramas de usuario).

Transporte: es el nivel de comunicación entre las máquinas en red que constituyen los extremos finales de la comunicación. Las mismas pueden encontrarse en redes diferentes conectadas a través de routers, o en la misma red. Los protocolos de este nivel, TCP y UDP ofrecen a los del nivel superior una interfaz de acceso a la red uniforme, sin que importe el tipo de conexión o red subyacente. Se les asocia funcionalidades relacionadas con el control de error y control de flujo, aunque TCP también permite manejar una conexión, porque es un protocolo del tipo orientado a la conexión. Es decir que TCP se encarga de brindar confiabilidad, abrir, mantener y cerrar conexiones solicitadas por aquellos protocolos de nivel superior que requieren sus servicios. Para ello, es capaz de manejar datos fuera de orden, errados o duplicados. Su funcionalidad incluye el control de congestión y el manejo de paquetes perdidos. Protocolos tales como HTTP apoyan su funcionalidad en TCP. Por su parte, UDP ofrece un servicio sin conexión, apto para aplicaciones transaccionales, como es el caso de DNS. Tanto TCP como UDP incluyen un esquema de direccionamiento para identificar aplicaciones. Se trata de campos de encabezado, de 16 bits, conocidos como números de puerto.

Aplicación: en este nivel la comunicación es entre procesos o aplicaciones que manejan datos de usuario y se los deben comunicar a otros procesos o aplicaciones en otro punto de la red. Se trata del nivel más alto de la arquitectura, comparable a las tres capas de mayor numeración del Modelo OSI. Protocolos tales como SMTP para transporte de mensajes de correo electrónico, FTP para transferencia de archivos, SSH para conexiones remotas seguras y HTTP para navegación en la web, operan en este nivel (Liberatori, 2018).

3.5 Técnicas de acceso múltiple

El problema de acceder óptimamente a un canal de comunicaciones cuando existen varios usuarios es de fundamental importancia, en especial si los recursos del canal son limitados. Este es el caso de los sistemas de radiocomunicaciones, en los que el ancho de banda es asignado por lo general por licencia gubernamental y debe, por tanto, ser aprovechado al máximo (Ramirez Luz, 2015).

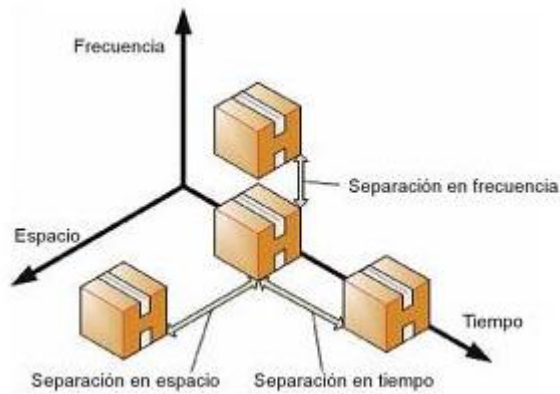


Fig.5: Técnicas de acceso múltiple
Fuente: Ramírez Luz (2015)

Los cuatro métodos principales que se ocupan para acceso múltiple son:

- Acceso múltiple por división de frecuencia o *Frequency Division Multiple Access* (FDMA)
- Acceso múltiple por división de tiempo o *Time Division Multiple Access* (TDMA)
- Acceso múltiple por división de código o *Code Division Multiple Access* (CDMA)
- Acceso múltiple por división de espacio o *Space Division Multiple Access* (SDMA)

3.5.1 FDMA

FDMA divide el ancho de banda disponible en varias bandas de frecuencias que se reparten entre todos y cada uno de los usuarios, es decir, en FDMA se asigna un canal individual a cada usuario que se encuentra en el sistema.

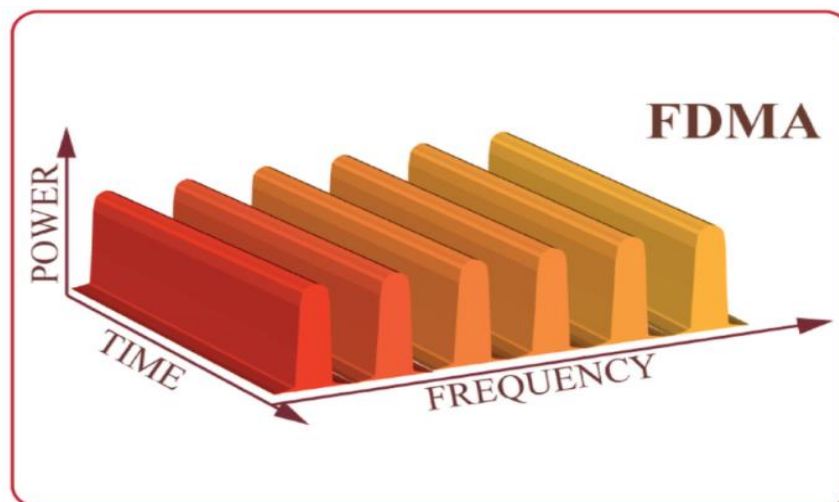


Fig.6: Acceso múltiple por división de frecuencia
Fuente: Ramírez Luz (2015)

Las características de FDMA según Jiménez (2007) son las siguientes:

- Si un canal de FDMA está inactivo, entonces este canal no puede ser utilizado por otros usuarios para incrementar o compartir su capacidad y se considera como un canal desaprovechado.
- Después de la asignación de un canal, la estación central y el usuario transmiten continua y simultáneamente.
- El ancho de banda de los canales puede ser relativamente estrecho por ejemplo de 30 kHz. La complejidad de los sistemas móviles es baja.
- Como FDMA es un esquema de transmisión continua, se necesitan unos cuantos bits para propósitos de encabezado (por ejemplo, para sincronización), que en comparación con TDMA son relativamente pocos.
- Los sistemas con FDMA tienen un costo más alto comparado con los sistemas con TDMA, debido a que existe la necesidad de utilizar filtros pasabanda costosos para eliminar las radiaciones espurias de los transmisores.
- Se necesitan duplexores para que el transmisor y el receptor operen al mismo tiempo, lo cual resulta en un incremento en el costo de las terminales.
- FDMA requiere de un filtro de RF muy estrecho para minimizar la interferencia de canales adyacentes.

3.5.2 TDMA

La multiplexación por división de tiempo involucra la separación en el tiempo de los accesos de los transmisores al canal, de manera tal que puedan compartir la misma frecuencia. Se basa en el hecho de que la señal que se envía a través de un canal ha sido digitalizada, eso implica que se haya dividido en una cantidad de paquetes que ocupan milisegundos de la señal. La señal se aloja en algún time-slot de un canal por un corto tiempo y luego pasa a otro canal. A cada usuario le corresponde un time-slot predefinido.

Para poder sincronizar cada usuario a la ranura que le corresponde y no exista pérdida de información, es necesario que cada trama contenga unos bits de encabezado y direcciones, aparte de los bits de información, para que la estación central y los usuarios se identifiquen unos a otros. También deben de considerarse los tiempos de guarda para permitir la sincronización de los receptores entre diferentes ranuras y tramas.

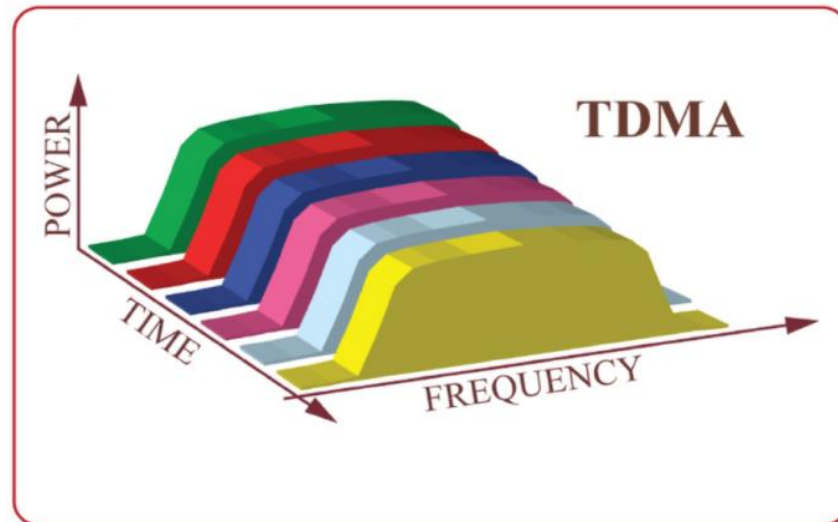


Fig.7: Acceso múltiple por división de tiempo
Fuente: Ramírez Luz (2015)

Ventajas y desventajas

Comparando TDMA con FDMA se observa una ventaja importante cuando cada banda de frecuencia es a su vez dividida en tiempo, debido a que se aprovecha mucho más el espectro de radio al permitir que más usuarios accedan al sistema, además de que ahora se permite el manejo de datos digitales aparte de las señales de voz.

Como en TDMA se requiere de un alto nivel de sincronización, la decodificación de las señales es más complicada, dando cierto nivel de seguridad en la transmisión de la información.

Sin embargo, la principal desventaja de TDMA es el alto nivel de sincronización que se requiere para enviar la información de los usuarios. Como la información se divide para enviarla en ráfagas, es necesario que cada trama tenga el encabezado suficiente para que cada usuario sea identificado en cualquier momento y además se cuente con un algoritmo de detección de errores en cada una de las tramas para no perder la mayor cantidad de información en el sistema (Jiménez, 2007).

3.5.3 CDMA

El sistema de acceso múltiple por división en el código es un método donde múltiples usuarios tienen permiso de transmitir simultáneamente a la misma frecuencia.

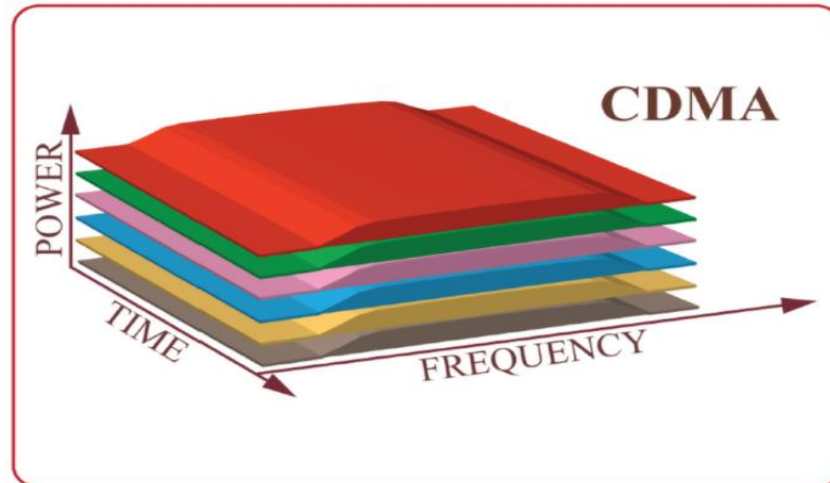


Fig.8: Acceso múltiple por división de código
Fuente: Ramírez Luz (2015)

En un sistema que utiliza CDMA, el mensaje, el cual se considera de banda angosta, es multiplicado por una señal que tiene un espectro muy grande. Esta señal es una secuencia de pseudo ruido que tiene una tasa de dispersión más grande (en varios órdenes de magnitud) que la tasa del mensaje, además de que es aproximadamente ortogonal con otras secuencias de pseudo ruido.

Todos los usuarios de un sistema con CDMA utilizan la misma frecuencia portadora y pueden transmitir simultáneamente. Esto se debe a que cada usuario tiene su propia secuencia de pseudo ruido o código. Para la detección del mensaje es necesario que el receptor conozca el código utilizado por el transmisor, para que los otros códigos se consideren como ruido de fondo en el sistema. De esta manera, cada usuario opera de forma independiente sin conocimiento alguno de los otros usuarios en el sistema.

Ventajas y desventajas

CDMA tiene algunas ventajas que FDMA y TDMA no tienen. Una de ellas es la tolerancia a los efectos de desvanecimiento del canal. Si una porción del espectro se caracteriza por tener desvanecimientos, las señales en ese intervalo de frecuencias son atenuadas. Si se tuviera un sistema con FDMA las señales se verían afectadas en forma muy severa, en cambio con CDMA tal degradación se comparte entre todos los usuarios haciendo que la atenuación que sufre cada una de las señales sea mínima.

Con CDMA se puede lograr un eficiente uso del espectro, debido a que los usuarios se distinguen por su propio código y pueden por lo mismo, utilizar la misma frecuencia al mismo tiempo.

Otra ventaja muy importante es la privacidad. Cuando el código de un grupo particular de usuarios solo se distribuye entre usuarios autorizados, CDMA ofrece un alto nivel de privacidad debido a que las transmisiones no pueden ser fácilmente interceptadas por usuarios no autorizados que no tengan dicho código.

Sin embargo, un problema considerable en CDMA es la auto interferencia, lo cual limita la capacidad del sistema. En CDMA la potencia de los usuarios en el receptor determina la cantidad de ruido de fondo que existe en el sistema, de modo que, si la potencia de cada usuario

dentro de una celda no es controlada, entonces surge el problema cerca-lejos. Este problema ocurre cuando muchos usuarios comparten el mismo canal y las señales recibidas de algunos de estos usuarios tienen una potencia muy grande. Lo anterior produce un incremento del ruido de fondo considerado en la detección de las señales deseadas en el receptor, haciendo imposible recuperar este tipo de señales. Para combatir este problema se aplica control de potencia dentro del sistema (Ramirez Luz,2015).

3.5.4 SDMA

El acceso múltiple por división de espacio permite el re-uso de los canales dentro de una misma celda sin importar si es una frecuencia, una ranura de tiempo o un código, los usuarios de un sistema de comunicaciones pueden ser identificados en forma espacial gracias al uso de las antenas inteligentes. Sin embargo, a diferencia de otras técnicas, SDMA no puede implementarse por sí sola en un sistema, sino que tiene que aplicarse sobre algún otro esquema de acceso múltiple (FDMA, TDMA, CDMA).

Con el uso de SDMA, se reduce la interferencia co-canal del sistema gracias al filtrado espacial que se logra con la antena inteligente. También se logra un incremento en la eficiencia de la transmisión gracias a que se tienen las siguientes ventajas con el uso de SDMA:

- Se tiene mayor alcance, es decir, se extiende el área de cobertura del sistema.
- Se puede transmitir con menor potencia y hay un menor consumo de potencia en el móvil, lo cual ayuda a mejorar y facilitar el control de potencia en el sistema.
- Un sistema con SDMA es robusto a los desvanecimientos multi-trayectoria debido a su diversidad implícita.
- La transmisión y recepción espacialmente selectiva de las señales proporciona un incremento sustancial de capacidad, cobertura y calidad en un sistema.
- Se reduce el número de señales multi-trayectoria recibidas

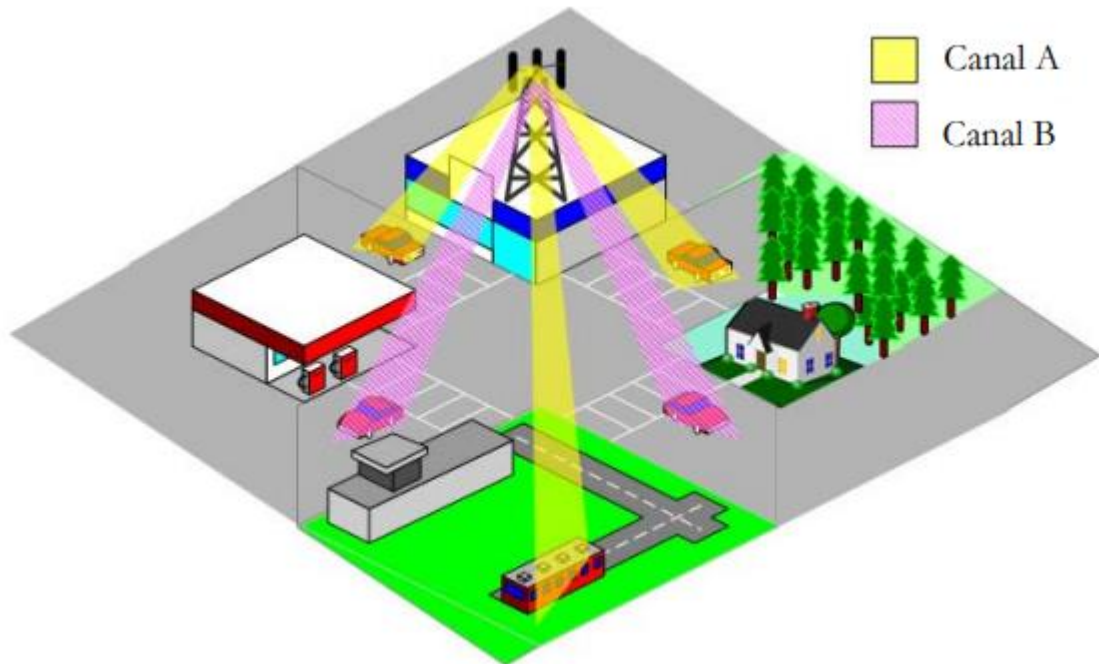


Fig.9: Acceso múltiple por división de espacio
Fuente: Jiménez (2007)

3.6 Redes Inalámbricas

Las redes inalámbricas permiten la interconexión entre dos o más puntos, nodos o estaciones, por medio de ondas electromagnéticas que viajan a través del espacio llevando información de un lugar a otro. Para lograr el intercambio de información existen diferentes mecanismos de comunicación o protocolos que establecen reglas que permiten el flujo confiable de información entre nodos (Chamorro y Pietrosevoli, 2008).

3.6.1 Tipos de redes inalámbricas

Las redes inalámbricas pueden clasificarse de distintas formas dependiendo del criterio al que se atienda. En este caso, vamos a clasificar los sistemas de comunicaciones inalámbricas de acuerdo con su alcance, definido como la distancia máxima a la que pueden situarse las dos partes de la comunicación inalámbrica.

Andreu (2011) considera que:

Las redes inalámbricas de área personal o WPAN (*Wireless Personal Area Network*) son aquellas que tienen un área de cobertura de unos pocos metros.

La finalidad de estas redes es la comunicación entre cualquier dispositivo personal (por ejemplo, el ordenador con la impresora) con sus periféricos, así como permitir una comunicación directa a corta distancia entre estos dispositivos.

El estándar más conocido es Bluetooth que se utiliza para el intercambio de archivos *Peer to Peer* (Persona a Persona) o *Device to Device* (Terminal a Terminal). Existen otros estándares como los infrarrojos, RFID, *ZigBee*, entre otros que cumplen el estándar IEEE 802.15.

Las redes inalámbricas de área local o WLAN (*Wireless Local Area Network*) cubren distancias de unos cientos de metros. Estas redes están pensadas para crear un entorno de red local entre ordenadores o terminales situados en un mismo edificio o grupo de edificios. En el

mercado existen distintas tecnologías que dan respuesta a esta necesidad, aunque la más frecuente es la tecnología *Wi-Fi*, existen otras como *HomeRF*, *HiperLAN*, *OpenAir*.

Las redes inalámbricas de área metropolitana o WMAN (*Wireless Metropolitan Area Network*) pretenden cubrir el área de una ciudad o entorno metropolitano. Tienen una cobertura desde cientos de metros hasta varios kilómetros. Los protocolos *WiMax* (*Worldwide Interoperability for Microwave Access*) o *LMDS* (*Local Multipoint Distribution Service*) ofrecen soluciones de este tipo.

Las redes inalámbricas de área global o WWAN (*Wireless Wide Area Network*): red inalámbrica basada en tecnologías como *VSAT* (*Very Small Aperture Terminal*, terminales satelitales de uso normalmente fijo) o los sistemas basados en la tecnología celular de segunda generación (2G), de tercera generación (3G) o los actuales sistemas de cuarta (4G) y quinta generación (5G) que tienen la posibilidad de cubrir un país entero o un grupo de países.

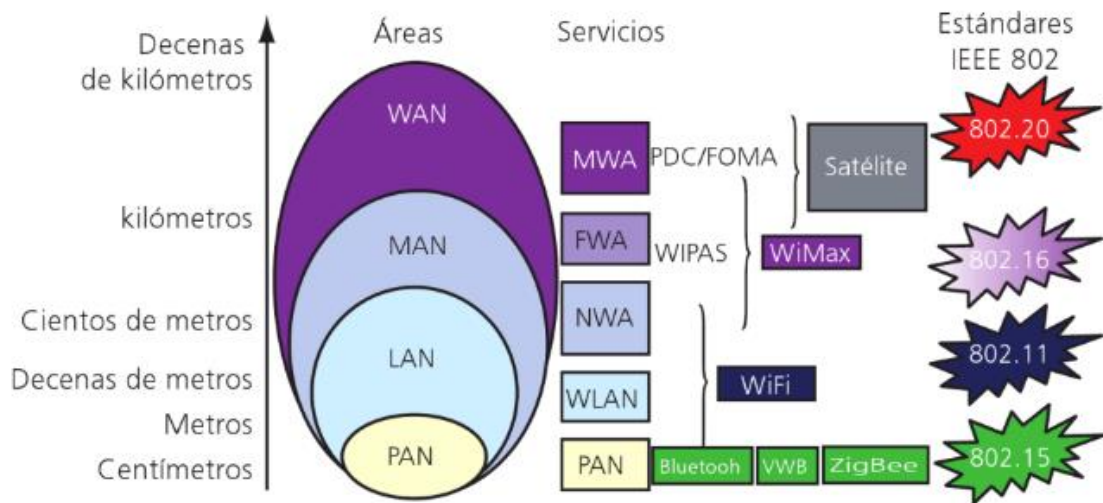


Fig.10: Tipos de Redes Inalámbricas
Fuente: Andreu (2011)

3.6.2 Características de las redes inalámbricas

Las ventajas que nos ofrece este medio son muchas:

- **Rápido despliegue de la red:** Dificultades como cruce de calles, vías, ríos, entre otros, son fáciles de superar con ayuda de la interfaz inalámbrica.
- **Permite movilidad:** el medio de transmisión no está sujeto a ningún cable lo que permite una movilidad dentro del rango de recepción de la señal.
- **Menor costo de mantenimiento:** al tener centralizada la emisión, el mantenimiento está concentrado y se reducen los costos por cableado.
- **Accesibilidad:** casi todos los móviles y portátiles soportan o incluyen varias tecnologías inalámbricas.
- **Productividad:** las redes inalámbricas propician la colaboración, el teletrabajo, entre otros.
- **Es la única opción para zonas a las que no llega el cableado,** como es el caso de zonas rurales diseminadas.

Pero también tiene desventajas impredecibles:

- Variación de la tasa de transferencia efectiva: los cambios en el medio (a causa de lluvias, granizo o vientos) generan pérdidas en la propagación y disminución del *throughput*.
- Interferencias externas: de otros emisores de microondas, al compartir el medio e incluso las frecuencias de transmisión.
- Falta de seguridad: al emitirse libremente por el aire para poder ser interceptado por cualquiera, lo que requiere aumentar la seguridad y la encriptación.

3.6.3 Topologías Básicas de Red

La disposición de los enlaces que conectan los nodos de una red es lo que definimos como topología de red.

Tenemos dos formas de definir la topología de red: física o lógica

Para referirnos a la primera la topología física, tendremos en mente la configuración de los cables, las antenas las computadoras y otros dispositivos de red. Mientras que para definir la topología lógica necesitamos pensar en un nivel más abstracto, considerando por ejemplo el método y el flujo de la información transmitida entre los nodos, este tipo de topología implica la forma en que los datos viajan por las líneas de comunicación (Salvatti,2011).

A continuación, se desarrollaran las topologías de red más comunes:

Topología Bus

Todos los nodos se conectan a un único medio de transmisión utilizando los *transceiver*, encargados de controlar el acceso al bus. Los mensajes se envían por el bus y todos los nodos escuchan, aceptando los datos sólo en el caso de que vayan dirigidos a él. Esta topología permite la adición y sustracción de nodos sin interferir en el resto, aunque un fallo en el medio de transmisión inutiliza por completo la red.

Topología Estrella

Los equipos se conectan a un *hardware* llamado concentrador. Todos los datos pasan a través del concentrador hasta llegar a destino. Podemos eliminar una conexión sin que se vea afectada toda la red. Pero como punto crítico tenemos el concentrador, sin este los equipos no pueden comunicarse. Es común para redes *Ethernet* e inalámbricas.

Topología Árbol

Es una combinación de topologías bus y estrella. Un conjunto de nodos configurados como estrella se conectan a un cable común llamado normalmente *backbone*.

Si un nodo falla, no se presentan problemas entre los nodos subsiguientes.

Topología Anillo

Se forma un lazo cerrado (anillo) con todos los nodos conectados entre sí, ósea que cada nodo se conecta directamente a otros dos. Tiene como desventaja la difícil instalación, requiere mantenimiento y al romperse el cable que forma el anillo se para toda la red.

Topología Malla

Para formar la malla es necesario tener enlace directo entre todos los pares de nodos de la red. Es una tecnología costosa, pero es muy confiable. Este tipo se utiliza principalmente para aplicaciones militares.

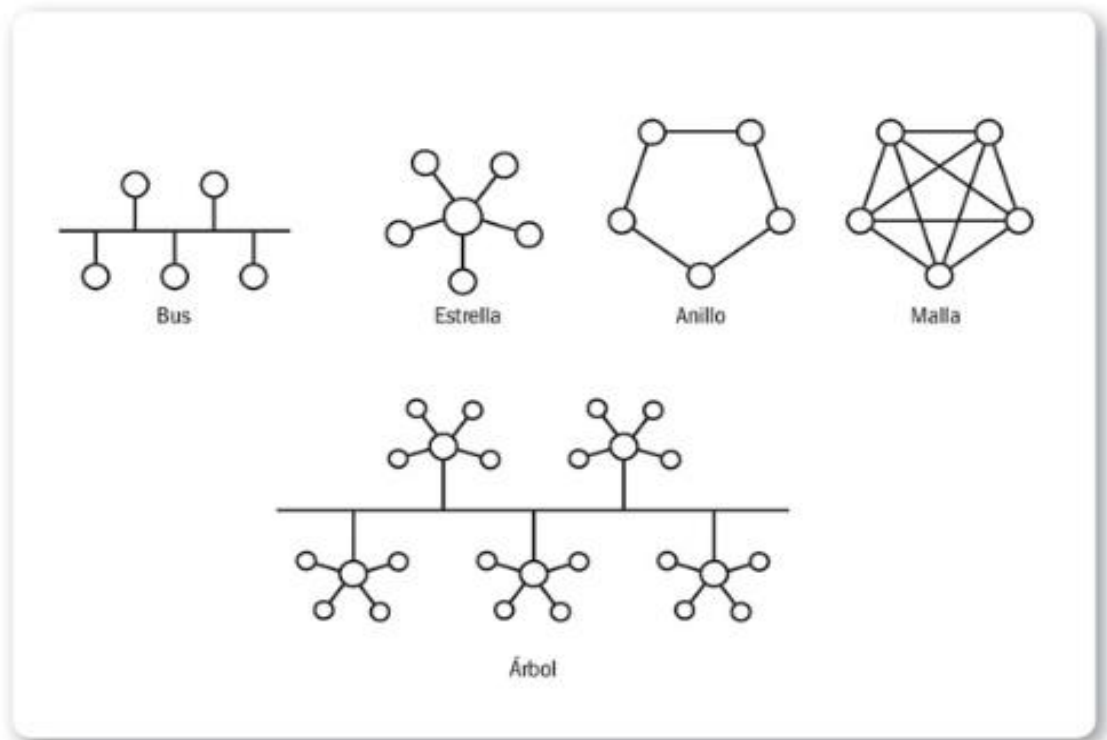


Fig.11: Topologías de Red
Fuente: Salvetti (2011)

3.6.4 Redes inalámbricas en bandas no licenciadas

Existen organismos gubernamentales regionales para designar bandas, o rangos de frecuencia para un uso determinado, incluyendo las telecomunicaciones. En Argentina el ente creado para tal fin es el ENACOM (Ente Nacional de Comunicaciones). Cuando se asignan bandas para su uso sin licencia significa que cualquier persona puede desplegar redes inalámbricas dentro del rango de frecuencia, siempre que su equipo cumpla con las normas regionales establecidas por ese organismo.

3.6.4.1 Espectro de 2,4 GHz

El espectro de 2,4 GHz es una banda sin licencia en todo el mundo. Debido a su gran popularidad con los consumidores incluyendo cámaras IP, hornos de microondas, y Bluetooth, las redes inalámbricas se enfrentan con una mayor interferencia en zonas densamente pobladas. En las zonas de baja densidad de población, 2.4 GHz por lo general sigue siendo una opción viable cuando se despliega enlaces inalámbricos al aire libre (Ubiquiti Networks, 2017).

2.4 GHz Channel Allocations

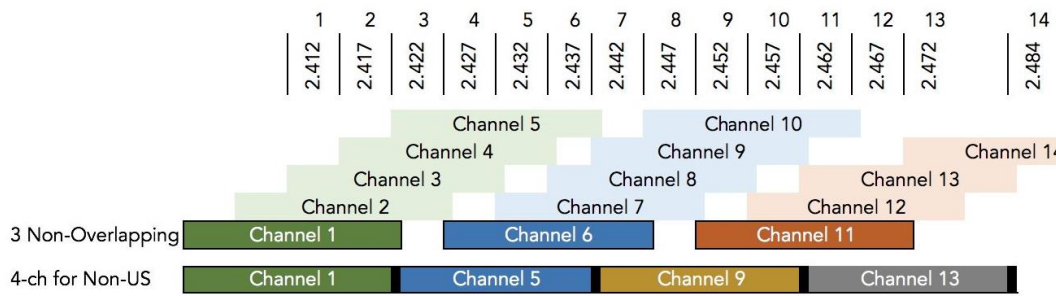


Fig.12: Canales de 2.4 Ghz

Fuente: <https://twitter.com/keithparsons/status/956766980429660161>

3.6.4.2 Espectro de 5 GHz

En la mayoría de los países del mundo, una clara ventaja a las bandas sin licencia 5 GHz es una mayor disponibilidad de canales. El espectro de 5 GHz se divide en rangos de frecuencia llamados bandas U-NII, cada uno con diferentes normas reguladoras. Dependiendo del canal seleccionado, los radios pueden funcionar a diferentes niveles de potencia (Ubiquiti Networks, 2017).

5 GHz Channel Allocations

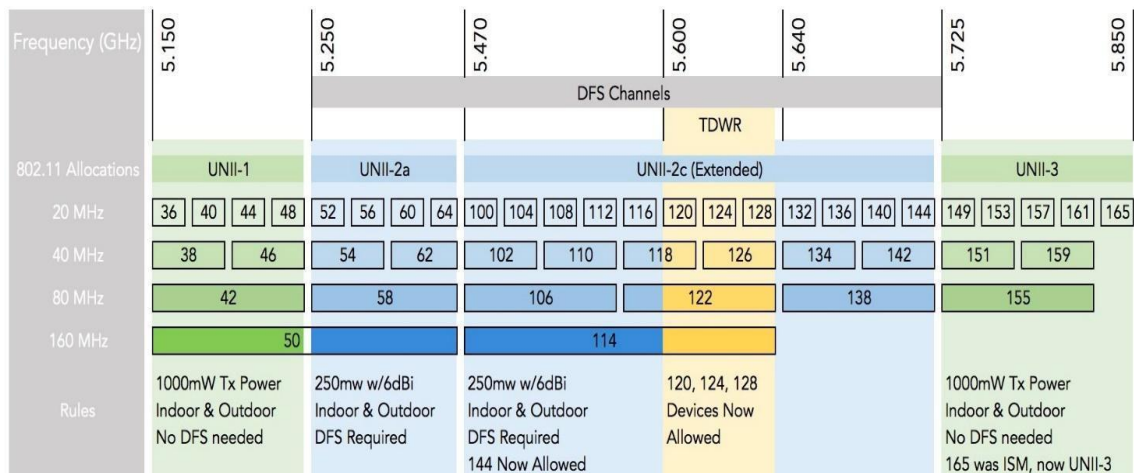


Fig.13: Canales de 5 Ghz

Fuente: <https://twitter.com/keithparsons/status/956766980429660161>

3.7 Alternativas Tecnológicas

3.7.1 VHF

Las redes privadas de comunicación de voz en banda VHF utilizan la banda de frecuencia de 30- 300 MHz. En ellos se alcanzan distancias de enlace en torno a los 70 Km, limitados por la potencia de transmisión y la altura de las antenas. Éstas deberán compensar la curvatura de la tierra y salvar los obstáculos que se presentan en el camino, aunque tiene bastante tolerancia a los mismos (Pontificia Universidad Católica del Perú,2011).

En la propagación directa desde la antena transmisora a la antena receptora es recomendable que exista “línea de vista” entre ellas, es decir, que exista visibilidad óptica entre

ambas. Sin embargo, se soportan obstáculos vegetales o invasiones no muy profundas de la línea de vista por elevaciones del terreno.

El inconveniente de no lograr un enlace debido a obstrucción severa de la línea de vista puede superarse utilizando equipos intermedios o repetidores, usualmente ubicados en zonas elevadas, de forma que permitan la comunicación, a través de ellos, entre dos o más puntos que no tienen visibilidad directa. Además, incluso en los valles serranos y/o corredores interandinos también es posible la comunicación en VHF, directamente o a través de repetidores.

Aunque esta banda está pensada solamente para la transmisión de voz y, por tanto, los equipos de radio se diseñan y fabrican para ese fin, mediante *software* se puede conseguir utilizar este medio para comunicaciones de datos. Existen diferentes tipos de herramientas *software* para la transmisión de datos. El más eficiente de ellos es el protocolo AX.25 que incluso permite instalar el protocolo TCP/IP sobre él. AX.25 es un protocolo de nivel de enlace habitualmente usado por radio aficionados para bandas VHF/UHF y HF. Aunque la velocidad que se consigue es muy baja, apenas comparable a la velocidad de un módem telefónico, puede aumentar con la compresión que incorpora el sistema de correo, permitiendo utilizar aplicaciones de correo electrónico, mensajería y navegación (restringida) en Internet a velocidades aceptables.

Para poder ofrecer ambos servicios, se eligen radios VHF convencionales que se utilizan normalmente para voz, pero que, intermitentemente, pasan a intercambiar datos entre un ordenador cliente y su servidor de referencia.

A continuación, se presenta un listado de las ventajas y desventajas que presenta esta tecnología de acuerdo con la Pontificia Universidad Católica del Perú (2011):

Ventajas:

- Enlaces a largas distancias. Aunque requiere línea de vista pueden salvarse algunos obstáculos vegetales o no muy profundos. Estos enlaces suelen implicar menor número de emplazamientos aislados necesarios para conectar establecimientos.
- Fácil reutilización de frecuencias.
- Tecnología radio muy conocida en los entornos rurales.
- La calidad de los enlaces no se ve afectada por los cambios climatológicos.

Inconvenientes:

- El uso de la banda VHF requiere de la obtención oficial de una licencia de servicio.
- Velocidades menores que para otras tecnologías como *Wi-Fi*
- Mayor consumo en torno a los 100 W en transmisión frente a los menos de 10 W requeridos para transmitir con una tecnología *Wi-Fi* (considerando el consumo completo de un enrutador inalámbrico).
- Al requerirse potencias mayores, se tiene que proveer un sistema de paneles solares de superficie mucho mayor y baterías de mayor capacidad, lo que eleva su costo.

3.7.2 Conexión satelital (VSAT)

De acuerdo con INTELSAT (1998):

“Una terminal de muy pequeña apertura (VSAT) es una micro estación terrestre que utiliza las últimas innovaciones en el campo de las comunicaciones por satélite para permitir el acceso del usuario a comunicaciones por satélite fiables”

El componente principal de este sistema es el hub, que es la estación central terrestre de la red. Éste permite realizar la comunicación entre dos terminales VSAT, es decir, que todo intercambio de información tiene que pasar por el hub. Esta estructura de red logra que las estaciones terminales sean simples, baratas y fáciles de instalar. Las antenas usadas tienen menor diámetro (menores de 2.4 m, típicamente 1.3 m) y los sistemas un bajo consumo de energía. Con esta tecnología se consiguen diseñar redes muy densas con altas velocidades de transmisión si hay pocos usuarios conectados simultáneamente, permitiendo la transferencia de voz, datos y vídeo. Normalmente se contratan enlaces asimétricos, con mayor capacidad en el enlace de bajada para el usuario. Últimamente, muchos sistemas VSAT están utilizando el protocolo DVB-RCS (*Digital Video Broadcasting – Return Channel Satellite*) como plataforma de soporte para el acceso bidireccional a Internet en emplazamientos aislados, con lo cual se consigue un mayor ancho de banda.

La Pontificia Universidad Católica del Perú (2011) lista las siguientes ventajas e inconvenientes:

Ventajas:

- Gestión centralizada de la red, lo cual simplifica los terminales de usuario.
- Servicio independiente de la distancia.
- Cobertura global e inmediata.
- Fácil y rápida implementación en lugares de difícil acceso.
- Los enlaces asimétricos se adaptan a los requerimientos de transferencia de datos entre una estación central que transmite mucha información a estaciones lejanas que responden con poca información (si es que responden).
- Facilidad de reconfiguración y de ampliación de la red. El uso de un satélite hace que se pueda establecer contacto con cualquier punto dentro de su área de cobertura con lo que los receptores pueden cambiar de ubicación sin más cambio que la reorientación de su antena.
- Del mismo modo, la introducción de un nuevo terminal no afecta significativamente al funcionamiento de los demás.
- Se suele diseñar para tener una disponibilidad de la red del 99.5 % del tiempo y con una BER (*Bit Error Rate*) de 10^{-7} .
- Evita las restricciones que impone una red pública en cuanto a costos y puntos de acceso.

Inconvenientes:

- Las inversiones iniciales son elevadas y en algunos países no son claramente competitivas frente a redes basadas en recursos terrestres. Este problema puede ser atenuado recurriendo al alquiler del hub. Esto sólo es viable para muchos usuarios, prácticamente de cobertura nacional, por lo que sólo puede ser asumido por una organización con gran capacidad económica.

- El punto más crítico de la red está en el satélite. Toda la red depende de la disponibilidad del transpondedor. Si éste pierde la conexión, toda la red pierde la conexión con él. Aun así, el problema no es muy grave si la empresa proveedora del servicio dispone de más de uno (cambio de frecuencia de uso de los terminales). En caso de perder la conexión todo el satélite bastaría con reorientar las antenas a otro satélite.
- Como todo sistema basado en satélites, es sensible a interferencias provenientes tanto de la tierra como del espacio.

3.7.3 WiMAX

IEEE 802.16, más conocido como *WiMAX*, es el fruto del trabajo realizado entre 2002 y 2005 en el IEEE para la definición de nuevas propuestas tecnológicas que permiten cubrir las lagunas de las redes inalámbricas de banda ancha. Es decir, posibilitar redes inalámbricas de altas prestaciones en áreas metropolitanas sin línea de vista, viabilizar la distribución de conectividad por medios inalámbricos a distancias del orden de decenas de kilómetros en zonas semiurbanas y rurales, y soportar calidad de servicio (*QoS*).

El estándar IEEE 802.16d plantea dos rangos de frecuencia de funcionamiento de los equipos. Por un lado, las bandas licenciadas de 10 a 66 GHz proporcionan un entorno físico en el que, debido a la reducida longitud de onda, es imprescindible disponer de línea de vista. Se prevé su uso para proporcionar acceso en pequeñas oficinas y casas. Por otro lado, las bandas por debajo de los 11 GHz proporcionan un entorno físico en el que no es imprescindible disponer de línea de vista. El estándar proporciona soporte para escenarios con y sin línea de vista en dicha frecuencia. Se prevé su uso para proporcionar acceso en entornos metropolitanos, así como en enlaces a gran distancia. De esta forma los proveedores de servicios podrán utilizar equipos que sigan este estándar (equipos *WiMAX*) para ofrecer acceso de banda ancha a redes IP con capacidades de hasta 120 Mbps a los abonados privados sin necesidad de llevar la red cableada hasta cada emplazamiento final (Pontificia Universidad Católica del Perú, 2011).

IEEE 802.16-2004 se diseñó, al igual que el IEEE 802.11, de forma tal que su apariencia e interacción para con las capas superiores fuera la misma que la que presenta Ethernet; también al igual que toda la familia 802, define la capa PHY y la MAC. Por otra parte, su funcionamiento es similar al de una red GSM, en la que una malla de estaciones base permite el acceso a múltiples usuarios, pudiendo manejar múltiples sectores independientes de forma simultánea. Todas las comunicaciones tienen que pasar por una estación base, siendo imposible la comunicación directa entre dos estaciones suscriptoras. *WiMAX* es orientado a conexión, por lo que las estaciones suscriptoras deben solicitar servicio a la misma. Cuando la estación base recibe una solicitud de incorporación de una nueva estación suscriptora calcula si es posible garantizarle un servicio mínimo manteniendo los compromisos con otras estaciones suscriptoras. Sólo en el caso de cumplir ambas condiciones se le concede el acceso, de forma que la estación base puede garantizar el servicio comprometido con todas las estaciones suscriptoras (*throughput* mínimo, retardo máximo etc.).

A continuación, se indican las ventajas e inconvenientes que presenta el uso de WiMAX:

Ventajas:

- Fue creado y diseñado como estándar para redes metropolitanas exteriores desde su concepción.
- Su rango normal de operación se encuentra entre los 7 y los 10 Km, pero puede llegar hasta 60 Km sin modificaciones.
- No sufre el problema del nodo oculto, ni aumentan las colisiones con el número de usuarios, ya que la estación base va asignando slots a cada estación, evitando así las colisiones que conllevan una importante pérdida de paquetes.
- No necesita línea de vista para realizar un enlace.
- Utiliza antenas inteligentes las cuales optimizan su patrón de radiación automáticamente en función de la demanda.
- Tiene la posibilidad de asignar diferente ancho de banda a cada canal de radio, desde 1.5 MHz a 20 MHz. Esto permite la posibilidad de reutilizar frecuencias y de una mejor planificación de las celdas y hace que el número de canales no interferentes entre sí dependa únicamente del ancho de banda disponible.
- En una red WiMAX se puede proporcionar QoS, lo cual es muy importante para algunas aplicaciones y para la gestión de las redes en general.

Inconvenientes:

- Los costos de las instalaciones están fuera del alcance de muchos entornos rurales, sin contar las antenas, las torres, etc.
- Necesitan un gran subsistema eléctrico para funcionar

3.7.4 Wi-Fi

La familia de estándares IEEE 802.11 (802.11a, 802.11b y 802.11g), más conocida como *Wi-Fi (Wireless Fidelity)*, tiene asignadas las bandas ISM (*Industrial, Scientific and Medical*) 902-928 MHz, 2.400-2.4835 GHz, 5.725-5.850 GHz para uso en las redes inalámbricas basadas en espectro ensanchado con objeto de lograr redes de área local inalámbricas (WLAN).

Wi-Fi comparte la mayoría de su funcionamiento interno con Ethernet, sin embargo, difiere en la especificación de la capa física (PHY) utilizando señales radio en lugar de cable y en su capa de control de acceso al medio (MAC), ya que para controlar el acceso al medio Ethernet usa CSMA/CD (Acceso múltiple con detección de portadora y detección de colisiones), mientras que *Wi-Fi* usa CSMA/CA (Acceso múltiple con detección de portadora y prevención de colisiones). El gran ancho de banda (entre 1 y 11 Mbps para 802.11b y hasta 54Mbps para 802.11a/g) a un precio reducido, lo presenta como una de las mejores opciones para la transmisión de datos y redes de telefonía empleando VoIP (voz sobre IP).

No obstante, pueden ser utilizadas (bajo ciertas restricciones legales de potencia) en exteriores, si se introducen antenas externas, amplificadores adecuados, etc. Las regulaciones vigentes en Hispanoamérica permiten establecer enlaces de decenas de kilómetros a potencias muy bajas, con un ancho de banda mucho mayor que otras soluciones tecnológicas, lo que abre el camino a servicios como aplicaciones de tiempo real. Como la comunicación punto a punto sólo puede darse entre estaciones con perfecta línea de vista, en muchos contextos, no suelen lograrse alcances mayores de unos 40 Km. No obstante, pueden salvarse obstáculos con el uso

de emplazamientos aislados intermedios o las propias estaciones cliente utilizadas como repetidores, para interconectar dos estaciones que se encuentren a una mayor distancia.

La Pontificia Universidad Católica del Perú (2011) enuncia las siguientes ventajas e inconvenientes:

Ventajas:

- Uso de frecuencias sin licencia de las bandas ISM 2.4 / 5.8 GHz con ciertas limitaciones de potencia.
- Tecnología con estándar ampliamente conocido y fácil de configurar, lo que favorece los bajos costos de los equipos.
- Bajo consumo de potencia, menor a 10 W por enrutador.
- Flexibilidad: un nodo puede adherirse a la red si puede ver a uno de los nodos vecinos (las zonas rurales aisladas normalmente no siguen una distribución geométrica ordenada alrededor de un punto central).
- Hardware fácilmente integrable en un sistema impermeable que soporte condiciones meteorológicas adversas.

Inconvenientes:

- Requiere línea de vista directa (esto podría elevar, en algunos casos, el número de repetidores necesarios aumentando demasiado el costo).
- Al ser una tecnología creada para redes de corto alcance, hay que solventar ciertos problemas relacionadas con su utilización para distancias de decenas de Km.
- El número de colisiones aumenta en relación con el número de usuarios.
- Tiene un número limitado de canales no interferentes, 3 en 2.4 GHz y 8 en 5.8 GHz.

3.8 Espectro Expandido

Este sistema consiste en que el ancho de banda real utilizado en la transmisión es superior al estrictamente necesario para la transmisión de la información. Lo que se consigue con esto es un sistema muy resistente a las interferencias de otras fuentes de radio, resistente a los efectos de eco (*multipath*) y que puede coexistir con otros sistemas de radio frecuencia sin verse afectado y sin influir en su actividad. Estas ventajas hacen que la tecnología de espectro expandido sea la más adecuada en las bandas de frecuencia para las que no se necesita licencia.

Existen distintas técnicas de espectro expandido, entre las que se encuentra la tecnología CDMA utilizada en la tercera generación de telefonía móvil. No obstante, el estándar 802.11 define varios métodos y tecnologías de transmisión para implementaciones de LAN inalámbricas. Este estándar no sólo engloba la tecnología de radiofrecuencia sino también la de infrarrojos. Asimismo, incluye varias técnicas de transmisión como:

- FHSS (*Frequency Hopping Spread Spectrum*).
- DSSS (*Direct Sequence Spread Spectrum*).

Todos estos enfoques distintos tienen la misma capa MAC implantada. La mayoría de los productos WLAN de 11 Mbps utilizan tecnología de RF y se sustentan en DSSS para la comunicación (Boy de la Cruz,2013).

3.8.1 Espectro Expandido por Salto de Frecuencia

La técnica FHSS es un método para transmitir señales, consiste en dividir la banda de frecuencias en una serie de canales e ir transmitiendo la información saltando cada 400mseg de un canal a otro de acuerdo con un patrón de saltos (*spreading code* o *hopping code*) conocido solamente tanto por el emisor como por el receptor. Pasado este tiempo se pasa a otra frecuencia y se continúa la transmisión, de esta manera cada tramo de información se va transmitiendo en una frecuencia distinta durante un intervalo muy corto de tiempo (Boy de la Cruz,2013).

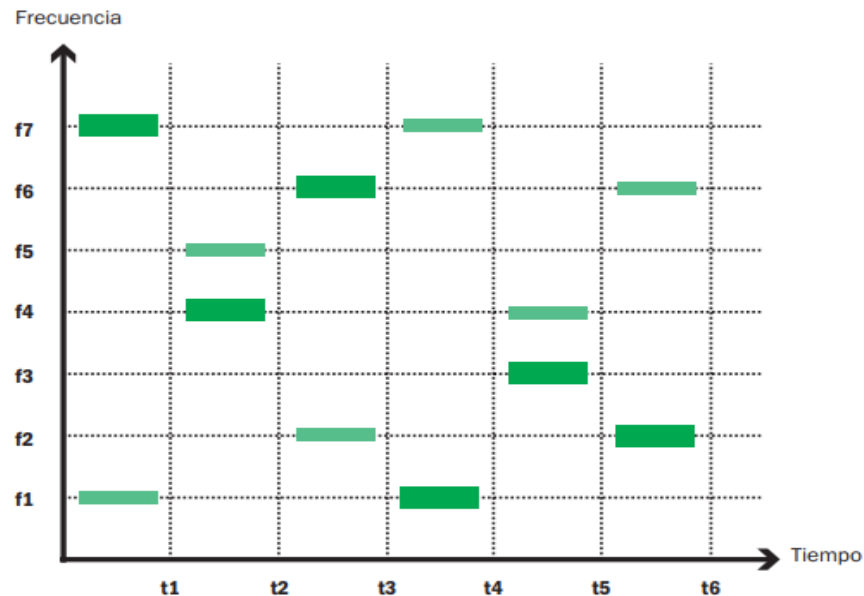


Fig.14: Salto de Frecuencia
Fuente: Andrade et al. (2008)

Sistema FHSS

Cada una de las transmisiones a una frecuencia concreta se realiza utilizando una portadora de banda estrecha que va saltando a lo largo del tiempo. El orden de los saltos en frecuencias que el emisor debe realizar está determinado según una secuencia que tanto emisor como receptor debe conocer.

El estándar IEEE 802.11 definió en 1997 que cada canal de FHSS tuviera un ancho de banda de 1 MHz dentro de la banda de frecuencias de 2,4 GHz. El ancho de banda total disponible y, por tanto, el número total de canales disponibles varía de acuerdo con el marco regulatorio de cada país o área geográfica. En cualquier caso, siempre existen tres juegos de secuencias de saltos.

La técnica FHSS reduce las interferencias porque, en el peor de los casos, la interferencia afectará exclusivamente a uno de los saltos de frecuencia, liberándose a continuación de la interferencia al saltar a otra frecuencia distinta. El resultado es que el número de bits erróneos es extremadamente bajo. Así mismo FHSS permite que coexistan varias comunicaciones en la misma banda de frecuencias. Para ello, cada comunicación debe tener un patrón de saltos con distinta secuencia (Boy de la Cruz,2013).

A pesar de que el estándar original IEEE 802.11 incluía el sistema FHSS, no existe ninguna instalación real que utilice este sistema. La razón es que la velocidad máxima que se consigue con la técnica FHSS es de unos 3Mbps (aunque sólo está normalizada la velocidad de

1 Mbps). No obstante, es posible que en un futuro se consigan velocidades superiores. Se habla de hasta 15 Mbps. Una transmisión en espectro expandido ofrece 3 ventajas principales:

- Las señales en espectro expandido son altamente resistentes al ruido y a la interferencia.
- Las señales en espectro expandido son difíciles de interceptar. Una transmisión de este tipo suena como un ruido momentáneo o como un incremento en el ruido para cualquier receptor, excepto para el que está usando la secuencia usada por el transmisor.
- Las transmisiones en espectro expandido pueden compartir una banda de frecuencia con muchos tipos de transmisión convencional con mínima interferencia.

El inconveniente de FHSS es que tiene la necesidad de sincronizar el emisor y el receptor en la frecuencia a utilizar en cada momento. Este problema fue resuelto por los ingenieros de Sylvania Electronic Systems a finales de los años cincuenta (Boy de la Cruz,2013).

3.8.2 Espectro Expandido por Secuencia Directa

La técnica DSSS funciona transmitiendo simultáneamente por varias frecuencias diferentes, esto se logra sustituyendo cada bit de información por una secuencia de bits conocida como chip o código de chips (esto es un patrón de bits redundante) para así formar la señal de información, después pasa por la modulación mediante una portadora RF, por lo que el receptor deberá de modular la señal para obtener la información original.

La secuencia de bits utilizada para modular cada uno de los bits de información es la secuencia Baker y tiene la forma:

+1, -1, +1, +1, -1, +1, +1, +1, -1, -1, -1

Esta es la secuencia de 11 chips. Estos códigos de chips permiten a los receptores eliminar por filtrado las señales que no utilizan la misma secuencia de bits y se incrementa la posibilidad de que los datos transmitidos lleguen a su destino. Entre las señales que son eliminadas se encuentra el ruido y las interferencias.

El código de chips permite al receptor identificar los datos como pertenecientes a un emisor determinado. El emisor genera el código de chips y, sólo los receptores que conocen dicho código pueden descifrar los datos. Por tanto, en teoría, DSSS permite que varios sistemas puedan funcionar en paralelo; cada receptor filtrará exclusivamente los datos que se corresponden con su código de chips. Por otro lado, cuanto más largo es el código de chips, más resistente será el sistema a las interferencias y mayor número de sistemas podrán coexistir simultáneamente (Boy de la Cruz,2013).

Principios del Sistema DSSS

DSSS tiene definidos dos tipos de modulaciones a aplicar a la señal de información, tal y como se especifica en el estándar 802.11:

- Modulación DBPSK (*Differential Binary Phase Shift Keying*). Velocidad de transferencia 1 Mbps.
- Modulación DQPSK (*Differential Quadrature Phase Shift Keying*). Velocidad de transferencia 2 Mbps.

En la práctica, la coexistencia de sistemas no se consigue por el uso de distintos códigos de chips, sino por el uso de distintas bandas de frecuencias. Un sistema DSSS de 11 Mbps (IEEE 802.11b) necesita un ancho de banda de 22 MHz, siendo la distancia mínima entre portadoras de 30 MHz. Como el ancho de banda disponible en la banda de 2,4 GHz es de 83,5 MHz, sólo es posible la coexistencia de tres sistemas DSSS en el mismo lugar.

Según Boy de la Cruz (2013) el sistema DSSS al igual que todos presenta desventajas:

- El inconveniente del DSSS en relación con el FHSS es que más vulnerable a las interferencias de la banda estrecha.
- En un área solo pueden funcionar 3 sistemas de forma simultánea.
- DSSS necesita componentes más rápidos y caros que los sistemas FHSS.

Pero también este sistema presenta ciertas ventajas:

- Permite mayores velocidades de datos estas oscilan entre los 5.5 y 11 Mbps.
- DSSS siempre transmite en un único canal.

3.9 Estándares Wi-Fi

Wi-Fi es un conjunto de estándares para redes inalámbricas (WLAN) basadas en las especificaciones IEEE 802.11 del Instituto de Ingenieros en Electricidad y Electrónica (IEEE).

El estándar IEEE 802.11 fue diseñado para sustituir a las capas: físicas (PHY) y de acceso al medio (MAC) del estándar IEEE 802.3 (Ethernet). En lo único que se diferencia una red Wi-Fi de una red Ethernet es en la forma en que los terminales acceden a la red, siendo totalmente compatibles en todos los demás servicios (Andrade et al. ,2008).

3.9.1 IEEE 802.11

La versión original del estándar IEEE 802.11 se lanzó en 1997, pero hoy es básicamente obsoleta, especificó tres tecnologías alternativas de capa física:

- Infrarrojos difusos que funcionan a 1 Mbit / s
- Espectro ensanchado por salto de frecuencia que funciona a 1 Mbit /s o 2 Mbit /s
- Espectro ensanchado de secuencia directa que funciona a 1 Mbit /s o 2 Mbit /s

Las dos últimas tecnologías de radio utilizan la transmisión de microondas en la banda de frecuencia de *Industrial Scientific Medical* (ISM) a 2,4 GHz (IEEE 802.11, 2021).

3.9.2 IEEE 802.11a

En 1999, el grupo de 802.11 ratificó el estándar 802.11a, que ofrece velocidades de datos de hasta 54 Mbps en la banda de 5 GHz utilizando Multiplexación por División de Frecuencia Ortogonal (OFDM, *Orthogonal Frequency Division Multiplexing*).

A pesar de que el estándar 802.11a estaba disponible en 1999, los puntos de acceso 802.11a y tarjetas de radio no estaban disponibles comercialmente hasta varios años después. Las razones de la demora en el mercado eran las dificultades de desarrollar el hardware y su aplicación en la banda de 5 GHz además estos componentes no eran interoperables con redes WLAN de la banda de 2.4 GHz.

Una ventaja significativa de 802.11a es que ofrece una capacidad muy alta en comparación con los otros estándares WLAN heredados. La razón es que el 802.11a, operando en el espectro de 5 GHz definiendo un mayor número de canales libres y sin solapamientos de RF.

El nivel de ruido más bajo en la banda de 5 GHz ofrece bajas tasas de transmisión y un mayor rendimiento en comparación con los sistemas 802.11b y 802.11g (Soyinka, 2010).

3.9.2.1 OFDM

Esta técnica divide el ancho de banda en subcanales más pequeños que operan en paralelo. De esta forma se consigue llegar a velocidades de transmisión de hasta 54 Mbps (100 Mbps con soluciones propietarias).

La técnica OFDM fue patentada por *Bell Labs* en 1970 y está basada en un proceso matemático llamado FFT (*Fast Fourier Transform*, Transformada Rápida de Fourier). OFDM divide la frecuencia portadora en 52 subportadoras solapadas, 48 de estas subportadoras son utilizadas para transmitir datos y las otras cuatro para poder alinear las frecuencias en el receptor. Este sistema consigue un uso muy eficiente del espectro radioeléctrico.

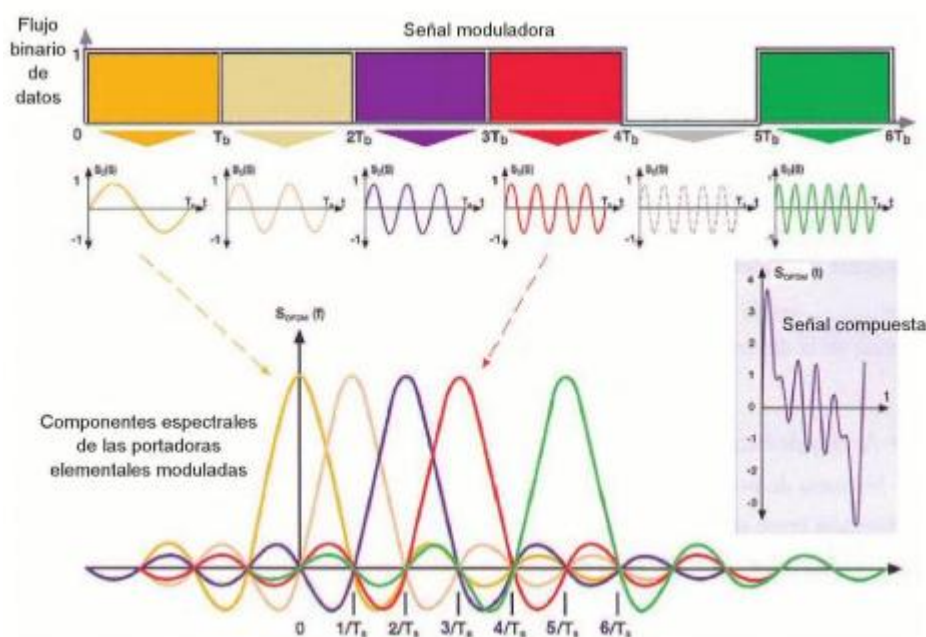


Fig.15: Multiplexación por división de frecuencias ortogonales
Fuente: Ramírez Luz (2015)

OFDM puede transmitir datos a distintas velocidades, utilizando distintas técnicas de modulación en cada una de ellas. Las velocidades normalizadas que admite OFDM son 6, 9, 12, 18, 24, 36, 48 y 54 Mbps.

Una de las ventajas de OFDM es que consigue una alta resistencia a las interferencias producidas por las ondas reflejadas en los objetos del entorno (eco o *multipath*). Estas ondas llegan al receptor con distinta amplitud y a distinto tiempo que la señal principal produciendo interferencias. Estas interferencias son un problema a velocidades superiores a 4 Mbps; por este motivo, se utilizan técnicas (como OFDM) que mitiguen este efecto (Boy de la Cruz, 2013).

3.9.3 Estándar 802.11b

Los productos 802.11b aparecieron en el mercado a principios de 2000 y son una extensión directa de la técnica de modulación definida en el estándar original. El espectacular aumento en el rendimiento de 802.11b (en comparación con el estándar original) junto con reducciones sustanciales de precios llevaron a la rápida aceptación de 802.11b como la tecnología LAN inalámbrica definitiva.

El estándar IEEE 802.11b especifica una máxima tasa de velocidad de 11 Mbps. Este usa el esquema de modulación de Espectro Ensanchado por Secuencia Directa (DSSS). La norma especifica su operación en la banda de frecuencia de 2.4 GHz que hace que los dispositivos WLAN estén sujetos a interferencia de otros dispositivos de uso cotidiano y que operan en la misma frecuencia tales como hornos de microonda, teléfonos inalámbricos, dispositivos *Bluetooth* y la mayoría de las redes WLAN vecinas que operan en la banda de 2,4 GHz (Soyinka, 2010).

3.9.4 Estándar 802.11g

El estándar 802.11g fue adoptado rápidamente por los consumidores a partir de enero de 2003, mucho antes de la ratificación, debido al deseo de velocidades más altas y reducciones en los costos de fabricación.

El estándar IEEE 802.11g especifica el funcionamiento en la banda de frecuencias de 2,4 GHz ISM. Con una velocidad de datos máxima de 54 Mbps además utiliza una variante del esquema de modulación basado en OFDM y la técnica de modulación DSSS.

El hardware basado en el estándar IEEE 802.11g es compatible con versiones anteriores de hardware basado en el estándar IEEE 802.11b. Esta compatibilidad fue una gran ventaja a favor de la adopción de esta norma (Soyinka, 2010).

3.9.5 Estándar 802.11n

El estándar 802.11n ofrece mejoras generales en comparación con las normas anteriores (802.11a, 802.11b, y 802.11g) al proporcionar un mayor rendimiento, disponibilidad y el uso de la tecnología de múltiples entradas y múltiples salidas (MIMO), la unión de canales y protocolos más eficientes, tales como la agregación de paquetes.

La norma especifica la operación en las bandas de frecuencia de 2,4 GHz y 5 GHz lo que proporciona flexibilidad para satisfacer una multitud de requisitos inalámbricos.

Puede ofrecer una transferencia máxima de datos de hasta 600 Mbps. Utiliza el esquema de modulación basado en OFDM.

Detrás de la mayoría de las mejoras de 802.11n se encuentra la capacidad de recibir y/o transmitir simultáneamente a través de múltiples antenas. 802.11n define muchas configuraciones de antena "M x N", que van desde "1 x 1" a "4 x 4". MIMO usa múltiples antenas para resolver coherentemente más información de la posible usando una sola antena. Una forma de proporcionar esto es a través de la multiplexación por división espacial, que multiplexa espacialmente múltiples flujos de datos independientes, transferidos simultáneamente dentro de un canal espectral de ancho de banda. MIMO puede aumentar significativamente el rendimiento de datos a medida que aumenta el número de flujos de datos espaciales resueltos. Cada flujo espacial requiere una antena discreta tanto en el transmisor como en el receptor.

Los productos 802.11n tienen la opción de utilizar Canales de 20 o 40 MHz de ancho, siempre que el AP tenga también capacidad de 40 MHz (Geier, 2010).

3.9.6 IEEE 802.11ac

IEEE 802.11ac (también conocido como *Wi-Fi 5* o *WiFi Gigabit*) es una mejora a la norma IEEE 802.11n, se ha desarrollado entre el año 2011 y el 2013, y finalmente aprobada en julio de 2014.

El estándar consiste en mejorar las tasas de transferencia hasta 433 Mbit/s por flujo de datos, consiguiendo teóricamente tasas de 1.3 Gbit/s empleando 3 antenas. 802.11ac planea reutilizar los detalles de 802.11n (y 802.11a) siempre que sea posible, amplía el ancho de banda

hasta 160 MHz (40 MHz en las redes 802.11n), utiliza hasta 8 flujos MIMO e incluye modulación de alta densidad (256 QAM). Esto es ventajoso para garantizar la compatibilidad y coexistencia con versiones anteriores.

El radio de cobertura es más amplio, hasta un máximo de 90-100 metros, que es lo que el consumidor reclama con más frecuencia de este tipo de conexiones.

802.11ac funciona en la banda de 5 GHz, que ofrece más canales sin interferencias, y esta menos “poblada”, por lo tanto, aporta una mayor estabilidad a la conexión, y un mayor radio de funcionamiento.

Junto a la nueva banda llega también el uso del *beamforming*, tecnología que permite a los *Routers* y Puntos de Acceso dirigir las ondas de radio de una forma más precisa, mejorando la recepción (Meden Peralta, s.f.).

3.9.7 IEEE 802.11ax

La IEEE 802.11ax, nombrada también como *Wi-Fi 6* o *Wi-Fi 6th Generation* por la *Wi-Fi Alliance*, está diseñado para operar en los espectros ya existentes de 2.4 GHz y 5 GHz. Alcanza hasta los 10 Gbit/s de velocidad.

Los objetivos del grupo de tareas 802.11ax del Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE) incluyen:

- Mejora del funcionamiento en la banda de 2,4 GHz y 5 GHz
- Aumentar el rendimiento medio por estación en escenarios de implementación densos
- Mejora tanto en entornos interiores como exteriores
- Mantener o mejorar la eficiencia energética en las estaciones.
- Mejorar la eficiencia de la gestión del tráfico en una variedad de ambientes

802.11ax se centra en las siguientes características principales de mejora:

- Acceso múltiple por división de frecuencia ortogonal (OFDMA) en enlace ascendente y enlace descendente (UL / DL)
- Multiusuario, entrada múltiple, salida múltiple (MU-MIMO) 8×8
- Reutilización espacial
- *Target Wake Time* (TWT): ahorro de energía
- 1024 modulación de amplitud en cuadratura (1024-QAM)
- Nuevos encabezados PHY
- Robustez mejorada al aire libre
- Soporte de 5 GHz y 2,4 GHz

La característica clave de 802.11ax es la adopción de un enfoque de acceso múltiple con multi-canalización por frecuencias ortogonales OFDMA (*Orthogonal Frequency Division Multiple Access*), un enfoque ampliamente utilizado en redes celulares, pero nuevo en *Wi-Fi*. El razonamiento aquí es que canales muy amplios (80 MHz, 80 + 80 MHz y 160 MHz) introducidos por el estándar 802.11ac sufren de interferencia selectiva de frecuencia, que reduce significativamente las velocidades de red que puedan ser prácticamente alcanzables. Con OFDMA, sub-portadoras adyacentes (llamados tonos) se agrupan en una unidad de recursos (RU) y quien envía la información puede elegir la mejor RU para cada receptor particular, lo que en realidad resulta en una mayor relación señal-interferencia más ruido (SINR), un esquema de modulación y codificación (MCS) más adecuado y mejora el rendimiento (Coleman, 2020).

3.10 Autenticación de usuarios con 802.1x

802.1x es un protocolo de control de acceso y autenticación basado en la arquitectura cliente/servidor, que restringe la conexión de equipos no autorizados a una red. El protocolo fue inicialmente creado por la IEEE para uso en redes de área local cableadas, pero se ha extendido también a las redes inalámbricas.

El protocolo 802.1x involucra tres participantes:

1. El equipo cliente que desea conectarse con la red.
2. El servidor de autorización/autenticación, que contiene toda la información necesaria para saber cuáles equipos y/o usuarios están autorizados para acceder a la red. 802.1x fue diseñado para emplear servidores RADIUS (*Remote Authentication Dial-In User Service*).
3. El autenticador, que es el equipo de red (*switch*, *router*, servidor de acceso remoto, etc.) que recibe la conexión del cliente. El autenticador actúa como intermediario entre el cliente y el servidor de autenticación, y solamente permite el acceso del cliente a la red cuando el servidor de autenticación así lo autoriza.

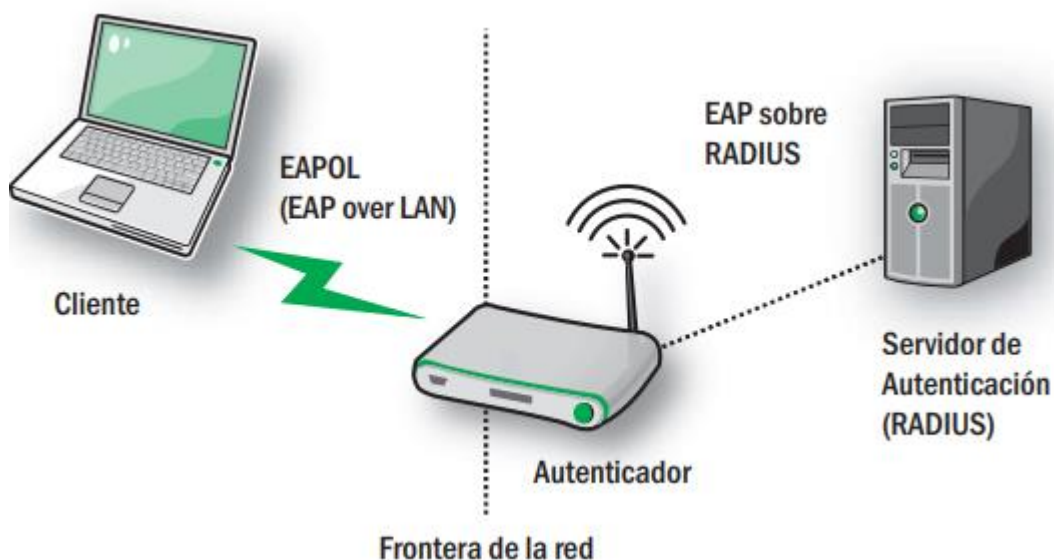


Fig.16: Autenticación de Usuario
Fuente: Andrade et al. (2008)

La autenticación del cliente se lleva a cabo mediante el protocolo EAP (*Extensible Authentication Protocol*) y el servicio RADIUS.

Existen diversas variantes del protocolo EAP, según la modalidad de autenticación que se emplee. Se puede hablar de dos grupos de variantes: las que emplean certificados de seguridad, y las que utilizan contraseñas. Las variantes de EAP que emplean certificados de seguridad son las siguientes:

EAP-TLS: requiere de instalación de certificados en los clientes y en el servidor. Proporciona autenticación mutua fuerte (es decir, el servidor autentica al cliente y viceversa) y soporta el uso de claves dinámicas para WEP. La sesión de autenticación entre el cliente y el autenticador se cifra empleando el protocolo TLS (*Transport Layer Security*)

EAP-TTLS: proporciona servicios similares a EAP-TLS, con la diferencia de que requiere solamente la instalación de un certificado en el servidor. Esto garantiza la autenticación fuerte del servidor por parte del cliente; la autenticación del cliente por parte del servidor se efectúa una vez que se establece la sesión TLS, utilizando otro método tal como PAP, CHAP, MS-CHAP o MS-CHAP v2.

PEAP: funciona de manera parecida a EAP-TTLS, en el sentido de que solamente requiere de certificado de seguridad en el servidor. Provee protección a métodos más antiguos de EAP, mediante el establecimiento de un túnel seguro TLS entre el cliente y el autenticador. Las variantes de EAP que utilizan contraseñas son las siguientes:

EAP MD5: emplea un nombre de usuario y una contraseña para la autenticación. La contraseña se transmite cifrada con el algoritmo MD5.

LEAP: Emplea un esquema de nombre de usuario y contraseña, y soporta claves dinámicas WEP.

EAP-SPEKE: Esta variante emplea el método SPEKE (*Simple Password-authenticated Exponential Key Exchange*), que permite verificar que tanto cliente como servidor comparten una información secreta (en este caso una contraseña) a través de un medio inseguro. Se ha comprobado que el método es muy seguro, aún con contraseñas cortas. Ofrece protección contra ataques de diccionario, así como el servicio de autenticación mutua sin necesidad de certificados. Muchos proveedores lo implementan por ser un método de autenticación robusto y sencillo (Andrade et al. ,2008).

3.10.1 WPA: Wi-Fi Protected Access

WPA es un estándar propuesto por los miembros de la *Alianza Wi-Fi* (que reúne a los grandes fabricantes de dispositivos WLAN) en colaboración con la IEEE. Este estándar busca subsanar los problemas de WEP, mejorando el cifrado de los datos y ofreciendo un mecanismo de autenticación.

Para solucionar el problema de cifrado de los datos, WPA propone un nuevo protocolo para cifrado, conocido como TKIP (*Temporary Key Integrity Protocol*). Este protocolo se encarga de cambiar la clave compartida entre punto de acceso y cliente cada cierto tiempo, para evitar ataques que permitan revelar la clave. Igualmente se mejoraron los algoritmos utilizados por WEP. El mecanismo de autenticación usado en WPA emplea 802.1x y EAP, que fueron mencionados en la sección anterior. Según la complejidad de la red, un punto de acceso compatible con WPA puede operar en dos modalidades:

Modalidad de red empresarial: para operar en esta modalidad se requiere de la existencia de un servidor RADIUS en la red. El punto de acceso emplea entonces 802.1x y EAP para la autenticación y el servidor RADIUS suministra las claves compartidas que se usarán para cifrar los datos.

Modalidad de red casera, o PSK (*Pre-Shared Key*): WPA opera en esta modalidad cuando no se dispone de un servidor RADIUS en la red. Se requiere entonces introducir una contraseña compartida en el punto de acceso y en los distintos dispositivos móviles. Solamente podrán acceder al punto de acceso los dispositivos móviles cuya contraseña coincida con la del punto de acceso. Una vez logrado el acceso, TKIP entra en funcionamiento para garantizar la seguridad de acceso. Se recomienda que las contraseñas empleadas sean largas (20 caracteres o más), porque ya se ha comprobado que WPA es vulnerable a ataques de diccionario si se utiliza una contraseña corta.

Adicionalmente a la autenticación y cifrado, WPA también mejora la integridad de la información cifrada. El chequeo de redundancia cíclica (CRC - *Cyclic Redundancy Check*) utilizado en WEP es inseguro, ya que es posible alterar la información y actualizar el CRC del mensaje sin conocer la clave WEP. WPA implementa un código de integridad del mensaje (MIC - *Message Integrity Code*), también conocido como "Michael". Además, WPA incluye protección contra ataques de repetición (*replay attacks*), ya que incluye un contador de tramas.

La norma WPA data de abril de 2003, y es de cumplimiento obligatorio para todos los miembros de la *Alianza Wi-Fi* a partir de finales de 2003. Según la *Alianza Wi-Fi*, todo equipo de red inalámbrica que posea el sello "*Wi-Fi Certified*" podrá ser actualizado por software para que cumpla con la especificación WPA (Andrade et al. ,2008).

3.10.2 WPA2

A partir de 2006, WPA fue sustituido oficialmente por WPA2. Uno de los cambios más significativos entre WPA y WPA2 fue el uso obligatorio de los algoritmos AES y la introducción de CCMP (*Counter Cipher Mode with Block Chaining Message Authentication Code Protocol*) como un reemplazo de TKIP (aún se conserva en WPA2 como un sistema de reserva y para interoperabilidad con WPA). En la actualidad, la principal vulnerabilidad de seguridad para el sistema WPA2 real es una de oscura y requiere que el atacante ya tenga acceso a la red *Wi-Fi* protegida con el fin de tener acceso a ciertas claves para luego poder perpetuar un ataque en contra de los otros dispositivos en la red. Como tal, las implicaciones en seguridad de estas vulnerabilidades de WPA2 se limitan casi exclusivamente a las redes a nivel de empresa y merecen poca o ninguna consideración práctica en materia de seguridad de red doméstica. Por desgracia, la misma vulnerabilidad causante del mayor agujero en la armadura WPA, el vector de ataque a través de la configuración protegida de *Wi-Fi* (WPS), persiste en los puntos de acceso WPA2 actuales. Aunque para irrumpir en una red protegida con WPA/WPA2 utilizando esta vulnerabilidad sean necesarias de 2-14 horas de esfuerzo sostenido con un ordenador actual, todavía es una preocupación legítima de seguridad y WPS debería ser desactivada (y, si fuese posible, el *firmware* del acceso punto debería ser reprogramado con una distribución que ni siquiera admitiese WPS por lo que el vector de ataque se eliminaría por completo).

Idealmente, se desactivará la configuración protegida de *Wi-Fi* (WPS) y se pondrá el nivel de seguridad a WPA2 + AES (Salazar, s.f.).

3.10.3 WPA3

WPA3 es el estándar de seguridad *Wi-Fi* de próxima generación que aborda las deficiencias de WPA2 para proteger mejor las redes inalámbricas de IoT (*Internet Of Things*), personales y empresariales.

De acuerdo con Extreme Networks (2019) se presentan las siguientes categorías:

WPA3-Personal: Los cambios más significativos se están realizando dentro de WPA3-Personal, que se centra en una autenticación basada en contraseñas más resistente, incluso cuando los usuarios eligen contraseñas que no cumplen con las recomendaciones de complejidad típicas. WPA3 reemplaza a PSK con la Autenticación Simultánea de Iguales (SAE) de la especificación IEEE 802.11, un protocolo de establecimiento de clave seguro entre dispositivos, para brindar mayor protección a los usuarios contra intentos de ataques activos, pasivos y de diccionario. Todo el tráfico inalámbrico se encripta.

WPA3-Enterprise: Proporciona una seguridad superior para redes de datos confidenciales con el equivalente a una potencia criptográfica de 192 bits, útil en sectores como el gobierno,

la sanidad o las finanzas. La suite de seguridad de 192 bits garantiza que se implemente una combinación uniforme de herramientas criptográficas en Redes WPA3.

3.11 Principios de Propagación

La propagación de las ondas electromagnéticas por el espacio libre se suele llamar propagación de radiofrecuencia (RF), o simplemente radio propagación. Aunque el espacio libre implica al vacío, con frecuencia la propagación por la atmósfera terrestre se llama propagación por el espacio libre, y se puede considerar casi siempre así. La diferencia principal es que la atmósfera de la Tierra introduce pérdidas de la señal que no se encuentran en el vacío (Tomasi, 2003).

Una onda tiene cierta velocidad, frecuencia y longitud de onda. Las mismas están conectadas por una simple relación:

$$\text{Velocidad} = \text{Frecuencia} * \text{Longitud de Onda}$$

La longitud de onda (algunas veces llamada lambda, λ) es la distancia medida desde un punto en una onda hasta la parte equivalente de la siguiente, por ejemplo, desde un pico de la onda hasta el siguiente. La frecuencia es el número de ondas enteras que pasan por un punto fijo en un segundo. La velocidad se mide en metros/segundos, la frecuencia en ciclos por segundos (o hertzios, representado por el símbolo Hz), y la longitud de onda en metros (WNDW,2013).

Por ejemplo, si una onda en el agua viaja a un metro por segundo y oscila cinco veces por segundo, entonces cada onda tendrá veinte centímetros de largo:

$$1 \text{ metro} / \text{segundo} = 5 \text{ ciclos} / \text{segundos} * \lambda$$

$$\lambda = 1 / 5 \text{ metros}$$

$$\lambda = 0,2 \text{ metros} = 20 \text{ cm}$$

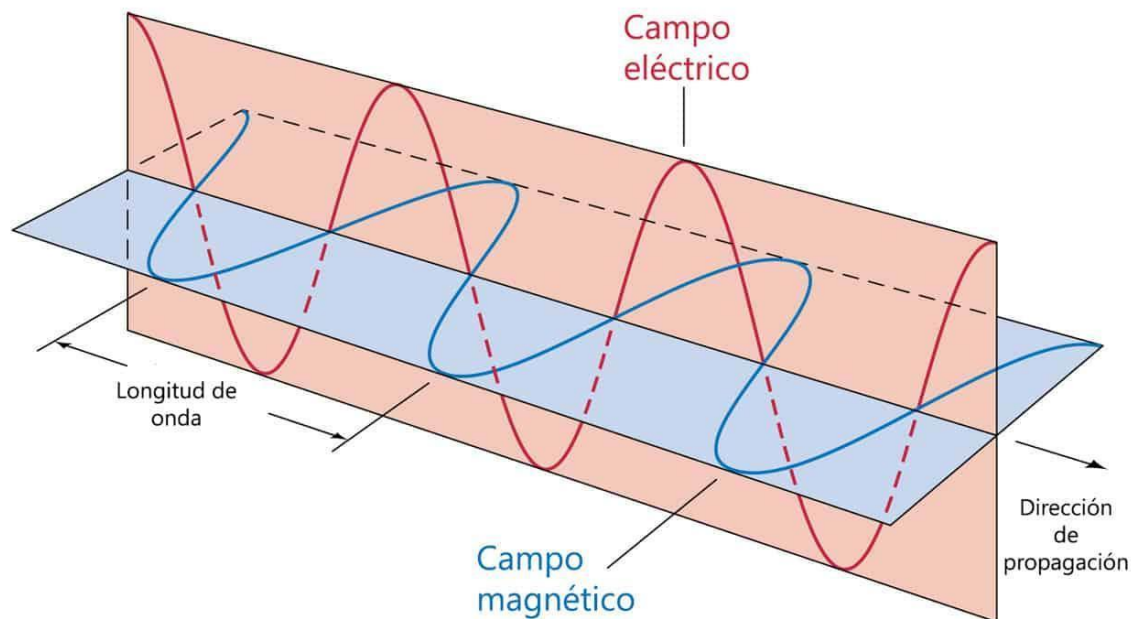


Fig.17: Onda Electromagnética

Fuente: <https://www.unionjalisco.mx/articulo/2021/01/15/educacion/ondas-mecanicas-y-electromagneticas-aprende-en-casa-iii-secundaria>

Las ondas también tienen una propiedad denominada amplitud. Esta es la distancia desde el centro de la onda hasta el extremo de uno de sus picos.

Según Andreu (2011) las limitaciones físicas de las redes inalámbricas están implícitas en las leyes de la radio dinámica:

- Un aumento de la velocidad equivale a una disminución del alcance de la transmisión.
- Un aumento de la potencia equivale a incrementar el alcance o cobertura, pero reduce la vida de la batería.
- Un aumento de la frecuencia de radio equivale a un aumento de la velocidad, pero una disminución del alcance.

3.11.1 Onda de superficie

Para frecuencias alrededor 500 KHz, es decir, longitudes de onda mayores a 600 metros, la onda dominante es la superficial o terrestre. Una característica relevante en este tipo de propagación es que la polarización de la antena necesariamente debe ser vertical, ya que de lo contrario sería una antena extensa paralela muy próxima a la superficie de la tierra que simularía un cortocircuito.

Cuando la onda es emitida y hace contacto con la superficie, esta rebota produciendo un cambio de fase total. La ecuación de pérdidas por propagación en espacio libre no es válida, por lo que se recomienda utilizar curvas predefinidas para obtener el campo eléctrico en el receptor definidas por el ITU (Gómez Rojas et al. ,2019).

3.11.2 Onda ionosférica

Para frecuencia alrededor de 30 MHz, cuando una onda electromagnética ingrese en la región de la ionósfera se producirá un efecto de excitación en los electrones libres de esta capa debido a la variación del campo eléctrico. Según su frecuencia, la onda ya no sería capaz de acceder más allá de lo que ha alcanzado en la penetración de la ionósfera y, según la naturaleza del índice de reflexión que sigue la ley de Snell, iniciará su descenso hacia la tierra. Esto es, cuando el índice de reflexión del momento de ingreso a la ionósfera y el índice de reflexión de la altura considerada son iguales, la onda inicia su descenso (Gómez Rojas et al. ,2019).

3.11.3 Onda espacial

Las ondas espaciales poseen dos componentes dominantes, las ondas directas y las reflejadas en la superficie terrestre. Para frecuencias por encima de los 30 MHz se encuentran los principales servicios de telecomunicaciones, en donde las ondas directas se caracterizan porque viajan directamente desde el transmisor al receptor y dan la sensación de una línea recta semejante a la que tendría la visión del humano. A este campo de propagación directa se le conoce como comunicaciones con línea de vista (LOS, *Line of Sight*).

Sin embargo, la situación más probable es que la línea de visión este obstaculizada por diferentes elementos (árboles, edificios, etc.) que impidan la visibilidad directa, entonces nos encontramos en condiciones NLOS (*Non Line of Sight*). Cuando se produce esta situación la onda electromagnética queda afectada por fenómenos como la difracción, la reflexión o la dispersión (Ramírez Luz,2015).

Las ondas directa y refractada se suman en el receptor, pero debido a la diferencia en la longitud de la trayectoria, la interferencia puede ser:

- Constructiva, si ambas están en fase

- Destructiva, si ambas están fuera de fase, es decir podrían cancelarse entre si hasta cierto grado.

3.11.4 Comportamiento de las ondas de radio

De acuerdo con WNDW (2013) hay algunas reglas simples que pueden ser de mucha ayuda cuando realizamos los primeros planes para una red inalámbrica:

- Cuanto más larga la longitud de onda, mayor el alcance.
- Cuanto más larga la longitud de onda, mejor viaja a través y alrededor de obstáculos.
- Cuanto más corta la longitud de onda, puede transportar más datos.

3.11.4.1 Absorción

Cuando las ondas electromagnéticas atraviesan algún material, generalmente se debilitan o atenúan. La cantidad de potencia perdida va a depender de su frecuencia y, por supuesto, del material. El vidrio de una ventana obviamente es transparente para la luz, mientras que el vidrio utilizado en los lentes de sol filtra una porción de la intensidad de la luz y bloquea la radiación ultravioleta. A menudo se utiliza el coeficiente de absorción para describir el impacto de un material en la radiación. Para las microondas, los dos materiales más absorbentes son:

Metal

Los electrones pueden moverse libremente en los metales, y son capaces de oscilar y por lo tanto absorber la energía de una onda que los atraviesa.

Agua

Las microondas provocan que las moléculas de agua se agiten, capturando algo de la energía de las ondas. En la práctica de redes inalámbricas, vamos a considerar el metal y el agua como absorbentes perfectos: no vamos a poder atravesarlos (aunque capas finas de agua dejan pasar parte de la potencia). Son a las microondas lo que una pared de ladrillo es a la luz. Cuando hablamos del agua, tenemos que recordar que se encuentra en diferentes formas: lluvia, niebla, vapor y nubes bajas, y todas van a estar en el camino de los radioenlaces. Tienen una gran influencia y en muchas circunstancias, un cambio en el clima puede hacer caer un radioenlace. Cuando hablamos del metal, recuerde que puede hallarse en sitios inesperados: puede estar escondido en las paredes (por ejemplo, en rejillas de metal en el concreto), o puede haber capas delgadas en tipos modernos de vidrio (vidrio teñido o coloreado).

Por delgada que sea la capa de metal, puede ser suficiente para absorber una onda de radio). Existen otros materiales que tienen un efecto más complejo en la absorción de las ondas de radio.

Para los árboles y la madera, la cantidad de absorción depende de la cantidad de agua que contienen. La madera vieja y seca es más o menos transparente, la madera fresca y húmeda va a absorber muchísimo.

Los plásticos, y materiales similares, generalmente no absorben mucha energía de radio, pero esto varía dependiendo de la frecuencia y el tipo de material.

Finalmente, hablemos de nosotros mismos: los humanos (como otros animales) estamos compuestos principalmente de agua. En lo que a redes inalámbricas se refiere, podemos ser descritos como grandes bolsas llenas de agua, con la misma fuerte absorción.

Orientar un punto de acceso en una oficina de forma que su señal deba pasar a través de mucha gente es un error grave cuando instalamos redes en oficinas. Lo mismo vale para *hot spots*, cafés, bibliotecas e instalaciones externas (WNDW, 2013).

3.11.4.2 Refracción

La refracción electromagnética es el cambio de dirección de un rayo al pasar en dirección oblicua de un medio a otro con distinta velocidad de propagación. La velocidad a la que se propaga una onda electromagnética es inversamente proporcional a la densidad del medio en el que lo hace. Por consiguiente, hay refracción siempre que una onda de radio pasa de un medio a otro de distinta densidad.

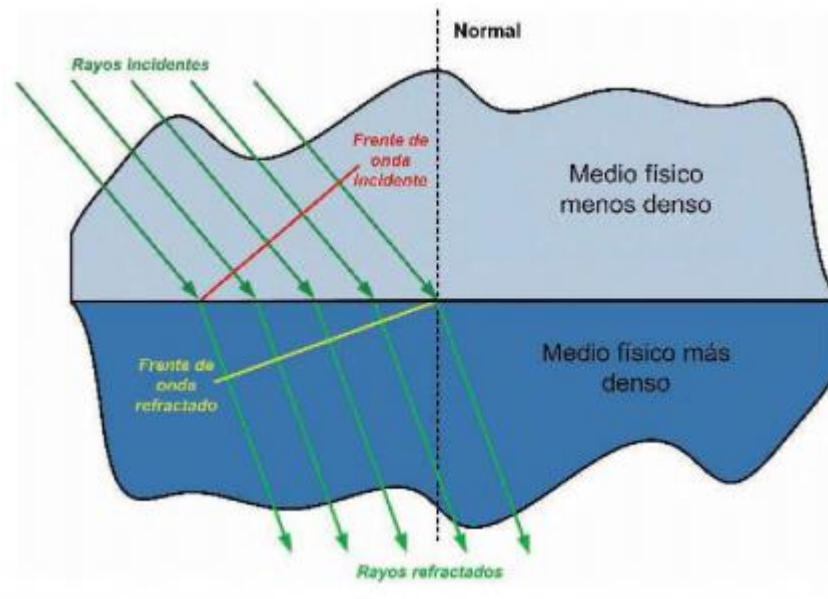


Fig.18: Refracción de un medio menos denso a un medio más denso
Fuente: Gallardo Vásquez (2015)

Siempre que un rayo pasa de un medio menos denso a uno más denso, se dobla hacia la normal. La normal no es más que una línea imaginaria, trazada perpendicular a la interfase en el punto de incidencia. Al revés, siempre que un rayo pasa de un medio más denso a uno menos denso se dobla alejándose de la normal. El ángulo de incidencia es el que forman la onda incidente y la normal, y el ángulo de refracción es el que forman la onda refractada y la normal. El grado de flexión o refracción que hay en la interfase entre dos materiales de distintas densidades es bastante predecible, y depende del índice de refracción de cada material. El índice de refracción no es más que la relación de la velocidad de propagación de la luz en el espacio vacío entre la velocidad de propagación de la luz en determinado material (Tomasi, 2003).

La forma en que reacciona una onda electromagnética cuando llega a la interfase entre dos materiales transmisores que tienen distintos índices de refracción se describe con la ley de Snell. La ley de Snell establece que:

$$n1 * \text{sen } \theta1 = n2 * \text{sen } \theta2$$

en donde

$n1$ = índice de refracción del material 1

$n2$ = índice de refracción del material 2

$\theta1$ = ángulo de incidencia (grados)

$\theta2$ = ángulo de refracción (grados)

3.11.4.3 Reflexión

La reflexión electromagnética se presenta cuando una onda incidente choca con una frontera entre dos medios, y algo o toda la potencia incidente no entra al segundo material. Las ondas que no penetran al segundo medio se reflejan.

Cuando la onda es reflejada completamente, las velocidades de las ondas incidentes y reflejadas son iguales y los ángulos de incidencia y reflexión también: no obstante, no siempre sucede esto por lo que resulta conveniente definir el coeficiente de reflexión que es la relación existente entre la intensidad del campo eléctrico de la onda incidente y el de la onda reflejada.

También se produce reflexión cuando la superficie reflectora es irregular o áspera; sin embargo, esa superficie puede destruir la forma del frente de onda. Cuando un frente de onda incidente choca con una superficie irregular, se dispersa al azar en muchas direcciones. A esa condición se le llama reflexión difusa, mientras que a la reflexión de una superficie perfectamente lisa se llama reflexión especular (como de espejo). Las superficies que caen entre lisas e irregulares se llaman superficies semiásperas. Esas superficies causan una mezcla de reflexión difusa y especular. Una superficie semiáspera no destruye en su totalidad la forma del frente de onda reflejado. Sin embargo, hay una reducción de la potencia total (Tomasi, 2003).

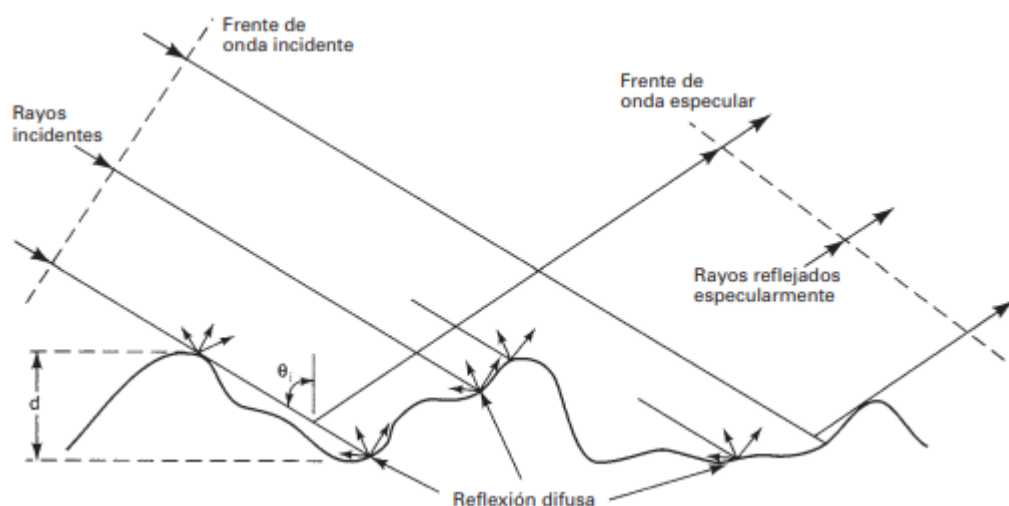


Fig.19: Reflexión en una superficie semiáspera
Fuente: Tomasi (2003)

3.11.4.4 Difracción

La difracción es el comportamiento de las ondas cuando, al incidir en un objeto, dan la impresión de doblarse. Es el efecto de “ondas doblando las esquinas”. Imagine una onda en el agua viajando en un frente de onda plano, tal como una ola llegando a una playa oceánica.

Ahora interponemos en su camino una barrera sólida, como una cerca de madera, para bloquearla. Luego practicamos una estrecha rendija en esa barrera, como una pequeña puerta. Desde esta apertura se formará una onda circular, que alcanzará a puntos que están directamente al frente de la apertura, pero también a ambos lados de la misma. Si miramos este frente de onda –y pudiera ser también una onda electromagnética– como un haz (una línea recta), sería difícil explicar cómo logra alcanzar puntos que están ocultos por una barrera. Cuando lo modelamos como un frente de onda, el fenómeno tiene sentido.

El Principio de Huygens provee un modelo para comprender este comportamiento. Imagine que, en un momento determinado, cada punto del frente de onda puede ser considerado como el punto de inicio de otra onda esférica. Esta idea fue desarrollada más adelante por

Fresnel, y si describe o no adecuadamente el fenómeno, todavía es tema de debate. Pero para nuestros propósitos, el modelo de Huygens describe el efecto bastante bien.

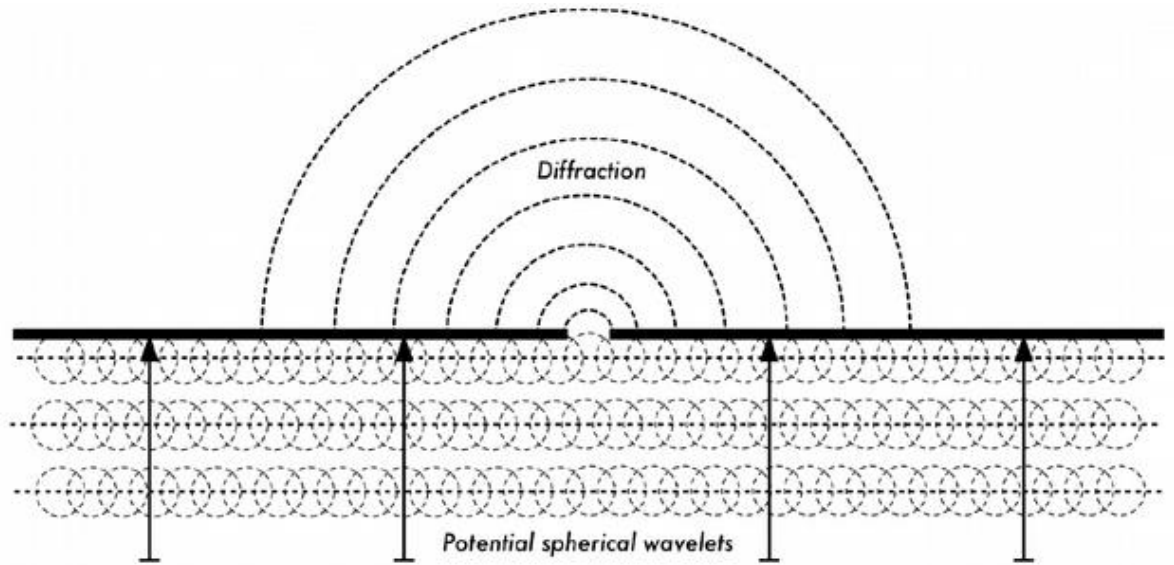


Fig.20: El Principio de Huygens
Fuente: WNDW (2013)

Es por medio del efecto de difracción, que las ondas van a “doblar” las esquinas, o van a atravesar una apertura en una barrera. La longitud de onda de la luz visible es muy pequeña como para que los humanos puedan observar este efecto directamente. Las microondas, con una longitud de onda de varios centímetros, muestran los efectos de la difracción cuando las ondas chocan contra paredes, picos de montañas y otros obstáculos. La obstrucción provoca que la onda cambie su dirección y doble las esquinas.

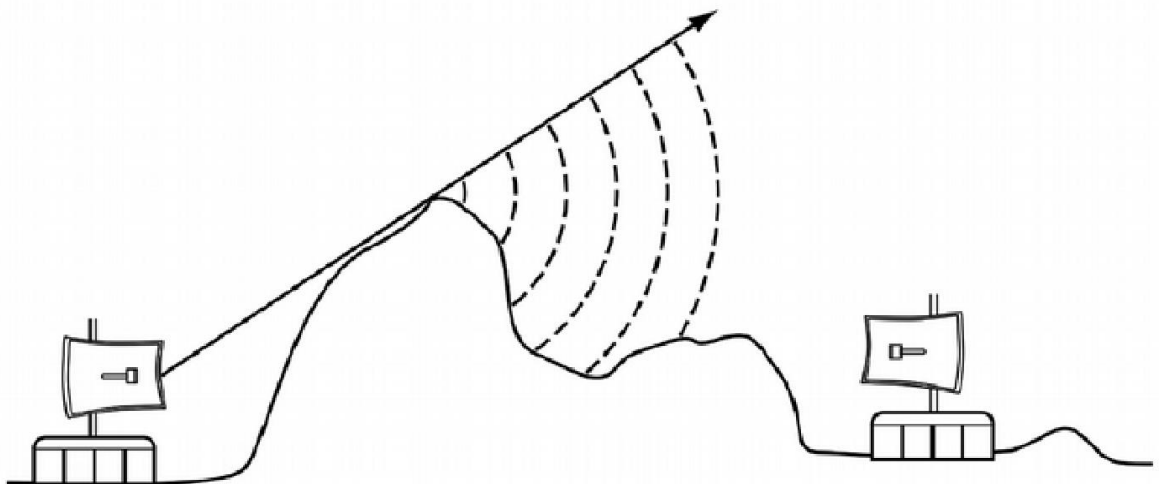


Fig.21: Difracción en la cima de una montaña
Fuente: WNDW (2013)

3.11.5 Zona de Fresnel

Se llama zona de Fresnel al volumen de espacio entre el emisor de una onda electromagnética y un receptor de modo que el desfase de las ondas en dicho volumen no supere los 180°.

Así la fase mínima se produce para el rayo que une en línea recta el emisor con el receptor. Tomando su valor de fase como cero, la primera zona de Fresnel abarca hasta que la fase llegue a 180°, adoptando la forma de un elipsoide de revolución. La segunda zona abarca hasta un desfase de 360°, y es un segundo elipsoide que contiene al primero. Del mismo modo se obtienen las zonas superiores (Ramirez Luz, 2015).

La obstrucción máxima permisible para considerar que no hay obstrucción es el 40% de la primera zona de Fresnel.

La obstrucción máxima recomendada es el 20%. Para el caso de radiocomunicaciones depende del factor K (curvatura de la tierra) considerando que para un $K=4/3$ la primera zona de Fresnel debe estar despejada al 100% mientras que para un estudio con $K=2/3$ se debe tener despejado del 60% de la primera zona de Fresnel.

La fórmula genérica de cálculo de zonas de Fresnel es:

$$r_n = \sqrt{\frac{n \cdot \lambda \cdot d_1 \cdot d_2}{d_1 + d_2}} = 17,32 \cdot \sqrt{\frac{n \cdot d_1 \cdot d_2}{f \cdot (d_1 + d_2)}} = F_n$$

Donde:

r_n = radio de la enésima zona de Fresnel en metros ($n=1, 2, 3, \dots$) o F_n

d_1 =distancia desde el transmisor al objeto en metros

d_2 =distancia desde el objeto al receptor en metros

λ = longitud de onda de la señal transmitida en metros

f =frecuencia en GHz

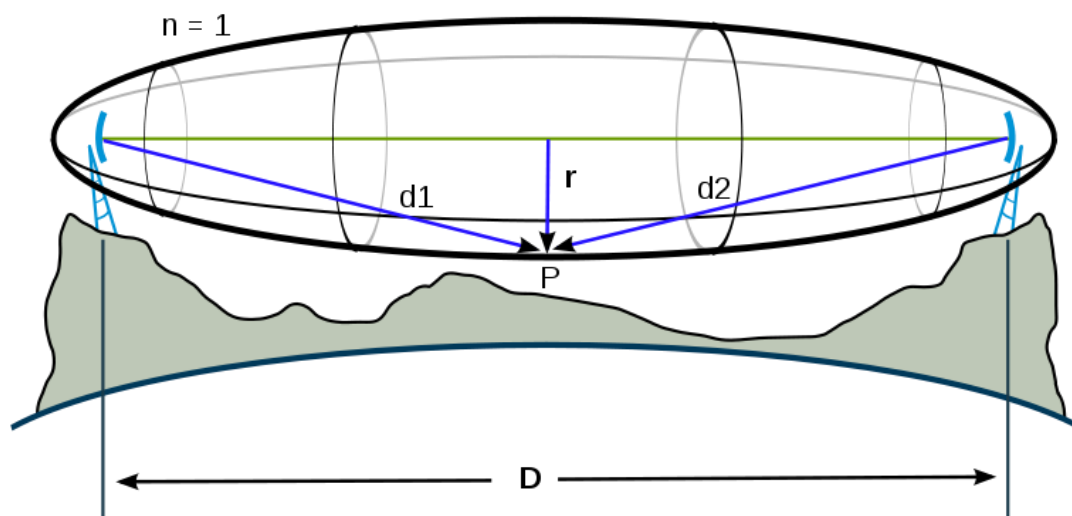


Fig.22: Zona de Fresnel
Fuente: https://es.wikipedia.org/wiki/Zona_de_Fresnel

3.12 Conceptos básicos de Radiofrecuencia

3.12.1 Decibeles y Potencia

En RF, los milivatios (mW) son valores del mundo real. La señal de un transmisor de radio que funcione con potencia de salida de 100mW podría sufrir la suficiente pérdida para llegar al receptor a un nivel de potencia promedio de .0000001mW. Cuando expresa estos valores, utilice una relación de potencia: dBm, o decibelios con relación a los milivatios. 0 dBm (una relación logarítmica) es igual a 1 mW (un valor en el mundo real). Con 0 dBm como punto de referencia, se puede empezar a estimar y calcular los niveles de potencia en función de la \pm Regla de 3 y 10. La regla de 3 y de 10 mapea la escala logarítmica a la lineal, valores del mundo real. Cada vez que añade 3 dB, debe multiplicar el valor lineal por un factor de 2 y cada vez que añade 10 dB, se debe multiplicar el valor lineal en un factor de 10 (Ubiquiti Networks, 2017).

3.12.2 Intensidad señal recibida (RSSI)

La intensidad de señal recibida (*Received Signal Strength Indication*, RSSI), es el valor de la señal (expresada usualmente en dBm), esta variable es un indicador de la calidad del enlace inalámbrico.

3.12.3 Piso de Ruido

El piso de ruido es la medida de la señal creada a partir de la suma de todas las fuentes de ruido y señales indeseadas dentro de un sistema de medición, en donde el ruido se define como cualquier señal diferente a la que se está supervisando.

3.12.4 Relación Señal- Ruido (SNR)

La relación señal/ruido se define como relación señal a ruido, S/N o SNR, al cociente de la potencia de la señal entre la potencia de ruido en un punto dado de un sistema, es decir:

$$S/N = \frac{\text{Potencia de señal}}{\text{Potencia de ruido}}$$

O expresada en dB

$$(S/N)dB = 10 \cdot \log (S/N)$$

La relación S/N proporciona una medida de la calidad de una señal en un sistema determinado y depende tanto del nivel de señal recibida como del ruido total, es decir, la suma del ruido procedente de fuentes externas y el ruido inherente al sistema. En el diseño de sistemas se desea que la relación señal a ruido tenga un valor tan elevado como sea posible (Ramírez Luz, 2015).

3.12.5 Tasa de error Binario

La tasa de error de bits (BER) cuantifica la confiabilidad de todo el sistema de radio desde "bits de entrada" a "bits de salida", incluidos los componentes electrónicos, las antenas y la ruta de la señal en el medio (Breed, 2003).

$$BER = \text{Errores} / \text{Número total de bits}$$

3.13 Tipos de sistemas de comunicación

Según el número de antenas que encontramos en ambos extremos de la comunicación podemos distinguir los siguientes sistemas, los cuales podemos considerar puntos de partida de la tecnología MIMO:

SISO (Single Input, Single Output): sistema de comunicaciones que utiliza una sola antena transmisora y una sola antena receptora.

MISO (Multiple Input, Single Output): sistema de comunicaciones que utiliza dos o más antenas transmisoras, pero sólo una antena receptora. También se le conoce como diversidad en transmisión.

SIMO (Single Input, Multiple Output): sistema de comunicaciones que utiliza una sola antena de emisión y dos o más antenas receptoras. Se le conoce como diversidad en recepción.

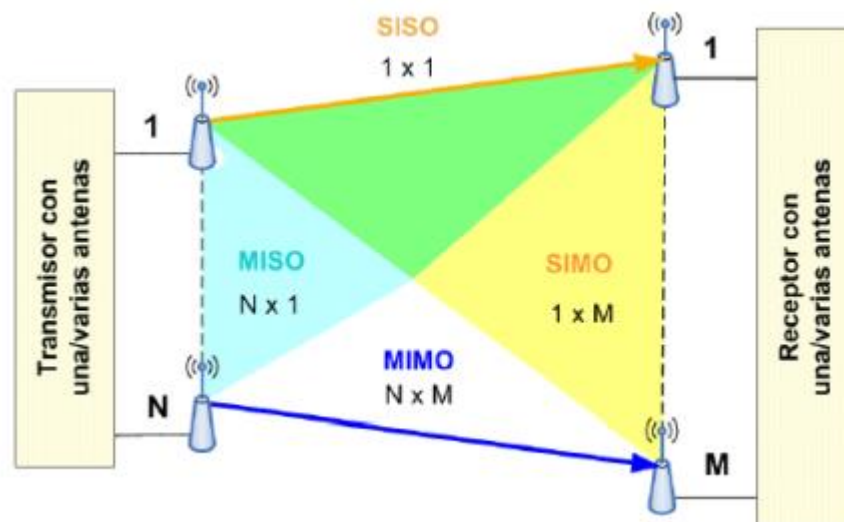


Fig.23: Sistema MIMO con diferentes tipos de diversidad espacial
 Fuente: Muñiz Queiruga (2016).

3.13.1 Tecnología MIMO

Tal y como es definido y entendido por la mayoría de los ingenieros, investigadores, académicos y estudiosos del tema, MIMO o *Multiple Input Multiple Output* es una tecnología que se refiere específicamente al uso de múltiples señales que viajan simultáneamente y a la misma frecuencia por un solo canal de radiofrecuencia, y que aprovecha la propagación multicamino para incrementar la eficiencia espectral de nuestro sistema de comunicaciones inalámbrico. Esto lo consigue a través del uso de diversidad de antenas, distintas técnicas y complejos algoritmos de tratamiento digital de señales en ambos extremos del enlace: extremo transmisor (múltiple entrada) y extremo receptor (múltiple salida). Esta definición del término es la que creemos más adecuada ya que se apoya en numerosos artículos de investigación, publicaciones, libros y conferencias de diferentes expertos en la materia. Antes del desarrollo de MIMO, los sistemas de comunicaciones inalámbricos veían en la propagación multicamino un gran inconveniente que debía de ser solventado, pero MIMO es la primera tecnología que trata el multicamino como una característica inherente a nuestro sistema que hay que aprovechar para poder multiplicar su capacidad. Esto nos permitirá incrementar extraordinariamente la velocidad, el caudal efectivo, el rango, la capacidad y la fiabilidad de nuestro sistema y todo esto sin un incremento del ancho de banda o de la potencia transmitida. Por ejemplo, dispositivos de WLAN que implementan MIMO han demostrado en tests de laboratorio su capacidad de cubrir áreas de cobertura al menos dos veces más grandes que la que cubren dispositivos convencionales, aumentando también la velocidad y disminuyendo la probabilidad de error.

En resumen, MIMO aumenta la eficiencia espectral de un sistema de comunicación inalámbrica por medio de la utilización de técnicas de diversidad espacial y de complejos algoritmos de procesamiento digital de señales (Horno, 2008).

3.14 Antenas

El Instituto de Ingeniería Eléctrica y Electrónica (IEEE, *Institute of Electrical and Electronics Engineers*) define una antena como aquella parte de un sistema transmisor o receptor diseñada específicamente para radiar o recibir ondas electromagnéticas.

En esencia, una línea de transmisión acopla la energía de un transmisor o de un receptor con una antena, que a su vez acopla la energía con la atmósfera terrestre, y de la atmósfera terrestre a una línea de transmisión. En el extremo transmisor de un sistema de radiocomunicaciones con el espacio libre, una antena convierte la energía eléctrica que viaja por una línea de transmisión en ondas electromagnéticas que se emiten al espacio. En el extremo receptor, una antena convierte las ondas electromagnéticas en el espacio en energía eléctrica en una línea de transmisión (Tomasi, 2003).

3.14.1 Omnidireccional

Las antenas Omnidireccionales o antenas omni, proporcionan 360° de cobertura en el plano de azimut. Se suelen utilizar en las redes inalámbricas al aire libre donde se necesita la cobertura general, de igual manera que los puntos de acceso a los sitios de una estación base. A pesar de que ofrecen facilidad de implementación, su alcance es relativamente corto. Debido a que las antenas omnidireccionales irradian en 360 grados, carecen de filtrado espacial adecuado necesaria en entornos con niveles elevados de ruido (Ubiquiti Networks, 2017).

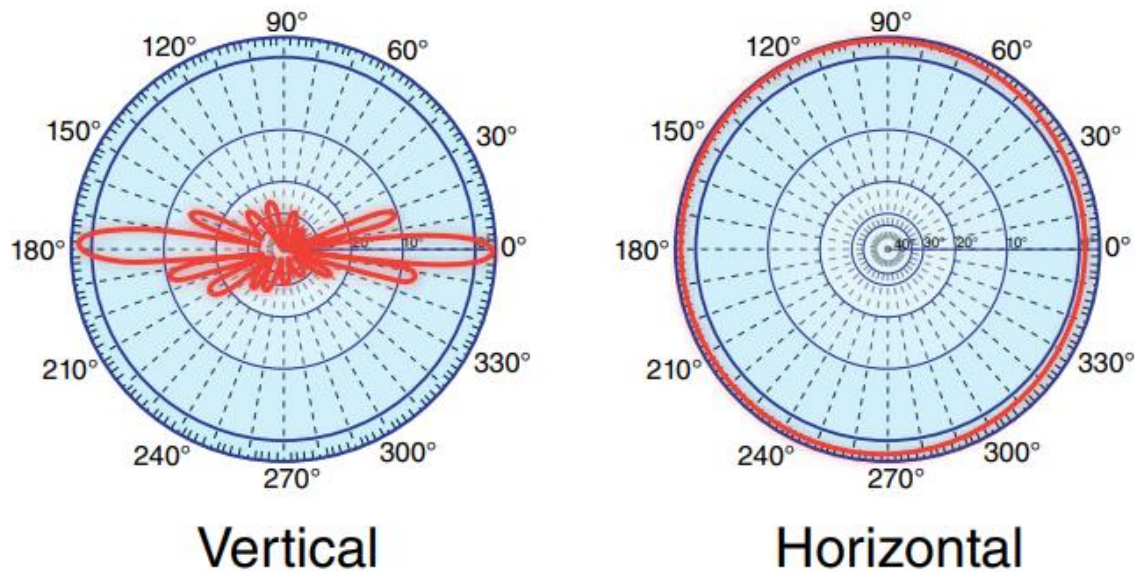


Fig.24: Área de cobertura de las ondas electromagnéticas en una antena omnidireccional
Fuente: Mifsud Talón (2013)

3.14.2 Direccional

Son antenas que radian energía en una sola dirección. En general poseen un ángulo de radiación de menos de 70° , de esta forma se obtiene mayor alcance al proyectarse hacia adelante. Las podemos utilizar para enlaces de larga distancia punto a punto en ambos extremos, emisor y/o receptor (Salveti, 2011).

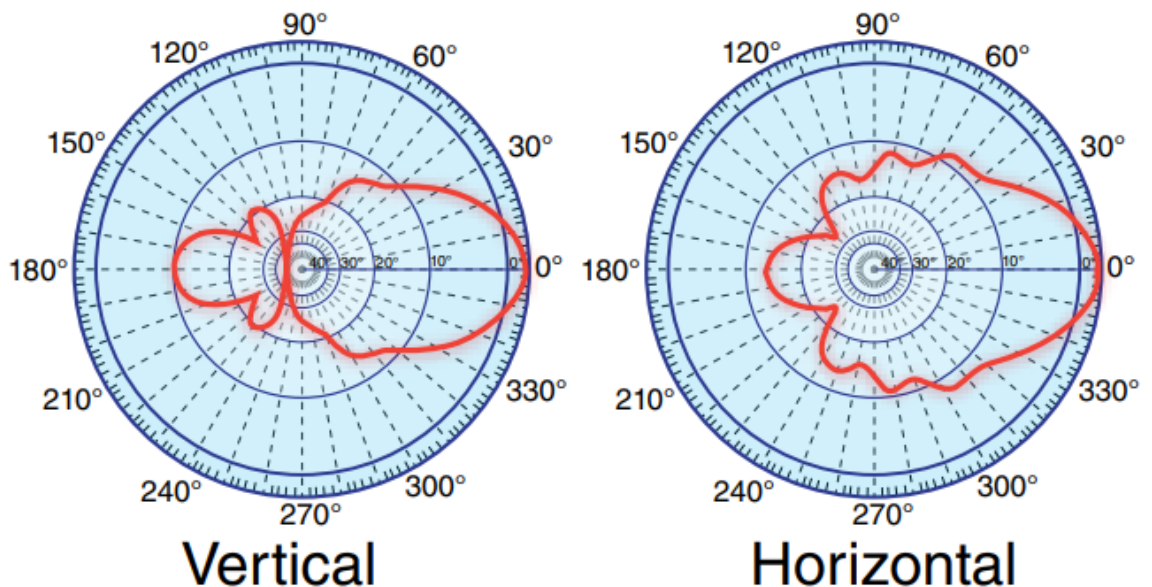


Fig.25: Cobertura de las ondas electromagnéticas en una antena direccional
Fuente: Mifsud Talón (2013)

3.14.3 Sectorial

Si el diagrama de radiación correspondiente a un área o zona específica, la antena se llama sectorial. Como detalle podemos decir que estas antenas poseen mayor ángulo de radiación que las antenas direccionales, de esta forma tienen corto alcance ya que no se proyectan hacia

adelante. Poseen mejor ganancia y además es posible inclinar las antenas para dar servicio a zonas de interés. Si logramos combinar varias antenas de este tipo, podremos dar cobertura en todo el plano horizontal. Cubriendo todo el plano horizontal, estaríamos haciendo lo mismo que una antena omnidireccional, solo que a un mayor costo y con mejores prestaciones. La ganancia de las antenas sectoriales es más alta que las omnidireccionales. Son antenas ideales para usar en enlaces multipunto del lado transmisor, ya que son consideradas alcance medio (Salveti, 2011).

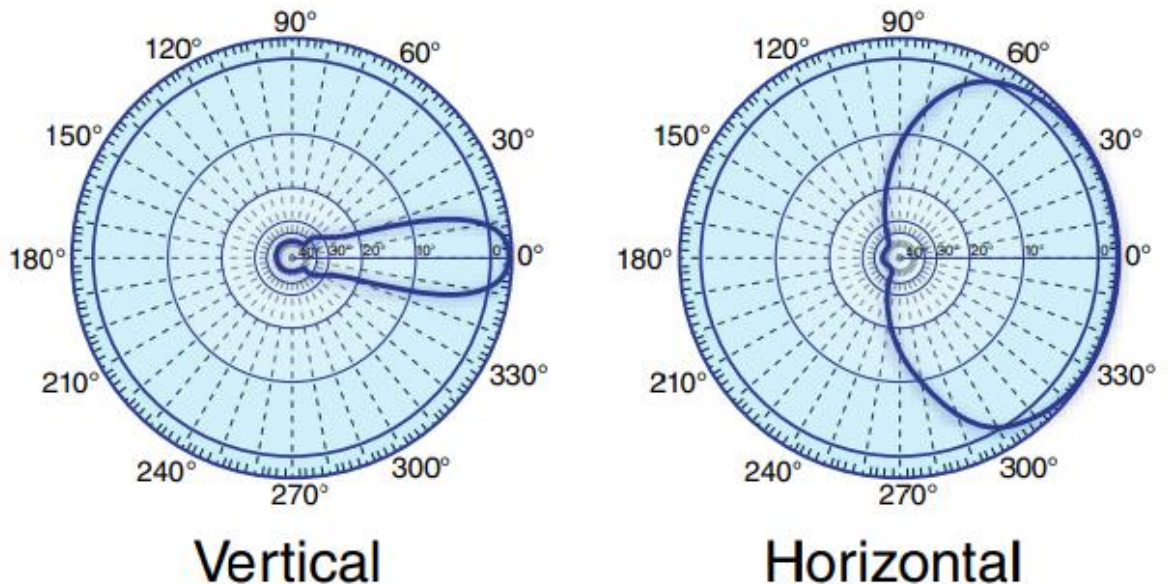


Fig.26: Cobertura de las ondas electromagnéticas en una antena sectorial
Fuente: Mifsud Talón (2013)

3.15 Parámetros de una Antena

3.15.1 Directividad y Ganancia Directiva

Se define la ganancia directiva de una antena como la relación entre la densidad de potencia radiada en una dirección y a una distancia dada, entre la densidad de potencia en ese mismo punto que radiaría una antena de referencia (normalmente una antena isotrópica), suponiendo que ambas antenas están radiando la misma potencia. Es decir:

$$D(\phi, \varphi) = \frac{d(\phi, \varphi)}{d_{referencia}}$$

donde d es la densidad de potencia en un punto y $d_{referencia}$ la densidad de potencia de una antena de referencia.

En el caso de tomar una antena isotrópica de referencia:

$$D(\phi, \varphi) = \frac{d(\phi, \varphi)}{d_{referencia}} = \frac{d(\phi, \varphi)}{\frac{P_{referencia}}{4\pi R^2}}$$

Por otra parte, se define directividad como la ganancia directiva máxima de una antena es el cociente entre la densidad de potencia en la dirección del lóbulo de máxima intensidad y la densidad de potencia que radiaría una antena de referencia en el mismo punto y suponiendo que ambas radian la misma potencia.

$$Directividad = D_{\text{maximo}} = \frac{d_{\text{maximo}}}{d_{\text{referencia}}} = \frac{d_{\text{maximo}}}{\frac{P_{\text{referencia}}}{4\pi R^2}}$$

Si una antena es muy directiva, significa que es capaz de concentrar la potencia radiada (o recibida) en una determinada dirección (Gallardo Vásquez, 2015).

3.15.2 Polarización de antena

La polarización de una antena no es más que la orientación del campo eléctrico que se irradia de ella. Una antena puede estar polarizada linealmente (en general, horizontal o verticalmente, suponiendo que los elementos de la antena están en un plano horizontal o en uno vertical), elíptica o circularmente. Si una antena irradia una onda electromagnética verticalmente polarizada, se define a la antena como verticalmente polarizada (o polarizada verticalmente). Si una antena irradia una onda electromagnética horizontalmente polarizada, se dice que la antena está polarizada horizontalmente; si el campo eléctrico gira describiendo una elipse, está elípticamente polarizada; si el campo eléctrico gira en forma circular, está circularmente polarizada (Tomasi, 2003).

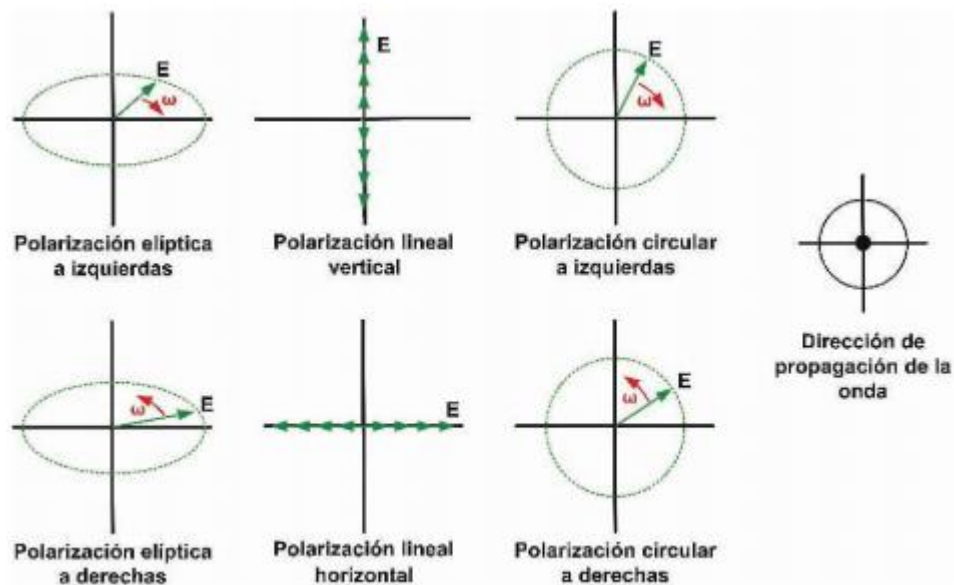


Fig.27: Polarización lineal, circular y elíptica de una antena
 Fuente: Gallardo Vásquez (2015)

3.15.3 Ancho de Haz de una Antena

El ancho de haz corresponde al ángulo formado entre los puntos que tienen una ganancia de -3 dB respecto al máximo de ganancia.

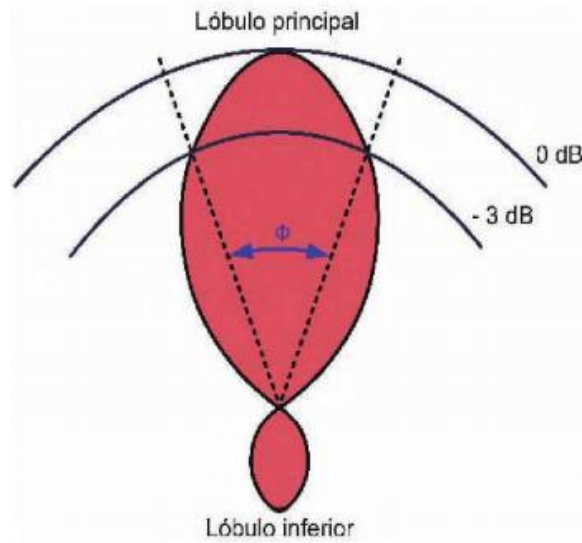


Fig.28: Apertura del haz de una antena
Fuente: Gallardo Vásquez (2015)

La ganancia de la antena es inversamente proporcional a la apertura del haz: mientras más grande es la ganancia de una antena, la apertura del haz es menor. Una antena omnidireccional (isotrópica) irradia por igual en todas direcciones. Por consiguiente, tienen ganancia de unidad y apertura de haz de 360° . Las antenas normales tienen apertura de haz de 30° a 60° , y no es raro que las antenas de microondas de alta ganancia tengan una apertura de haz hasta de 1° (Tomasi, 2003).

3.15.4 Patrón de Radiación

Tomasi (2003) expresa que:

“Un diagrama de radiación es un diagrama o gráfica polar que representa intensidades de campo o densidades de potencia en diversas posiciones angulares en relación con una antena.”

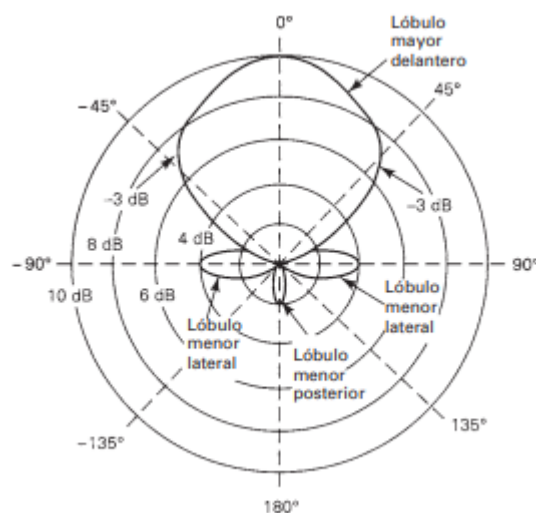


Fig.29: Gráfica de radiación
Fuente: Tomasi (2003)

Las gráficas de radiación son bidimensionales. Sin embargo, la radiación de una antena es en realidad tridimensional. En consecuencia, las gráficas de radiación se toman tanto en el plano horizontal (vista superior) como los verticales (vista lateral).

3.15.5 Relación Frente –Espalda

La relación frente espalda es el cociente entre la ganancia en el lóbulo principal del diagrama de radiación (dirección de máxima radiación) y la de cualquier lóbulo situado entre 90° y 270° de este. Es decir, es la relación entre la ganancia de la antena en su lóbulo principal y la de cualquier lóbulo situado a su espalda.

El valor de la relación frente/espalda indica hasta qué punto el lóbulo principal de radiación es más importante que el lóbulo posterior. Las antenas directivas deben tener un valor mayor a 25 dB. Las antenas parabólicas de alto rendimiento deben aproximarse a 60 dB.

3.15.6 Relación de Onda Estacionaria de Voltaje

La relación de onda estacionaria (SWR, de *standing-wave ratio*) se define como la relación del voltaje máximo al voltaje mínimo, o de la corriente máxima entre la corriente mínima de una onda estacionaria en una línea de transmisión. A ello también se le llama relación de voltajes de onda estacionaria (VSWR, *voltage standing-wave ratio*). En esencia, la SWR es una medida de la falta de compensación entre la impedancia de carga y la impedancia característica de la línea de transmisión. La ecuación correspondiente es:

$$SWR = V_{max}/V_{min}$$

3.15.7 Impedancia

Impedancia, en términos de antena, se refiere a la relación entre el voltaje y la corriente (ambos están presentes en una antena) en cualquier punto particular de la antena. Esta relación de voltaje a corriente varía en diferentes partes de la antena, lo que significa que la impedancia será diferente en diferentes puntos de la antena si elige cualquier punto y lo mide. La impedancia para toda la cadena desde la radio hasta la antena debe ser la misma, y casi todos los equipos de radio están contruidos para una impedancia de 50 Ω.

3.15.8 Pérdida de Retorno

Para una transferencia de energía eficiente, la impedancia del radio, la antena y el cable de transmisión que los conecta deben ser iguales. Si la antena tiene una impedancia diferente, entonces hay una falta de coincidencia y se requiere un circuito de adaptación de impedancia.

La pérdida de retorno es una relación logarítmica medida en decibelios que compara la potencia reflejada por la antena con la potencia que se alimenta a la antena desde la línea de transmisión. Si la antena absorbe el 50% de la señal y el 50% se refleja de nuevo, decimos que la pérdida de retorno es – 3 dB. Una antena puede tener un valor de – 10 dB (90% absorbido y 10% reflejado).

3.16 Alineación de Antenas

De acuerdo con los autores Pietrosemoli (2008) y Lephamer (2010):

Las antenas altamente enfocadas minimizan la posibilidad de interferencia entre enlaces en la misma área geográfica, minimizan el riesgo de que la transmisión sea interceptada y maximizan el rendimiento. La directividad es una medida de qué tan bien una antena enfoca su energía en una dirección prevista y las radios punto a punto deben tener antenas altamente direccionales. También es bien sabido que cuanto más estrecho es el haz de radiación de la antena, más difícil resulta alinear las antenas en lados opuestos del enlace de microondas.

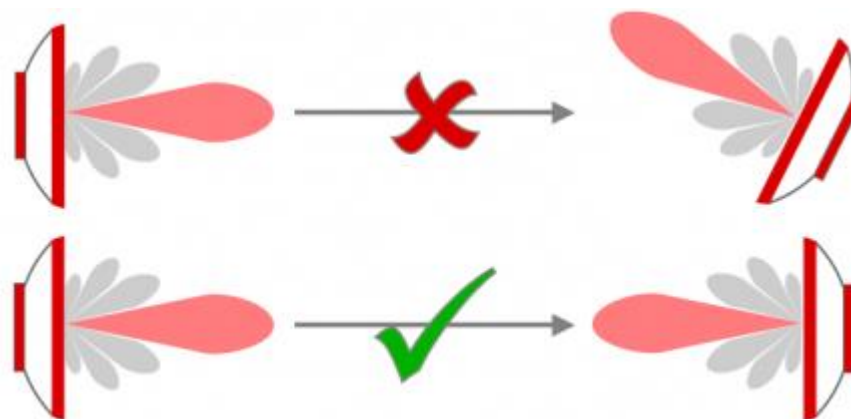


Fig.30: Alineación de dos antenas

Fuente: <https://www.sincables.net/2020/05/alinear-radioenlaces/>

El propósito principal de la alineación de la trayectoria es alinear físicamente el azimut y la elevación de la antena para obtener la máxima señal.

La alineación óptima de la antena ocurre cuando las antenas transmisora y receptora se apuntan con precisión entre sí en azimut y elevación. También es importante asegurarse de que las dos antenas para el enlace no tengan polarización cruzada. Azimut es el ángulo en el plano horizontal con respecto al norte verdadero, y elevación es el ángulo (positivo o negativo) en el plano vertical con respecto al plano horizontal.

Para alinear las antenas se requiere dos equipos de trabajo, uno en cada extremo del enlace y dotados de algún medio de comunicación como teléfono celular o radio de dos vías. Primero se mueve la antena haciendo un barrido en el eje horizontal, de izquierda a derecha y viceversa hasta encontrar su mejor nivel de señal recibido. Luego se procede a hacer otro barrido en el eje vertical. Los movimientos deben ser suaves, tratando de procurar que no se pierda el enlace. Si se llegara a perder el enlace se deberá colocar la antena en una posición similar a la original y volver a establecer la conexión remota. Se puede realizar una alineación aproximada usando la línea de visión, una brújula o algún otro método que venga con la radio (señal audible, por ejemplo).

3.17 Interferencias

La interferencia de ondas de radio se produce siempre que se combinan dos o más ondas electromagnéticas de tal manera que se degrada el funcionamiento del sistema. La refracción, la reflexión y la difracción pertenecen a la óptica geométrica, y eso quiere decir que su comportamiento se analiza principalmente en función de rayos y de frentes de onda. Por otro lado, la interferencia está sujeta al principio de la superposición lineal de las ondas electromagnéticas, y se presenta siempre que dos o más ondas ocupan el mismo punto del

espacio en forma simultánea. El principio de la superposición lineal establece que la intensidad total de voltaje en un punto dado en el espacio es la suma de los vectores de onda individuales. Ciertos tipos de medios de propagación tienen propiedades no lineales; sin embargo, en un medio ordinario, como la atmósfera terrestre, es válida la superposición lineal (Tomasi, 2003).

3.17.1 Interferencia Cocanal

Los Radios que operan en la misma frecuencia causan interferencias uno al otro, el emisor interferente transmite utilizando la misma frecuencia portadora $f_I = f_U$ y el mismo ancho de banda $B_I = B$ que el emisor útil. Por consiguiente, en este caso, la potencia interferente I captada por el receptor coincide con la potencia total interferente a la entrada P_I , ya que, al ocupar el mismo ancho de banda que la señal útil, la potencia interferente no puede ser filtrada por el receptor. Por este motivo, la interferencia cocanal suele ser el tipo de interferencia que más limita las prestaciones del receptor.

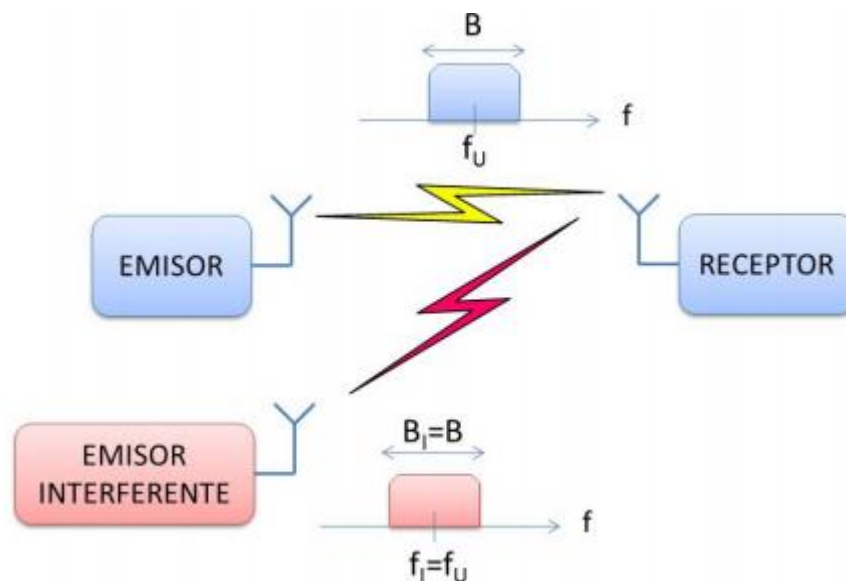


Fig.31: Interferencia cocanal
Fuente: Sallent Roig y Pérez Romero (2014).

3.17.2 Interferencia Canal Adyacentes

En este caso, el emisor interferente transmite utilizando una frecuencia (radiocanal) adyacente a la empleada por el emisor útil. En estas circunstancias, la interferencia que afecta al receptor está ocasionada principalmente por dos efectos, vinculados a que ni los emisores ni los receptores son ideales. El primer efecto es que, en la práctica, el cabezal de RF del receptor presentará una selectividad ΔS finita a la frecuencia f_I del canal adyacente, por lo que la potencia de la señal interferente no estará totalmente mitigada a la salida del cabezal de RF. El segundo efecto a considerar es que, debido al comportamiento no ideal del emisor interferente, la interferencia recibida no estará limitada únicamente a su banda teórica $B_I = B$, sino que, en la práctica, presentará bandas laterales, que darán lugar a un cierto nivel de potencia interferente en la frecuencia f_U a la cual está sintonizado el receptor útil. Este efecto se suele modelar mediante la característica del emisor interferente denominada ACLR (*adjacent channel leakage ratio*), que es la diferencia en dB entre la potencia transmitida a f_I y la transmitida a f_U (Sallent Roig y Pérez Romero, 2014).

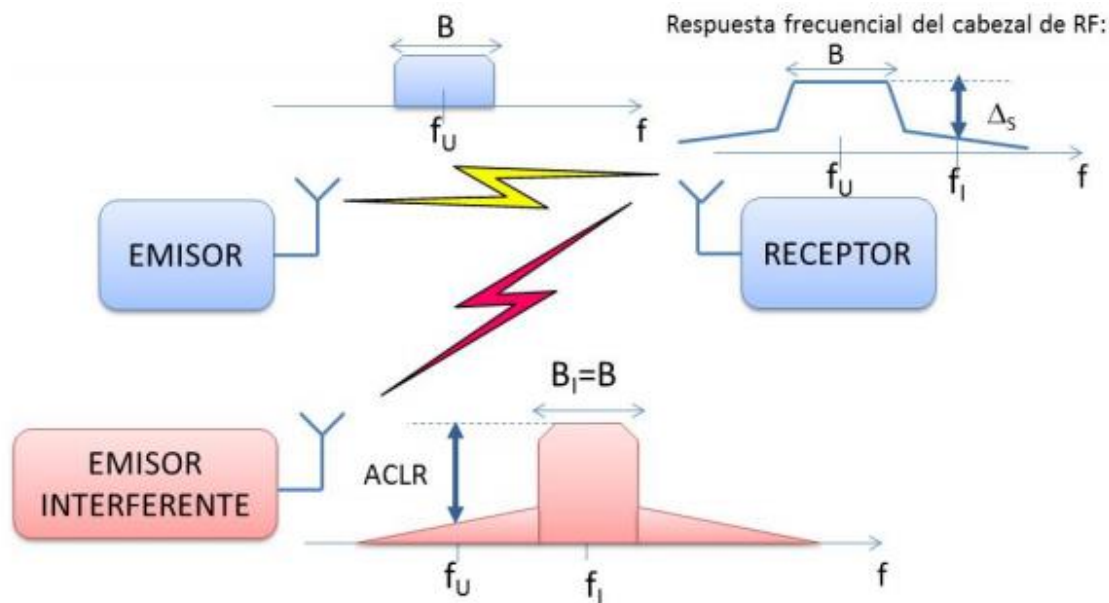


Fig.32: Interferencia de canal adyacente
 Fuente: Sallent Roig y Pérez Romero (2014).

3.18 Tipos de Enlaces

La Fig.33 ilustra los dos tipos de enlaces que se puede tener en una red inalámbrica:

- Enlace Punto a Punto
- Enlace Punto a Multipunto

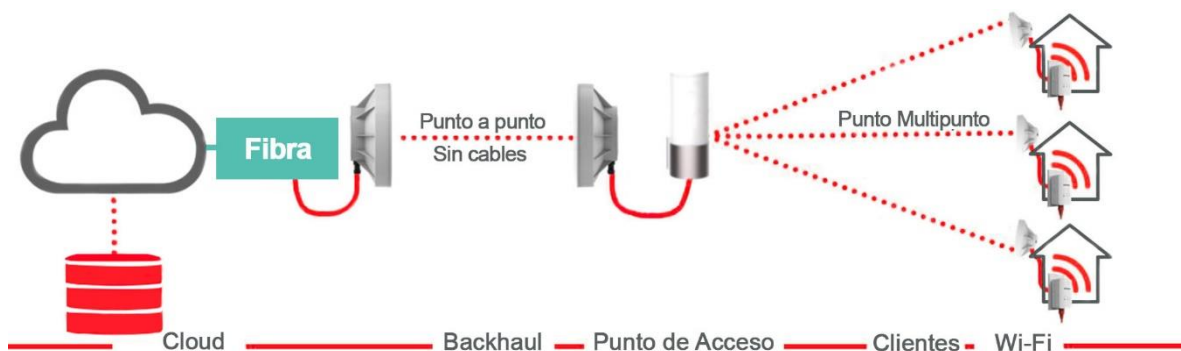


Fig.33: Enlaces Inalámbricos
 Fuente: <https://www.unitelltda.com/soluciones-punto-a-punto.html>

3.18.1 Enlaces Punto a Punto

Una red punto a punto es el modelo más simple de red inalámbrica, compuesta por dos radios y dos antenas de alta ganancia en comunicación directa entre ambas. Este tipo de enlaces se utilizan habitualmente conexiones dedicadas de alto rendimiento o enlaces de interconexión de alta capacidad.

Este tipo de enlaces son fáciles de instalar, pero difíciles de crear con ellos una red grande. Es habitual su uso para enlaces punto a punto en cliente finales o para realizar el *backhaul* de redes (Estrada Yambay y Camacho Gaibor, 2009).

3.18.2 Enlaces Punto Multipunto

El siguiente diseño más comúnmente encontrado es la red punto a multipunto. Cada vez que tenemos varios nodos hablando con un punto de acceso central estamos en presencia de una aplicación punto a multipunto. El ejemplo típico de un trazado punto a multipunto es el uso de un punto de acceso inalámbrico que le da conexión a varias computadoras portátiles. Las computadoras portátiles no se comunican directamente unas con otras, pero deben estar dentro del alcance del punto de acceso para poder utilizar la red (WNDW, 2013).

3.19 Presupuesto de potencia

Un presupuesto de potencia para un enlace punto a punto es el cálculo de ganancias y pérdidas desde el radio transmisor (fuente de la señal de radio), a través de cables, conectores y espacio libre hacia el receptor. La estimación del valor de potencia en diferentes partes del radioenlace es necesaria para hacer el mejor diseño y elegir el equipo adecuado (Ramírez Luz, 2015).

Los elementos de un presupuesto de potencia pueden ser divididos en tres partes principales:

- El lado del transmisor con potencia efectiva de transmisión, pérdidas en el cable, ganancia de antena.
- El lado de propagación de la información donde se consideran las pérdidas en el espacio libre
- El lado de la recepción con efectiva sensibilidad receptiva: ganancia de antena, pérdidas en el cable, sensibilidad del receptor.

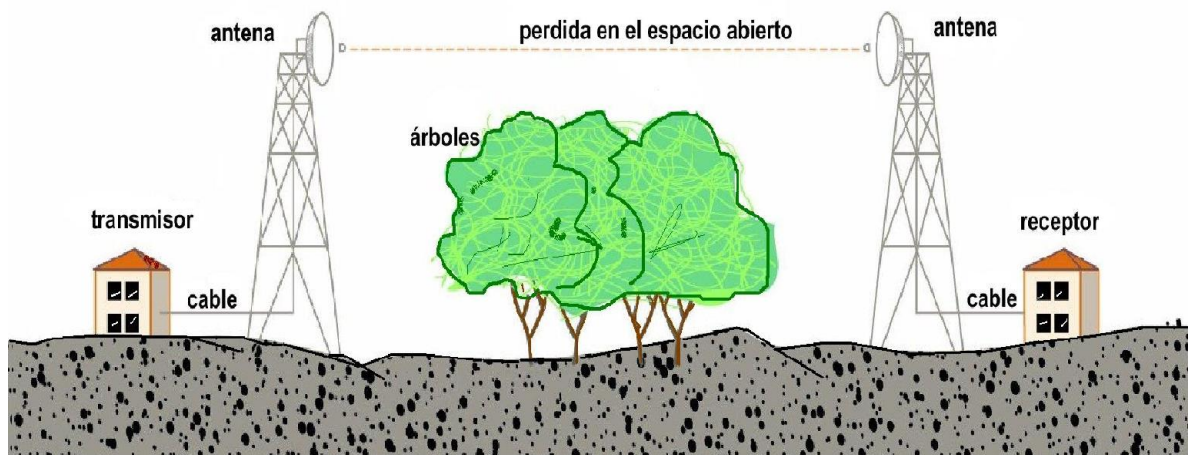


Fig.34: Trayectoria completa de transmisión entre el transmisor y receptor
Fuente: Ramírez Luz (2015)

Un presupuesto de radioenlace completo es simplemente la suma de todos los aportes (en decibelios) en el camino de las tres partes principales.

3.19.1 Factores empleados en el balance de potencia

Potencia del Transmisor

Se refiere a la potencia de salida del emisor, se expresa en milivatios o en dBm. La potencia de transmisión a menudo depende de la tasa de transmisión y esta especificada en los manuales del fabricante.

Ganancia de las antenas

La ganancia de una antena (expresada en dBi) es la relación de la densidad de potencia irradiada en una dirección particular entre la densidad de potencia irradiada al mismo punto por una antena de referencia, suponiendo que ambas antenas estén irradiando la misma cantidad de potencia (Tomasi, 2003).

Perdida en el cable

Las pérdidas dependen del tipo de cable y la frecuencia de operación y normalmente se miden en dB/m o dB/pies. Independientemente de la calidad del cable siempre tendrá pérdidas. La pérdida típica de los cables esta entre 0,1 dB/m y 1 dB/m.

Perdida en el espacio libre

La potencia de una señal de radio se atenúa en el vacío o en el aire. La pérdida de espacio libre mide la dispersión de la potencia en un espacio libre sin obstáculo alguno a medida que la onda se esparce sobre una superficie mayor. La señal de radio se debilita mientras se expande en una superficie esférica (Buettrich, 2007).

La pérdida de potencia de las ondas electromagnéticas en el espacio libre es proporcional al cuadrado de la distancia y también proporcional al cuadrado de la frecuencia.

Se calcula a través de la siguiente expresión matemática:

$$LFS(dB) = 32,45 + 20 \log f (MHz) + 20 \log d (Km)$$

Sensibilidad del Receptor

La sensibilidad de un receptor es el nivel mínimo de la señal de RF que se puede detectar a la entrada del receptor y producir una señal útil de información demodulada (Tomasi, 2003).

3.19.2 Cálculo del Presupuesto del Enlace

El presupuesto del enlace se calcula a partir de la siguiente expresión:

Potencia Recibida en el Receptor PRx [dBm]= Potencia del transmisor PTx [dBm] – Perdida en el cable PLTx [dB] + Ganancia de antena GTx [dBi] – Perdida en el espacio libre FSL [dB] + Ganancia de antena GRx [dBi] – Perdidas en el cable PLRx [dB]

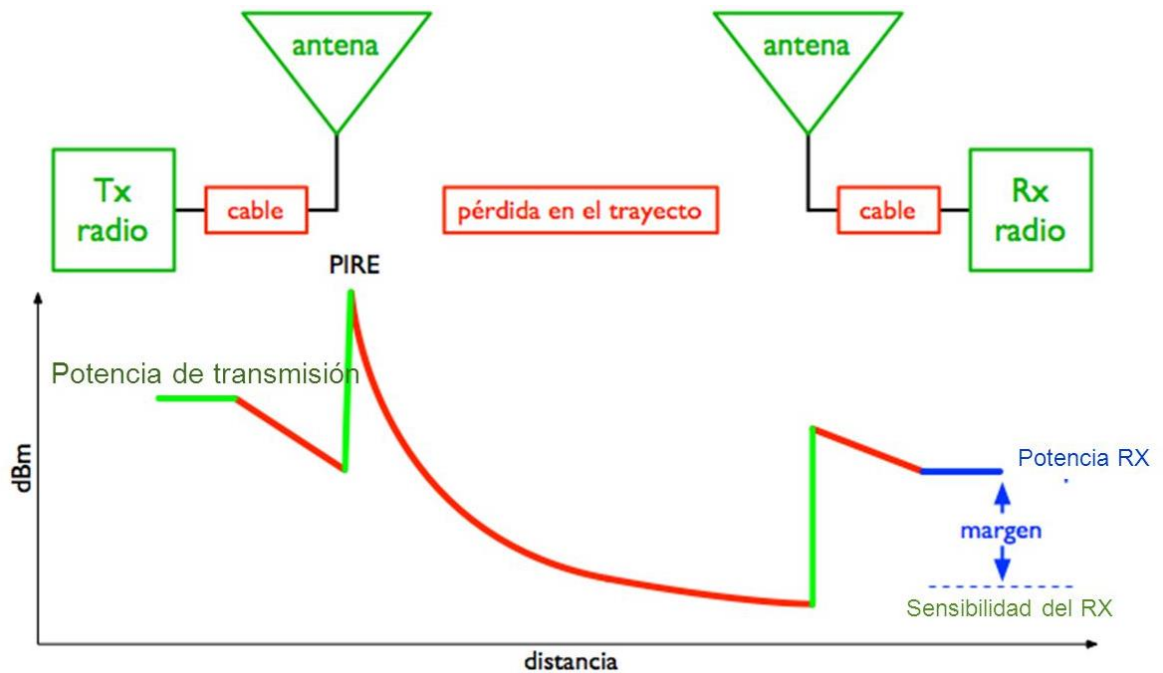


Fig.35: Potencia en dBm en función de la distancia
 Fuente: Ramírez Luz (2015)

3.19.3 Margen de desvanecimiento

La determinación del margen de desvanecimiento suficiente es el paso más importante en el diseño de radioenlaces. Si el margen es demasiado pequeño, el enlace será inestable. Además, se establece un margen de desvanecimiento, es decir, un margen de seguridad en el que la Potencia recibida en el Receptor (PRx) debe superar a la Sensibilidad del Receptor (SRx). Se establece que este valor debe ser mayor o igual que 10 dBm. El margen de la potencia de recepción está dado por la siguiente formula:

$$M[dBm] = PRx[dBm] - SRx[dBm]$$

PRx = Potencia Recibida en el Receptor

SRx = Sensibilidad del Receptor

3.19.4 PIRE

La potencia isotrópica efectiva irradiada (EIRP, Effective Isotropic Radiated Power) se define como la potencia equivalente de transmisión que tendría que irradiar una antena isotrópica para alcanzar la misma densidad de potencia en la dirección elegida y en determinado punto, que otra antena. Por ejemplo, si determinada antena de transmisión tiene ganancia de potencia de 10, la densidad de potencia a una distancia dada de la antena es 10 veces mayor que la que sería si la antena fuera un radiador isotrópico. Una antena isotrópica tendría que irradiar 10 veces más potencia para alcanzar la misma densidad de potencia. Por lo tanto, la antena dada irradia 10 veces más potencia que una antena isotrópica con la misma potencia y eficiencia (Tomasi, 2003).

Se calcula a través de la siguiente expresión matemática:

$$PIRE = \text{Potencia del transmisor } P_{Tx} \text{ (dBm)} - \text{Perdidas en el cable y conectores } PL_{Tx} \text{ (dB)} + \text{Ganancia de la antena } G_{Tx} \text{ (dBi)}$$

DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

4.1 Delimitación del Problema

Este proyecto pretende brindar servicios de Datos y acceso a Internet a los pobladores de la Quebrada del Toro, Provincia de Salta. En la figura 36 se muestra un mapa con la disposición de las localidades involucradas en el proyecto.

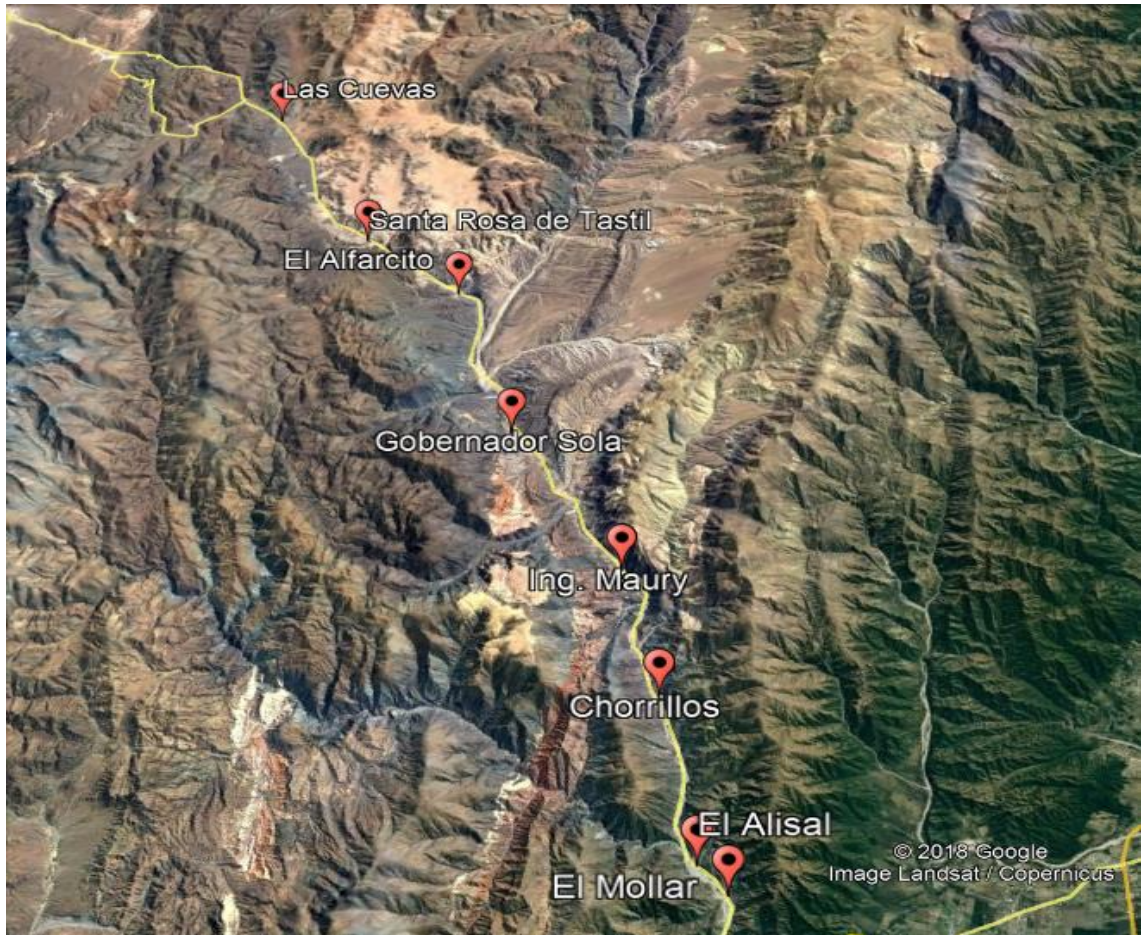


Fig.36: Disposición de las localidades involucradas en el proyecto
Fuente: Elaboración propia basada en Google Earth (2018).

Como se puede ver en la figura 36 las localidades son cercanas, lo que brinda muchas oportunidades para interconectarlas desde conexiones a Proveedores de Internet. Se dará prioridad a escuelas primarias, colegios secundarios, puestos de salud y puestos de control en cada localidad.

El proyecto no incluye diseño de la red interna del usuario, ni servicio de telefonía. Se supondrá que cada usuario tiene la capacidad energética para alimentar a los dispositivos clientes.

4.2 Objetivos

4.2.1 Objetivo General

Diseñar una red inalámbrica para un entorno rural que permita disminuir la brecha digital y brindar nuevas herramientas que contribuyan a aumentar la calidad de vida, mejorando la educación y la salud de la población.

4.2.2 Objetivos Específicos

- Determinar la topología de la red a fin de elegir la tecnología adecuada.
- Realizar el dimensionamiento de la red para establecer la factibilidad de los enlaces.
- Realizar la simulación de los enlaces a fin de comprobar el funcionamiento de la red.
- Definir el tipo de infraestructura y puesta a tierra requerida para cada nodo
- Definir el tipo de sistema de alimentación requerido para la zona de implementación
- Estimar un presupuesto tentativo de la viabilidad económica del proyecto.

4.3 Justificación

En 2020, dada la pandemia del COVID-19, la brecha digital ya existente se hizo más evidente y demandó mayores esfuerzos para reducirla. El acceso a internet es fundamental para el ejercicio de los derechos humanos como la libertad de expresión, el derecho a la educación, el desarrollo social y económico, entre otros. Una infraestructura de telecomunicaciones robusta preserva el ejercicio de estos derechos y es el mejor aliado de los gobiernos y sociedades.

Las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) en particular los medios móviles, se han transformado en el primer medio para comunicarse, por el cual personas, gobiernos e instituciones de salud, trabajan, interactúan entre sí, comparten información, intercambian y generan conocimiento (Organización Panamericana de la Salud [OPS], 2020).

La educación a distancia puede darse mediante el uso de plataformas que permitan el acceso a aulas virtuales, que faciliten el encuentro tanto de alumnos y profesores, como el acceso a materiales educativos y de enseñanza en formato de texto y audiovisual (a través de plataformas como *Google Classroom*, *Cisco Webex*, *Zoom*, *Whatsapp*, *Facebook*, entre otros).

El aislamiento en el que se encuentran las personas que viven en zonas rurales les impide desarrollarse tanto personal como profesionalmente por lo que muchos deciden abandonar su hogar en busca de mejores oportunidades de vida. A esto se suma que no le es rentable para las grandes empresas brindar el servicio por la dispersión y geografía del lugar. Por tanto, es necesario plantearse un esquema de conectividad que permita acceder a las TIC que el mundo actual demanda.

El proyecto permitirá de esta manera cumplir en parte con lo establecido por la Ley 27.078, Ley Argentina Digital y garantizar un servicio de calidad independientemente de la localización geográfica.

SOLUCION PROPUESTA

La banda ancha inalámbrica es la tecnología que proporciona acceso a Internet inalámbrico de alta velocidad. “Existen dos tecnologías que mayormente se están implementando en el mundo para dar soluciones de acceso de banda ancha a zonas urbanas y rurales: Wi-Fi (*Wireless Fidelity*) y WiMAX (*Worldwide Interoperability for Microwave Access*)” (Hernández Rueda et al., 2010).

La propuesta de este proyecto de grado es diseñar una red inalámbrica que garantice el acceso a los servicios de Internet (correo electrónico, redes sociales, capacitación en línea, aplicaciones de mensajería, entre otros). Las redes inalámbricas son la mejor opción para zonas rurales porque permiten llegar a lugares de difícil acceso (ya sea por su zona geográfica o por sus altos costos en la implementación de una red cableada).

Si bien es cierto existe gran disponibilidad de equipos que permiten la implementación de este tipo de redes, se eligieron para los enlaces troncales equipos de la marca Mimosa porque permiten una mayor tasa de transferencia efectiva a un bajo costo además de optimización del uso del espectro y soporte de por vida, se incluye en el Anexo IV algunos casos reales de uso. Para la red de distribución equipos Cambium y Mikrotik dado que permiten conectar un mayor número de usuarios sin perder rendimiento, estos equipos posibilitan cubrir grandes distancias, brindan calidad de servicio, seguridad en la conexión y eficiencia.

Para el diseño de una red segura, rápida y robusta se enfatizará en el análisis de protocolos, normas, equipos, frecuencia, potencia, tráfico, requerimientos y costos.

Se tiene en cuenta la tasa de penetración y la densidad, dos parámetros importantes para estimar el ancho de banda a brindar a los usuarios e instituciones. Se realiza un estudio de prefactibilidad con los proveedores de la zona para estimar costo/beneficio.

5.1 Localidades del objetivo del proyecto

El objetivo del proyecto es diseñar una red inalámbrica para brindar servicios de Internet a un total de 200 viviendas ubicadas en la Quebrada del Toro. Se muestra a continuación el relevamiento de los puntos a interconectar en las localidades involucradas.

Localidad	ID de Vivienda	Latitud	Longitud
Las Cuevas	CU1	24.34879S	066.02802W
	CU2	24.34876S	066.02395W
	CU3	24.34889S	066.02384W
	CU4	24.35049S	066.02568W
	CU5	24.35090S	066.02573W
	CU6	24.35098S	066.02566W
	CU7	24.35127S	066.02525W
	CU8	24.35110S	066.02470W
	CU9	24.35090S	066.02380W
	CU10	24.35138S	066.02451W
	CU11	24.35176S	066.02477W
	CU12	24.35190S	066.02467W
	CU13	24.35208S	066.02470W
	CU14	24.35274S	066.02423W
	CU15	24.35283S	066.02425W

	CU16	24.35285S	066.02398W
	CU17	24.35308S	066.02391W
	CU18	24.35377S	066.02343W
	CU19	24.35387S	066.02333W
	CU20	24.35378S	066.02273W
	CU21	24.35394S	066.02276W
	CU22	24.35403S	066.02280W
	CU23	24.35612S	066.02121W
	CU24	24.35704S	066.02103W
	CU25	24.36150S	066.01723W
	CU26	24.36117S	066.01675W
	CU27	24.36574S	066.01335W
	CU28	24.37368S	066.01257W
	CU29	24.37384S	066.01230W
	CU30	24.38528S	065.99688W
	CU31	24.38542S	065.99676W
	CU32	24.39031S	065.99384W
	CU33	24.39458S	065.99569W
	CU34	24.39473S	065.99543W
	CU35	24.39590S	065.99175W
	CU36	24.41162S	065.99240W
	CU37	24.41753S	065.98964W
	CU38	24.41954S	065.98140W
	CU39	24.42377S	065.98452W
	CU40	24.42904S	065.97922W
Santa Rosa de Tasil	SRT1	24.44411S	065.96157W
	SRT2	24.44921S	065.95243W
	SRT3	24.45002S	065.95271W
	SRT4	24.45032S	065.95280W
	SRT5	24.44996S	065.95176W
	SRT6	24.45080S	065.95274W
	SRT7	24.45101S	065.95251W
	SRT8	24.45078S	065.95209W
	SRT9	24.45088S	065.95216W
	SRT10	24.45092S	065.95209W
	SRT11	24.45110S	065.95234W
	SRT12	24.45120S	065.95190W
	SRT13	24.45121S	065.95147W
	SRT14	24.45139S	065.95115W
	SRT15	24.45159S	065.95114W
	SRT16	24.45176S	065.94973W
	SRT17	24.45187S	065.94948W
	SRT18	24.45242S	065.95074W
El Alfarcito	ALF1	24.48734S	065.88985W
	ALF2	24.48747S	065.88969W

	ALF3	24.48832S	065.89019W
	ALF4	24.48870S	065.89008W
	ALF5	24.48901S	065.89044W
	ALF6	24.48898S	065.89010W
	ALF7	24.49029S	065.88948W
	ALF8	24.49027S	065.88919W
	ALF9	24.49039S	065.88943W
	ALF10	24.49045S	065.88928W
	ALF11	24.49065S	065.88910W
	ALF12	24.49083S	065.89062W
	ALF13	24.49085S	065.89069W
	ALF14	24.49098S	065.89077W
	ALF15	24.49123S	065.89043W
	ALF16	24.49152S	065.89063W
	ALF17	24.49165S	065.89020W
	ALF18	24.49156S	065.88992W
	ALF19	24.49179S	065.88795W
Gobernador Manuel Solá	SO1	24.57205S	065.85321W
	SO2	24.57255S	065.85065W
	SO3	24.59024S	065.84656W
	SO4	24.59063S	065.84561W
	SO5	24.59071S	065.84502W
	SO6	24.59159S	065.84606W
	SO7	24.59125S	065.84545W
	SO8	24.59150S	065.84512W
	SO9	24.59207S	065.84589W
	SO10	24.59220S	065.84572W
	SO11	24.59127S	065.84462W
	SO12	24.59138S	065.84449W
	SO13	24.59148S	065.84439W
	SO14	24.59083S	065.84369W
	SO15	24.59252S	065.84437W
	SO16	24.59198S	065.84393W
	SO17	24.59206S	065.84310W
	SO18	24.59211S	065.84290W
	SO19	24.59218S	065.84268W
	SO20	24.59360S	065.84735W
	SO21	24.59491S	065.84542W
	SO22	24.59568S	065.84532W
	SO23	24.59623S	065.84540W
	SO24	24.59578S	065.84370W
	SO25	24.59513S	065.84328W
	SO26	24.60655S	065.83172W
	SO27	24.60905S	065.82461W
	SO28	24.60959S	065.82441W

	SO29	24.61267S	065.82453W
	SO30	24.61902S	065.81993W
	SO31	24.62695S	065.81353W
	SO32	24.63280S	065.80670W
Ingeniero Maury	MA1	24.63679S	065.80173W
	MA2	24.63896S	065.80129W
	MA3	24.64085S	065.80330W
	MA4	24.65932S	065.79550W
	MA5	24.66936S	065.78251W
	MA6	24.67920S	065.77310W
	MA7	24.67938S	065.77299W
	MA8	24.67961S	065.77287W
	MA9	24.67970S	065.77283W
	MA10	24.68103S	065.77238W
	MA11	24.68109S	065.77310W
	MA12	24.68118S	065.77321W
	MA13	24.68128S	065.77336W
	MA14	24.68155S	065.77339W
	MA15	24.68170S	065.77333W
	MA16	24.68184S	065.77329W
	MA17	24.68141S	065.77458W
	MA18	24.68160S	065.77207W
	MA19	24.68168S	065.77156W
	MA20	24.68201S	065.77184W
	MA21	24.68203S	065.77235W
	MA22	24.68272S	065.77189W
	MA23	24.68289S	065.77145W
	MA24	24.68337S	065.77236W
	MA25	24.68362S	065.77308W
	MA26	24.68397S	065.77280W
	MA27	24.68368S	065.77222W
	MA28	24.68387S	065.77101W
	MA29	24.68583S	065.77071W
	MA30	24.68599S	065.77078W
	MA31	24.68644S	065.77106W
	MA32	24.68680S	065.77063W
	MA33	24.69149S	065.76095W
	MA34	24.69426S	065.75991W
	MA35	24.71063S	065.75916W
	MA36	24.71393S	065.76271W
	MA37	24.71384S	065.76163W
	MA38	24.71277S	065.76066W
	MA39	24.72478S	065.75944W
	MA40	24.72493S	065.75963W
	CHO1	24.74749S	065.75121W

Chorrillos	CHO2	24.75605S	065.74712W
	CHO3	24.75631S	065.74744W
	CHO4	24.75662S	065.74734W
	CHO5	24.75700S	065.74660W
	CHO6	24.75602S	065.74522W
	CHO7	24.75647S	065.74514W
	CHO8	24.75703S	065.74434W
	CHO9	24.75727S	065.74458W
	CHO10	24.75726S	065.74429W
	CHO11	24.75752S	065.74422W
	CHO12	24.75768S	065.74430W
	CHO13	24.75765S	065.74474W
	CHO14	24.75787S	065.74473W
	CHO15	24.75838S	065.74571W
	CHO16	24.76899S	065.74113W
	CHO17	24.78129S	065.73528W
	El Alisal	AL1	24.84389S
AL2		24.84417S	065.71615W
AL3		24.84539S	065.71512W
AL4		24.84610S	065.71748W
AL5		24.84749S	065.71656W
AL6		24.84763S	065.71685W
AL7		24.84757S	065.71703W
AL8		24.84816S	065.71673W
AL9		24.84846S	065.71735W
AL10		24.84920S	065.71765W
AL11		24.84932S	065.71744W
AL12		24.84952S	065.71756W
AL13		24.84947S	065.71709W
AL14		24.84941S	065.72395W
El Mollar	MO1	24.85471S	065.71028W
	MO2	24.85683S	065.70712W
	MO3	24.85785S	065.70630W
	MO4	24.85839S	065.70616W
	MO5	24.85852S	065.70495W
	MO6	24.86340S	065.70151W
	MO7	24.86348S	065.70134W
	MO8	24.86421S	065.70072W
	MO9	24.86415S	065.70039W
	MO10	24.86414S	065.70024W
	MO11	24.86480S	065.70085W
	MO12	24.86493S	065.70074W
	MO13	24.86745S	065.69819W
	MO14	24.86754S	065.69816W
	MO15	24.86949S	065.70621W

	MO16	24.87520S	065.70838W
	MO17	24.87271S	065.69700W
	MO18	24.87381S	065.69718W
	MO19	24.87367S	065.69614W
	MO20	24.88003S	065.69805W

Tabla 3: Relevamiento de los clientes a conectar.

Fuente: Elaboración propia basada en conversación personal con W. A. Sulca, 11 de diciembre de 2020.

A fin de dar una idea respecto de la dispersión de la población a lo largo de la quebrada se muestra en la figura 37 la ubicación de cada uno de los puntos que se listan en la tabla 3.

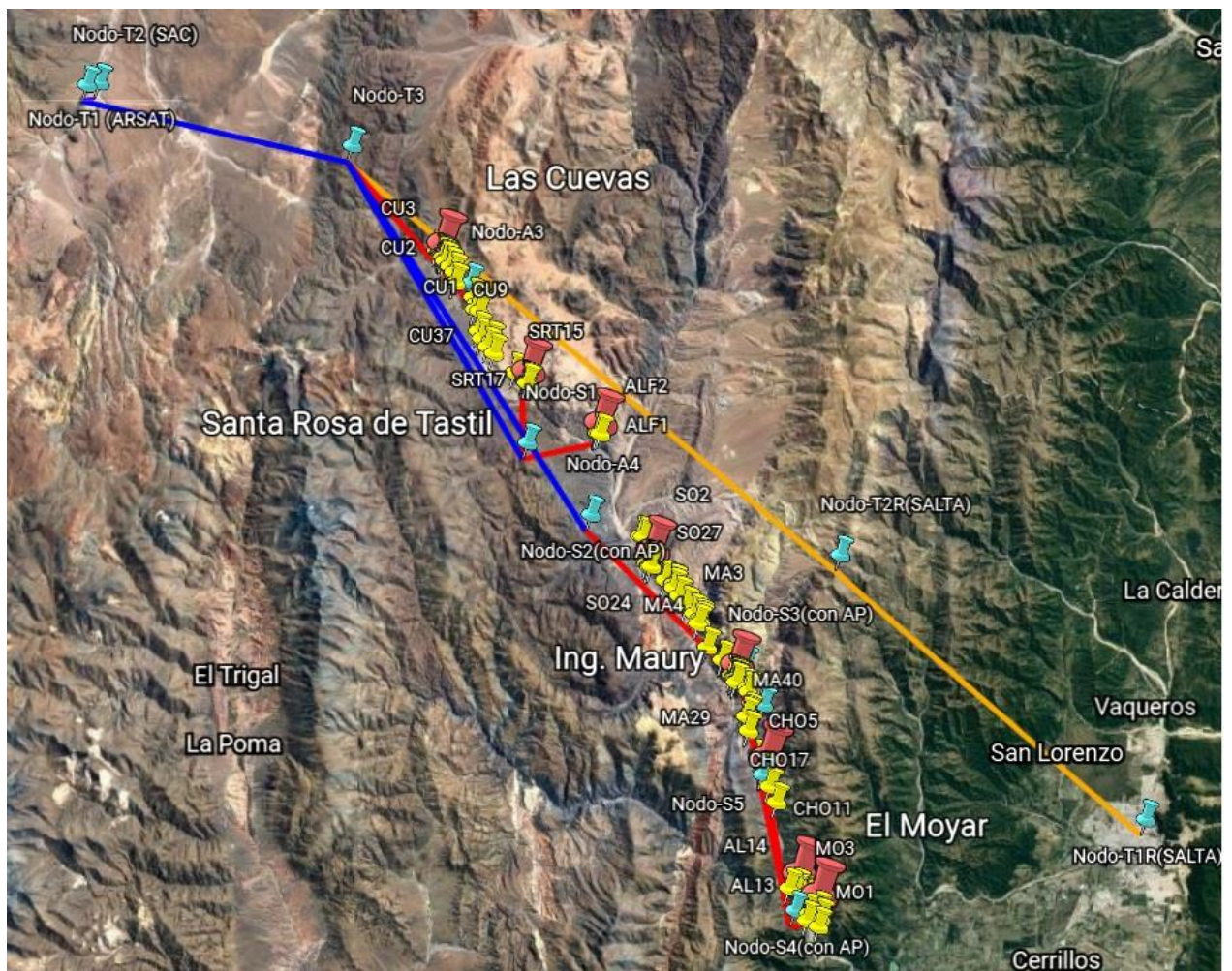


Fig.37: Disposición de las viviendas involucradas en el proyecto

Fuente: Elaboración propia basada en Google Earth (2022).

5.2 Topología de la red

La topología de una red representa la disposición de los enlaces que conectan los nodos de una red, como se muestra en la figura 38 se empleará una Topología de tipo Árbol.

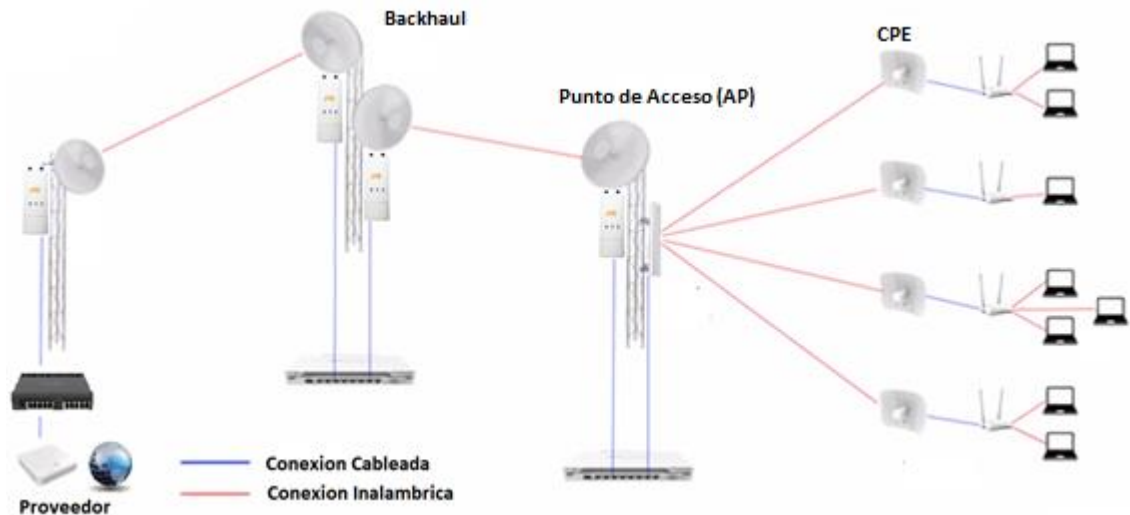


Fig.38: Topología Física

Fuente: Elaboración Propia basada en: <https://www.youtube.com/watch?v=JFgFZd6vwe8>

La red será distribuida por enlaces de radiofrecuencia, con troncal redundante, enlaces punto a punto, armando una red troncal con tecnología Mimoso C5c y C5x que garantizan enlaces de grandes distancias, alta disponibilidad de ancho de banda y baja latencia. En las localidades se colocarán equipos multipunto con tecnología Cambium Network para la distribución de los usuarios finales.

Los puntos para la ubicación de nodos se seleccionaron considerando: características del suelo, línea de vista, accesibilidad al sitio, menor cantidad de saltos posibles y con el objetivo de tener una amplia cobertura. Cabe destacar que las ubicaciones seleccionadas pueden sufrir modificaciones dependiendo de la aprobación de la comunidad y la intervención de las autoridades municipales o provinciales correspondientes. Los sitios pueden cambiar a lugares públicos municipales en donde no se pagaría una renta por dichos espacios a cambio de facilitar y fomentar las comunicaciones.

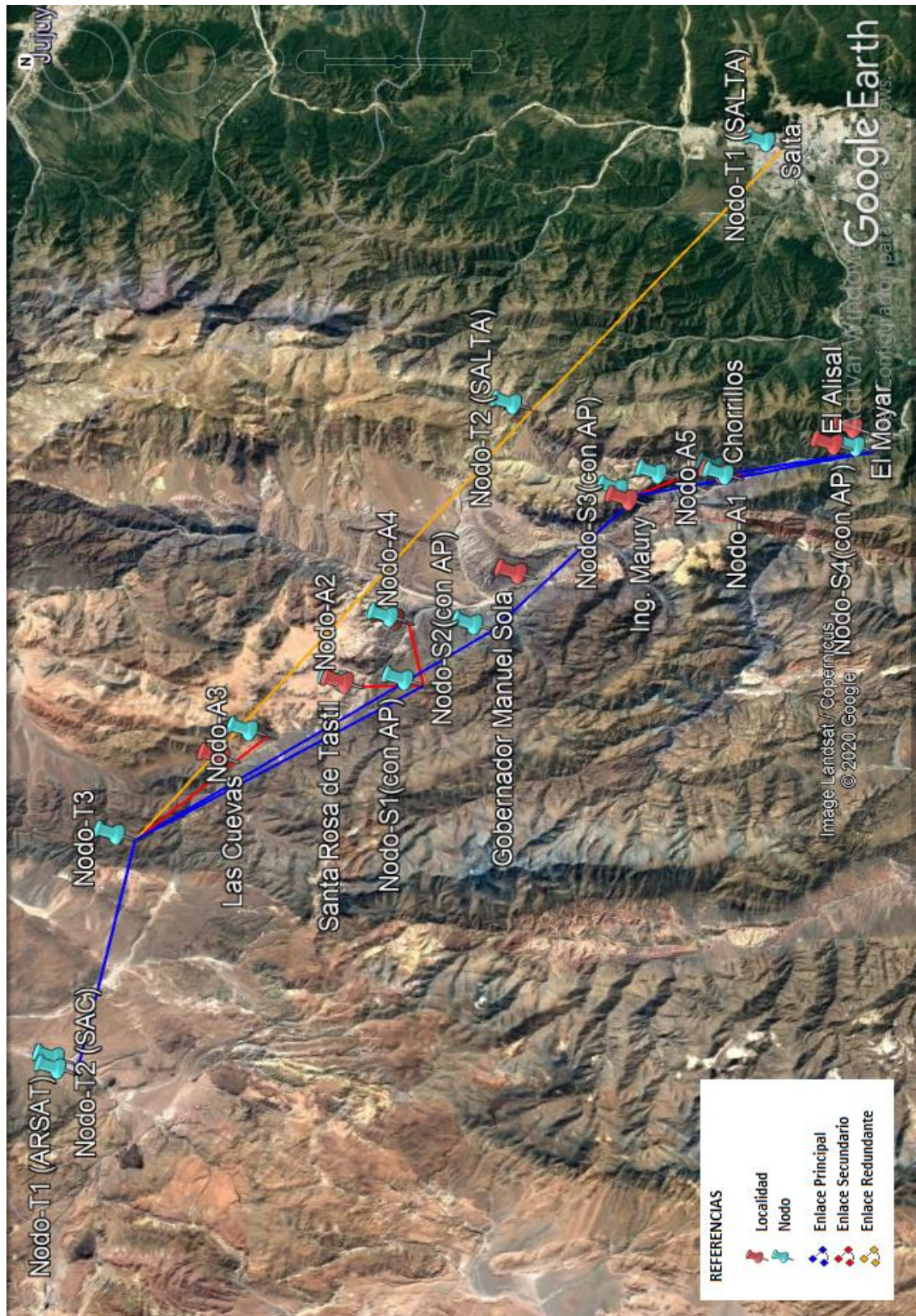


Fig.39: Disposición de los nodos y enlaces
Fuente: Elaboración propia basada en Google Earth (2020).

RESULTADOS O VERIFICACIÓN EXPERIMENTAL

6.1 Dimensionamiento y simulación de los enlaces

Para el cálculo de los enlaces se empleará las fórmulas descriptas en el marco teórico y las herramientas de simulación de los fabricantes.

6.1.1 Características de la red troncal

La red troncal parte de San Antonio de los Cobres (Latitud 24°13'3.47"S ; Longitud 66°19'0.50"O). En este punto (Nodo T1) se tendrá fibra óptica monomodo provista por ARSAT con un ancho de banda de 500 Mbps para la distribución de Internet en las distintas localidades. La fibra se conectará a un *router* Mikrotik modelo CRS112-8P-4S-IN. En este nodo se contará con energía convencional.

Se muestran a continuación los cálculos y simulación de los enlaces que componen la red:

Enlace T1-T2

Atenuación en el espacio libre

$$f=5775 \text{ Mhz} \quad d=1,08 \text{ Km}$$

$$L_{FS}(\text{dB})=32,45 + 20 \log f (\text{MHz}) + 20 \log d (\text{Km})$$

$$L_{FS}(\text{dB})=32,45 + 20 \log (5775) + 20 \log (1.08) = 108.34 \text{ dB}$$

Potencia de Recepción

$$PR_X(\text{dBm})=PTX (\text{dBm}) + GTX(\text{dBi}) + GRX(\text{dBi}) - FSL - PLTX(\text{dB}) - PLRX(\text{dB})$$

$$PR_X=27 +25 +25 -108.34 -0 -0 = -31.34 \text{ dBm}$$

Margen de desvanecimiento

$$M(\text{dBm})= PR_X(\text{dBm}) - \text{Sensibilidad}(\text{dBm})$$

$$M= -31.34 -(-87)= 55.66 \text{ dBm}$$

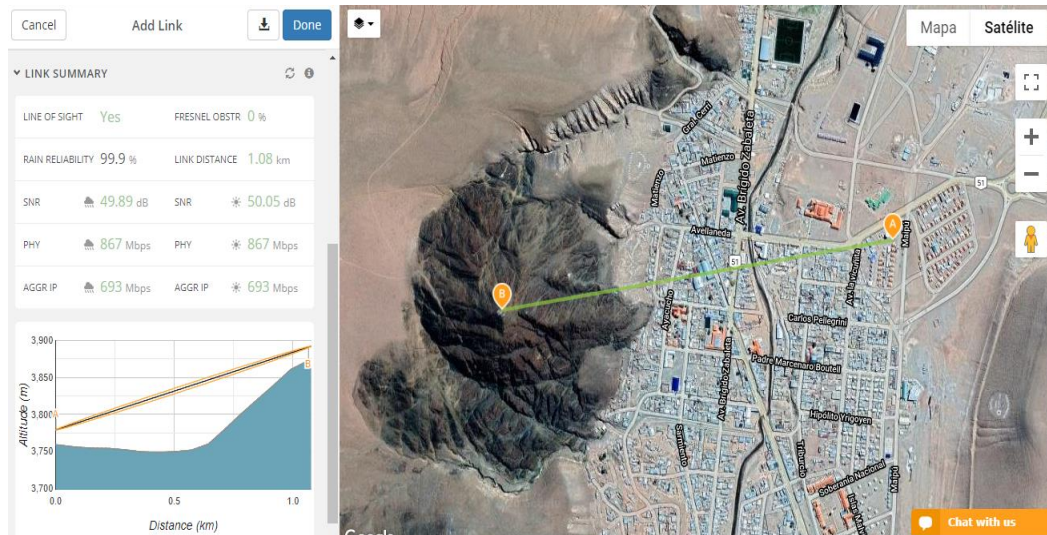


Fig.40: Simulación Enlace T1-T2
Fuente: Elaboración propia

La simulación muestra una zona de Fresnel libre de obstáculos colocando ambas antenas a una altura de 20 metros, separadas por una distancia de 1.08 Km. Las pérdidas en el espacio libre con relación a la distancia y la frecuencia son de 108.34 dB. La potencia de recepción es de -31.34 dBm, con lo que se obtiene un margen de desvanecimiento de 55.66 dB. Según el análisis de los resultados y simulación realizada con la herramienta online de diseño de enlaces de Mimosa se puede determinar que el enlace T1-T2 es viable. Para esta distancia se recomienda bajar la potencia de los radios para no generar ruido.

Enlace T2-T3

Atenuación en el espacio libre

$$f=5690 \text{ Mhz} \quad d=23.78 \text{ Km}$$

$$L_{FS}(\text{dB})=32,45 + 20 \log f (\text{MHz}) + 20 \log d (\text{Km})$$

$$L_{FS}(\text{dB})=32,45 + 20 \log (5690) + 20 \log (23.78)= 135.07 \text{ dB}$$

Potencia de Recepción

$$PR_X(\text{dBm})=PT_X(\text{dBm}) + GT_X(\text{dBi}) + GR_X(\text{dBi}) - FSL(\text{dB}) - PLT_X(\text{dB}) - PLR_X(\text{dB})$$

$$PR_X=27 + 30 + 30 - 135.07 - 0.8 - 0.8 = -49.67 \text{ dBm}$$

Margen de Desvanecimiento

$$M(\text{dBm})=PR_X(\text{dBm}) - \text{Sensibilidad}(\text{dBm})$$

$$M= -49.67 - (-87)= 37.33 \text{ dBm}$$

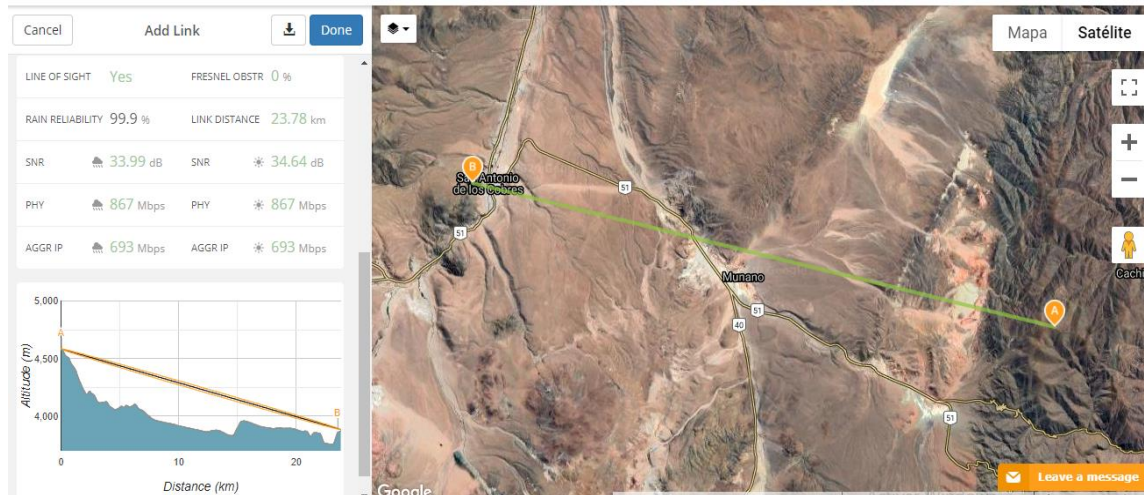


Fig.41: Simulación Enlace T2-T3
Fuente: Elaboración propia

La simulación muestra una zona de Fresnel libre de obstáculos colocando ambas antenas a una altura de 20 m., separadas por una distancia de 23.78 Km. Las pérdidas en el espacio libre con relación a la distancia y la frecuencia son de 135.07 dB. La potencia de recepción es de -49.67 dBm con lo que se obtiene un margen de desvanecimiento de 37.33 dB. De acuerdo con el análisis de los resultados y simulación se puede determinar que el enlace T2-T3 es viable.

Enlace T3-S1

Atenuación en el espacio libre

$$f=5610 \text{ Mhz} \quad d=29.82 \text{ Km}$$

$$L_{FS}(\text{dB})=32,45 + 20 \log f (\text{MHz}) + 20 \log d (\text{Km})$$

$$L_{FS}(\text{dB})=32,45 + 20 \log (5610) + 20 \log (29.82) = 136.91 \text{ dB}$$

Potencia de Recepción

$$PR_X(\text{dBm})=PT_X(\text{dBm}) + GT_X(\text{dBi}) + GR_X(\text{dBi}) - FSL(\text{dB}) - PLT_X(\text{dB}) - PLR_X(\text{dB})$$

$$PR_X=27 + 30 + 30 - 136.91 - 0.8 - 0.8 = -51.51 \text{ dBm}$$

Margen de Desvanecimiento

$$M=PR_X(\text{dBm}) - \text{Sensibilidad} (\text{dBm})$$

$$M= -51.51 - (-87)= 35.49 \text{ dBm}$$

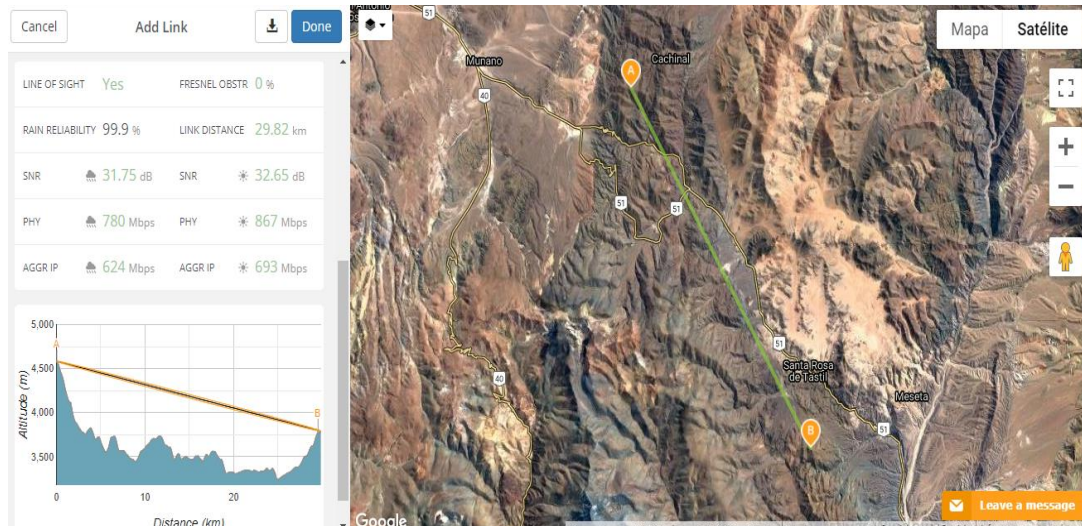


Fig.42: Simulación Enlace T3-S1
Fuente: Elaboración propia

La simulación muestra una zona de Fresnel libre de obstáculos colocando ambas antenas a una altura de 20 m., separadas por una distancia de 29.82 Km. Las pérdidas en el espacio libre con relación a la distancia y la frecuencia son de 136.91 dB. La potencia de recepción es de -51.51 dBm, con lo que se obtiene un margen de desvanecimiento de 35.49 dB. Según el análisis de los resultados y simulación se puede determinar que el enlace T3-S1 es viable.

Enlace T3-S2

Atenuación en el espacio libre

$$f=5530 \text{ Mhz} \quad d=37.99 \text{ Km}$$

$$L_{FS}(\text{dB})=32,45 + 20 \log f (\text{MHz}) + 20 \log d (\text{Km})$$

$$L_{FS}(\text{dB})=32,45 + 20 \log (5530) + 20 \log (37.99)= 138.89 \text{ dB}$$

Potencia de Recepción

$$PR_X=PT_X (\text{dBm}) + GT_X(\text{dBi}) + GR_X(\text{dBi}) - FSL(\text{dB}) - PLT_X(\text{dB}) - PLR_X(\text{dB})$$

$$PR_X=27 + 30 + 30 - 138.89 - 0.8 - 0.8 = -53.49 \text{ dBm}$$

Margen de Desvanecimiento

$$M(\text{dBm})=PR_X(\text{dBm}) - \text{Sensibilidad}(\text{dBm})$$

$$M= -53.49 - (-87)= 33.51 \text{ dBm}$$

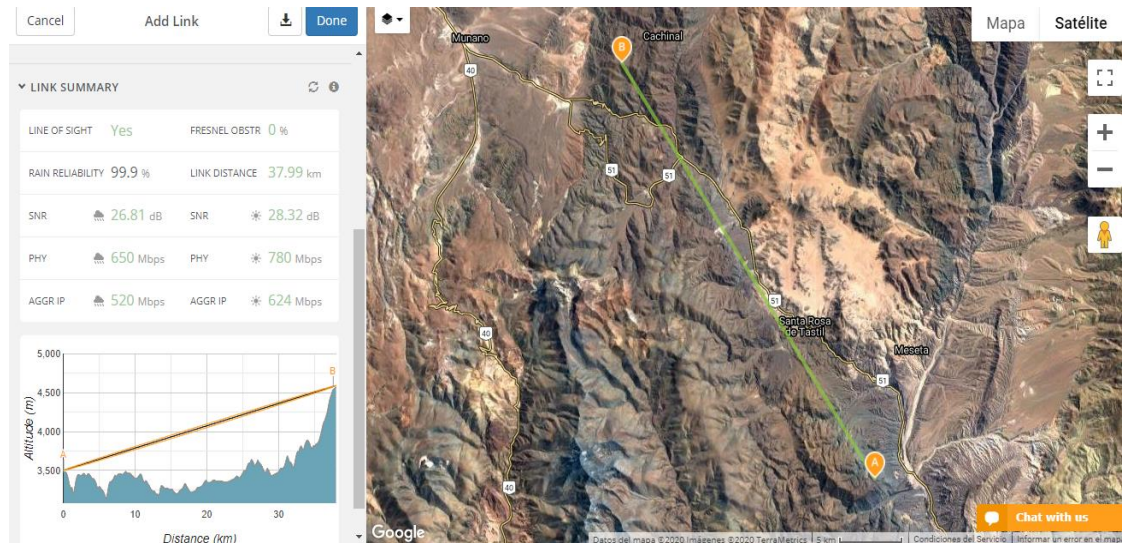


Fig.43: Simulación Enlace T3-S2
Fuente: Elaboración propia

La simulación muestra una zona de Fresnel libre de obstáculos colocando ambas antenas a una altura de 20 m., separadas por una distancia de 37.99 Km. Las pérdidas en el espacio libre con relación a la distancia y la frecuencia son de 138.89 dB. La potencia de recepción es de -53.49 dBm, con lo que se obtiene un margen de desvanecimiento de 33.51 dB. Por el análisis de los resultados y simulación se puede determinar que el enlace T3-S2 es viable.

Enlace S2-S3

Atenuación en el espacio libre

$$f=5290 \text{ Mhz} \quad d=18.75 \text{ Km}$$

$$L_{FS}(\text{dB})=32,45 + 20 \log f (\text{Mhz}) + 20 \log d (\text{Km})$$

$$L_{FS}(\text{dB})=32,45 + 20 \log (5290) + 20 \log (18.75)= 132.37 \text{ dB}$$

Potencia de Recepción

$$PR_X=PT_X (\text{dBm}) + GT_X(\text{dBi}) + GR_X(\text{dBi}) - FSL(\text{dB}) - PLT_X(\text{dB}) - PLR_X(\text{dB})$$

$$PR_X=27 + 30 + 30 - 132.37 - 0.8 - 0.8 = -46.97 \text{ dBm}$$

Margen de desvanecimiento

$$M(\text{dBm})=PR_X(\text{dBm}) - \text{Sensibilidad}(\text{dBm})$$

$$M= -46.97 - (-87)= 40.03 \text{ dBm}$$

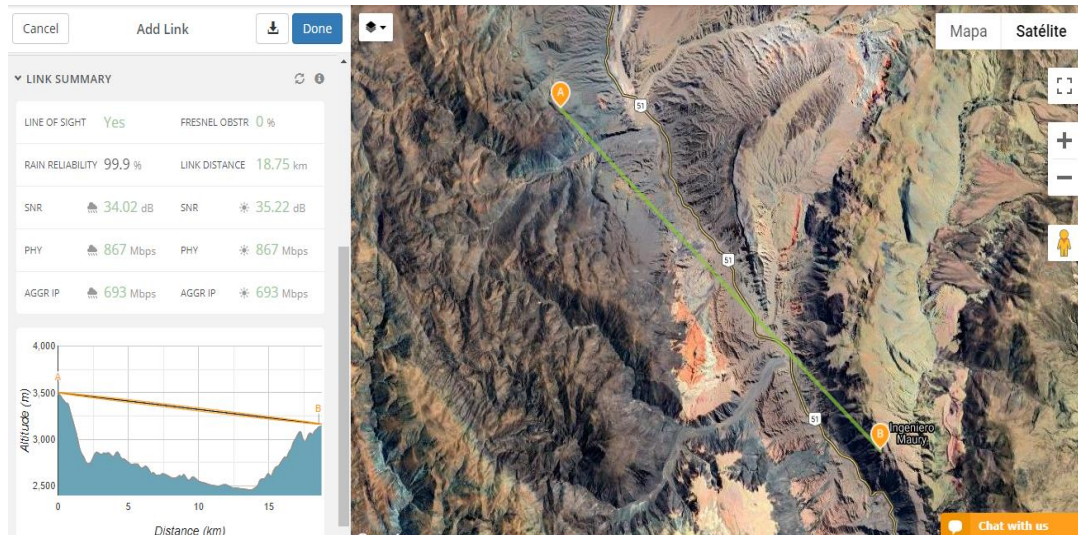


Fig.44: Simulación Enlace S2-S3
Fuente: Elaboración propia

La simulación muestra una zona de Fresnel libre de obstáculos colocando ambas antenas a una altura de 20 m, separadas por una distancia de 18.75 Km. Las pérdidas en el espacio libre con relación a la distancia y la frecuencia son de 132.37 dB. La potencia de recepción es de -46.49 dBm, con lo que se obtiene un margen de desvanecimiento de 40.03 dB. Por el análisis de los resultados y simulación se puede determinar que el enlace S2-S3 es viable.

Nodo S3 – S4

Atenuación en el espacio libre

$$f=5210 \text{ Mhz} \quad d=22.04 \text{ Km}$$

$$L_{FS}(\text{dB})=32,45 + 20 \log f (\text{Mhz}) + 20 \log d (\text{Km})$$

$$L_{FS}(\text{dB})=32,45 + 20 \log (5210) + 20 \log (22.04) = 133.65 \text{ dB}$$

Potencia de Recepción

$$PR_X=PT_X (\text{dBm}) + GT_X(\text{dBi}) + GR_X(\text{dBi}) - FSL(\text{dB}) - PLT_X(\text{dB}) - PLR_X(\text{dB})$$

$$PR_X=27 + 30 + 30 - 133.65 - 0.8 - 0.8 = - 48.25 \text{ dBm}$$

Margen de Desvanecimiento

$$M(\text{dBm})=PR_X(\text{dBm}) - \text{Sensibilidad}(\text{dBm})$$

$$M= -48.25 - (-87) = 38.75 \text{ dBm}$$

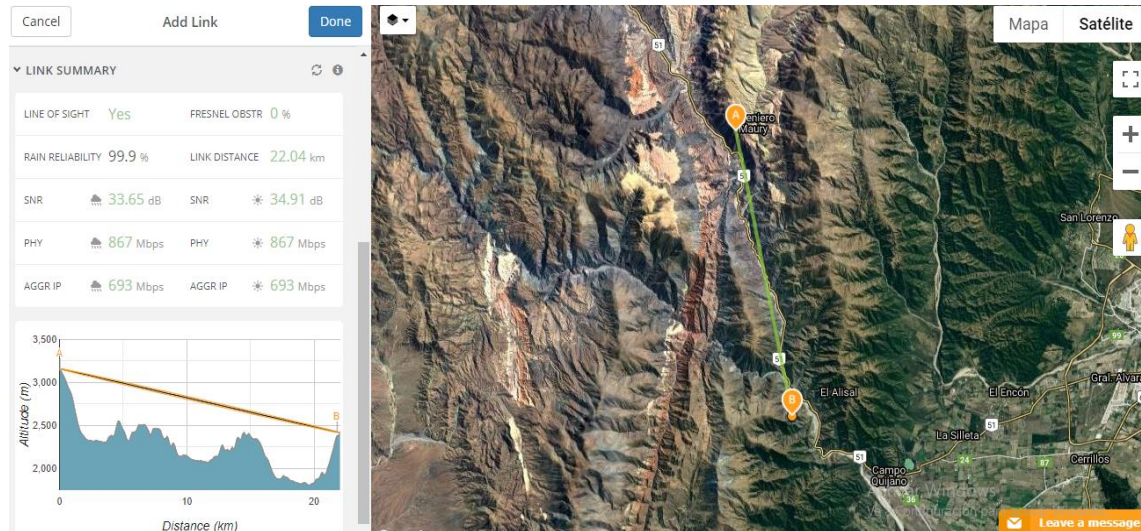


Fig.45: Simulación Enlace S3-S4

Fuente: Elaboración propia

La simulación muestra una zona de Fresnel libre de obstáculos colocando ambas antenas a una altura de 20 m, separadas por una distancia de 22.04 Km. Las pérdidas en el espacio libre con relación a la distancia y la frecuencia son de 133.65 dB. La potencia de recepción es de -48.25 dBm, con lo que se obtiene un margen de desvanecimiento de 38.75 dB. De acuerdo con el análisis de los resultados y simulación se puede determinar que el enlace S3-S4 es viable.

Enlace S4-S5

Atenuación en el espacio libre

$$f=5775 \text{ Mhz} \quad d=12.70 \text{ Km}$$

$$L_{FS}(\text{dB})=32,45 + 20 \log f (\text{Mhz}) + 20 \log d (\text{Km})$$

$$L_{FS}(\text{dB})=32,45 + 20 \log (5775) + 20 \log (12.70) = 129.75 \text{ dB}$$

Potencia de Recepción

$$PR_X=PT_X (\text{dBm}) + GT_X(\text{dBi}) + GR_X(\text{dBi}) - FSL(\text{dB}) - PLT_X(\text{dB}) - PLR_X(\text{dB})$$

$$PR_X=27 + 30 + 30 - 129.75 - 0.8 - 0.8 = -44.35 \text{ dBm}$$

Margen de Desvanecimiento

$$M(\text{dBm})=PR_X(\text{dBm}) - \text{Sensibilidad}(\text{dBm})$$

$$M= -44.35 - (-87)= 42.65 \text{ dBm}$$

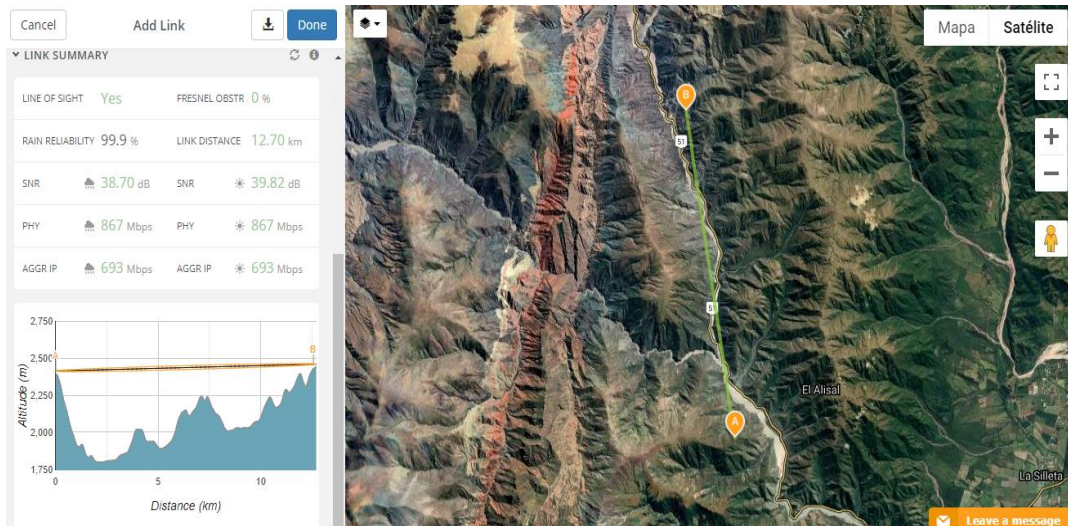


Fig.46: Simulación Enlace S5-S6
Fuente: Elaboración propia

La simulación muestra una zona de Fresnel libre de obstáculos colocando ambas antenas a una altura de 20 m, separadas por una distancia de 12.70 Km. Las pérdidas en el espacio libre con relación a la distancia y la frecuencia son de 129.75 dB. La potencia de recepción es de -44.35 dBm, con lo que se obtiene un margen de desvanecimiento de 42.65 dB. Por el análisis de los resultados y simulación se puede determinar que el enlace S4-S5 es viable.

Enlace S5-A1

Atenuación en el espacio libre

$$f=5690 \text{ Mhz} \quad d=1.02 \text{ Km}$$

$$L_{FS}(\text{dB})=32,45 + 20 \log f (\text{Mhz}) + 20 \log d (\text{Km})$$

$$L_{FS}(\text{dB})=32,45 + 20 \log (5690) + 20 \log (1.02) = 107.72$$

Potencia de Recepción

$$PR_X(\text{dBm})=PT_X (\text{dBm}) + GT_X(\text{dBi}) + GR_X(\text{dBi}) - FSL - PLT_X(\text{dB}) - PLR_X(\text{dB})$$

$$PR_X=27 +25 +25 -107.72 -0 -0 = -30.72 \text{ dBm}$$

Margen de desvanecimiento

$$M(\text{dBm})= PR_X(\text{dBm}) - \text{Sensibilidad}(\text{dBm})$$

$$M= -30.72 -(-87)= 56.28 \text{ dBm}$$

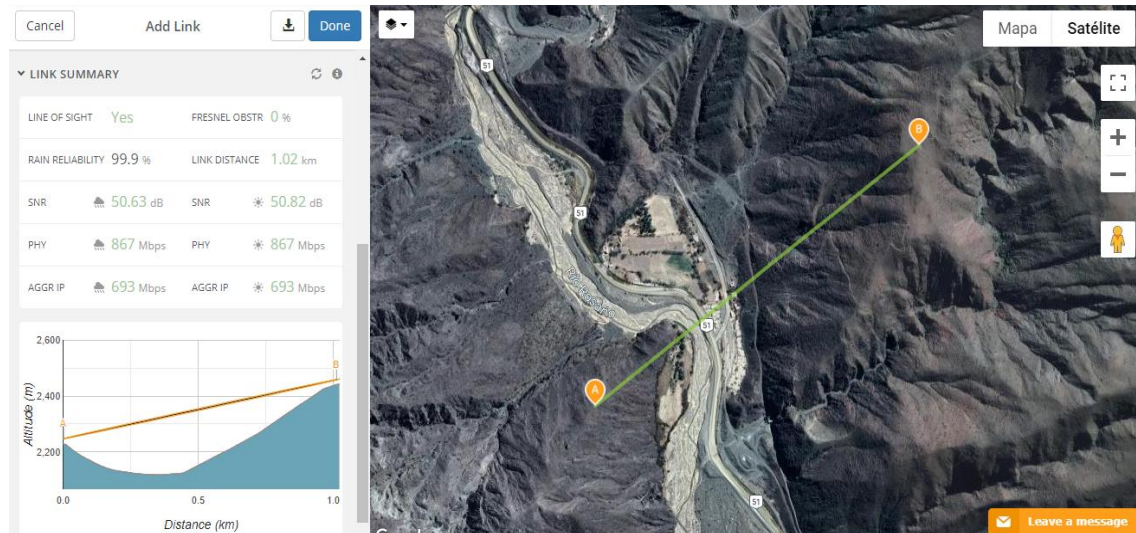


Fig.47: Simulación Enlace S5-A1
Fuente: Elaboración propia

La simulación muestra una zona de Fresnel libre de obstáculos colocando ambas antenas a una altura de 20 m, separadas por una distancia de 1.02 Km. Las pérdidas en el espacio libre con relación a la distancia y la frecuencia son de 107.72 dB. La potencia de recepción es de -30.72 dBm, con lo que se obtiene un margen de desvanecimiento de 56.28 dB. Por el análisis de los resultados y simulación se puede determinar que el enlace S5-A1 es viable.

Enlace S1-A2

Atenuación en el espacio libre

$$f=5290 \text{ Mhz} \quad d=5.77 \text{ Km}$$

$$L_{FS}(\text{dB})=32,45 + 20 \log f (\text{Mhz}) + 20 \log d (\text{Km})$$

$$L_{FS}(\text{dB})=32,45 + 20 \log (5290) + 20 \log (5.77)= 122.14 \text{ dB}$$

Potencia de Recepción

$$PR_X(\text{dBm})=PT_X (\text{dBm}) + GT_X(\text{dBi}) + GR_X(\text{dBi}) - FSL - PLT_X(\text{dB}) - PLR_X(\text{dB})$$

$$PR_X=27 +25 +25 -122.14 -0 -0 = -45.14 \text{ dBm}$$

Margen de desvanecimiento

$$M(\text{dBm})= PR_X(\text{dBm}) - \text{Sensibilidad}(\text{dBm})$$

$$M= -45.14 -(-87)= 41.86 \text{ dBm}$$

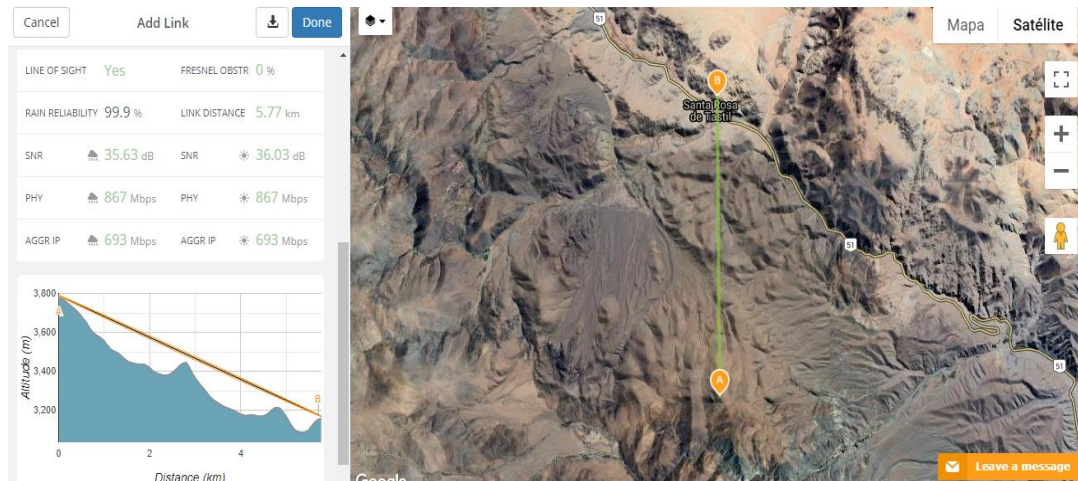


Fig.48: Simulación Enlace S1-A2
Fuente: Elaboración propia

La simulación muestra una zona de Fresnel libre de obstáculos colocando ambas antenas a una altura de 20 m, separadas por una distancia de 5.75 Km. Las pérdidas en el espacio libre con relación a la distancia y la frecuencia son de 122.14 dB. La potencia de recepción es de -45.14 dBm, con lo que se obtiene un margen de desvanecimiento de 41.86 dB. Por el análisis de los resultados y simulación se puede determinar que el enlace S1-A2 es viable.

Enlace T3-A3

Atenuación en el espacio libre

$$f=5775 \text{ Mhz} \quad d=15.52 \text{ Km}$$

$$L_{FS}(\text{dB})=32,45 + 20 \log f (\text{MHz}) + 20 \log d (\text{Km})$$

$$L_{FS}(\text{dB})=32,45 + 20 \log (5775) + 20 \log (15.52)= 131.49 \text{ dB}$$

Potencia de Recepción

$$PR_X=PT_X (\text{dBm}) + GT_X(\text{dBi}) + GR_X(\text{dBi}) - FSL(\text{dB}) - PLT_X(\text{dB}) - PLR_X(\text{dB})$$

$$PR_X=27 + 30 + 30 - 131.49 - 0.8 - 0.8 = -46.09 \text{ dBm}$$

Margen de Desvanecimiento

$$M(\text{dBm})=PR_X(\text{dBm}) - \text{Sensibilidad}(\text{dBm})$$

$$M= -46.09 - (-87)= 40.91 \text{ dBm}$$

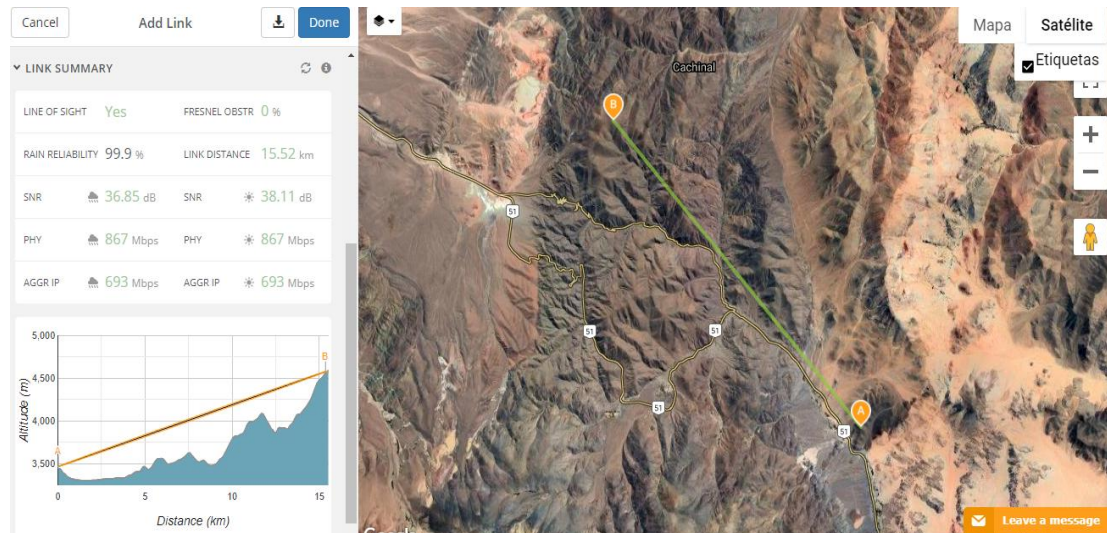


Fig.49: Simulación Enlace T3-A3

Fuente: Elaboración propia

La simulación muestra una zona de Fresnel libre de obstáculos colocando ambas antenas a una altura de 20 m, separadas por una distancia de 15.52 Km. Las pérdidas en el espacio libre con relación a la distancia y la frecuencia son de 131.49 dB. La potencia de recepción es de -46.09 dBm con lo que se obtiene un margen de desvanecimiento de 40.91 dB. De acuerdo con el análisis de los resultados y simulación se puede determinar que el enlace T3-A3 es viable.

Enlace S1-A4

Atenuación en el espacio libre

$$f=5690 \text{ Mhz} \quad d=6.45 \text{ Km}$$

$$L_{FS}(\text{dB})=32,45 + 20 \log f (\text{Mhz}) + 20 \log d (\text{Km})$$

$$L_{FS}(\text{dB})=32,45 + 20 \log (5690) + 20 \log (6.45)=123.74 \text{ dB}$$

Potencia de Recepción

$$PR_X(\text{dBm})=PT_X (\text{dBm}) + GT_X(\text{dBi}) + GR_X(\text{dBi}) - FSL - PLT_X(\text{dB}) - PLR_X(\text{dB})$$

$$PR_X=27 + 25 + 25 - 123.74 - 0 - 0 = -46.74 \text{ dBm}$$

Margen de desvanecimiento

$$M(\text{dBm})= PR_X(\text{dBm}) - \text{Sensibilidad}(\text{dBm})$$

$$M= -46.74 - (-87)= 40.26 \text{ dBm}$$

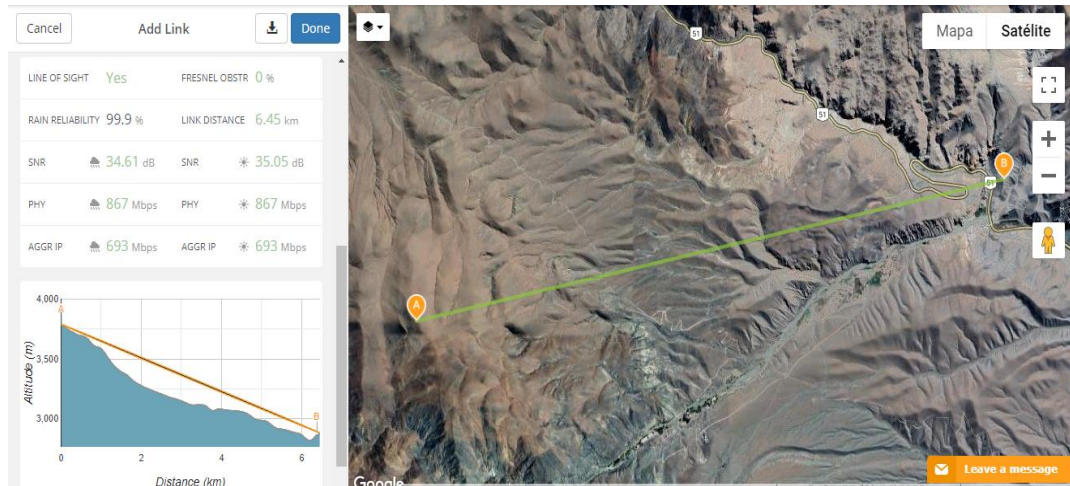


Fig.50: Simulación Enlace S1-A4
 Fuente: Elaboración propia

La simulación muestra una zona de Fresnel libre de obstáculos colocando ambas antenas a una altura de 20 m, separadas por una distancia de 6.45 Km. Las pérdidas en el espacio libre con relación a la distancia y la frecuencia son de 123.74 dB. La potencia de recepción es de -46.74 dBm, con lo que se obtiene un margen de desvanecimiento de 40.26 dB. Por el análisis de los resultados y simulación se puede determinar que el enlace S1-A4 es viable.

Enlace S3- A5

Atenuación en el espacio libre

$$f=5530 \text{ Mhz} \quad d=3.93 \text{ Km}$$

$$L_{FS}(\text{dB})=32,45 + 20 \log f (\text{Mhz}) + 20 \log d (\text{Km})$$

$$L_{FS}(\text{dB})=32,45 + 20 \log (5530) + 20 \log (3.93)= 119.19 \text{ dBm}$$

Potencia de Recepción

$$PR_X(\text{dBm})=PT_X (\text{dBm}) + GT_X(\text{dBi}) + GR_X(\text{dBi}) - FSL - PLT_X(\text{dB}) - PLR_X(\text{dB})$$

$$PR_X=27 +25 +25 -108.34 -0 -0 = -31.34 \text{ dBm}$$

Margen de desvanecimiento

$$M(\text{dBm})= PR_X(\text{dBm}) - \text{Sensibilidad}(\text{dBm})$$

$$M= -31.34 -(-87)= 55.66 \text{ dBm}$$

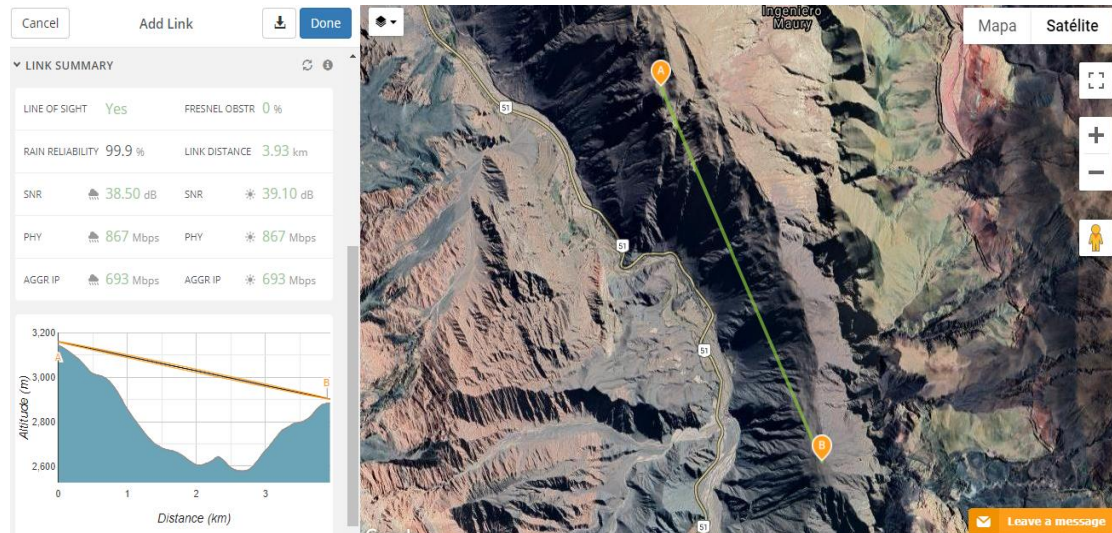


Fig.51: Simulación Enlace S3-A5
Fuente: Elaboración propia

La simulación muestra una zona de Fresnel libre de obstáculos colocando ambas antenas a una altura de 20 m, separadas por una distancia de 3.93 Km. Las pérdidas en el espacio libre con relación a la distancia y la frecuencia son de 119.19 dB. La potencia de recepción es de -31.34 dBm, con lo que se obtiene un margen de desvanecimiento de 55.66 dB. Por el análisis de los resultados y simulación se puede determinar que el enlace S3-A5 es viable.

Troncal Redundante

Para la conexión redundante se agregan dos nodos T1R Y T2R, el primero parte de la Ciudad de Salta (Latitud 24°47'44.45"S; Longitud 65°24'44.73"O). En este punto se contará con fibra óptica monomodo de Telecom con un ancho de banda de 500 Mbps que servirá de respaldo ante alguna falla en la red de ARSAT o de los nodos T1 y T2. También se podrán utilizar los dos servicios en simultaneo realizando un balanceo en T3 y configurando OSPF (*Open Shortest Path First*, protocolo de direccionamiento) en los routers de cada nodo. La fibra se conectará a un *router* Mikrotik modelo CRS112-8P-4S-IN. En este nodo se contará con energía convencional.

Enlace T1R- T2R (Salta)

Atenuación en el espacio libre

$$f=5290 \text{ Mhz} \quad d=35.89 \text{ Km}$$

$$L_{FS}(\text{dB})=32,45 + 20 \log f (\text{MHz}) + 20 \log d (\text{Km})$$

$$L_{FS}(\text{dB})=32,45 + 20 \log (5290) + 20 \log (35.89)= 138.01$$

Potencia de Recepción

$$PR_X(\text{dBm})=PT_X (\text{dBm}) + GT_X(\text{dBi}) + GR_X(\text{dBi}) - FSL(\text{dB}) - PLT_X(\text{dB}) - PLR_X(\text{dB})$$

$$PR_X=27 + 30 + 30 - 138.01 - 0.8 - 0.8 = -52.61 \text{ dBm}$$

Margen de Desvanecimiento

$$M(\text{dBm}) = PR_x(\text{dBm}) - \text{Sensibilidad}(\text{dBm})$$

$$M = -52.61 - (-87) = 34.39 \text{ dBm}$$

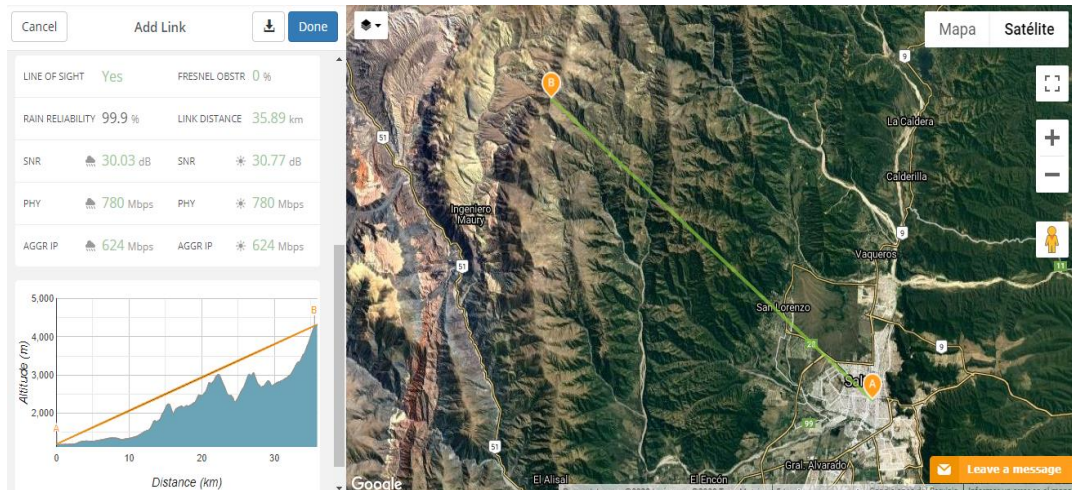


Fig.52: Simulación Enlace T1R-T2R

Fuente: Elaboración propia

La simulación muestra una zona de Fresnel libre de obstáculos colocando ambas antenas a una altura de 20 m., separadas por una distancia de 35.89 Km. Las pérdidas en el espacio libre con relación a la distancia y la frecuencia son de 138.01 dB. La potencia de recepción es de -52.61 dBm, con lo que se obtiene un margen de desvanecimiento de 34.39 dB. Por el análisis de los resultados y simulación se puede determinar que el enlace T1R-T2R es viable.

Enlace T2R-T3R

Atenuación en el espacio libre

$$f = 5210 \text{ Mhz} \quad d = 55.12 \text{ Km}$$

$$L_{FS}(\text{dB}) = 32,45 + 20 \log f (\text{Mhz}) + 20 \log d (\text{Km})$$

$$L_{FS}(\text{dB}) = 32,45 + 20 \log (5210) + 20 \log (55.12) = 141.61 \text{ dB}$$

Potencia de Recepción

$$PR_x(\text{dBm}) = PT_x(\text{dBm}) + GT_x(\text{dBi}) + GR_x(\text{dBi}) - FSL(\text{dB}) - PLT_x(\text{dB}) - PLR_x(\text{dB})$$

$$PR_x = 27 + 33.2 + 33.2 - 141.61 - 0.8 - 0.8 = -49.81 \text{ dBm}$$

Margen de Desvanecimiento

$$M(\text{dBm}) = P_{R_x}(\text{dBm}) - \text{Sensibilidad}(\text{dBm})$$

$$M = -49.81 - (-87) = 37.19 \text{ dBm}$$

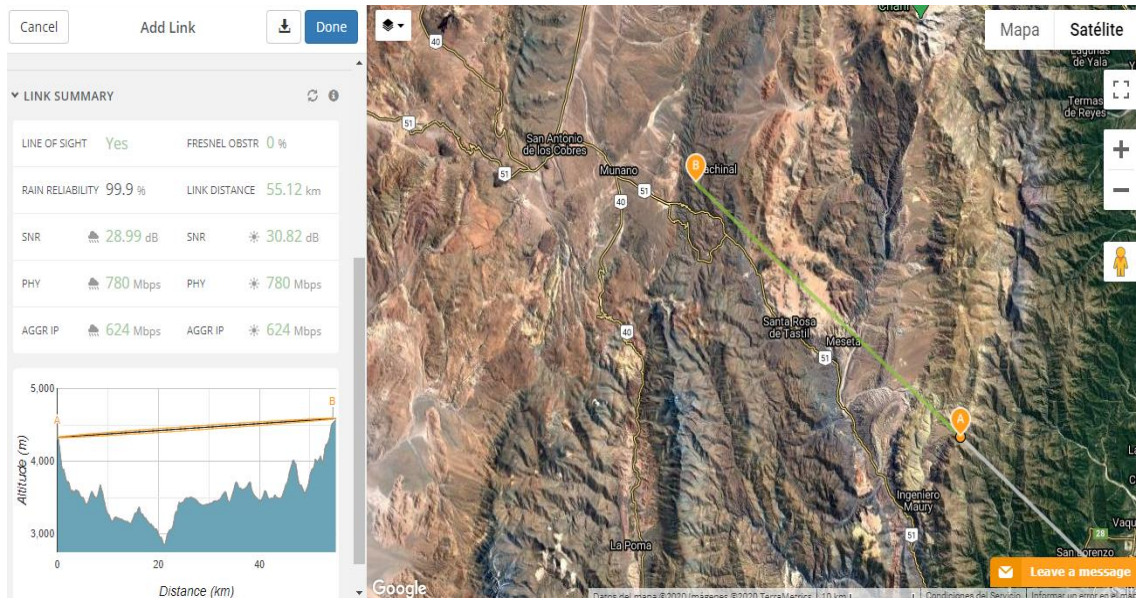


Fig.53: Simulación Enlace T2R-T3R

Fuente: Elaboración propia

La simulación muestra una zona de Fresnel libre de obstáculos colocando ambas antenas a una altura de 20 m, separadas por una distancia de 55.12 Km. Las pérdidas en el espacio libre en relación a la distancia y la frecuencia son de 141.61 dB. La potencia de recepción es de -49.81 dBm, con lo que se obtiene un margen de desvanecimiento de 37.19 dB. Según el análisis de los resultados y simulación se puede determinar que el enlace T2R-T3R es viable.

Se presenta en la tabla 4 un resumen del cálculo de los enlaces antes detallados:

Descripción	Distancia (Km)	Perdida en el espacio libre (dB)	Potencia de Recepción (dBm)	Margen de desvanecimiento (dBm)	Resultado
Enlace T1-T2	1,08	108,34	-31,43	55,66	Factible
Enlace T2-T3	23,78	135,07	-49,67	37,33	Factible
Enlace T3-S1	29,82	136,91	-51,51	35,49	Factible
Enlace T3-S2	37,99	138,89	-53,49	33,51	Factible
Enlace S2-S3	18,75	132,37	-46,97	40,03	Factible
Enlace S3-S4	22,04	133,65	-48,25	38,75	Factible
Enlace S4-S5	12,70	129,75	-44,35	42,65	Factible
Enlace S5-A1	1,02	107,72	-30,75	56,28	Factible
Enlace S1-A2	5,77	122,14	-45,14	41,86	Factible
Enlace T3-A3	15,52	131,49	-46,09	40,91	Factible
Enlace S1-A4	6,45	123,74	-46,74	40,26	Factible
Enlace S3-A5	3,93	119,19	-31,34	55,66	Factible
Enlace T1R-T2R	35,89	138,01	-52,61	34,39	Factible
Enlace T2R-T3R	55,12	141,61	-49,81	37,19	Factible

Tabla 4: Resumen del cálculo de enlaces
Fuente: Elaboración propia

6.1.2 Características de la red de distribución a usuarios finales

Acceso en Santa Rosa de Tastil

En esta localidad se colocará un radio de la marca Cambium EPMP 2000 con un panel de 120°. Para los equipos clientes se utilizará *Force* 180. Se hizo la simulación de los enlaces con la herramienta *Link Planner* con los parámetros de los equipos seleccionados y a una altura de 4 m. en el domicilio del cliente. Dado que un cliente se encuentra fuera del rango de cobertura del primer panel se podrá optar por un enlace punto a punto con equipos *Force* 200 para este caso particular. Se incluye en el Anexo I el informe de simulación.

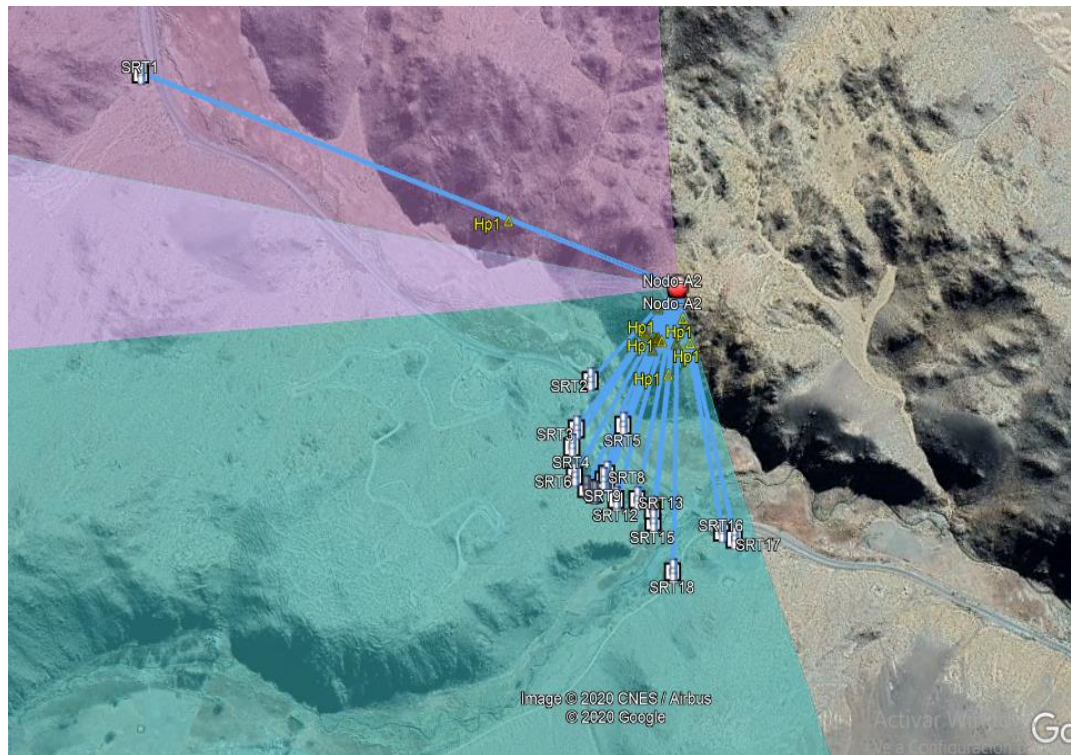


Fig.54: Simulación Enlaces PMP en la localidad de Santa Rosa de Tastil
Fuente: Elaboración propia

Acceso en Las Cuevas

En esta localidad se colocarían tres radios de la marca Cambium EPMP 2000 con paneles de 90°. Para los equipos clientes se utilizará *Force* 200. Se hizo la simulación de los enlaces con la herramienta *Link Planner* con los parámetros de los equipos seleccionados y a una altura de 4 m. en el domicilio del cliente.



Fig.55: Simulación Enlaces PMP en la localidad de Las Cuevas
Fuente: Elaboración propia

Acceso en El Alfarcito

En esta localidad se colocará un radio de la marca Cambium EPMP 2000 con paneles de 120° y para los equipos clientes se utilizará Force 180. Se hizo la simulación de los enlaces con la herramienta *Link Planner* con los parámetros de los equipos seleccionados y a una altura de 4 m. en el domicilio del cliente.

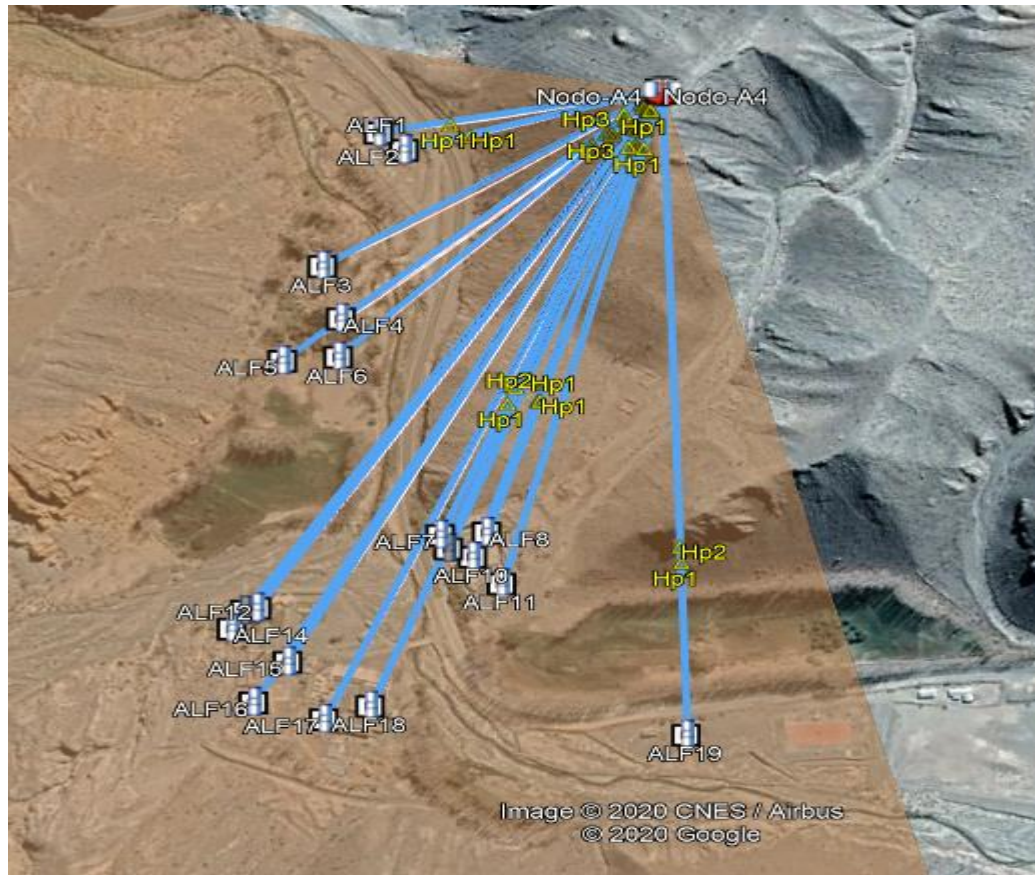


Fig.56: Simulación Enlaces PMP en la localidad El Alfarcito
Fuente: Elaboración propia basada en Google Earth (2020).

Acceso en Gobernador Manuel Solá

En esta localidad se pondrá un radio de la marca Cambium EPMP 2000 con un panel de 90° y para los equipos clientes se utilizará *Force 200*. Se hizo la simulación de los enlaces con la herramienta *Link Planner* con los parámetros de los equipos seleccionados y a una altura de 4 m. en el domicilio del cliente.

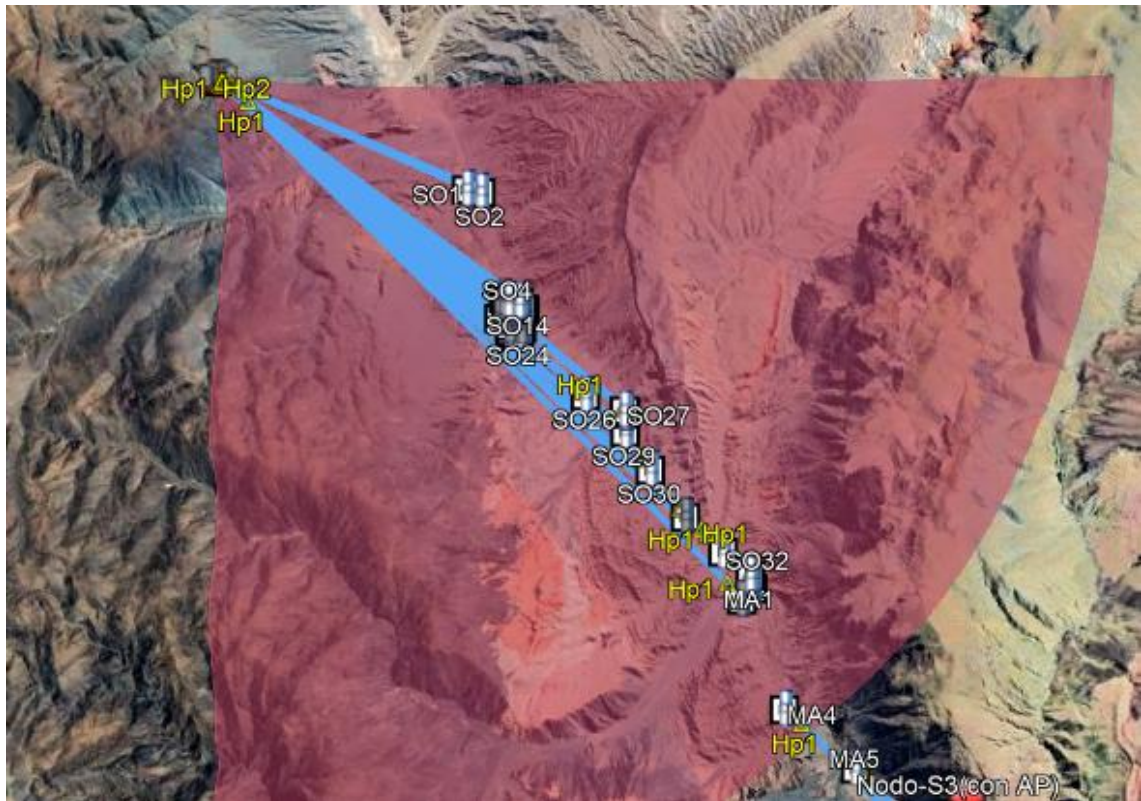


Fig.57: Simulación Enlaces PMP en la localidad Gobernador Manuel Sola
Fuente: Elaboración propia

Acceso en Ingeniero Maury

En esta localidad se pondrá un radio de la marca Cambium EPMP 2000 con un panel de 90° y para los equipos clientes se utilizará *Force 200*. Se hizo la simulación de los enlaces con la herramienta *Link Planner* con los parámetros de los equipos seleccionados y a una altura de 4 m. en el domicilio del cliente. Dado que un cliente se encuentra fuera del rango de cobertura del primer panel se podrá optar por un enlace punto a punto con equipos *Force 200*.

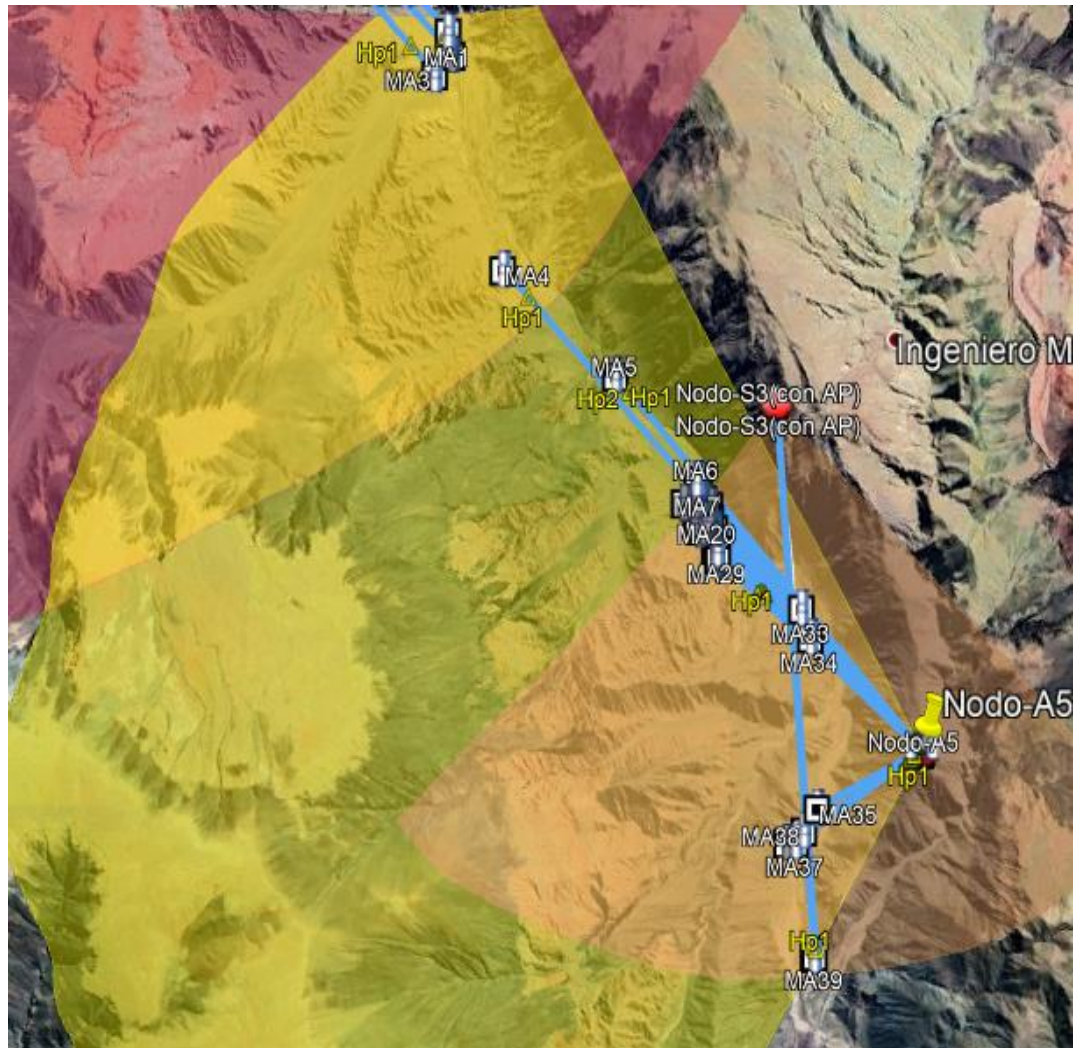


Fig.58: Simulación Enlaces PMP en la localidad Ingeniero Maury
Fuente: Elaboración propia

Acceso en Chorrillos

En esta localidad se pondrá un radio de la marca Cambium EPMP 2000 con un panel de 120° y para los equipos clientes se utilizará *Force 180*. Se hizo la simulación de los enlaces con la herramienta *Link Planner* con los parámetros de los equipos seleccionados y a una altura de 4 m. en el domicilio del cliente. Dado que dos clientes se encuentran fuera del rango de cobertura del primer panel, se deberá conectar un segundo radio con panel de 90° para dar cobertura a estos últimos y dejar margen para un futuro crecimiento de la población.

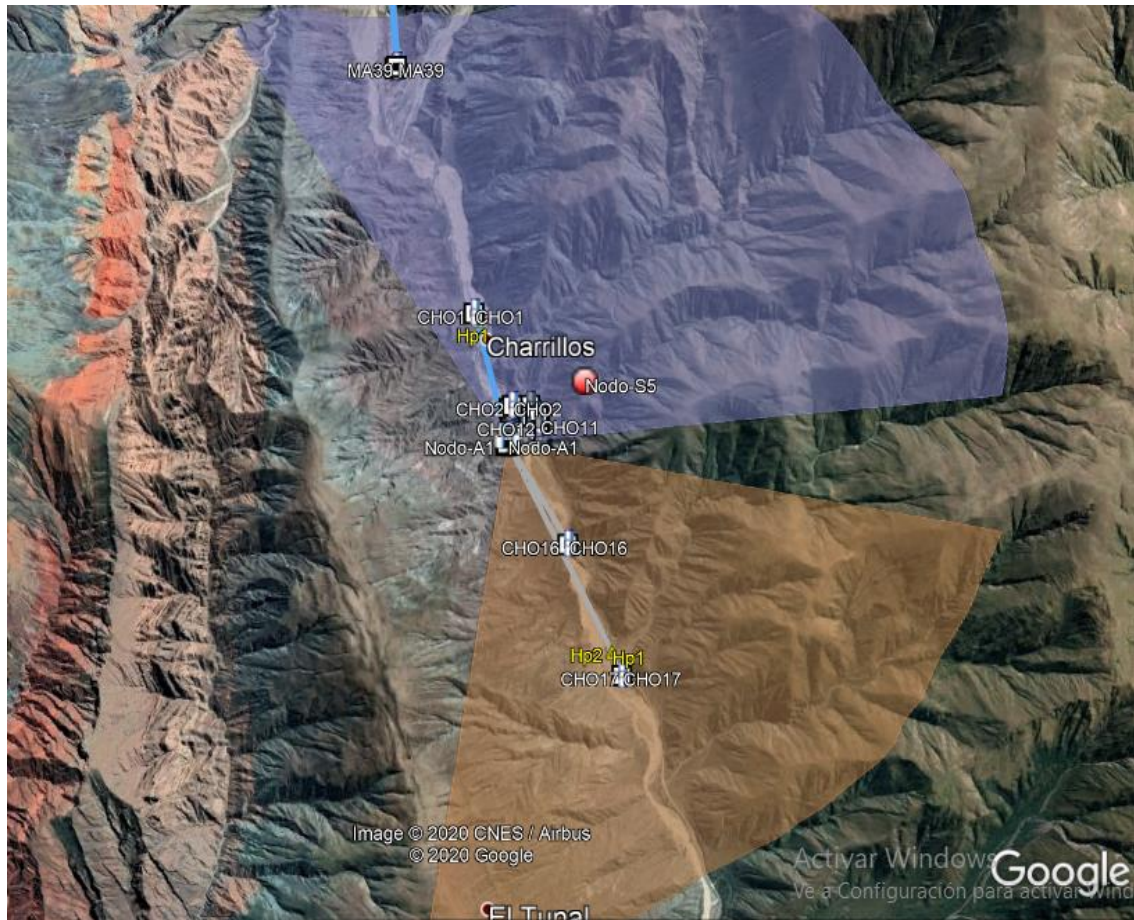


Fig.59: Simulación Enlaces PMP en la localidad de Chorrillos
Fuente: Elaboración propia

Acceso en las localidades Mollar y El Alisal

Dada la cercanía de las localidades resulta posible utilizar un solo nodo para conectarlas. Se pondrán dos radios de la marca Cambium EPMP 2000 con paneles de 120°. Para los equipos clientes se utilizará *Force 200*. Se hizo la simulación de los enlaces con la herramienta *Link Planner* con los parámetros de los equipos seleccionados y a una altura de 4 m. en el domicilio del cliente. El único punto que no resulta factible es el MO20 dado que se requeriría un salto adicional para lograr un enlace libre de obstáculos.

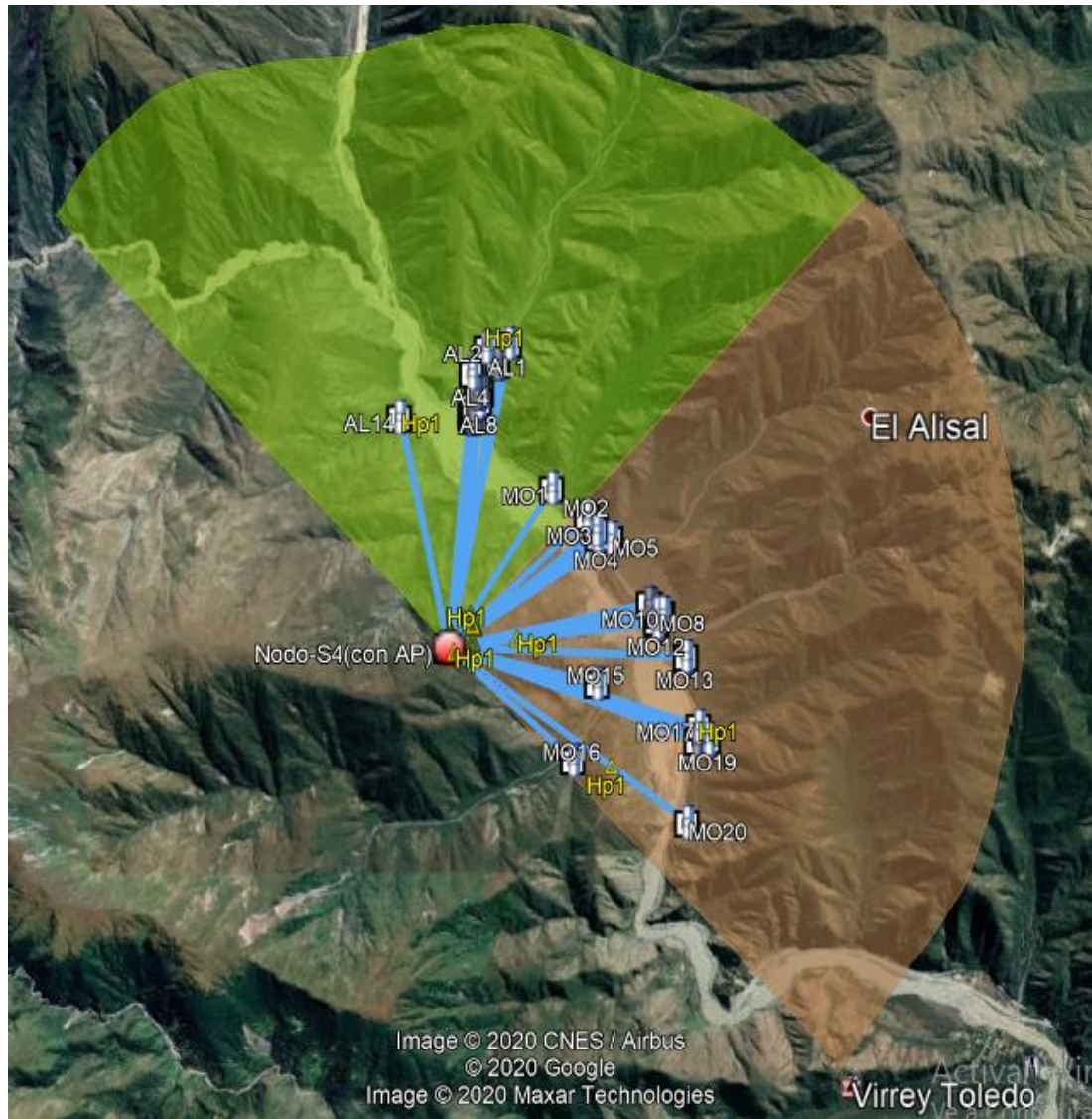


Fig.60: Simulación Enlaces PMP en las localidades Mollar y El Alisal
Fuente: Elaboración propia

6.3 Descripción de la tecnología aplicada

A continuación, se detalla las características de los equipos propuestos para la implementación de los enlaces punto a punto (PTP) y punto multipunto (PMP).

Tecnología de la red PTP

Radio Mimosa C5x

Rendimiento máximo = 700 Mbps (IP) PTP o PTMP

Frecuencia= 4900–6400 MHz

Ganancia

- 8 dBi (nativo)
- 12-25 dBi (con antenas)

Potencia máxima de salida = 27 dBm

MIMO y modulación= 2x2: 2 MIMO OFDM, hasta 256 QAM

Ancho de banda = canales de 20/40/80 MHz

Sensibilidad (MCS0):

-87 dBm a 80 MHz

-90 dBm a 40 MHz

-93 dBm a 20 MHz

Peso= 0,37 kg

El consumo de energía= 12,9 W

Temperatura de funcionamiento = -40 ° C a + 55 ° C



Fig.62: Mimosa C5x

Fuente: <https://mimosa.co/product/c5x>

Antena N5-X25 (dish)

Ganancia= 25dBi

Polarización= Dual-slant 45°

Relación frente-espalda = 40 dB

Peso= 0.98 kg

Radio Mimoso C5c



Fig.63: Mimoso C5c

Fuente: <https://mimoso.co/products/c5c>

Rendimiento máximo = 700 Mbps (IP) PTP o PTMP

Frecuencia= 4900–6400 MHz

Ganancia

- 8 dBi (nativo)
- 12-25 dBi (con antenas)

Potencia máxima de salida = 27 dBm

MIMO y modulación= 2x2: 2 MIMO OFDM, hasta 256 QAM

Ancho de banda = canales de 20/40/80 MHz

Sensibilidad (MCS0):

-87 dBm a 80 MHz

-90 dBm a 40 MHz

-93 dBm a 20 MHz

Peso= 295 gr

El consumo de energía= 12,9 W

Temperatura de funcionamiento = -40 ° C a + 55 ° C

Antena ALGcom UHP-5800-32-09-DP



Fig.64: Antena ALGcom 32 dBi

Fuente: <http://www.algcom.com.br/productos/detalles/antenas/parabola-rango-extendido-uhp49-6425-ghz>

Diámetro= 0.9 m

Ganancia= 33.2 dBi

Polarización= Doble (V e H) o Slant ($\pm 45^\circ$)

Relación frente-espalda > 55 dB

Frecuencia= 4,900 a 6,425 GHz

Peso= 15,5 kg

Antena ALGcom UHP-5800-30-06-DP



Fig.65: Antena ALGcom 30 dBi

Fuente: <http://www.algcom.com.br/productos/detalles/antenas/parabola-rango-extendido-uhp49-6425-ghz>

Diámetro= 0.6 m

Ganancia= 30.5 dBi

Polarización= Doble (V e H) o Slant ($\pm 45^\circ$)

Relación frente-espalda > 50 dB

Frecuencia= 4,900 a 6,425 GHz

Peso= 6 kg

Radio Cambium EPMP 2000



Fig.66: Cambium EPMP 2000

Fuente: https://www.cambiumnetworks.com/wp-content/uploads/2018/08/SS_ePMP_2000_11182019.pdf

Frecuencia=5150-5970 MHz

Tamaño de canal= 5 | 10 | 20 | 40 MHz

Potencia máxima de salida= 30 dBm

Modulación= MCS0 (BPSK) hasta MCS15 (64QAM 5/6)

Peso= 0.7 Kg

Temperatura= -30°C hasta +55°C

Cambium EPMP FORCE 200



Fig.67: Cambium EPMP Force 200

Fuente: https://www.cambiumnetworks.com/wp-content/uploads/2017/10/SS_ePMP_Force200_06262018.pdf

Frecuencia:

2.4 GHz: 2402 – 2472 MHz

5 GHz: 4910 – 5970 MHz

Tamaño del canal= 5 | 10 | 20 | 40 MHz

Máxima potencia de transmisión= 30 dBm

EPMP FORCE 180



Fig.68: Cambium EPMP Force 180

Fuente: https://www.cambiumnetworks.com/wp-content/uploads/2015/10/SS_ePMP_force180_06222018.pdf

Frecuencia: 4910-5970 MHz

Tamaño del canal= 5 | 10 | 20 | 40 MHz

Máxima potencia de transmisión= 30 dBm

Costos de Equipamiento

Equipos y Materiales	Cantidad	Precio unitario (US\$)	Precio Sub Total (US\$)
Router RB4011	1	283,99	283,99
Router CRS112-8P-4S-IN	3	249,73	749,19
Router Power Box Pro	12	142,55	1710,6
Radio Mimosa C5c	16	289,99	4639,84
Radio Mimosa C5x	12	179,99	2159,88
Antena N5X 25	12	154,70	1856,4
Antenas ALGcom 30.3	14	223,85	3133,9
Antenas ALGcom 33.5	2	349,69	699,38
Soporte para antenas	41	109	4469
Radio AP Cambium ePMP 2000	12	899	10788
Antena AP (Panel Cambium)	12	355	4260
Antenas CPE ePMP force 180	35	194	6790
Antenas CPE ePMP force 200	167	259	43253
Soporte para antena CPE	200	21,46	4292
Pigtail	56	56,87	3184,72
Cable Blindado FTP	4000 m	2.34	9360
Ficha RJ45 Blindada	600	5.87	3522
Gabinetes Metálicos (606 x 599 x 568 mm/ 37 kg)	15	499	7485
Precinto	1000	1,6	1600
Costo Total			114236,9

Tabla 6: Costos de Equipamiento¹

Fuente: Elaboración propia

¹ Precios obtenidos de: <https://wirelesstigre.com/lista-de-precios/>, https://docs.google.com/spreadsheets/d/1rmlMI8y5O11057Wbb303iKk9dc6XedijkpFMKAgwH_U/edit#gid=2076166277, <https://www.syscom.mx/producto/GSNW-2021-SYSCOM-189034.html>

6.4 Tecnología alternativa

En caso de optar por un solo enlace troncal de gran capacidad se recomienda considerar el radio B5c cuya relación costo-beneficio es óptima para las características del proyecto.

Kit de Radio B5c + Parabólica desde 4.9 - 6.2 GHz, Ideal para WISP



»B5C-TXP-KIT - US\$ 1,169.99

Especificaciones Técnicas del Kit:

- Radio B5c hasta 1 Gbps de acuerdo a condiciones de los sitios y distancia del enlace.
- Antena parabólica TXP-D4865-28-N de 28 dBi.
- Distancia promedio máxima hasta 20 km con línea de vista plena.
- Distancia promedio para máxima velocidad hasta 10 km con línea de vista plena.
- La capacidad en Mbps depende de la distancia del enlace.
- Rango de frecuencia de parabólica: 4.8 - 6.5 GHz.
- Rango de frecuencia de radio: 4.9 - 6.2 GHz.
- No incluye el radomo de la parabólica.

Fig.69: Kit de Radio Mimosa B5c
Fuente: SYSCOM (2021)

Radio Mikrotik con antenna integrada

Si lo que se busca es una solución más económica para los enlaces multipunto sin perder el rendimiento esperado se puede optar por la tecnología Mikrotik.

PTMP con Antena Integrada de 120°



»RB921GS5HPACD19S

»US\$ 369.00

(MANTBOX19S) 19 dBi.

Dimensiones: 152 x 598 x 78 mm.

»RB921GS5HPACD15S

»US\$ 273.00

(MANTBOX15S) 15 dBi.

Dimensiones: 140 x 398 x 82 mm.

- Banda de operación: 5 GHz.
- Modo de operación: punto de acceso y cliente.
- Antena sectorial integrada de 120°.
- Hasta 1000 mW de potencia.
- Estándar 802.11 a/n/ac.
- Puerto gigabit.
- Puerto SFP.
- Incluye PoE.
- Nivel de licencia: 4.

Fig.70: Radio con antena integrada MANTBOX19S
Fuente: SYSCOM (2021)

CPE Mikrotik

CPE y PtP en 5 GHz 802.11 a/n/ac con Antena de Rejilla de 27 dBi, "Ahora con Más Velocidad y Mayor Distancia"



»RBLHGG-5ACD-XL · US\$ 189.00
(LHG XL 5 ac) CPE y PtP en 5 GHz con antena de rejilla de 27 dBi.

»RBLHGG5ACD · US\$ 164.00
(LHG 5 ac) CPE y PtP en 5 GHz con antena integrada de 24.5 dBi.

- Rango de frecuencia de 5150 - 5875 MHz.
- Modo de operación: PtP y CPE.
- Apertura de antena de 7°.
- Hasta 316 mW.
- Incluye PoE pasivo.
- Nivel de licencia: 3.

*Nivel de Licencia 3: Modo de operación como cliente (CPE) y bridge PtP.
*Nivel de Licencia 4: Modo de operación como punto de acceso y/o cliente.

Fig.71: CPE LHG XL 5 AC
Fuente: SYSCOM (2021)

6.5 Diseño del subsistema de Infraestructura

En esta sección se describen las características generales de las torres y los pasos a seguir en el proceso de montaje de las mismas. Para el proyecto se requieren un total de 15 torres de 27 metros, las cuales se construirán a partir de tramos de 3m de altura.



Elaborado Bajo Normas ISO 9000


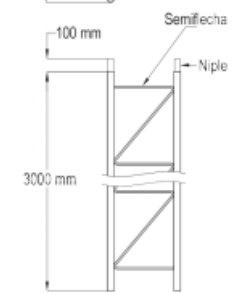
Características Físicas		Dimensiones	
Carga máxima	200 kg.		
Altura máxima para torre	30 m		
Resistencia al viento*	200 km/h.		
Material	Acero		
Construcción	Tubo industrial 7/8" calibre 18		
	Semiflecha de 5/16".		
Ancho de cara	30 cm		
Peso unitario	12.5 kg.		
Altura efectiva	300 cm (3 m)		
Niple	10 cm		
Tornillería para unión	Tomillo grado 5 tropicalizado ¼ x 1 ¼" con tuerca (6 piezas)		
Protección anticorrosiva	Galvanizado electrolítico (de acuerdo a norma ASTM-B-633)		

Fig.72: Características Tramo de Torre
Fuente: Syscom (2021)

Especificaciones de Montaje

Para el montaje de cada una de las torres se deben tener en cuenta las siguientes especificaciones de montaje:

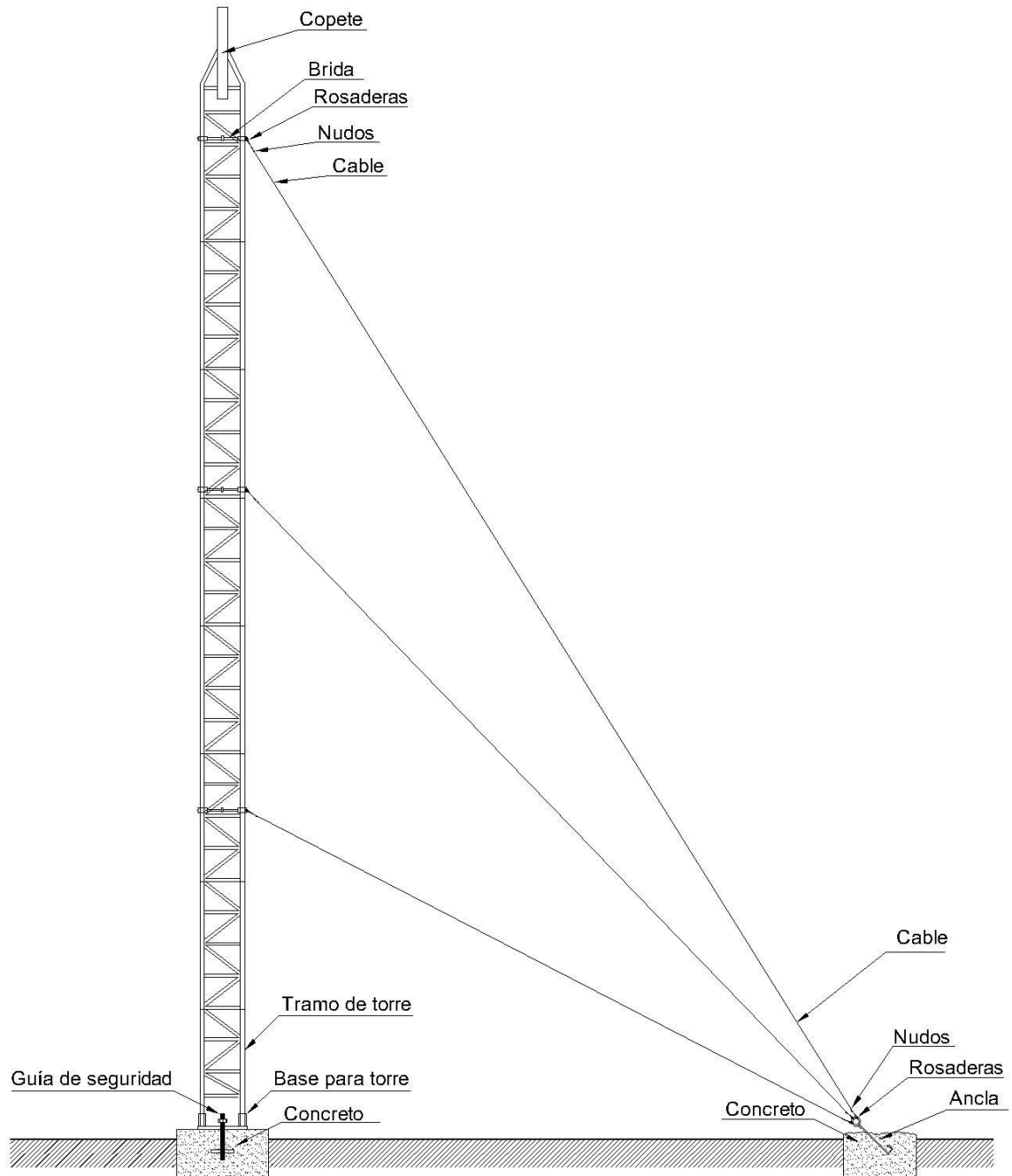


Fig.73: Torre Arriostrada

Fuente: <http://www.alfatelecom.mx/producto/torres-arriostradas/>

1. Realizar la cimentación, la misma debe tener las siguientes características:

Cimiento para base

Las medidas para el concreto para la cimentación de la base son de 80x80 cm. La base debe centrarse en el concreto, la altura del dado es de 100cm, dejando 20cm sobre el nivel del suelo

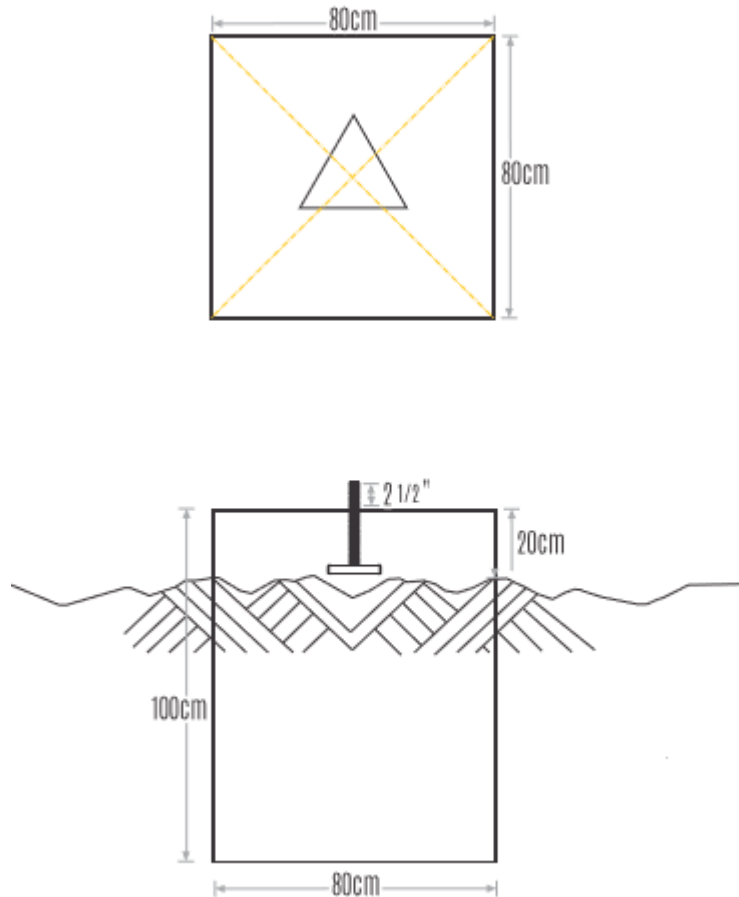


Fig.74: Vista cimiento para base

Fuente: <https://www.ensoncable.com/soporte/4#collapse5>

Cimiento para ancla

Las medidas para la cimentación de las anclas que sujetan la retenida son de 80 x 80 cm. El ancla debe centrarse en el concreto, la altura es de 150 cm, dejando 20 cm sobre el nivel del suelo. Se recomienda colocar el ancla con una inclinación de 30° centrandó el ojillo de la misma, ahogándola asegurando que solo el ojillo quede expuesto.

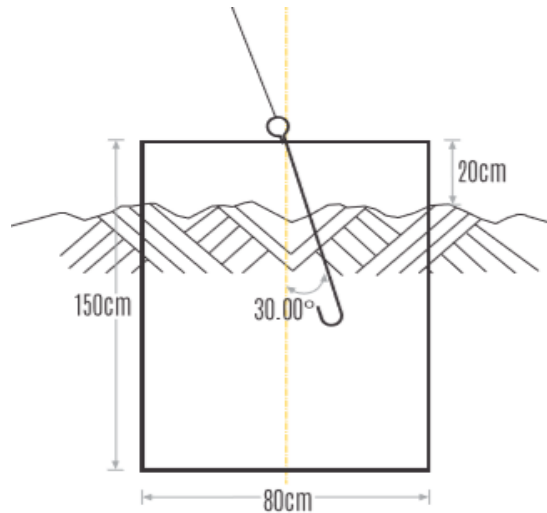


Fig.75: Vista cimiento para ancla

Fuente: <https://www.ensoncable.com/soporte/4#collapse5>

2. Preparar todo el material necesario para el montaje de la torre y ubicarlo cerca de la base.
3. Preparar todas las herramientas necesarias para el montaje y sujetarlas en el cinturón de seguridad. Para mayor seguridad se recomienda amarrar cada herramienta al cinturón de seguridad mediante un cordel.
4. Colocar y empernar el primer tramo a la base de la torre.
5. Colocar y empernar el segundo tramo de la torre. Se debe respetar siempre la elección de dos tramos blancos y dos rojos colocados sucesivamente.
6. Colocar la brida y medir la distancia entre el segundo tramo (o tercer tramo, según sea el caso) y las bases de templadores para cortar los tres tramos de cable, se considera una distancia del 70% de la altura de la torre.

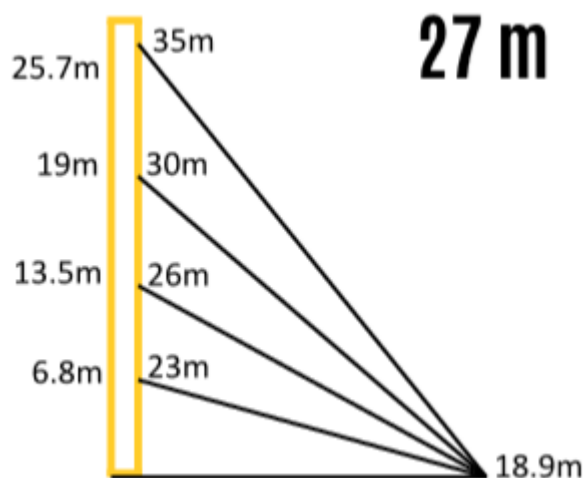


Fig.76: Riendas para torre de 27 m

Fuente: <https://www.ensoncable.com/soporte/4#collapse5>

7. Preparar los cables (7 hilos de acero galvanizado) para efectuar correctamente la instalación del viento. Los vientos se fijan y se tensan cada dos tramos, para las torres menores de 45 m.

8. Una vez estén instalados los tres vientos se procederá al templado, de forma que los vientos queden tirantes, pero sin ejercer mucha tensión sobre la torre. El templado se debe realizar simultáneamente en los tres vientos.

9. Se procederá a medir la nivelación de la torre con plomada y nivel, corrigiendo las desviaciones mediante el reajuste de templadores.

10. Para subir el resto de los tramos es necesario instalar una pluma con polea en el tercio superior del último tramo. El operario que está amarrado al último tramo dirige el nuevo hasta embocarlo en los tres tubos. Una vez introducido se emperna adecuadamente. Se deben poner 2 tuercas por perno.

11. Esta operación ha de repetirse hasta completar el último tramo de la torre. Una vez instalado y templado el último tramo, se deben colocar los accesorios de la línea de vida.

12. Una vez instalada la línea de vida, se debe uso de esta para trabajar de manera más segura, luego han de colocarse los aisladores para el cable del pararrayos, instalados cada 3 m (1 por tramo).

13. Una vez que estén bien sujetos todos los aisladores se procederá a subir el cable del pararrayos, haciéndolo pasar por cada uno de los aisladores. Una vez que se ha llegado al final con el cable, se procede a subir el soporte de pararrayos, el cual ya vendrá con el aislador para la punta del pararrayos. Antes de incrustarlo es necesario sujetar el cable al pararrayos. Posteriormente se introduce en el último tramo y se emperna adecuadamente.

14. Ha llegado el momento de subir y fijar las antenas según el plano previsto para cada instalación. Los accesorios se suben con la misma pluma utilizada en el montaje de la torre. Una vez instalada cada accesorio, se conecta y se protege la conexión con cinta auto vulcanizante. Los cables se sujetarán a la torre con cintillos de PVC para intemperie.

Las estructuras deberán satisfacer las especificaciones establecidas por el Centro de Investigación de los Reglamentos Nacionales de Seguridad para las Obras Civiles (CIRSOC):

CIRSOC 102 "Acción del viento sobre las construcciones"

CIRSOC 103 "Normas argentinas para construcciones sismorresistentes"

CIRSOC 104 "Acción de la nieve y del hielo sobre las construcciones"

CIRSOC 302 "Fundamentos de cálculo para los problemas de estabilidad del equilibrio en las estructuras de acero"

CIRSOC 306 "Estructura de acero para antenas"

Presupuesto para torre

Se lista en la Tabla 7 los materiales requeridos para la instalación de 15 torre arriostradas:

Material	Cantidad	Precio unitario (US\$)	Sub Total (US\$)
Tramos de Torre (Tornillería incluida)	15x9	95,99	12958,65
Riendas de acero galvanizado 1/8´	15x552 m	0,9	7452
Bridas	15x4	32	1920
Tensores	15x18	17,49	4722,3
Rozaderas	15x36	0,39	210,6
Ancla de retenida	15x3	39	1755
Ancla de base	15x1	16	240
Nudos	15x108	0,45	729
Base para torre	15x1	37	555
Copete	15x1	53	795
Estabilizador	15x1	245	3675
Lampara de Señalización	15x1	481	7215
Bolsa de Cemento	15x9	8,85	1194,75
Hierro del 10	15x8	19,66	2359,2
Cinta auto vulcanizante	8	15	120
Costo Total			45901,5

Tabla 7: Presupuesto para torre arriostrada
Fuente: Elaboración propia

6.6 Diseño del sistema de puesta a tierra

El objetivo de este diseño es fijar los requerimientos del sistema de puesta a tierra que nos permitan tener un potencial de referencia único a todos los elementos de la instalación y la conducción a tierra de las corrientes de falla para disminuir los daños a las personas o equipamiento.

La toma a tierra de las estructuras metálicas de soporte, (torres o mástiles) tiene por objeto canalizar las descargas que pudiesen entrar, no solo por estas, sino por todo elemento vinculado eléctricamente a estas (Santos, 2007).

Los diferentes sistemas de protección tratan de sacar el elemento a proteger del camino de la corriente del rayo. Todos los métodos tienen en común tres elementos:

1. Un lugar preestablecido para recibir el rayo
2. Una o varias conducciones a tierra
3. Y uno o varios dispersores en tierra

6.6.1 Toma a tierra de torres arriostradas

Las torres arriostradas son estructuras que emplean tramos de sección triangular con riendas a diferentes alturas para asegurar la estabilidad. La primera medida consiste en vincular eléctricamente todas las riendas que convergen a un mismo anclote con un conductor adecuado a cada caso.

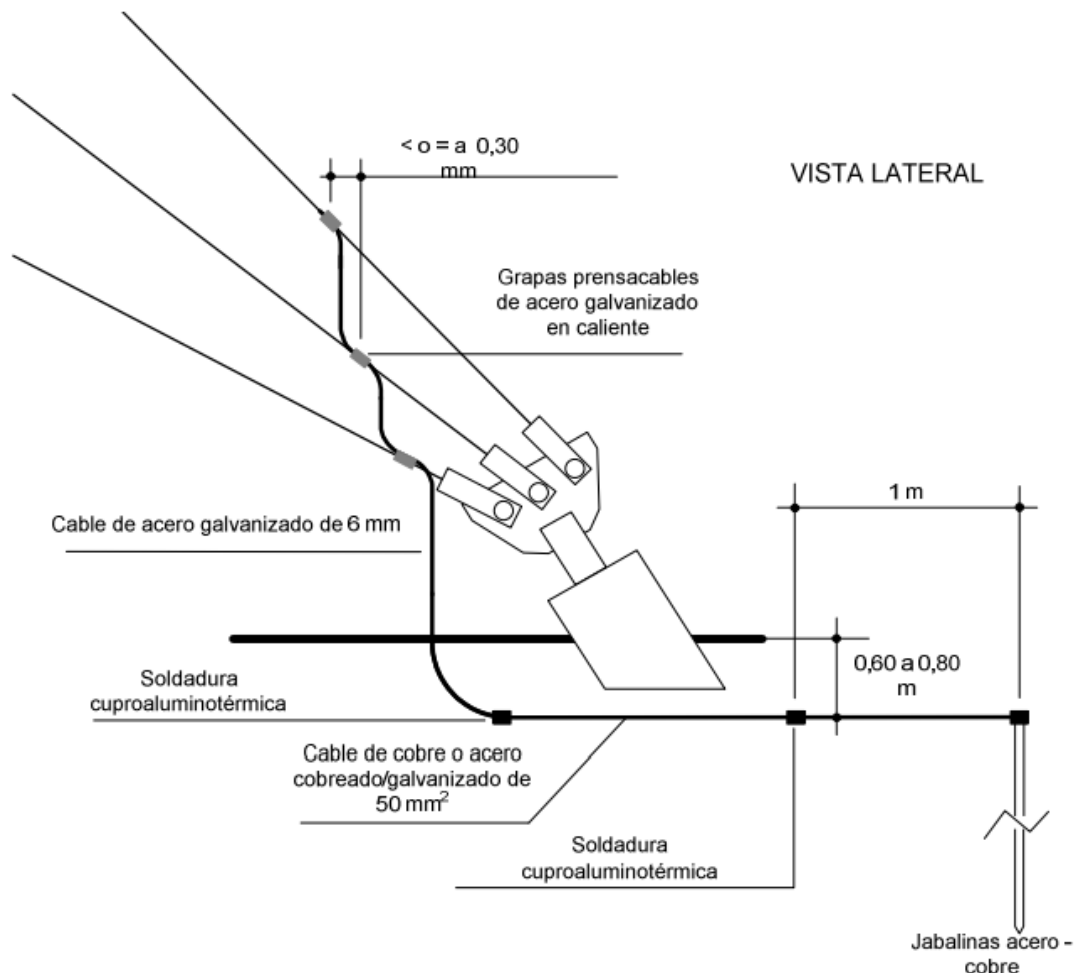


Fig.77: Toma a tierra en torres arriostradas
Fuente: Telecom (2014)

Sobre superficie, las riendas se interconectarán con cable de acero galvanizado de diámetro mínimo 6 mm, unidos entre sí con grapas prensa cables de acero galvanizado. Las curvaturas de estos cables intentarán por todos los medios, descender con el cable verticalmente en sentido de la descarga. De la rienda más baja, partirá una vinculación con cable de acero galvanizado hacia la jabalina, uniéndose con soldadura cuproaluminotérmica por debajo del piso a un cable de cobre o acero cobreado desnudo de 50 mm² el que, enterrado a una profundidad de entre 0,60 a 0,80 m, seguirá un recorrido paralelo al anclote y hacia la parte posterior del mismo (Telecom, 2014).

Verificaciones a tener en cuenta:

Los valores aceptados de resistencia de la toma a tierra de la torre de los anclajes de riendas deberán ser inferiores o iguales a 10 Ω . En todas las vinculaciones de masa metálicas debe existir una resistencia de contacto inferior o igual a 1 m Ω (Santos, 2007)

Todo tipo de antena a instalar en una torre deberá estar indefectiblemente debajo del "cono de protección" del pararrayos. Se selecciono para este proyecto el pararrayos de tipo dipolo corona que deberá colocarse como mínimo a 2 metro por encima del último equipo instalado en la torre. El cable de bajada será acero cobreado desnudo de 50 mm² el cual se vinculará a una jabalina de tipo *copperweld*.

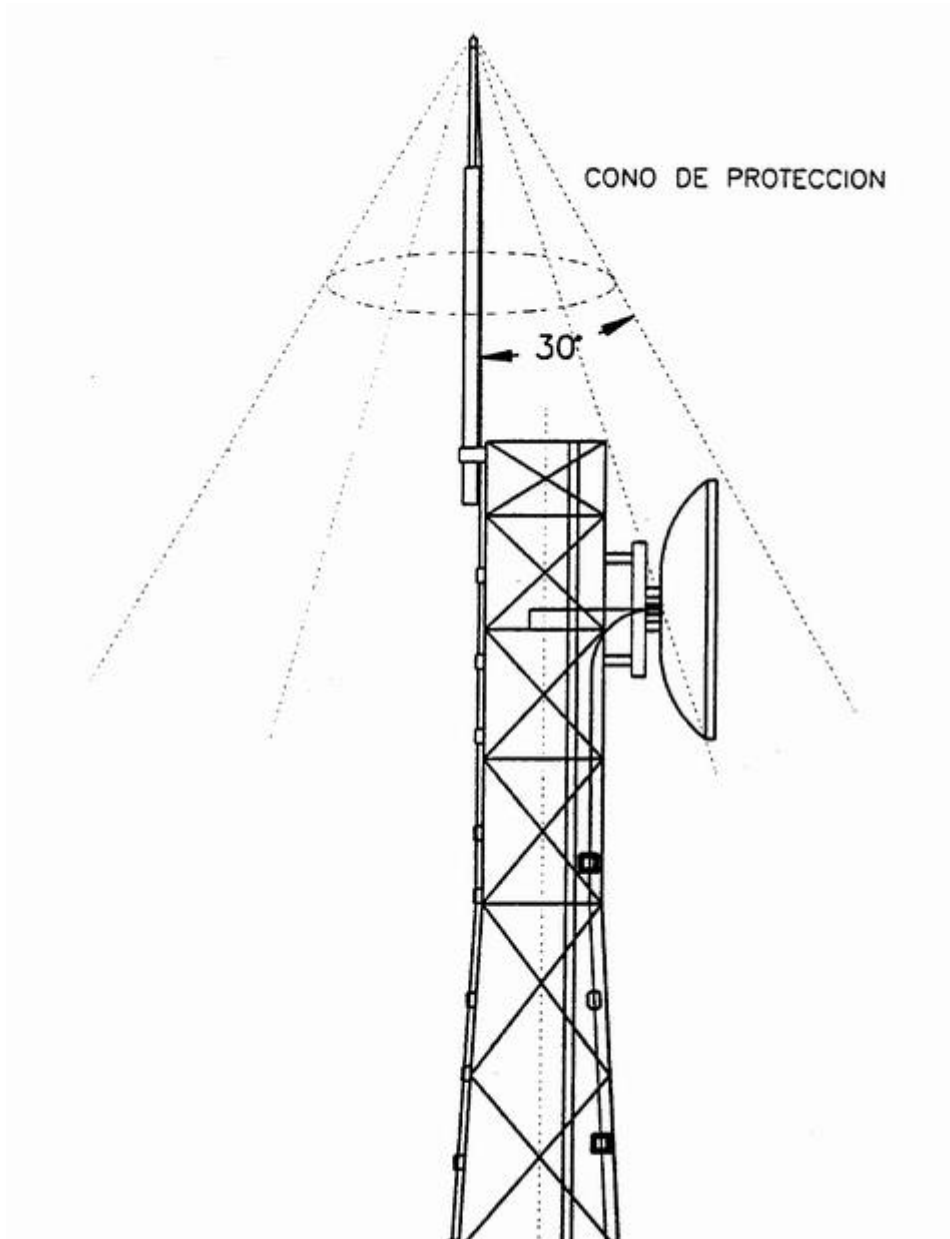


Fig.78: Cono de Protección
Fuente: Santos (2007)

Se utilizarán radiales o patas de ganso en casos en los que por las características del suelo resulte inviable enterrar jabalinas, la canalización donde se enterrarán los flejes debe tener como mínimo 3.7 m de longitud y de 30 cm a 60 cm de profundidad. En suelos pedregoso y arenoso esta no debe ser menor de 7.5 m de longitud y 60 cm de profundidad.

6.6.2 Toma a tierra de cables

Se deberán vincularse eléctricamente estos descensos de antenas a la estructura de la torre o mástil. Esta vinculación será realizada con un kit de puesta a tierra que consiste básicamente

en una abrazadera que permite la unión eléctrica del conductor exterior del descenso de antena con la torre. En el mercado existen muchos productos de esta naturaleza, pero con características ligeramente diferentes. Por ejemplo, el conductor que vincula el cable con la estructura puede ser un fleje o un cable. Este último puede ser adoptado cuando se instale en zona con alto nivel de vandalismo o de vientos intensos ya que el fleje se rompe en esas condiciones.



Fig.79: Kit de PAT
Fuente: Telecom (2014)

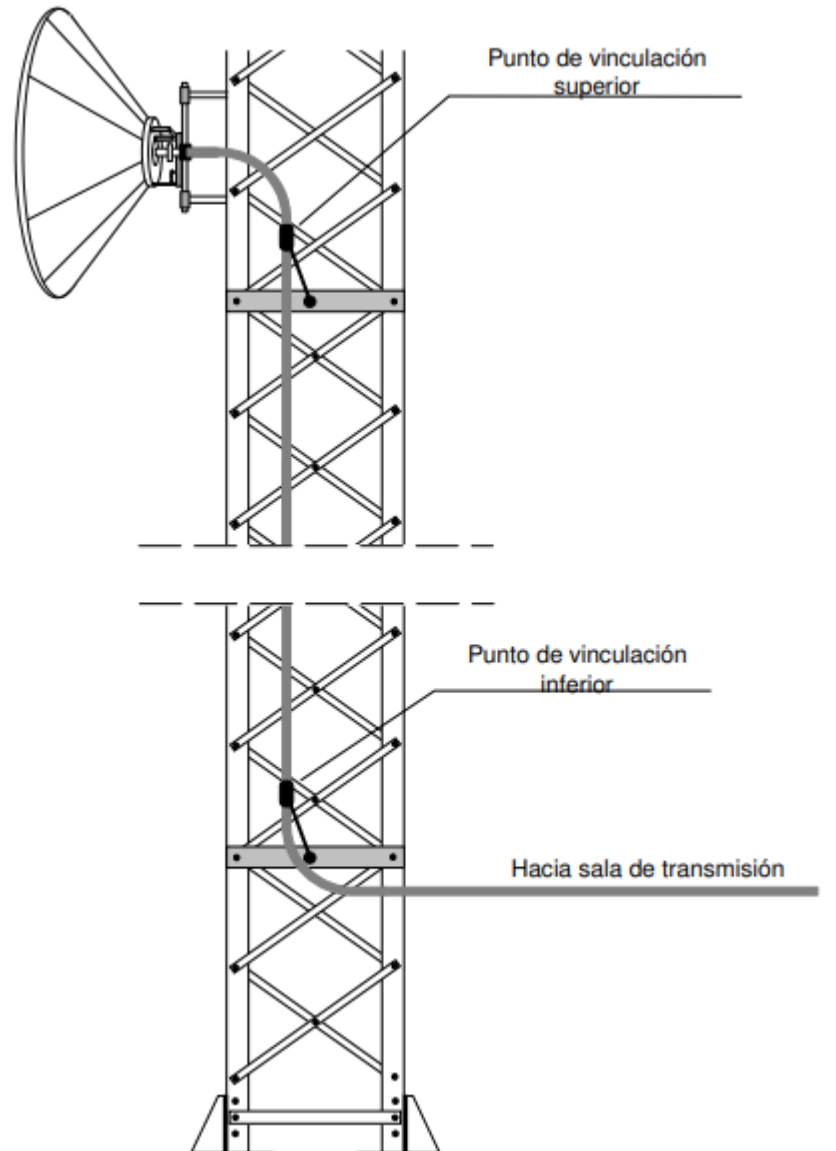


Fig.80: Vinculación de equipos en torre
Fuente: Telecom (2014)

La conexión eléctrica a la torre no será realizada directamente sobre ésta sino montando una barra de cobre o acero cobreado/galvanizado en la estructura, o a la bandeja, y sobre la cual se conectarán los kits de puesta a tierra.

6.6.3 Equipotencialidad del conjunto

Para asegurar la equipotencialidad de la instalación, deberá interconectarse las tres tomas de tierra (toma a tierra del pararrayos, de la torre y la del edificio o shelter). Esta vinculación se realizará en la barra de corte ubicada sobre la pata de la torre o mástil. La vinculación entre la toma a tierra del edificio y el resto se realizará por medio de cable de cobre o acero cobreado/galvanizado de 50 mm².

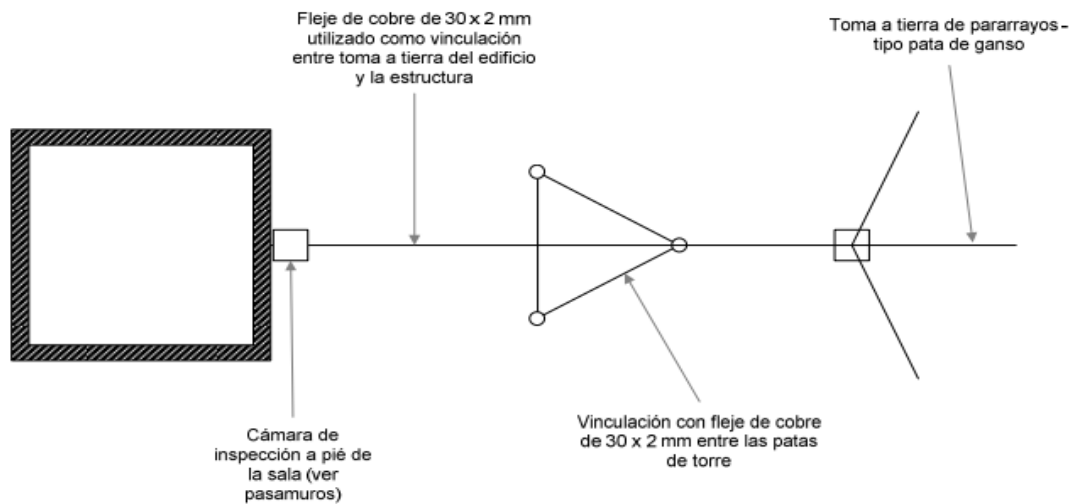


Fig.81: Vinculación de tierras físicas
Fuente: Telecom (2014)

Presupuesto de protección y puesta a tierra

Material	Cantidad	Precio unitario (US\$)	Sub Total (US\$)
Pararrayo tipo Dipolo Corona	15	163	2445
Jabalina tipo Copperweld (1.5m)	30	11	330
Cable de cobre desnudo 50 mm²	750 m	8,56	6420
Conector de varilla a cable	30	5,69	170,7
Aisladores para cable de bajada	135	13,49	1821,15
Barra de unión para interconexión de equipo	15	229	3435
Registro para electrodo	30	54	1620
Cable para vincular las riendas (6mm)	135 m	0,9	121,5
Grapas	195	0,026	175,5
Kit de PAT	15	231,22	3468,3
Barra de interconexión de tierras físicas	15	229	3435
Costo Total			23442,15

Tabla 8: Presupuesto para puesta a tierra
Fuente: Elaboración propia

6.7 Diseño del sistema de alimentación

Dado que los nodos se encuentran en zonas aisladas se emplearán sistemas fotovoltaicos para abastecer de energía a los equipos de Telecomunicaciones. Estos sistemas suelen constar de:

- Paneles fotovoltaicos: generan electricidad a partir de la energía del Sol en corriente continua (CC).
- Baterías: almacenan la electricidad generada por los paneles para poder utilizarla, por ejemplo, en horas en que la energía consumida es superior a la generada por los módulos o bien de noche.
- Reguladores de carga: controla el proceso de carga y descarga de las baterías, evitando sobrecargas, descargas profundas y alargando así la vida útil de las baterías.

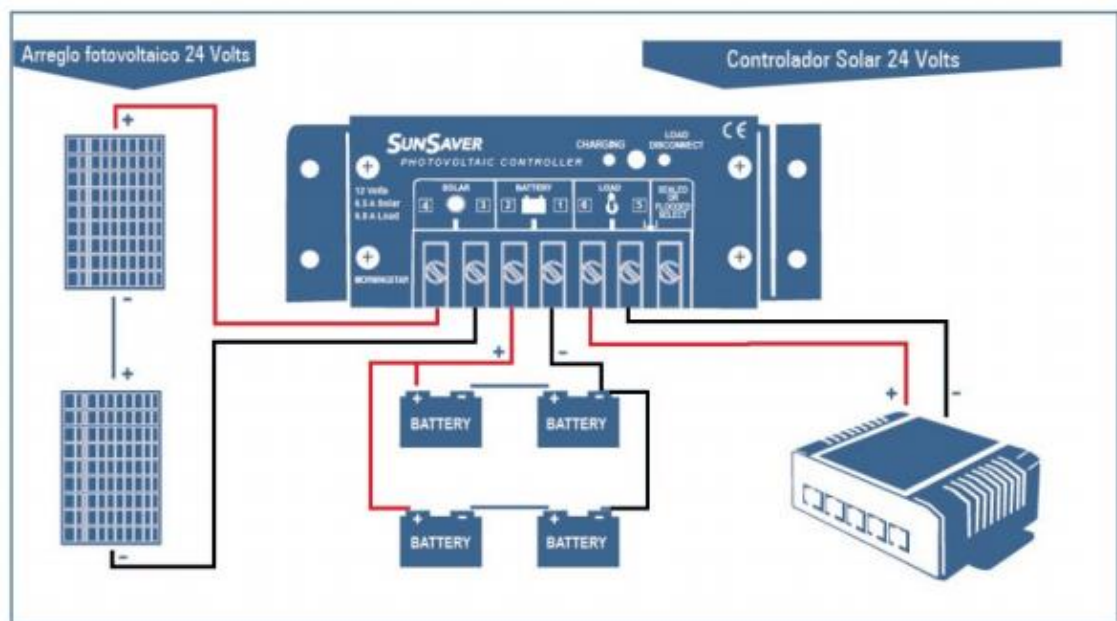


Fig.82: Conexiones Sistema Fotovoltaico

Fuente: <https://ftp3.syscom.mx/usuarios/ftp/2014/12/19/d7bd7/KIT%20PL-4POE-25%20%20DIAGRAMA%20DE%20CONEXION%20Y%20DIAGRAMA%20DE%20APLICACION.pdf>

Para el cálculo de los sistemas fotovoltaicos se considera el mapa de radiación solar anual que se incluye en el Anexo III del que se toma el valor de 2100 kWh/m² a partir del cual se calculan las horas solares pico requeridas para el diseño.

Detalle del consumo de energía en Nodo T1

Descripción	Número	P(W)	Horas / día	Energía (Wh/día)
C5x	1	12,9	24	309,6
Power Box Pro	1	6	24	144
Router CRS112-8P-4S-IN	1	10	24	240
Consumo Total				693,6

Tabla 9: Consumo de energía Nodo T1

Fuente: Elaboración propia

Cálculo del sistema fotovoltaico

$$\text{Hora solar pico} = \frac{5.75 \text{ kWh/m}^2}{1 \text{ kW/m}^2} = 5.75 \text{ h}$$

$$\text{Potencia fotovoltaica} = \frac{\text{Consumo diario}}{\text{Hora solar pico}} = \frac{693.6 \text{ Wh}}{5.75 \text{ h}} = 120.62 \text{ W}$$

$$\text{Numero de modulos} = \frac{\text{Potencia fotovoltaica}}{\text{Potencia del modulo}} = \frac{120.62 \text{ W}}{250 \text{ W}} = 0.48 = 1 \text{ modulo}$$

Cálculo del regulador de carga MPPT

$$\text{Corriente de Carga} = \frac{\text{Potencia total en paneles}}{\text{Voltaje del sistema} * 1.15} = \frac{250 \text{ W}}{24 \text{ V} * 1.15} = 9.05 \text{ A}$$

Cálculo de baterías

Voltaje del sistema 24 V

Consumo diario 693.6 Wh

$$\frac{\text{Ah}}{\text{dia}} = \frac{\text{Consumo diario}}{\text{Voltaje del sistema}} = \frac{693.6 \text{ Wh}}{24 \text{ V}} = 28.9 \text{ Ah}$$

$$\text{Baterias en paralelo} = \frac{\frac{\text{Ah/dia} * \text{Dias de autonomia}}{\text{Profundidad de descarga}}}{\text{Capacidad de la bateria}} = \frac{\frac{28.9 \text{ Ah} * 3}{0.5}}{110 \text{ Ah}} = 1.57 = 2$$

$$\text{Baterias en serie} = \frac{\text{Voltaje del sistema}}{\text{Voltaje de la bateria}} = \frac{24 \text{ V}}{12 \text{ V}} = 2$$

$$\text{Total de Baterías} = \text{Baterías en paralelo} * \text{Baterías en serie} = 2 * 2 = 4$$

Detalle del consumo de energía en los Nodos T2 y S5

Descripción	Número	P(W)	Horas / día	Energía (Wh/día)
C5x	1	12,9	24	309,6
C5c	1	12,9	24	309,6
Power Box Pro	1	6	24	144
Consumo Total				763,2

Tabla 10: Consumo de energía Nodos T2 y S5

Fuente: Elaboración propia

Cálculo del sistema fotovoltaico

$$\text{Potencia fotovoltaica} = \frac{\text{Consumo diario}}{\text{Hora solar mínima}} = \frac{763.2 \text{ Wh}}{5.75 \text{ h}} = 132.73 \text{ W}$$

$$\text{Numero de modulos} = \frac{\text{Potencia fotovoltaica}}{\text{Potencia del modulo}} = \frac{132.73 \text{ W}}{250 \text{ W}} = 0.53 = 1 \text{ modulo}$$

Cálculo del regulador de carga MPPT

$$\text{Corriente de Carga} = \frac{\text{Potencia total en paneles}}{\text{Voltaje del sistema} * 1.15} = \frac{250 \text{ W}}{24 \text{ V} * 1.15} = 9.05 \text{ A}$$

Cálculo de baterías

Voltaje del sistema 24 V

Consumo diario 763,2 Wh

$$\frac{\text{Ah}}{\text{día}} = \frac{\text{Consumo diario}}{\text{Voltaje del sistema}} = \frac{763,2 \text{ Wh}}{24 \text{ V}} = 31.8 \text{ Ah}$$

$$\text{Baterías en paralelo} = \frac{\frac{\text{Ah/día} * \text{Días de autonomía}}{\text{Profundidad de descarga}}}{\text{Capacidad de la batería}} = \frac{\frac{31.8 \text{ Ah} * 3}{0.5}}{110 \text{ Ah}} = 1.73 = 2$$

$$\text{Baterías en serie} = \frac{\text{Voltaje del sistema}}{\text{Voltaje de la batería}} = \frac{24 \text{ V}}{12 \text{ V}} = 2$$

$$\text{Total de Baterías} = \text{Baterías en paralelo} * \text{Baterías en serie} = 2 * 2 = 4$$

Detalle del consumo de energía en Nodo T3

Descripción	Número	P(W)	Horas / día	Energía (Wh/día)
C5x	5	12,9	24	1548
Router RB4011	1	18	24	432
Router CRS112-8P-4S-IN	1	10	24	240
Consumo Total				2220

Tabla 11: Consumo de energía Nodo T3
 Fuente: Elaboración propia

Cálculo del sistema fotovoltaico

$$Potencia\ fotovoltaica = \frac{Consumo\ diario}{Hora\ solar\ minima} = \frac{2220\ Wh}{5.75\ h} = 386.08\ W$$

$$Numero\ de\ modulos = \frac{Potencia\ fotovoltaica}{Potencia\ del\ modulo} = \frac{386.08\ W}{250\ W} = 1.54 = 2\ modulos$$

Cálculo del regulador de carga MPPT

$$Corriente\ de\ Carga = \frac{Potencia\ total\ en\ paneles}{Voltaje\ del\ sistema * 1.15} = \frac{500\ W}{24\ V * 1.15} = 18.11\ A$$

Cálculo de baterías

Voltaje del sistema 24 V

Consumo diario 2220 Wh

$$\frac{Ah}{dia} = \frac{Consumo\ diario}{Voltaje\ del\ sistema} = \frac{2220\ Wh}{24\ V} = 92.5\ Ah$$

$$Baterias\ en\ paralelo = \frac{Ah/dia * Dias\ de\ autonomia}{Profundidad\ de\ descarga} = \frac{92.5\ Ah * 3}{0.5} = \frac{277.5}{110\ Ah} = 2.52 = 3$$

$$Baterias\ en\ serie = \frac{Voltaje\ del\ sistema}{Voltaje\ de\ la\ bateria} = \frac{24\ V}{12\ V} = 2$$

$$Total\ de\ Baterias = Baterias\ en\ paralelo * Baterias\ en\ serie = 3 * 2 = 6$$

Detalle del consumo de energía en Nodo S1

Descripción	Número	P(W)	Horas / día	Energía (Wh/día)
C5x	2	12,9	24	619,2
C5c	1	12,9	24	309,6
Power Box Pro	1	6	24	144
Epmp 2000 (AP)	1	20	24	480
Consumo Total				1552,8

Tabla 12: Consumo de energía Nodo S1

Fuente: Elaboración propia

Cálculo del sistema fotovoltaico

$$Potencia\ fotovoltaica = \frac{Consumo\ diario}{Hora\ solar\ minima} = \frac{1552.8\ Wh}{5.75\ h} = 270.05\ W$$

$$Numero\ de\ modulos = \frac{Potencia\ fotovoltaica}{Potencia\ del\ modulo} = \frac{270.05\ W}{250\ W} = 1.08 = 2\ modulos$$

Cálculo del regulador de carga MPPT

$$Corriente\ de\ Carga = \frac{Potencia\ total\ en\ paneles}{Voltaje\ del\ sistema * 1.15} = \frac{500\ W}{24\ V * 1.15} = 18.11\ A$$

Cálculo de baterías

Voltaje del sistema 24 V

Consumo diario 1552.8 Wh

$$\frac{Ah}{dia} = \frac{Consumo\ diario}{Voltaje\ del\ sistema} = \frac{1552.8\ Wh}{24\ V} = 64.7\ Ah$$

$$Baterias\ en\ paralelo = \frac{\frac{Ah/dia * Dias\ de\ autonomia}{Profundidad\ de\ descarga}}{Capacidad\ de\ la\ bateria} = \frac{\frac{64.7\ Ah * 3}{0.5}}{110\ Ah} = 3.52 = 4$$

$$Baterias\ en\ serie = \frac{Voltaje\ del\ sistema}{Voltaje\ de\ la\ bateria} = \frac{24\ V}{12\ V} = 2$$

$$Total\ de\ Baterias = Baterias\ en\ paralelo * Baterias\ en\ serie = 4 * 2 = 8$$

Detalle del consumo de energía en los Nodos S2 y S3

Descripción	Número	P(W)	Horas / día	Energía (Wh/día)
C5x	1	12,9	24	309,6
C5c	2	12,9	24	619,2
Power Box Pro	1	6	24	144
Epmp 2000 (AP)	1	20	24	480
Consumo Total				1243,2

Tabla 13: Consumo de energía Nodos S2 y S3

Fuente: Elaboración propia

Cálculo del sistema fotovoltaico

$$Potencia\ fotovoltaica = \frac{Consumo\ diario}{Hora\ solar\ minima} = \frac{1243.2\ Wh}{5.75\ h} = 216.20\ W$$

$$Numero\ de\ modulos = \frac{Potencia\ fotovoltaica}{Potencia\ del\ modulo} = \frac{216.20\ W}{250\ W} = 0.86 = 1\ modulo$$

Cálculo del regulador de carga MPPT

$$Corriente\ de\ Carga = \frac{Potencia\ total\ en\ paneles}{Voltaje\ del\ sistema * 1.15} = \frac{250\ W}{24\ V * 1.15} = 9.05\ A$$

Cálculo de baterías

Voltaje del sistema 24 V

Consumo diario 1243.2 Wh

$$\frac{Ah}{dia} = \frac{Consumo\ diario}{Voltaje\ del\ sistema} = \frac{1243.2\ Wh}{24\ V} = 51.8\ Ah$$

$$Baterias\ en\ paralelo = \frac{Ah/dia * Dias\ de\ autonomia}{Capacidad\ de\ la\ bateria} = \frac{51.8\ Ah * 3}{110\ Ah} = 2.82 = 3$$

$$Baterias\ en\ serie = \frac{Voltaje\ del\ sistema}{Voltaje\ de\ la\ bateria} = \frac{24\ V}{12\ V} = 2$$

$$Total\ de\ Baterias = Baterias\ en\ paralelo * Baterias\ en\ serie = 3 * 2 = 6$$

Detalle del consumo de energía en Nodo S4

Descripción	Número	P(W)	Horas / día	Energía (Wh/día)
C5c	2	12,9	24	619,2
Power Box Pro	1	6	24	144
Epmp 2000 (AP)	2	20	24	960
Consumo Total				1723,2

Tabla 14: Consumo de energía Nodos S4
 Fuente: Elaboración propia

Cálculo del sistema fotovoltaico

$$Potencia\ fotovoltaica = \frac{Consumo\ diario}{Hora\ solar\ minima} = \frac{1723,2\ Wh}{5,75\ h} = 299,68\ W$$

$$Numero\ de\ modulos = \frac{Potencia\ fotovoltaica}{Potencia\ del\ modulo} = \frac{299,68\ W}{250\ W} = 1,19 = 2\ modulos$$

Cálculo del regulador de carga MPPT

$$Corriente\ de\ Carga = \frac{Potencia\ total\ en\ paneles}{Voltaje\ del\ sistema * 1,15} = \frac{500\ W}{24\ V * 1,15} = 18,11\ A$$

Cálculo de baterías

Voltaje del sistema 24 V

Consumo diario 1723.2 Wh

$$\frac{Ah}{dia} = \frac{Consumo\ diario}{Voltaje\ del\ sistema} = \frac{1723,2\ Wh}{24\ V} = 71,8\ Ah$$

$$Baterias\ en\ paralelo = \frac{\frac{Ah/dia * Dias\ de\ autonomia}{Profundidad\ de\ descarga}}{Capacidad\ de\ la\ bateria} = \frac{\frac{71,8\ Ah * 3}{0,5}}{110\ Ah} = 3,91 = 4$$

$$Baterias\ en\ serie = \frac{Voltaje\ del\ sistema}{Voltaje\ de\ la\ bateria} = \frac{24\ V}{12\ V} = 2$$

$$Total\ de\ Baterias = Baterias\ en\ paralelo * Baterias\ en\ serie = 4 * 2 = 8$$

Detalle del consumo de energía en Nodos de Acceso (A1, A2, A3, A4, A5)

Descripción	Número	P(W)	Horas / día	Energía (Wh/día)
C5x	1	12,9	24	309,6
Power Box Pro	1	6	24	144
Epmp 2000 (AP)	1	20	24	480
Consumo Total				933,6

Tabla 15: Consumo de energía Nodos de Acceso (A1, A2, A3, A4 y A5)
 Fuente: Elaboración propia

Cálculo del sistema fotovoltaico

$$Potencia\ fotovoltaica = \frac{Consumo\ diario}{Hora\ solar\ minima} = \frac{933.6\ Wh}{5.75\ h} = 162.36\ W$$

$$Numero\ de\ modulos = \frac{Potencia\ fotovoltaica}{Potencia\ del\ modulo} = \frac{162.36\ W}{250\ W} = 0.64 = 1\ modulo$$

Cálculo del regulador de carga MPPT

$$Corriente\ de\ Carga = \frac{Potencia\ total\ en\ paneles}{Voltaje\ del\ sistema * 1.15} = \frac{250\ W}{24\ V * 1.15} = 9.05\ A$$

Cálculo de baterías

Voltaje del sistema 24 V

Consumo diario 933.6 Wh

$$\frac{Ah}{dia} = \frac{Consumo\ diario}{Voltaje\ del\ sistema} = \frac{933.6\ Wh}{24\ V} = 38.9\ Ah$$

$$Baterias\ en\ paralelo = \frac{\frac{Ah/dia * Dias\ de\ autonomia}{Profundidad\ de\ descarga}}{Capacidad\ de\ la\ bateria} = \frac{\frac{38.9\ Ah * 3}{0.5}}{110\ Ah} = 2.12 = 3$$

$$Baterias\ en\ serie = \frac{Voltaje\ del\ sistema}{Voltaje\ de\ la\ bateria} = \frac{24\ V}{12\ V} = 2$$

$$Total\ de\ Baterias = Baterias\ en\ paralelo * Baterias\ en\ serie = 3 * 2 = 6$$

Detalle del consumo de energía en Nodo T2R

Descripción	Número	P(W)	Horas / día	Energía (Wh/día)
C5c	2	12,9	24	619,2
Power Box Pro	1	6	24	144
Consumo Total				763,2

Tabla 16: Consumo de energía Nodo T2R

Fuente: Elaboración propia

Cálculo del sistema fotovoltaico

$$Potencia\ fotovoltaica = \frac{Consumo\ diario}{Hora\ solar\ minima} = \frac{763.2\ Wh}{5.75\ h} = 132.73\ W$$

$$Numero\ de\ modulos = \frac{Potencia\ fotovoltaica}{Potencia\ del\ modulo} = \frac{132.73\ W}{250\ W} = 0.53 = 1\ modulo$$

Cálculo del regulador de carga MPPT

$$Corriente\ de\ Carga = \frac{Potencia\ total\ en\ paneles}{Voltaje\ del\ sistema * 1.15} = \frac{250\ W}{24\ V * 1.15} = 9.05\ A$$

Cálculo de baterías

Voltaje del sistema 24 V

Consumo diario 763.2 Wh

$$\frac{Ah}{dia} = \frac{Consumo\ diario}{Voltaje\ del\ sistema} = \frac{763.2\ Wh}{24\ V} = 31.8\ Ah$$

$$Baterias\ en\ paralelo = \frac{\frac{Ah/dia * Dias\ de\ autonomia}{Profundidad\ de\ descarga}}{Capacidad\ de\ la\ bateria} = \frac{\frac{31.8\ Ah * 3}{0.5}}{110\ Ah} = 1.73 = 2$$

$$Baterias\ en\ serie = \frac{Voltaje\ del\ sistema}{Voltaje\ de\ la\ bateria} = \frac{24\ V}{12\ V} = 2$$

$$Total\ de\ Baterias = Baterias\ en\ paralelo * Baterias\ en\ serie = 2 * 2 = 4$$

Presupuesto sistema de alimentación

Se detalla en la Tabla 16 el costo total de la instalación de los sistemas de alimentación

Material	Cantidad	Precio unitario (US\$)	Sub Total (US\$)
Modulo Fotovoltaico 24V (250 W)	17	234,36	3984,12
Regulador MPPT 20A	11	119	1309
Regulador MPPT 30A	3	136	408
Batería Ciclo Profundo AGM (110 Ah)	86	399	34314
Soporte para un panel	11	100	1100
Soporte para dos paneles en poste	3	394,86	1184,58
Gabinete para 6 baterías (con jaula interna)	11	539	5929
Gabinete para 12 baterías	3	429	1287
Cable con conector MC4 para módulos fotovoltaicos 10 AWG	136	5,9	802,4
Par de conectores dobles en paralelo para interconectar módulos	3	19	57
Cable Subterráneo 3x10	90 m	5,78	520,2
Cable para batería calibre 2 AWG rojo	29	6,19	179,51
Cable para batería calibre 2 AWG negro	100	5,99	599
Cable para controlador calibre 8 AWG rojo	28	14,99	419,72
Cable para controlador calibre 8 AWG negro	28	14,89	416,92
Cinta para aislar	15	1.5	22,5
Total			52532.95

Tabla 17: Presupuesto sistema de alimentación
Fuente: Elaboración propia

6.8 Cronograma de Actividades

Nombre de tarea	Descripción
1. Relevamiento y Análisis	Comprende a las actividades orientadas a recopilar la mayor cantidad de información posible para realizar una primera estimación del alcance del proyecto.
1.1 Relevamiento	
1.1.1 Identificación y localización de cada usuario	Visitar la zona de implementación y realizar un informe detallando la dispersión poblacional.
1.1.2 Geología del lugar	Visitar la zona de implementación y realizar un informe de las condiciones del terreno, identificando los lugares más seguros para la instalación de equipos y si fuera necesario realizar tratamiento del suelo.
1.2 Análisis técnico	
1.2.1 Estudios previos	Comprende: Determinación de la topología lógica y física Determinación del tipo de administración de la red
1.2.2 Dimensionamiento de la red	Comprende: Selección de los enlaces físicos considerando las distancias a cubrir y velocidades requeridas Verificación del dimensionamiento de cada enlace Preevaluación presupuestaria
1.3 Legales	
1.3.1 Contratos de servidumbre	Permiso para la realización de obras civiles en caso de ser necesario.
1.3.2 Contratos con proveedores	Contrato que permite la adquisición de materiales y equipos necesarios para la implementación, estableciendo precios y tiempos de entrega.

1.3.3 Permisos	Autorización municipal y de los organismos correspondientes para la instalación de equipos y uso de frecuencias.
1.4 Validación de Relevamiento y obtención de permisos	El cliente realiza la validación del proceso de Relevación y obtención de permisos.
2. Diseño	Comprende el detalle de cómo deben realizarse las actividades para llevar a cabo el proyecto.
2.1 Diseño del mapa de ubicación de los usuarios que recibirán el servicio	Confección de un informe en PDF y un archivo .xmz que detalle la ubicación de los usuarios
2.2 Diseño del mapa de ubicación de los nodos	Confección de un informe en PDF y un archivo .xmz que detalle los puntos donde se van a instalar los distintos equipos que componen la red.
2.3 Diseño de la Red Wireless	Confección de un informe en PDF que detalle: a- Selección del equipamiento de conectividad necesario b- Determinación de alternativas c- Relación costo/beneficio
2.4 Diseño del montaje de las torres	Confección de un informe en PDF que detalle: a- Selección del tipo de material a utilizar para la torre b- Planos de instalación de los equipos a montar en la torre
2.5 Diseño del sistema de alimentación para los nodos	Confección de un informe en PDF que detalle: Selección del equipamiento necesario (paneles, baterías, regulador, conductores y soportes) Cálculos de la capacidad requerida
2.6 Diseño de sistemas de puesta a tierra	Confección de un informe en PDF que detalle: a- Selección del tipo de protección a instalar para los equipos instalados en la torre (pararrayos, fleje, jabalina)

2.7 Diseño del plan de pruebas de cada aspecto/elemento	Confección de un documento en PDF que detalle el plan para garantizar que el proyecto satisface los requisitos establecidos para su aprobación.
2.8 Entrega de documentación del Diseño	Entrega de la documentación correspondiente al Diseño
2.9 Validación del Diseño	El cliente analiza y aprueba la etapa de diseño
3. Implementación	Comprende todas las actividades necesarias para realizar el despliegue de una red inalámbrica-
3.1 Programación y planificación de tareas	Programación de tareas y asignación de recursos según el plan.
3.2 Compra y Contratación	Ejecutar las compras y trámites necesarios para la obtención de los materiales y equipos en los tiempos establecidos.
3.3 Montaje de las torres	Corresponde al montaje de los tramos y elementos de fijación correspondientes según el plan.
3.4 Instalación del sistema de alimentación y puesta a tierra	Corresponde a la instalación de soportes, paneles solares, cajas, baterías, regulador, conductores, pararrayos, jabalinas y kit de puesta a tierra según lo establecido.
3.5 Instalación y configuración de las Redes	Comprende todo lo referente a la ejecución del proyecto
3.5.1 Instalación y configuración de equipos en nodos principales	Comprende: Instalación de antenas y radios Instalación de los routers o switch con sus correspondientes cajas de protección Instalación del cableado correspondiente Actualizaciones de firmware y configuración requerida.

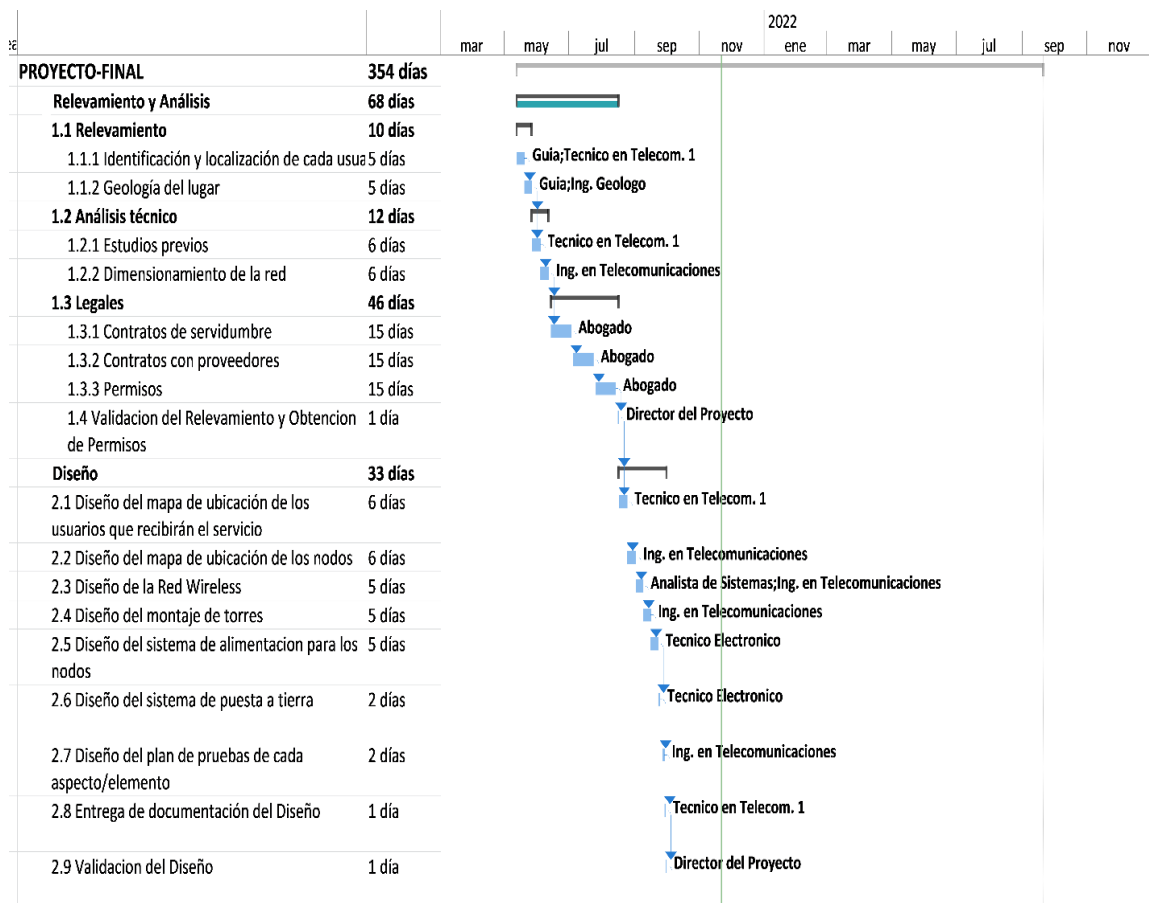
3.5.2 Instalación y configuración de equipos AP y CPE	Corresponde: Instalación de antenas y radios Instalación de los routers o switch Instalación del cableado correspondiente
3.6 Actas de Instalación	El cliente analiza y aprueba las actas de instalación
4. Pruebas	Comprende todas las actividades necesarias para garantizar la calidad del proyecto.
4.1 Realizar pruebas de cada aspecto/elemento	Comprende a la verificación de los siguientes aspectos/elementos: a- Equipos instalados b- Configuraciones realizadas c- Velocidad de transmisión d- Robustez del sistema
4.2 Análisis de conducta	Analizar el comportamiento en un periodo definido y elaborar un informe
4.3 Validar el resultado	Analizar los resultados y determinar si cumplen con los parámetros óptimos de funcionamiento.
4.4 Realizar la acción correctiva (en caso de ser necesario)	Corregir el problema o realizar cambios de configuración o equipos.
4.5 Reevaluar conducta	Analizar el comportamiento en un periodo definido y elaborar un informe.
4.6 Revalidar los resultados	Analizar los resultados y determinar si cumplen con los parámetros óptimos de funcionamiento.
4.7 Entrega de documentación de Pruebas	Entrega de un informe en formato PDF correspondiente a Pruebas
4.8 Validación de Pruebas	El cliente analiza y aprueba la documentación referente a pruebas
5. Cierre	Comprende todas las actividades necesarias para finalizar con éxito el proyecto.

5.1 Brindar capacitación al usuario y/o cliente	Realizar una jornada de capacitación utilizando diapositivas o videos que detallen el correcto uso de la red desplegada.
5.2 Realizar facturación al cliente	Elaborar en detalle un documento de facturación para el cliente.
5.3 Obtener la aprobación del cliente	Realizar una reunión con el cliente incluyendo un recorrido y documentación requerida para la aprobación del proyecto.
5.5 Cierre del proyecto	El cliente analiza y aprueba el proyecto

Tabla 18: Descripción de actividades
Fuente: Elaboración propia

6.8.1 Diagrama de Gantt

La Fig.83 suministra información del cronograma, se enumeran las actividades junto con la fecha y duración de las mismas.



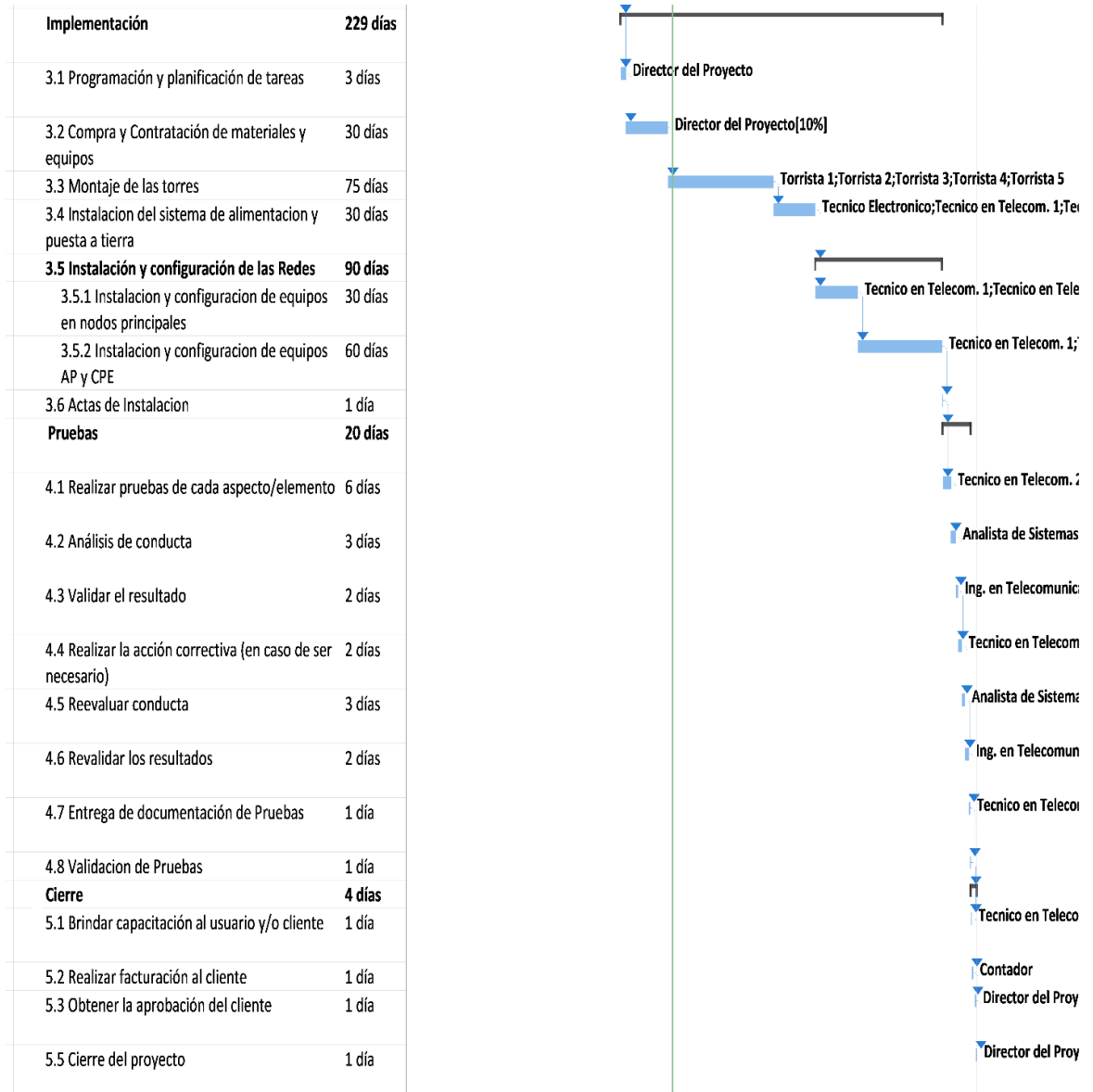


Fig.83: Diagrama de Gantt
Fuente: Elaboración propia

Costo de Recursos Humanos

Actividad	Duración	Tipo de Recurso requerido	Costo (Pesos)
1.Relevamiento y Análisis	68 días	Director del Proyecto [5%]	\$ 526.013,75
1.1 Relevamiento	10 días		\$ 92.037,20
1.1.1 Identificación y localización de cada usuario	5 días	Guía; Técnico en Telecom. 1	\$ 35.813,20
1.1.2 Geología del lugar	5 días	Guía; Ing. Geólogo	\$ 56.224,00
1.2 Análisis técnico	12 días		\$ 69.971,04
1.2.1 Estudios previos	6 días	Técnico en Telecom. 1	\$ 22.739,04
1.2.2 Dimensionamiento de la red	6 días	Ing. en Telecomunicaciones	\$ 47.232,00
1.3 Legales	46 días	Director del Proyecto [5%]	\$ 343.097,69

1.3.1 Contratos de servidumbre	15 días	Abogado	\$ 107.601,60
1.3.2 Contratos con proveedores	15 días	Abogado	\$ 107.601,60
1.3.3 Permisos	15 días	Abogado	\$ 107.601,60
1.4 Validación del Relevamiento y Obtención de Permisos	1 día	Director del Proyecto	\$ 6.149,36
2. Diseño	33 días	Director del Proyecto [10%]	\$ 237.245,12
2.1 Diseño del mapa de ubicación de los usuarios que recibirán el servicio	6 días	Técnico en Telecom. 1	\$ 22.739,04
2.2 Diseño del mapa de ubicación de los nodos	6 días	Ing. en Telecomunicaciones	\$ 47.232,00
2.3 Diseño de la Red Wireless	5 días	Analista de Sistemas; Ing. en Telecomunicaciones	\$ 75.702,00
2.4 Diseño del montaje de torres	5 días	Ing. en Telecomunicaciones	\$ 39.360,00
2.5 Diseño del sistema de alimentación para los nodos	5 días	Técnico Electrónico	\$ 18.949,20
2.6 Diseño del sistema de puesta a tierra	2 días	Técnico Electrónico	\$ 7.579,68
2.7 Diseño del plan de pruebas de cada aspecto/elemento	2 días	Ing. en Telecomunicaciones	\$ 15.744,00
2.8 Entrega de documentación del Diseño	1 día	Técnico en Telecom. 1	\$ 3.789,84
2.9 Validación del Diseño	1 día	Director del Proyecto	\$ 6.149,36
3. Implementación	229 días	Director del Proyecto [25%]	\$ 3.742.955,42
3.1 Programación y planificación de tareas	3 días	Director del Proyecto	\$ 18.448,08
3.2 Compra y Contratación de materiales y equipos	30 días	Director del Proyecto [10%]	\$ 18.448,08
3.3 Montaje de las torres	75 días	Torrista 1; Torrista 2; Torrista 3; Torrista 4; Torrista 5	\$ 1.421.190,00
3.4 Instalación del sistema de alimentación y puesta a tierra	30 días	Técnico Electrónico; Técnico en Telecom. 1; Técnico en Telecom. 2; Torrista 1; Torrista 2	\$ 568.476,00
3.5 Instalación y configuración de las Redes	90 días		\$ 1.364.342,40
3.5.1 Instalación y configuración de equipos en nodos principales	30 días	Técnico en Telecom. 1; Técnico en Telecom. 2; Técnico en Telecom. 3; Técnico en Telecom. 4	\$ 454.780,80
3.5.2 Instalación y configuración de equipos AP y CPE	60 días	Técnico en Telecom. 1; Técnico en Telecom. 2; Técnico en Telecom. 3; Técnico en Telecom. 4	\$ 909.561,60

3.6 Actas de Instalación	1 día		\$ 0,00
4. Pruebas	20 días	Director del Proyecto [5%]	\$ 115.356,32
4.1 Realizar pruebas de cada aspecto/elemento	6 días	Técnico en Telecom. 2	\$ 22.739,04
4.2 Análisis de conducta	3 días	Analista de Sistemas	\$ 21.805,20
4.3 Validar el resultado	2 días	Ing. en Telecomunicaciones	\$ 15.744,00
4.4 Realizar la acción correctiva (en caso de ser necesario)	2 días	Técnico en Telecom. 2	\$ 7.579,68
4.5 Reevaluar conducta	3 días	Analista de Sistemas	\$ 21.805,20
4.6 Revalidar los resultados	2 días	Ing. en Telecomunicaciones	\$ 15.744,00
4.7 Entrega de documentación de Pruebas	1 día	Técnico en Telecom. 2	\$ 3.789,84
4.8 Validación de Pruebas	1 día		\$ 0,00
5. Cierre	4 días		\$ 37.904,56
5.1 Brindar capacitación al usuario y/o cliente	1 día	Técnico en Telecom. 2	\$ 3.789,84
5.2 Realizar facturación al cliente	1 día	Contador	\$ 21.816,00
5.3 Obtener la aprobación del cliente	1 día	Director del Proyecto	\$ 6.149,36
5.5 Cierre del proyecto	1 día	Director del Proyecto	\$ 6.149,36
Costo Total	354		\$ 4.659.475,17

Tabla 19: Costos de Recursos Humanos

Fuente: Elaboración propia

6.9 Costo total del proyecto

Se presenta en la Tabla 20 un presupuesto elaborado en base a los cálculos realizados en secciones anteriores. El costo del equipamiento y materiales se expresó primeramente en dólares y luego se realizó la conversión a pesos argentinos permitiendo mostrar el costo total en esta última unidad.

Descripción	Costo Sub Total (Pesos)
Equipos y Materiales	25.139.880,48
Recursos Humanos	4.659.475,17
Transporte	7.470.000
TOTAL	37.269.355,65

Tabla 20: Presupuesto Total

Fuente: Elaboración propia

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El presente estudio dejó varias conclusiones respecto al uso de redes inalámbricas para interconectar localidades en un entorno rural, las cuales se listan a continuación:

Para lograr un enlace estable es importante considerar la distancia, la potencia de transmisión, ganancia de las antenas, la sensibilidad del receptor, tener en cuenta las pérdidas y seleccionar un canal adecuado para la transmisión.

El tipo de tecnología a emplear requiere además mantener la primera zona de Fresnel despejada en un 60%, lo cual se logra colocando las antenas en puntos libres de obstáculos y alineadas correctamente.

En zonas rurales resulta un desafío seleccionar la ubicación de los nodos debido a que se debe considerar la geografía, características del suelo, la dispersión de la población, condiciones climáticas, realizar la menor cantidad de saltos posibles y lograr gran cobertura.

Se seleccionaron para el diseño equipos homologados de las marcas Cambium Network, Mimosa by Airspan y Mikrotik cuya relación costo beneficio resulta óptima. Cada marca cuenta además con simuladores que nos permiten determinar si los enlaces son factibles desde el punto de vista técnico.

La seguridad es otro aspecto importante que considerar por lo cual se recomienda utilizar WPA2/AES en adelante además de filtros y sistemas de detección de intrusiones que implementen algoritmos de *Machine Learning*.

La selección del tipo de torre y elementos de protección es crucial para el correcto funcionamiento de la red, dado que deben soportar las inclemencias del tiempo, el equipamiento instalado y salvaguardar la vida del personal técnico.

El dimensionamiento correcto del sistema fotovoltaico que alimentara a los equipos es importante debido a que cada nodo se encuentra en sitios que requieren gran autonomía y a los que podría ser difícil llegar en épocas de lluvia.

El acceso a internet es fundamental para el ejercicio de los derechos humanos, les permitirá a los pobladores relacionarse con instituciones del Estado y con el mundo sin barreras geográficas, realizar trámites a distancia, recibir educación en línea, se abre la posibilidad de teletrabajo, comercio electrónico y digitalización de empresas, acceso a noticias y comunicados, citas médicas, monitoreo de pacientes y adultos mayores, comunicaciones en operaciones de búsqueda y rescate, entre otros, disminuyendo a su vez la brecha digital y favoreciendo el desarrollo de la comunidad.

Es necesario considerar este trabajo o algunos otros diseñados para las localidades de la Quebrada del Toro, dado que considerando los beneficios que se podrían obtener y que se puede financiar en su totalidad a través del programa de conectividad Roberto Arias para comunidades rurales y pueblos originarios, resulta factible.

Sin duda, las redes inalámbricas ofrecen soluciones factibles para zonas aisladas, pero deben implementarse realizando el análisis previo correspondiente.

BIBLIOGRAFIA

- Agudelo, M., Chomali, E., Suniaga, J., Núñez, G., Jordán, V., Rojas, F., ... y Callorda, F. (2020). Las oportunidades de la digitalización en América Latina frente al Covid-19.
- Andrade, R. A. Salas, P. H. y paredes, D. S (2008). Tecnología Wi-Fi
- Andreu, J. (2011). Servicios en Red. EDITEX
- Baladron, M. I. (2018). El Plan Nacional de Telecomunicaciones Argentina Conectada (2010-2015) en el marco de las políticas públicas de universalización del acceso a internet. (Tesis de posgrado). Universidad Nacional de Quilmes, Bernal, Argentina. Disponible en RIDAA-UNQ Repositorio Institucional Digital de Acceso Abierto de la Universidad Nacional de Quilmes <http://ridaa.unq.edu.ar/handle/20.500.11807/788>
- Barbarán, F. R. y Arias, H (2013). Migraciones humanas en la quebrada del Toro (departamento Rosario de Lerma, provincia de Salta).
- Bossio, J. F., Velarde, J. L., Saravia, M. y Wolf, P. (2005). Desarrollo rural y tecnologías de información y comunicación.
- Boy de la Cruz, H. (2013). Hacking & Cracking: Redes Inalámbricas. Macro EIRL
- Breed, G. (2003). Bit error rate: Fundamental concepts and measurement issues. High Frequency Electronics
- Buettrich, S. (2007). Introducción a la física de la radio. TRICALCAR. [Archivo PDF] http://www.itrainonline.org/itrainonline/mmtk/wireless_es/files/03_es_radio-fisica_guia_v02.pdf
- Chamorro, L. y Pietrosemoli, E. (2008). Redes Inalámbricas para el desarrollo en América Latina y El Caribe
- CISCO (2003). CCNA Exploration 4.0 Aspectos básicos de Networking
- CISCO (2019). Conceptos sobre tecnología de redes [Archivo PDF]. https://www.cisco.com/c/dam/global/es_mx/solutions/small-business/pdfs/smb-redes-mx.pdf
- Coleman, D. (2020). Wi-Fi 6. Dummies
- Córdova Sandoval, A. J. (2019). Diseño de red de radioenlaces vía microondas para acceso al servicio de Internet a los pueblos más alejados del distrito de Tambogrande.
- Estrada Yambay, Y. D. R., y Camacho Gaibor, C. M. (2009). Estudio y Diseño de una Red WIMAX. Caso Práctico: FASTNET-RIOBAMBA
- Extreme Networks (2019). WPA3: The Next Generation of Wi-Fi Security. [Archivo PDF] <https://relnet.hu/wp-content/uploads/2019/12/WPA3.pdf>
- Gallardo Vásquez, S. (2015). Elementos de Sistemas de Telecomunicaciones. Paraninfo
- García, J. R., y Gregorio, M. S. (2012). Instalaciones de radiocomunicaciones. Madrid, España: Ediciones Paraninfo SA.
- Geier, J. (2010). Designing and Deploying 802.11n Wireless Network (1 ed.). Indianapolis: Cisco Press

- Gómez Rojas, J., Camargo Ariza, L. L., y Beltrán Gómez, Y. T. (2019). Radiocomunicaciones. Teoría y principios. Editorial Unimagdalena.
- Horno, J. J. A. (2008). Redes de área local inalámbricas: Diseño de la wlan de wheelers lane technology college. Universidad de Sevilla.
- IEEE 802.11 (8 de Octubre 2021). En Wikipedia. https://es.wikipedia.org/wiki/IEEE_802.11#IEEE_802.11-1997
- INTELSAT (1998). VSAT Handbook
- Internet (s.f.) [Archivo PDF]. Colegio de Michoacan. <https://www.colmich.edu.mx/computo/files/internet.pdf>
- Jiménez, I. V. (2007). Asignación de canales espacio-tiempo para sistemas de radiocomunicación.
- Lephamer, H. (2010). Microwave Transmission Networks: Planning, Design, and Deployment. McGraw-Hill
- Liberatori, M. C. (2018). Redes de Datos y sus Protocolos. Editorial de la Universidad Nacional de Mar del Plata
- Maldonado, A. B., Bravo, M. F., González, J. R. D., y de Transmisión, M (s.f.). Actualidad del Par Trenzado y sus Mejoras Tecnológicas de Cara al Futuro.
- Meden Peralta, J. A. (s.f.). IEEE 802.11ac. Universidad Católica Nuestra Señora de la Asunción.
- Medios de Transmisión (s.f.) [Archivo PDF]. Universidad de los Andes https://profesores.virtual.uniandes.edu.co/~isis1301/dokuwiki/lib/exe/fetch.php?media=recursos:05_medios_de_transmision.pdf
- Mifsud Talón, E. (2013). Servicios de red. McGraw-Hill
- Monter Martínez, L. F., Ríos Casañas D. I., Curiel Anaya A., y Pozas Cárdenas M. (s.f.). Comunicaciones en Redes. http://cidecame.uaeh.edu.mx/lcc/mapa/PROYECTO/libro27/3102_no_guiados.html
- Muñiz Queiruga, M. (2016). Análisis de aplicación de técnicas MIMO para comunicaciones de emergencia en bosques de hoja caduca (Doctoral dissertation).
- Muñoz Anacona J. (2013). Medios de Transmisión [Archivo PDF]. https://es.slideshare.net/JacquelineMuozAnacona/medios-de-transmision-jacqueline-muoz?from_action=save
- OPS (2020). Covid-19 y el rol de los sistemas de información y las tecnologías en el primer nivel de atención.
- Peñarrieta Bravo, D. F. (2015). Diseño de una red wifi de largo alcance, a través del espectro no licenciado, para permitir el acceso al servicio de internet de banda ancha, en los sectores más poblados de la zona rural del cantón Junín. Ecuador: Pontificia Universidad Católica del Ecuador.
- Pietrosemoli, E. (2008). Enlaces de larga distancia. Fundación EsLaRed
- Pontificia Universidad Católica del Perú. Grupo de Telecomunicaciones Rurales. (2011). Redes inalámbricas para zonas rurales. PUCP

- Quesada, D. (2012). Enlace inalámbrico para la transmisión de datos entre las sucursales de la Unidad Oncológica SOLCA Tungurahua y SOLCA Chimborazo, Ambato: Universidad Técnica de Ambato.
- Ramírez Luz, R. (2015). Sistemas de Radiocomunicaciones. Paraninfo
- Rossi, L., Cervelin, E., y Blanco, J. (2021). Soluciones para WISP con ALGcom [Webinar]. ALGCOM
- Hernández Rueda, K., López, J. A. P., y Salas, L. I. A. (2010). Transmisión en banda ancha para zonas rurales.
- Salazar, J. (s.f.). Redes Inalambricas. TechPedia
- Sallent Roig, O., y Pérez Romero, J. (2014). Fundamentos de diseño y gestión de sistemas de comunicaciones móviles celulares. Universitat Politècnica de Catalunya. Iniciativa Digital Politècnica.
- Salveti, D. (2011). Redes Wireless. USERS
- Santos, D. (2007). Puesta a tierra y recomendaciones en instalaciones de radio
- Soyinka, W. (2010). Wireless Network Administration A Beginner's Guide. New York: The McGraw-Hill Companies.
- Syscom (2021). Guía de soluciones Redes 2022. [Archivo PDF] <https://www.syscom.mx/producto/syscom-gsnw-2022-202295.html>
- Telecom (2014). Red de Tierra
- Tomasi, W. (2003). Sistemas de comunicaciones electrónicas. Pearson educación.
- Ubiquiti Networks (2017). Ubiquiti Broadband Wireless Admin
- UIT (2016). Reglamento de Radiocomunicaciones
- Universidad Politécnica de Valencia - UPV (19 de Octubre de 2017). Sistemas de Telecomunicaciones [Archivo de Vídeo]. Youtube. <https://www.youtube.com/watch?v=WjdzNd5ERng>
- WNDW (2013). Redes Inalámbricas en los Países en Desarrollo
- Yuni, J., y Urbano, C. (2006). Técnicas para investigar. Recursos metodológicos para la preparación de proyectos de investigación.

ANEXOS

Anexo I: Simulación de Enlace Multipunto

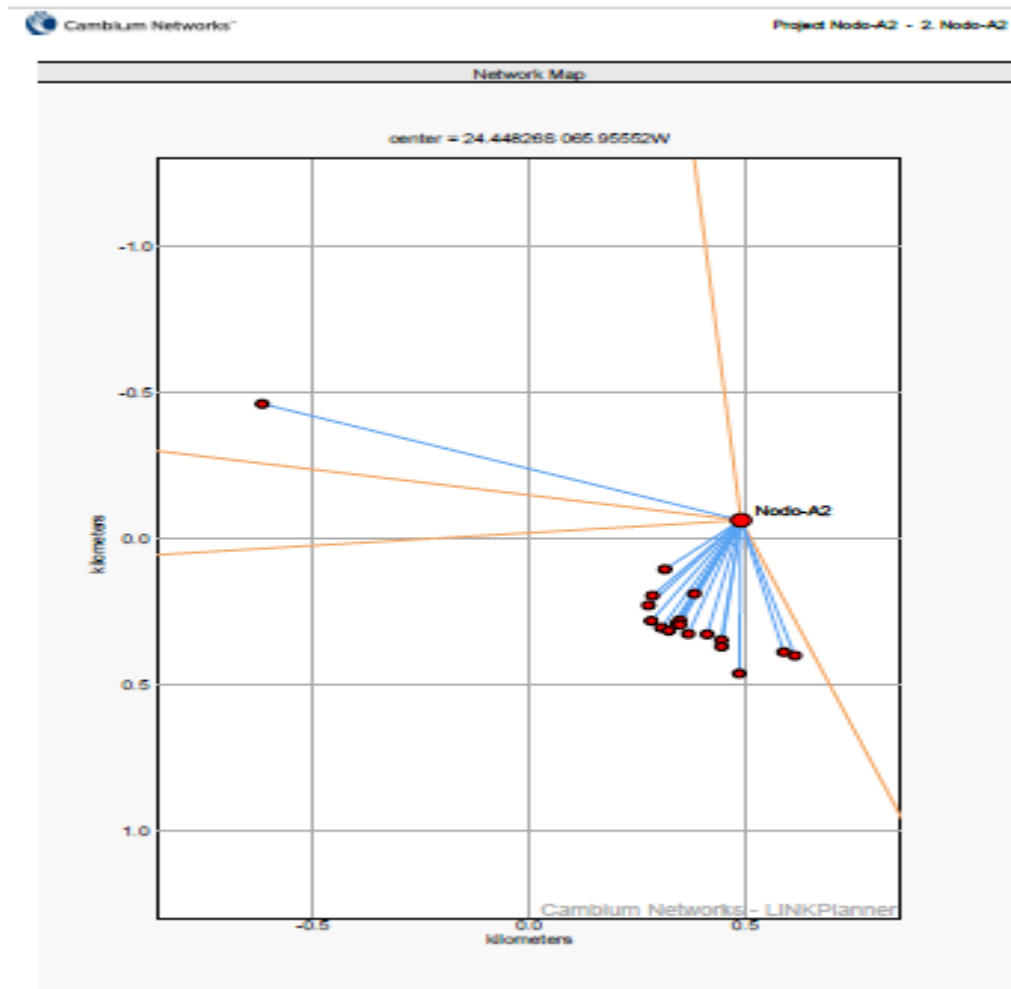
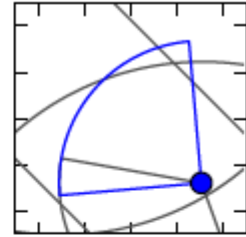


Fig.84: Mapa de enlaces multipunto
Fuente: Elaboración propia basado en Link Planner (2021)



Nodo-A2 : 1



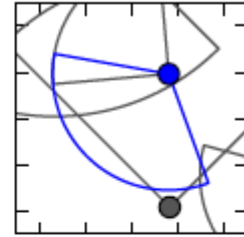
Access Point Summary	
AP Name	Nodo-A2 : 1
Group Name	
Hub Name	Nodo-A2
Equipment Type	ePMP 2000 (running Release 4.6)
Antenna Type	Cambium Networks 90° 4.9 - 6 GHz, 90/120 deg Sector Antenna C050900D021
Modeled Beamwidth	90°
Antenna Azimuth	310.00° from True North 318.08° from Magnetic North
Antenna Tilt	0.0° (uptilt)
Connected Subscribers	1
Max Range	5 kilometers
RF Frequency Band	5.8 GHz (5725 to 5850 MHz)
RF Channel Bandwidth	40 MHz
DL/UL Ratio	75/25
Total Predicted DL Throughput	202.610 Mbps
Total Predicted UL Throughput	55.980 Mbps
Total Predicted Throughput	258.570 Mbps

Subscriber Module Summary					
Name	Latitude	Longitude	Product	Range	Antenna Gain
SRT1	24.44411S	065.96157W	ePMP Force 180	1.172 km	15.5 dBi

Tabla 21: Descripción Punto de Acceso 1
Fuente: Elaboración propia basada en Link Planner (2021)



Nodo-A2 : 3



Access Point Summary	
AP Name	Nodo-A2 : 3
Group Name	
Hub Name	Nodo-A2
Equipment Type	ePMP 2000 (running Release 4.6)
Antenna Type	Cambium Networks 90° 4.9 - 8 GHz, 90/120 deg Sector Antenna C050900D021
Modeled Beamwidth	120°
Antenna Azimuth	220.00° from True North 228.08° from Magnetic North
Antenna Tilt	0.0° (uptilt)
Connected Subscribers	17
Max Range	5 kilometers
RF Frequency Band	5.8 GHz (5725 to 5850 MHz)
RF Channel Bandwidth	40 MHz
DL/UL Ratio	75/25
Total Predicted DL Throughput	156.679 Mbps
Total Predicted UL Throughput	40.043 Mbps
Total Predicted Throughput	196.722 Mbps

Tabla 22: Descripción Punto de Acceso 2
Fuente: Elaboración propia basada en Link Planner (2021)

Subscriber Module Summary					
Name	Latitude	Longitude	Product	Range	Antenna Gain
SRT2	24.44921S	065.95243W	ePMP Force 130	0.242 km	14.9 dBi
SRT3	24.45002S	065.95271W	ePMP Force 180	0.328 km	15.5 dBi
SRT4	24.45032S	065.95280W	ePMP Force 180	0.360 km	15.5 dBi
SRT5	24.44996S	065.95176W	ePMP Force 180	0.272 km	15.5 dBi
SRT6	24.45080S	065.95274W	ePMP Force 180	0.401 km	15.5 dBi
SRT7	24.45101S	065.95251W	ePMP Force 180	0.410 km	15.5 dBi
SRT8	24.45078S	065.95209W	ePMP Force 180	0.369 km	15.5 dBi
SRT9	24.45088S	065.95216W	ePMP Force 180	0.382 km	15.5 dBi
SRT10	24.45092S	065.95209W	ePMP Force 180	0.383 km	15.5 dBi
SRT11	24.45110S	065.95234W	ePMP Force 180	0.412 km	15.5 dBi
SRT12	24.45120S	065.95190W	ePMP Force 180	0.406 km	15.5 dBi
SRT13	24.45121S	065.95147W	ePMP Force 180	0.397 km	15.5 dBi
SRT14	24.45139S	065.95115W	ePMP Force 180	0.411 km	15.5 dBi
SRT15	24.45159S	065.95114W	ePMP Force 180	0.433 km	15.5 dBi
SRT16	24.45176S	065.94973W	ePMP Force 180	0.460 km	15.5 dBi
SRT17	24.45187S	065.94948W	ePMP Force 180	0.478 km	15.5 dBi
SRT18	24.45242S	065.95074W	ePMP Force 180	0.523 km	15.5 dBi

Tabla 23: Clientes en Nodo de Acceso 2
Fuente: Elaboración propia basada en Link Planner (2021)

Mode	Total Mean Predicted Throughput (Mbps)	SMs per DL modulation			SMs per UL modulation		
		Quantity	Percent	Throughput (Mbps)	Quantity	Percent	Throughput (Mbps)
MCS15 (64QAM 0.83)	173.58	15	88.2	138.25	15	88.2	35.33
MCS14 (64QAM 0.75)	11.57	1	5.9	9.22	1	5.9	2.36
MCS13 (64QAM 0.67)	0.00	0	0.0	0.00	0	0.0	0.00
MCS12 (16QAM 0.75)	0.00	0	0.0	0.00	0	0.0	0.00
MCS11 (16QAM 0.5)	0.00	0	0.0	0.00	0	0.0	0.00
MCS10 (QPSK 0.75)	11.57	1	5.9	9.22	1	5.9	2.36
MCS9 (QPSK 0.5)	0.00	0	0.0	0.00	0	0.0	0.00
MCS7 (64QAM 0.83)	0.00	0	0.0	0.00	0	0.0	0.00
MCS6 (64QAM 0.75)	0.00	0	0.0	0.00	0	0.0	0.00
MCS5 (64QAM 0.67)	0.00	0	0.0	0.00	0	0.0	0.00

Tabla 24: Detalles de Modulación
Fuente: Elaboración propia basada en Link Planner (2021)

Summary	
AP Name	Nodo-A2 : 1
Group Name	
Hub Name	Nodo-A2
SM Name	SRT1
Link Type	Line-of-Sight
AP Equipment Type	ePMP 2000 (running Release 4.6)
SM Equipment Type	ePMP Force 180 (running Release 4.6)
Maximum Obstruction	0 meters
Link Distance	1.172 kilometers
Free Space Path Loss	109.07 dB
Excess Path Loss	0.00 dB
RF Frequency Band	5.8 GHz (5725 to 5850 MHz)
RF Channel Bandwidth	40 MHz
DL/UL Ratio	75/25

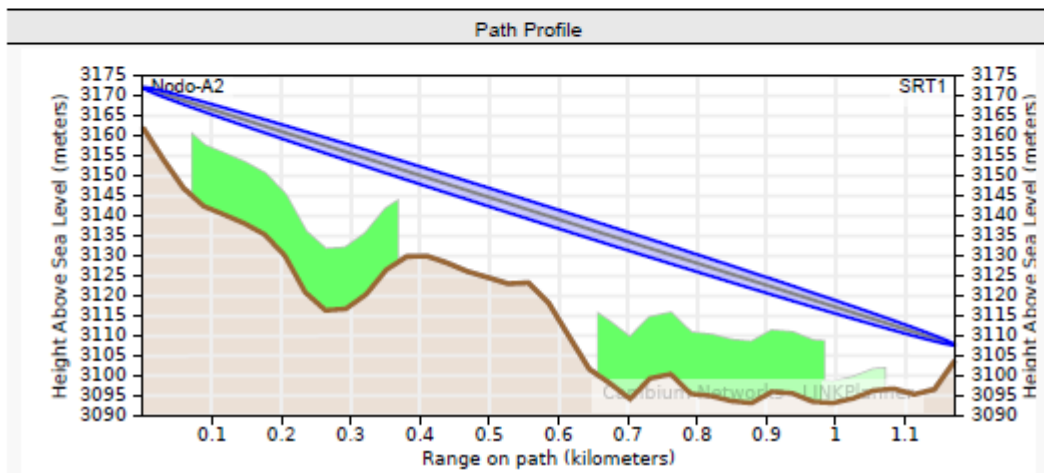


Fig.85: Simulación enlace STR1
Fuente: Elaboracion propia basado en Link Planner (2021)

Summary	
AP Name	Nodo-A2 : 3
Group Name	
Hub Name	Nodo-A2
SM Name	SRT2
Link Type	Line-of-Sight
AP Equipment Type	ePMP 2000 (running Release 4.6)
SM Equipment Type	ePMP Force 180 (running Release 4.6)
Maximum Obstruction	0 meters
Link Distance	0.242 kilometers
Free Space Path Loss	95.39 dB
Excess Path Loss	0.00 dB
RF Frequency Band	5.8 GHz (5725 to 5850 MHz)
RF Channel Bandwidth	40 MHz
DL/UL Ratio	75/25

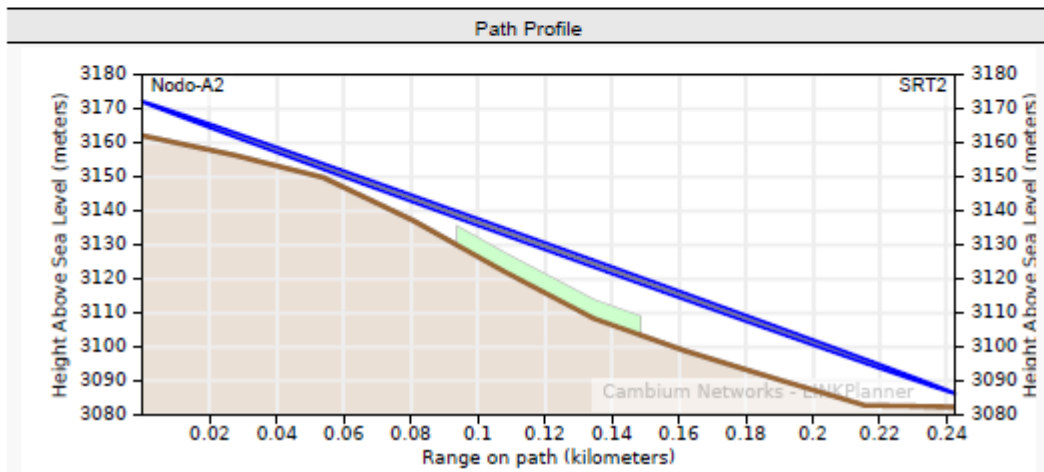


Fig.86: Simulación enlace STR2
Fuente: Elaboracion propia basado en Link Planner (2021)

Summary	
AP Name	Nodo-A2 : 3
Group Name	
Hub Name	Nodo-A2
SM Name	SRT3
Link Type	Line-of-Sight
AP Equipment Type	ePMP 2000 (running Release 4.8)
SM Equipment Type	ePMP Force 180 (running Release 4.8)
Maximum Obstruction	0 meters
Link Distance	0.328 kilometers
Free Space Path Loss	98.01 dB
Excess Path Loss	0.00 dB
RF Frequency Band	5.8 GHz (5725 to 5850 MHz)
RF Channel Bandwidth	40 MHz
DL/UL Ratio	75/25

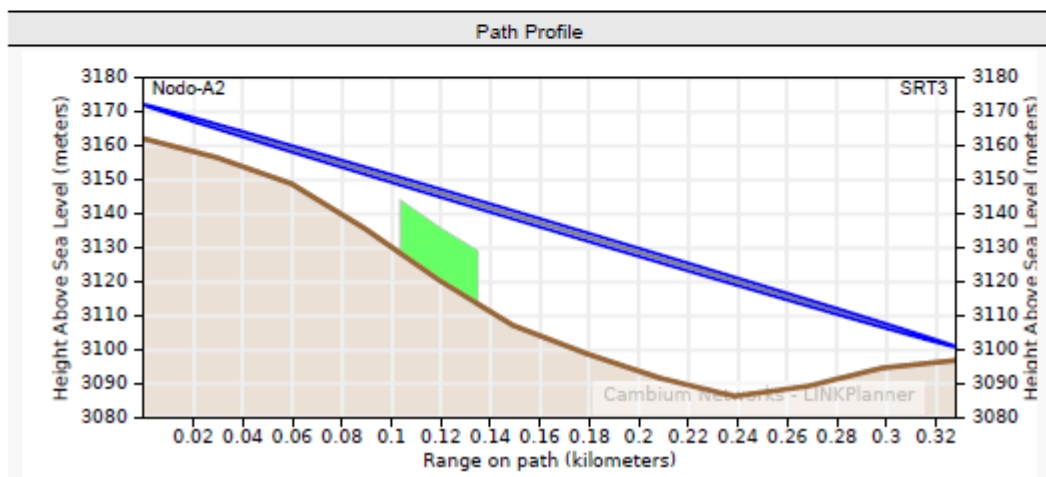


Fig.87: Simulación enlace STR3
Fuente: Elaboración propia basado en Link Planner (2021)

Summary	
AP Name	Nodo-A2 : 3
Group Name	
Hub Name	Nodo-A2
SM Name	SRT4
Link Type	Line-of-Sight
AP Equipment Type	ePMP 2000 (running Release 4.6)
SM Equipment Type	ePMP Force 180 (running Release 4.6)
Maximum Obstruction	0 meters
Link Distance	0.360 kilometers
Free Space Path Loss	98.82 dB
Excess Path Loss	0.00 dB
RF Frequency Band	5.8 GHz (5725 to 5850 MHz)
RF Channel Bandwidth	40 MHz
DL/UL Ratio	75/25

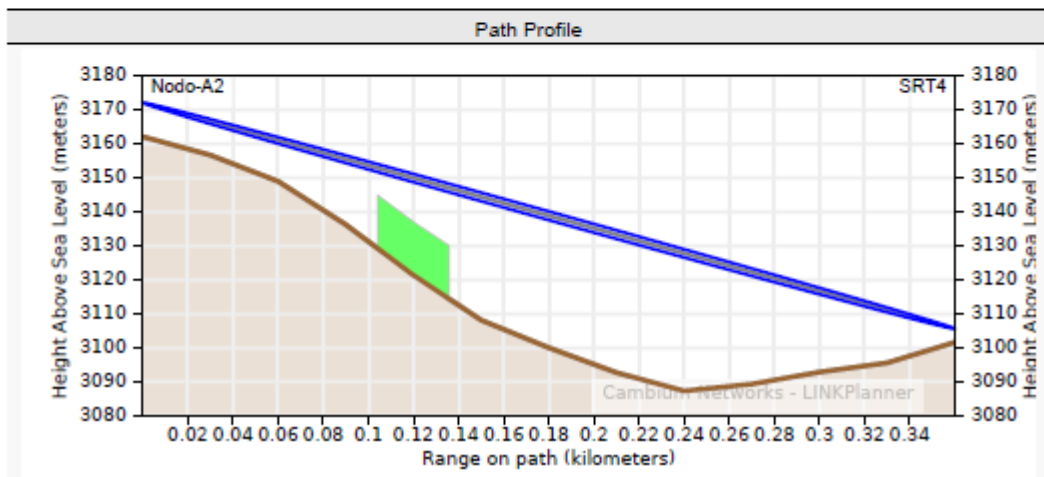


Fig.88: Simulación enlace STR4
Fuente: Elaboración propia basado en Link Planner (2021)

Summary	
AP Name	Nodo-A2 : 3
Group Name	
Hub Name	Nodo-A2
SM Name	SRT5
Link Type	Near Line-of-Sight
AP Equipment Type	ePMP 2000 (running Release 4.6)
SM Equipment Type	ePMP Force 180 (running Release 4.6)
Maximum Obstruction	0 meters
Link Distance	0.272 kilometers
Free Space Path Loss	96.40 dB
Excess Path Loss	2.81 dB
RF Frequency Band	5.8 GHz (5725 to 5850 MHz)
RF Channel Bandwidth	40 MHz
DL/UL Ratio	75/25

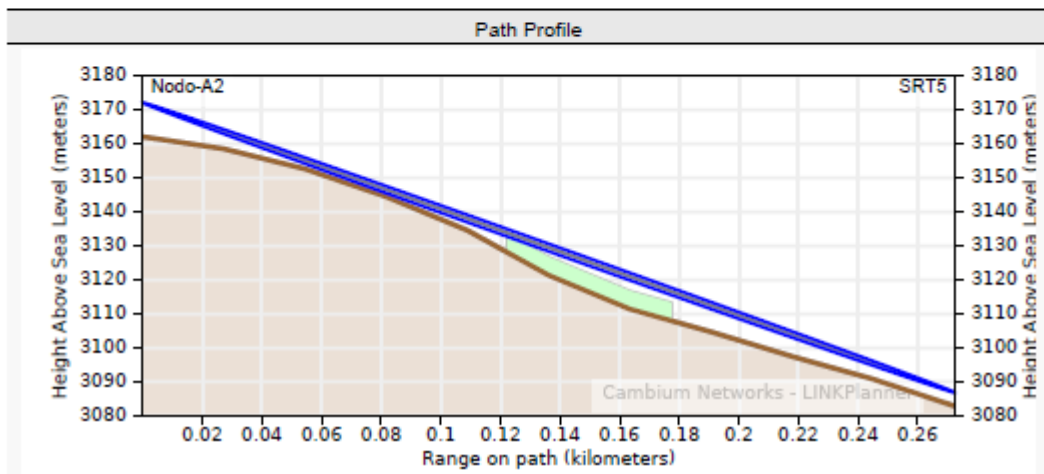


Fig.89: Simulación enlace STR5
Fuente: Elaboración propia basado en Link Planner (2021)

Summary	
AP Name	Nodo-A2 : 3
Group Name	
Hub Name	Nodo-A2
SM Name	SRT6
Link Type	Line-of-Sight
AP Equipment Type	ePMP 2000 (running Release 4.6)
SM Equipment Type	ePMP Force 180 (running Release 4.6)
Maximum Obstruction	0 meters
Link Distance	0.401 kilometers
Free Space Path Loss	99.76 dB
Excess Path Loss	0.00 dB
RF Frequency Band	5.8 GHz (5725 to 5850 MHz)
RF Channel Bandwidth	40 MHz
DL/UL Ratio	75/25

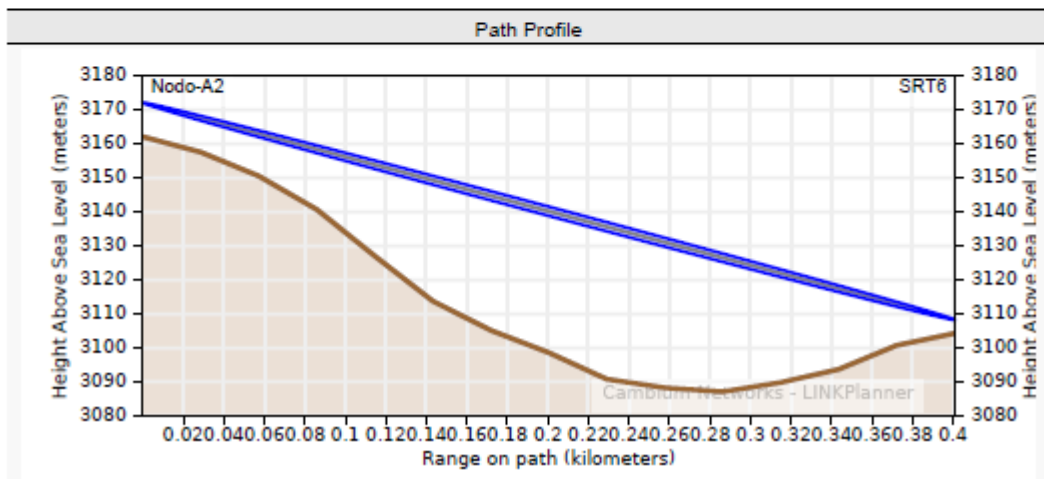


Fig.90: Simulación enlace STR6
Fuente: Elaboración propia basado en Link Planner (2021)

Summary	
AP Name	Nodo-A2 : 3
Group Name	
Hub Name	Nodo-A2
SM Name	SRT7
Link Type	Line-of-Sight
AP Equipment Type	ePMP 2000 (running Release 4.6)
SM Equipment Type	ePMP Force 180 (running Release 4.6)
Maximum Obstruction	0 meters
Link Distance	0.410 kilometers
Free Space Path Loss	99.95 dB
Excess Path Loss	0.00 dB
RF Frequency Band	5.8 GHz (5725 to 5850 MHz)
RF Channel Bandwidth	40 MHz
DL/UL Ratio	75/25

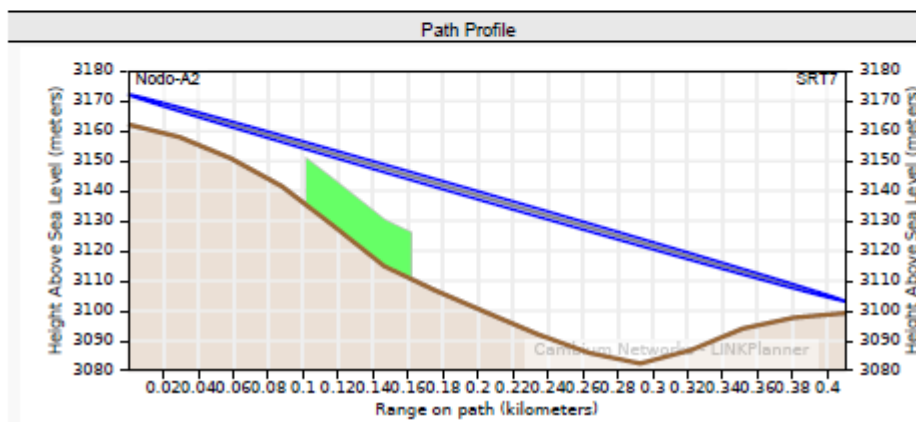


Fig.91: Simulación enlace STR7
Fuente: Elaboración propia basado en Link Planner (2021)

Summary	
AP Name	Nodo-A2 : 3
Group Name	
Hub Name	Nodo-A2
SM Name	SRT8
Link Type	Non Line-of-Sight
AP Equipment Type	ePMP 2000 (running Release 4.6)
SM Equipment Type	ePMP Force 180 (running Release 4.6)
Maximum Obstruction	0 meters
Link Distance	0.369 kilometers
Free Space Path Loss	99.04 dB
Excess Path Loss	18.76 dB
RF Frequency Band	5.8 GHz (5725 to 5850 MHz)
RF Channel Bandwidth	40 MHz
DL/UL Ratio	75/25

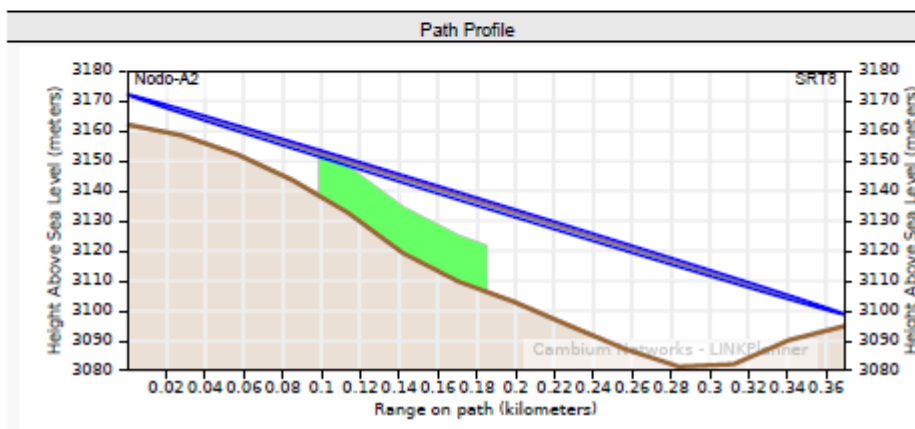


Fig.92: Simulación enlace STR8
Fuente: Elaboración propia basado en Link Planner (2021)

Summary	
AP Name	Nodo-A2 : 3
Group Name	
Hub Name	Nodo-A2
SM Name	SRT9
Link Type	Line-of-Sight
AP Equipment Type	ePMP 2000 (running Release 4.6)
SM Equipment Type	ePMP Force 180 (running Release 4.6)
Maximum Obstruction	0 meters
Link Distance	0.382 kilometers
Free Space Path Loss	99.34 dB
Excess Path Loss	0.00 dB
RF Frequency Band	5.8 GHz (5725 to 5850 MHz)
RF Channel Bandwidth	40 MHz
DL/UL Ratio	75/25

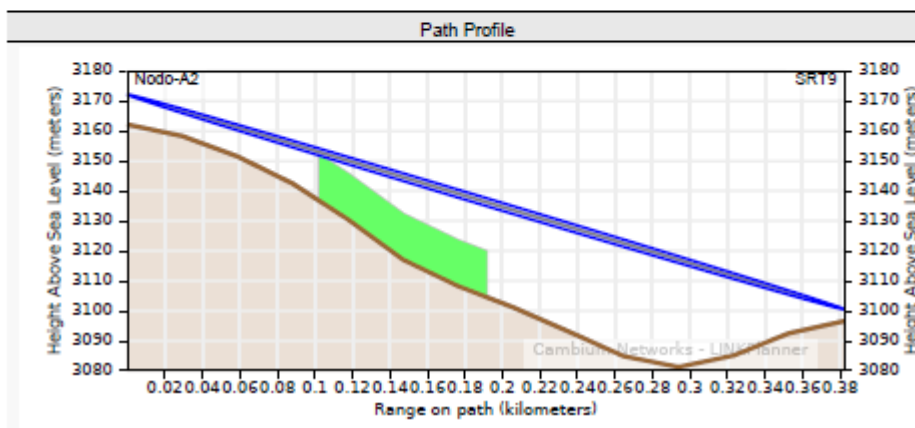


Fig.93: Simulación enlace STR9
Fuente: Elaboración propia basado en Link Planner (2021)

Summary	
AP Name	Nodo-A2 : 3
Group Name	
Hub Name	Nodo-A2
SM Name	SRT10
Link Type	Near Line-of-Sight
AP Equipment Type	ePMP 2000 (running Release 4.6)
SM Equipment Type	ePMP Force 180 (running Release 4.6)
Maximum Obstruction	0 meters
Link Distance	0.383 kilometers
Free Space Path Loss	99.37 dB
Excess Path Loss	2.48 dB
RF Frequency Band	5.8 GHz (5725 to 5850 MHz)
RF Channel Bandwidth	40 MHz
DL/UL Ratio	75/25

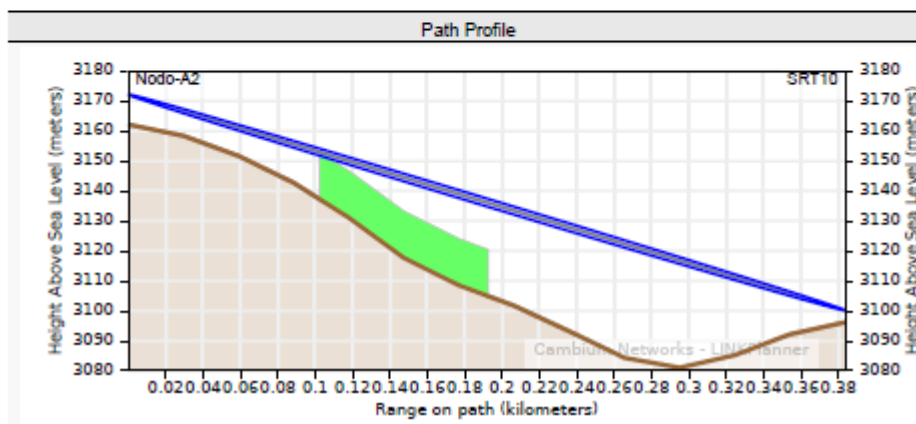


Fig.94: Simulación enlace STR10
Fuente: Elaboración propia basado en Link Planner (2021)

Summary	
AP Name	Nodo-A2 : 3
Group Name	
Hub Name	Nodo-A2
SM Name	SRT11
Link Type	Line-of-Sight
AP Equipment Type	ePMP 2000 (running Release 4.6)
SM Equipment Type	ePMP Force 180 (running Release 4.6)
Maximum Obstruction	0 meters
Link Distance	0.412 kilometers
Free Space Path Loss	99.99 dB
Excess Path Loss	0.00 dB
RF Frequency Band	5.8 GHz (5725 to 5850 MHz)
RF Channel Bandwidth	40 MHz
DL/UL Ratio	75/25

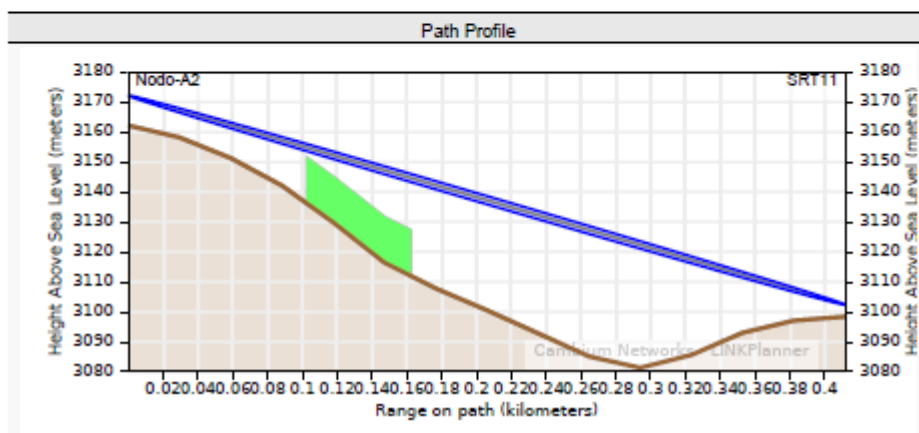


Fig.95: Simulación enlace STR11
Fuente: Elaboración propia basado en Link Planner (2021)

Summary	
AP Name	Nodo-A2 : 3
Group Name	
Hub Name	Nodo-A2
SM Name	SRT12
Link Type	Near Line-of-Sight
AP Equipment Type	ePMP 2000 (running Release 4.6)
SM Equipment Type	ePMP Force 180 (running Release 4.6)
Maximum Obstruction	0 meters
Link Distance	0.406 kilometers
Free Space Path Loss	99.88 dB
Excess Path Loss	9.36 dB
RF Frequency Band	5.8 GHz (5725 to 5850 MHz)
RF Channel Bandwidth	40 MHz
DL/UL Ratio	75/25

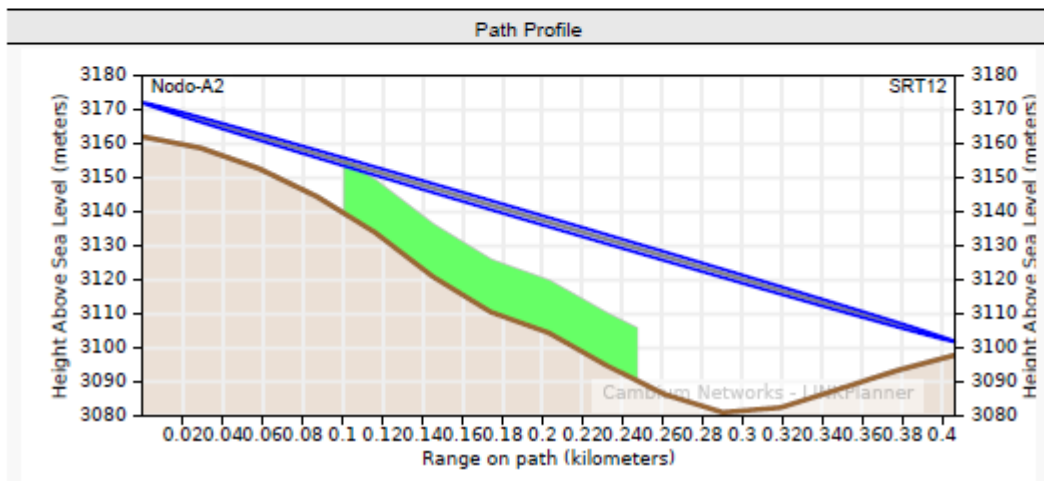


Fig.96: Simulación enlace STR12
Fuente: Elaboración propia basado en Link Planner (2021)

Summary	
AP Name	Nodo-A2 : 3
Group Name	
Hub Name	Nodo-A2
SM Name	SRT13
Link Type	Line-of-Sight
AP Equipment Type	ePMP 2000 (running Release 4.6)
SM Equipment Type	ePMP Force 180 (running Release 4.6)
Maximum Obstruction	0 meters
Link Distance	0.397 kilometers
Free Space Path Loss	99.66 dB
Excess Path Loss	0.00 dB
RF Frequency Band	5.8 GHz (5725 to 5850 MHz)
RF Channel Bandwidth	40 MHz
DL/UL Ratio	75/25

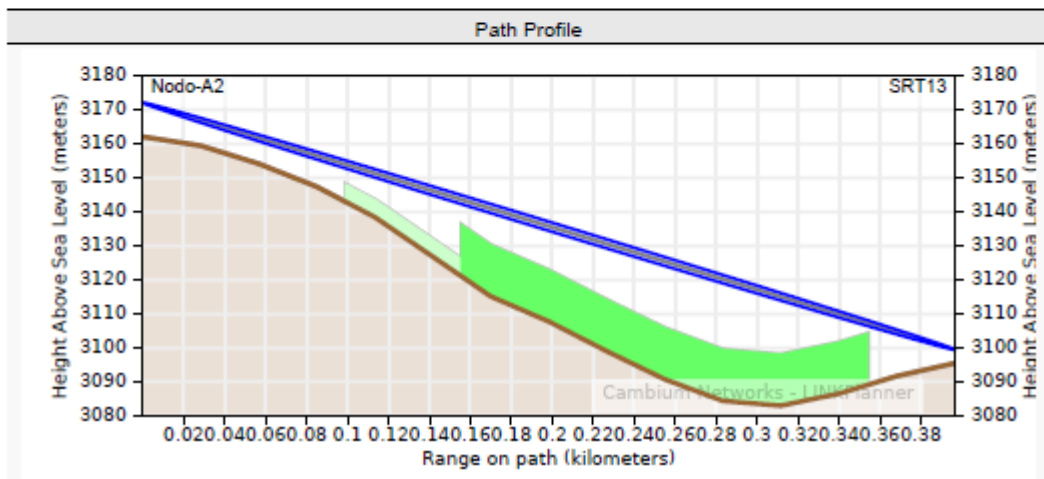


Fig.97: Simulación enlace STR13
Fuente: Elaboración propia basado en Link Planner (2021)

Summary	
AP Name	Nodo-A2 : 3
Group Name	
Hub Name	Nodo-A2
SM Name	SRT14
Link Type	Line-of-Sight
AP Equipment Type	ePMP 2000 (running Release 4.6)
SM Equipment Type	ePMP Force 180 (running Release 4.6)
Maximum Obstruction	0 meters
Link Distance	0.411 kilometers
Free Space Path Loss	99.98 dB
Excess Path Loss	0.00 dB
RF Frequency Band	5.8 GHz (5725 to 5850 MHz)
RF Channel Bandwidth	40 MHz
DL/UL Ratio	75/25

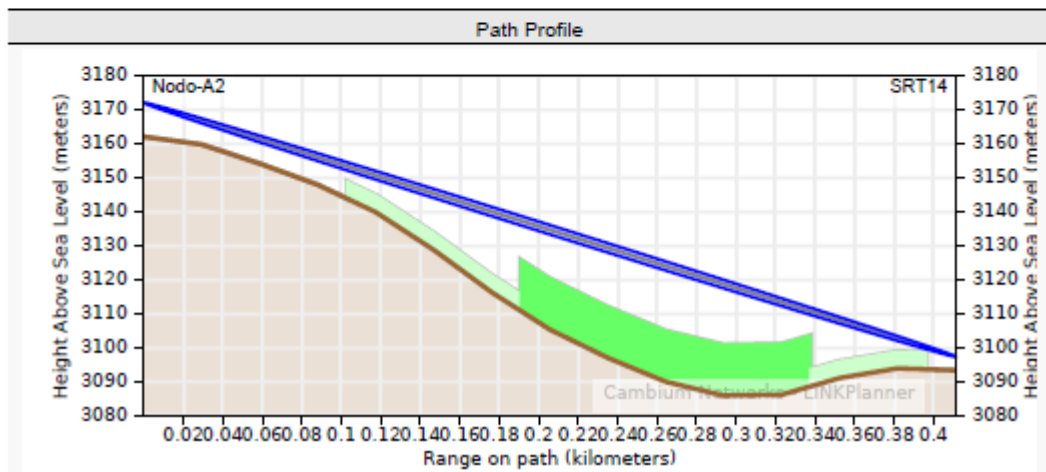


Fig.98: Simulación enlace STR14
Fuente: Elaboración propia basado en Link Planner (2021)

Summary	
AP Name	Nodo-A2 : 3
Group Name	
Hub Name	Nodo-A2
SM Name	SRT15
Link Type	Line-of-Sight
AP Equipment Type	ePMP 2000 (running Release 4.6)
SM Equipment Type	ePMP Force 180 (running Release 4.6)
Maximum Obstruction	0 meters
Link Distance	0.433 kilometers
Free Space Path Loss	100.43 dB
Excess Path Loss	0.00 dB
RF Frequency Band	5.8 GHz (5725 to 5850 MHz)
RF Channel Bandwidth	40 MHz
DL/UL Ratio	75/25

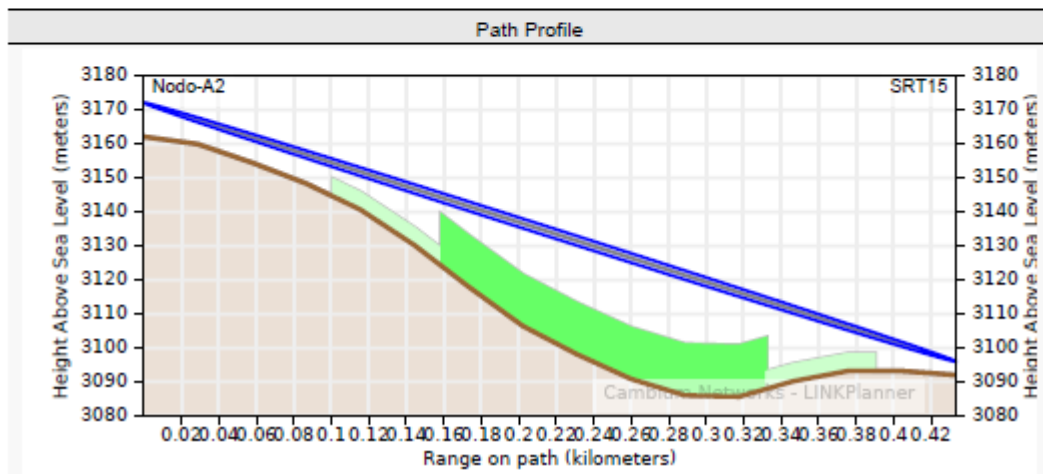


Fig.99: Simulación enlace STR15
Fuente: Elaboración propia basado en Link Planner (2021)

Summary	
AP Name	Nodo-A2 : 3
Group Name	
Hub Name	Nodo-A2
SM Name	SRT16
Link Type	Line-of-Sight
AP Equipment Type	ePMP 2000 (running Release 4.6)
SM Equipment Type	ePMP Force 180 (running Release 4.6)
Maximum Obstruction	0 meters
Link Distance	0.460 kilometers
Free Space Path Loss	100.96 dB
Excess Path Loss	0.00 dB
RF Frequency Band	5.8 GHz (5725 to 5850 MHz)
RF Channel Bandwidth	40 MHz
DL/UL Ratio	75/25

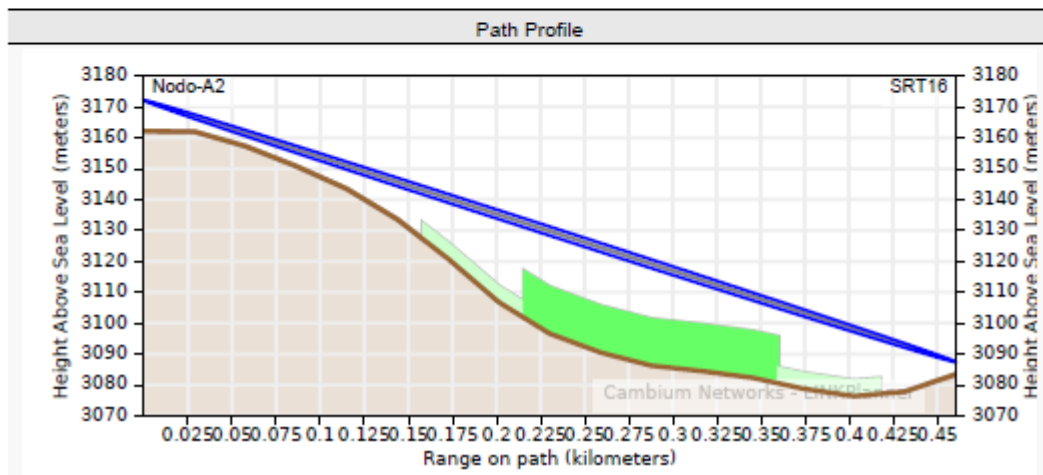


Fig.100: Simulación enlace STR16
Fuente: Elaboración propia basado en Link Planner (2021)

Summary	
AP Name	Nodo-A2 : 3
Group Name	
Hub Name	Nodo-A2
SM Name	SRT17
Link Type	Line-of-Sight
AP Equipment Type	ePMP 2000 (running Release 4.6)
SM Equipment Type	ePMP Force 180 (running Release 4.6)
Maximum Obstruction	0 meters
Link Distance	0.478 kilometers
Free Space Path Loss	101.29 dB
Excess Path Loss	0.00 dB
RF Frequency Band	5.8 GHz (5725 to 5850 MHz)
RF Channel Bandwidth	40 MHz
DL/UL Ratio	75/25

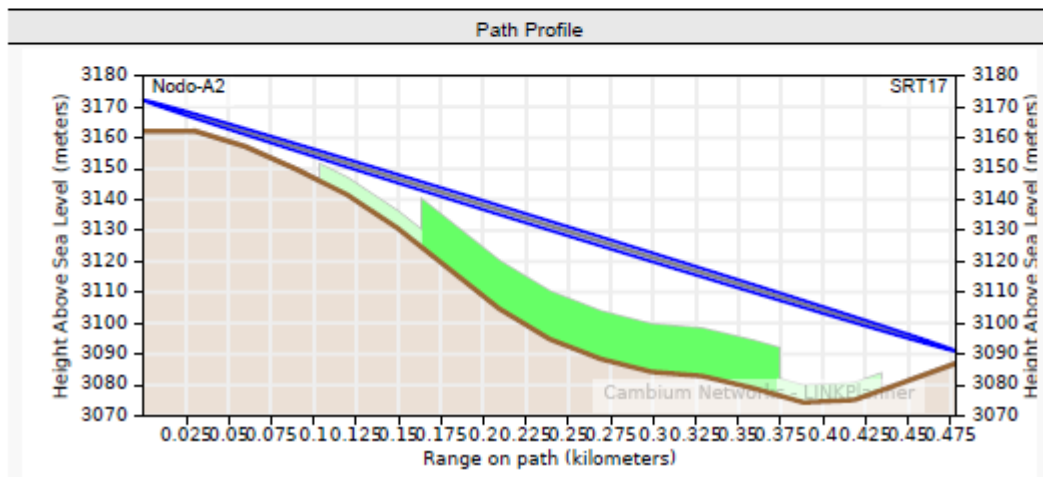


Fig.101: Simulación enlace STR17
Fuente: Elaboración propia basado en Link Planner (2021)

Summary	
AP Name	Nodo-A2 : 3
Group Name	
Hub Name	Nodo-A2
SM Name	SRT18
Link Type	Line-of-Sight
AP Equipment Type	ePMP 2000 (running Release 4.6)
SM Equipment Type	ePMP Force 180 (running Release 4.6)
Maximum Obstruction	0 meters
Link Distance	0.523 kilometers
Free Space Path Loss	102.06 dB
Excess Path Loss	0.00 dB
RF Frequency Band	5.8 GHz (5725 to 5850 MHz)
RF Channel Bandwidth	40 MHz
DL/UL Ratio	75/25

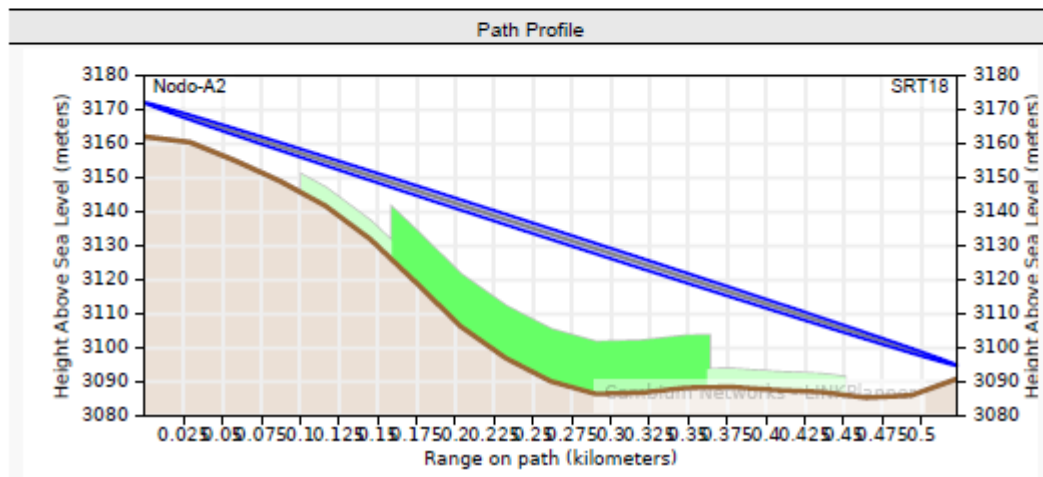


Fig.102: Simulación enlace STR18
Fuente: Elaboración propia basado en Link Planner (2021)

Anexo II: Características de los Routers a utilizar en los nodos



Specifications

Product code	RB4011iGS+RM
CPU	4 core AL21400 1.4 GHz
Size of RAM	1 GB
Storage	NAND 512 MB
10/100/1000 Ethernet ports	10
SFP+ port	1
Switch chip model	RTL8367SB
Power Jack	1
PoE in	Yes (port 1), passive, 18 - 57 V
PoE out	Yes (port 10), passive, up to 57 V
Max power consumption	18 W without PoE out, 33 W with PoE out
Supported input voltage	12 V - 57 V (jack)
Voltage Monitor	Yes
PCB temperature monitor	Yes
Operating temperature	-40 C .. +70 C
Dimensions	228 x 120 x 30 mm
Serial port	RJ45
License level	5
Operating System	RouterOS

Included



24 V 1.5 A power adapter



Rack mount



Screw set

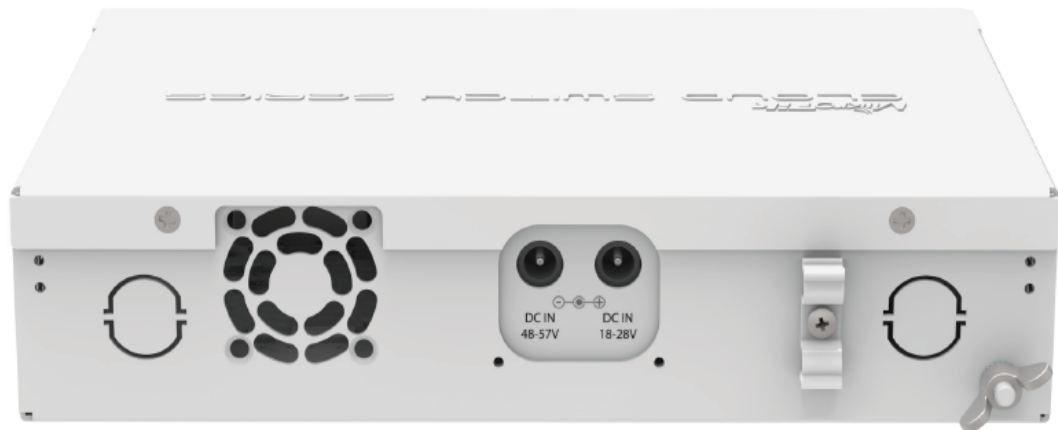
Ethernet test results

RB4011iGS+RM		Max possible throughput					
Mode	Configuration	1518 byte		512 byte		64 byte	
		kpps	Mbps	kpps	Mbps	kpps	Mbps
Bridging	none (fast path)	806.4	9,792.9	2,312.9	9,473.6	5,509.7	2,821.0
Bridging	25 bridge filter rules	806.4	9,792.9	1,037.4	4,249.2	1,153.2	590.4
Routing	none (fast path)	806.4	9,792.9	1,923.3	7,877.8	5,092.3	2,607.3
Routing	25 simple queues	806.4	9,792.9	1,046.6	4,286.9	960.3	491.7
Routing	25 ip filter rules	593.7	7,209.9	625.2	2,560.8	564.6	289.1

Fig.103: Ficha Técnica Router RB4011iGS+RM
Fuente: https://i.mt.lv/cdn/product_files/RB4011-RM_210514.pdf

Specifications

Product code	CRS112-8P-4S-IN
CPU nominal frequency	QCA8511
Size of RAM	128 MB
Storage type	Flash
Storage size	16 MB
10/100/1000 Ethernet ports	8
SFP ports	4
Serial port	RJ45
PoE out	Yes, 802.3af/at
Supported input voltage	18 V - 57 V
Dimensions	200 x 142 x 44 mm
Operating system	RouterOS, level 5 license
Max power consumption	160 W
Max power consumption without attachments	10 W



Power adapter
28 V 3.4 A



Rackmount ears



Power cord



Screws

Fig.104: Ficha Técnica Router CRS112-8P-4S-IN
Fuente: https://i.mt.lv/cdn/product_files/CRS112-8P-4S_200530.pdf

Specification

Product code	RB960PGS-PB
CPU	QCA9557
CPU nominal frequency	800 MHz
Size of RAM	128 MB
Memory type	Flash
Memory size	16 MB
10/100/1000 Ethernet ports	5
SFP	1
Switch chip model	QCA8337
PoE in	Yes
Supported input voltage	12 -57 V
PoE out	Ports 2 - 5, 802.3af/at, max 1 A per port (input < 30 V), max 450 mA per port (input > 30 V), max out total: 2 A
PCB temperature monitor	Yes
Voltage monitor	Yes
Dimensions	125 x 52 x 225 mm
Operating temperature	-40°C .. +70°C tested
License level	4
Operating System	RouterOS
Max power consumption without attachments	6 W
Max power consumption	54 W



Included



24V 2.5 A power adapter

Gigabit PoE injector

Metal ring

DIN mount

IEC cord

Fig.105: Ficha Técnica Router PowerBox Pro
Fuente: https://i.mt.lv/cdn/product_files/PowerBox_210431.pdf

Anexo III: Datos considerados en el diseño del sistema de alimentación

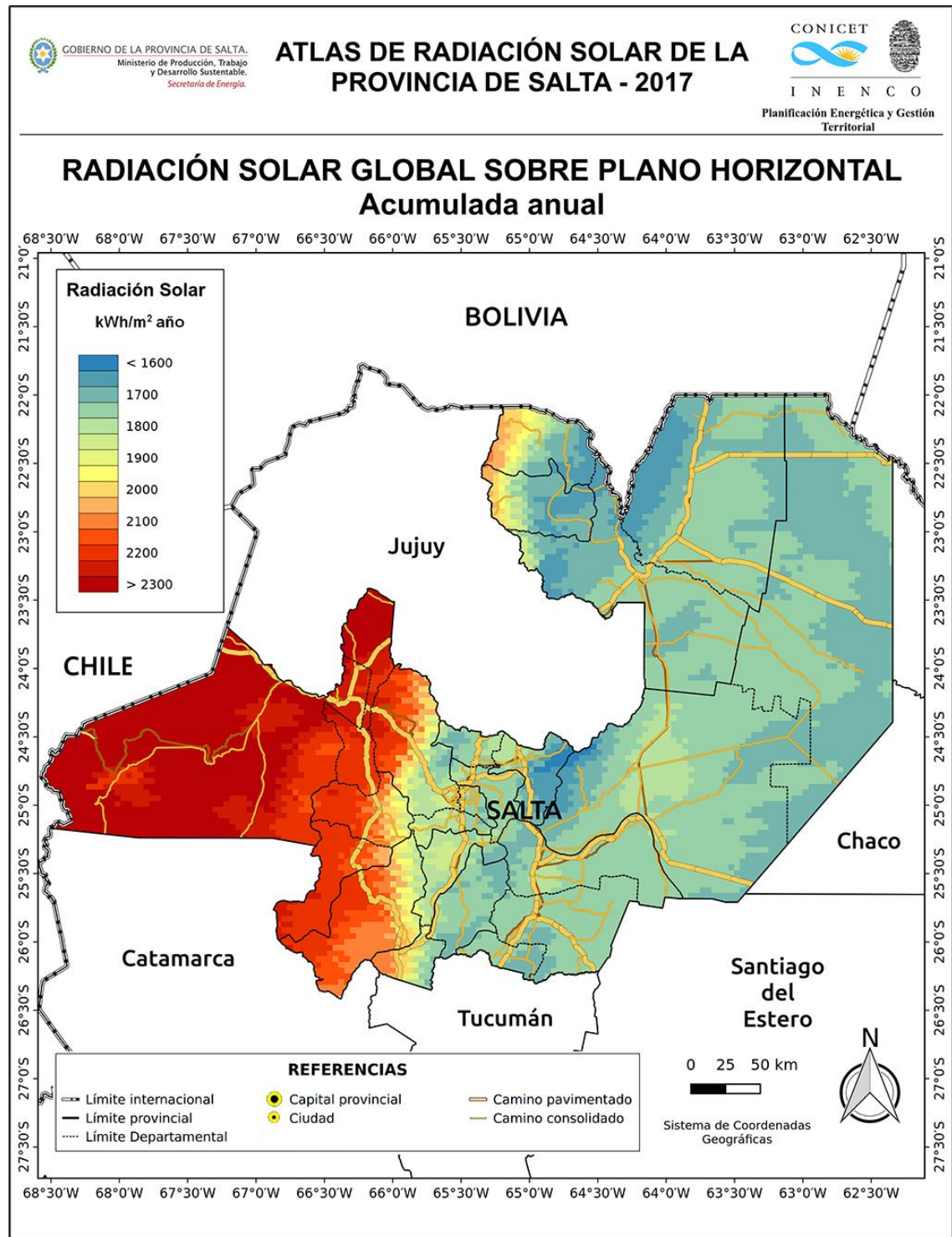


Fig.106: Radiacion solar Provincia de Salta
Fuente: <http://sisol.salta.gov.ar/files/anual.pdf>



Celdas de Alta Calidad

Encapsuladas en EVA transparente y vidrio templado de 4 mm. La parte posterior del módulo está protegida con una hoja de TEDLAR resistente a los rayos UV. Los laminados están montados en un marco de aluminio anodizado, asegurando una máxima protección.



Aplicaciones:

- Estaciones repetidoras de radiocomunicación.
- Electrificación en zonas rurales.
- Para interconexión a la red.
- Sistemas de comunicación en emergencias.
- Alimentación de equipos médicos en zonas rurales.
- Sistemas de bombeo de agua.
- Luces de obstrucción para tráfico aéreo.
- Sistemas de protección catódica.
- Señalización de vías ferroviarias.

Garantía

4 años de garantía contra defectos de fabricación y 40 años de vida útil.

Especificaciones Físicas

Coefficiente de temperatura I_{sc} (%)	0.05%/ °C
Coefficiente de temperatura V_{oc} (%)	-0.37 mv/ °C
Coefficiente de temperatura P_m (%)	-0.45 / °C
Coefficiente de temperatura I_m (%)	+0.1/ °C
Coefficiente de temperatura V_m (%)	-0.38/ °C
Rango de temperatura	-40 a 80 °C

Especificaciones Técnicas

Potencia máxima	250 Watts
Voltaje	37.50 V
Amperaje	8.20 A
Voltaje a circuito abierto (V_{oc})	30.5 V
Corriente a corto circuito (I_{sc})	8.71 A
Dimensiones	1640 x 980 x 40 mm
Peso	18 kg
Temperatura ambiente	-40 a 80 °C
Máximo voltaje del sistema	1000 V

Nota: Las especificaciones eléctricas se indican bajo una irradiancia de 1000 W/ m² y temperatura de 25 °C.

Fig.107: Ficha técnica modulo solar

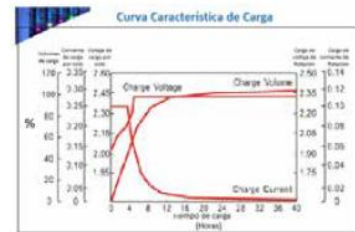
Fuente: <https://www.syscom.mx/producto/PRO25024-EPCOM-POWERLINE-167896.html>

12. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS						
Modelo	CP-10-12/24	CP-20-12/24	CP-30-12/24	CP-40-12/24	CP-50-12/24	CP-60-12/24
Funcionamiento	12V / 24V; reconocimiento automático					
Consumo en standby	< 20mA (12V) / < 30mA (24V)					
Datos de entrada CC						
Corriente del módulo	10A	20A	30A	40A	50A	60A
Máx. potencia de entrada	150W(12V) 300W (24V)	300W(12V) 600W (24V)	450W(12V) 900W (24V)	600W(12V) 1200W (24V)	750W(12V) 1500W (24V)	900W(12V) 1800W (24V)
Voltaje máx. de entrada Voc	< 30V / 48V					
Voltaje mín. de entrada Vmp	> 16V / 32V					
Datos de salida CC						
Corriente de salida	10A	20A	30A	40A	50A	60A
Tipo de batería	Ácido / Gel / AGM / Lítio					
Tensión de absorción	13.8V / 27.6V					
Tensión de flote	14.4V (14~15V seteable) / 28.8V (28~30V seteable)					
Tensión de reconexión (LRV)	11V (10.4~11.4V seteable) / 22V (20.8~22.8V seteable)					
Protección contra descarga profunda (LVD)	12.8V (12.2~13.2V seteable) / 25.6V (24.4~26.4V seteable)					
Puerto USB	90% máx.					
Eficiencia	Positivo común					
Tipo de conexión	Positivo común					
Condiciones de uso						
Temperatura ambiente	-40°C ... +50°C					
Equipamiento y diseño						
Sección mínima	2 mm ²	4 mm ²	6 mm ²	8 mm ²	10 mm ²	12 mm ²
Sección máxima	16 mm ²					
Grado de protección						
Dimensiones en mm	138 x 81 x 36				176 x 121 x 66	
Peso (Kg)	0.15		0.7		0.82	
Pantalla LCD						
Datos en pantalla	Voltaje de la batería, corriente de carga PV, corriente de descarga de carga, carga PV total Ah, descarga PV total Ah, ajuste de carga de voltaje constante, ajuste de desconexión de bajo voltaje, ajuste de reconexión de bajo voltaje					
Botones	MENÚ, CARGA (ON/OFF), ARRIBA, ABAJO					

Fig.108: Ficha técnica reguladores
Fuente: https://enertik.ar/manuales/cp/manual_cp.pdf

Batería PL-110D-12

Ciclo Profundo para Aplicaciones Fotovoltaicas



Especificaciones	
Voltaje Nominal	12 V (6 celdas en serie)
Capacidad	110 Ah (C10 1.80 V/ celda)
Dimensiones (mm)	Largo 328 ± 3 mm Ancho 172 ± 2 mm Alto 217 ± 3 mm Altura total 220 ± 3 mm
Capacidad Nominal a 25°C (Ah)	20 horas (5.995 A a 10.8 V) 119.9 Ah 10 horas (11.22 A a 10.8 V) 112.2 Ah 5 horas (19.25 A a 10.8 V) 96.2 Ah 1 hora (69.63 A a 10.5 V) 69.6 Ah
Peso aproximado	33.5 kg
Tipo de terminal	T12
Máxima corriente descarga	880 A a 25°C (5s)
Resistencia interna	4.5 mΩ a 25°C (batería totalmente cargada)
DOD 80%	≥ 450 ciclos a 25°C
Temperatura ambiente	Carga: -15~ 50°C Descarga: -20~ 60°C Almacenamiento: -20~ 50°C
Material del contenedor	A.B.S. UL94-HB , UL94-V0, opcional
Auto descarga	Las baterías VRLA pueden ser almacenadas por más de 6 meses a una temperatura ambiente de 25°C. El promedio de descarga es menos del 3% por mes. Por favor cargue las baterías antes de usarlas.

Voltaje total/ Tiempo	Características de descarga de corriente constante (A) (25°C)										
	5 min	10min	15min	30min	60min	2H	3H	5H	8H	10H	20H
1.60V/cell	374.0	249.2	199.5	123.8	71.50	42.74	30.36	20.33	13.66	11.66	6.380
1.70V/cell	335.5	229.4	189.8	120.5	70.51	42.19	29.81	19.84	13.44	11.50	6.215
1.75V/cell	302.5	211.8	181.0	117.2	69.63	41.64	29.48	19.55	13.31	11.39	6.105
1.80V/cell	269.5	193.1	181.0	112.6	68.20	41.06	29.15	19.25	13.11	11.22	5.995

Voltaje total/ Tiempo	Características de descarga de potencia constante (W) (25°C)										
	5min	10min	15min	30min	60min	2H	3H	5H	8H	10H	20H
1.60V/Celda	645.2	444.3	362.5	231.0	137.0	83.33	60.21	40.42	27.19	23.22	12.75
1.70V/Celda	592.7	416.7	349.5	226.8	137.0	82.61	59.27	39.56	26.82	22.95	12.43
1.75V/Celda	542.0	390.0	336.3	222.6	134.6	81.88	58.76	39.06	26.62	22.77	12.21
1.80V/Celda	489.6	360.4	318.7	215.9	132.4	81.44	58.25	38.50	26.22	22.44	11.99

Fig.109: Ficha técnica batería

Fuente: <https://www.syscom.mx/producto/PL-110-D12-EPCOM-POWERLINE-71055.html>

Anexo IV: Casos de éxito Mimosa y ALGcom

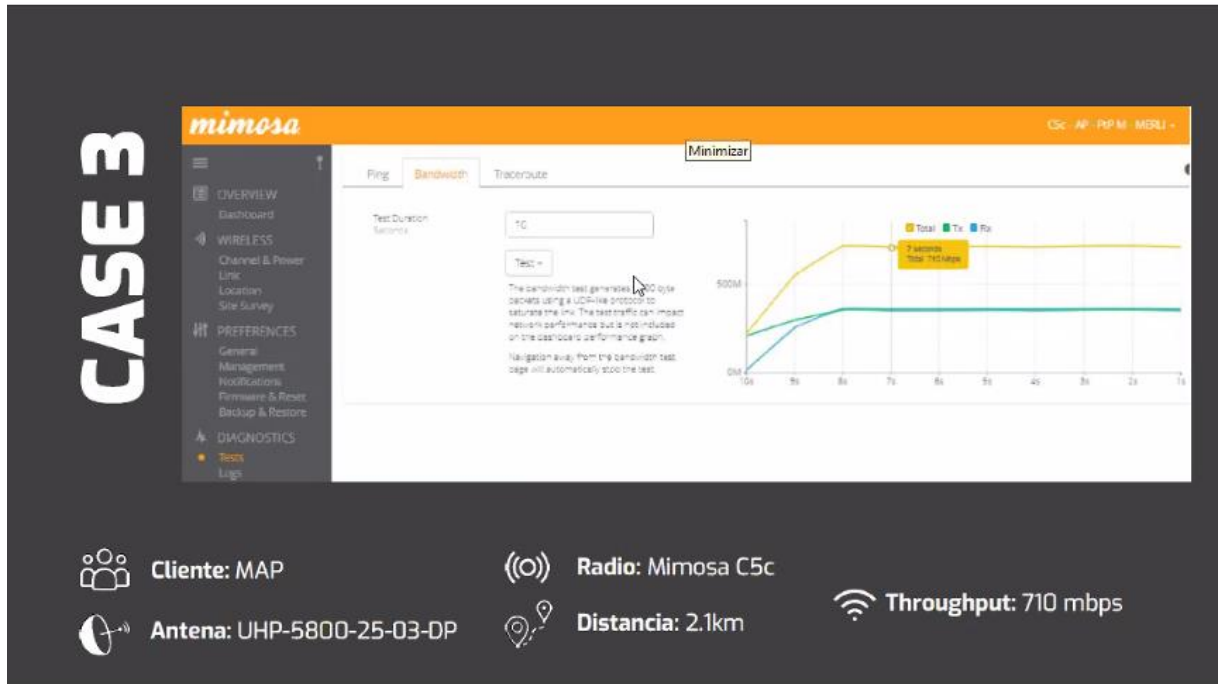


Fig.110: Caso de éxito MAP
Fuente: Rossi et al. (2021)



Fig.111: Caso de éxito UPNET
Fuente: Rossi et al. (2021)