

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

ESCUELA DE FORMACIÓN DE TECNÓLOGOS

ESTUDIO Y DISEÑO DE UN RADIO ENLACE PARA TRANSMISIÓN DE DATOS, E INTERNET EN FRECUENCIA LIBRE PARA LA COOPERATIVA INDÍGENA “ALFA Y OMEGA” UTILIZANDO EQUIPOS AIRMAX DE UBIQUITI

PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE TECNÓLOGO EN ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES

VELA REMACHE PABLO ANDRES

pablo_andres31988@hotmail.com

DIRECTOR: ING. FABIO GONZÁLEZ

fabio.gonzalez@epn.edu.ec

Quito, abril 2015

DECLARACIÓN

Yo, PABLO ANDRES VELA REMACHE, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

PABLO VELA

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por VELA REMACHE PABLO ANDRES, bajo mi supervisión.

FABIO GONZÁLEZ

DIRECTOR DEL PROYECTO

AGRADECIMIENTO

Primeramente a Dios, por haber llegado a culminar mi carrera, a todos mis profesores de la Escuela Politécnica Nacional.

A mi familia, por su apoyo incondicional en cada etapa de mi vida.

Un especial agradecimiento al Ing. Fabio González, por su colaboración durante el desarrollo de este proyecto.

Pablo Vela

DEDICATORIA

A mis padres María Elena y Francisco como también a mis hermanas Abigail, Ruth y Noemi por su apoyo incondicional y por ser el motor que me ha impulsado a seguir adelante durante toda mi carrera profesional.

Pablo Vela

ÍNDICE DE CONTENIDOS

RESUMEN	II
PRESENTACIÓN	IV
DESCRIPCIÓN	PÁGINA
1 CAPÍTULO 1 FUNDAMENTOS TEÓRICOS	1
1.1 PROPAGACIÓN	1
1.1.1 QUE ES PROPAGACIÓN	1
1.1.2 PROPAGACIÓN POR ONDA ESPACIAL	1
1.2 FENÓMENOS DE PROPAGACIÓN	3
1.2.1 ATENUACIÓN	3
1.2.2 ABSORCIÓN	3
1.2.3 REFRACCIÓN	4
1.2.4 REFLEXIÓN	4
1.2.5 DIFRACCIÓN	5
1.2.6 INTERFERENCIA	6
1.3 ANTENAS	7
1.3.1 FUNCIONAMIENTO DE LA ANTENA	7
1.3.2 ANTENA DIPOLO	8
1.3.3 ANTENA DIPOLO MULTI-ELEMENTO	9
1.3.4 ANTENA YAGI	9
1.3.5 ANTENA PANEL PLANO	12
1.3.6 ANTENA PARABÓLICA	13
1.4 ANTENAS UHF Y MICROONDA	15
1.4.1 CARACTERÍSTICAS IMPORTANTES DE LAS ANTENAS MICROONDAS	16
1.4.1.1 La eficiencia direccional	16
1.4.1.2 Acoplamiento lado a lado y espalda con espalda	16
1.5 ANTENA DE REFLECTOR PARABÓLICO	16
1.6 MECANISMOS ALIMENTADORES	17
1.6.1 ALIMENTACIÓN CENTRAL	17
1.6.2 ALIMENTACIÓN POR BOCINA	18
1.6.3 ALIMENTACIÓN DE CASSEGRAIN	18
1.7 GANANCIA DIRECTIVA Y GANANCIA DE POTENCIA	19
1.8 POTENCIA ISOTRÓPICA EFECTIVA IRRADIADA	19
1.9 POLARIZACIÓN DE LA ANTENA	20
1.10 ABERTURA DEL HAZ DE LA ANTENA	21
1.11 ANCHO DE BANDA DE LA ANTENA	21
1.12 PRESUPUESTO DE POTENCIA	22
1.12.1 PÉRDIDAS EN EL ESPACIO LIBRE	22

1.12.2	MARGEN DE DESVANECIMIENTO	22
1.12.3	UMBRAL DE RECEPCIÓN	23
1.13	LA SENSIBILIDAD	23

2 CAPÍTULO 2 SITUACIÓN ACTUAL DE LA COOPERATIVA INDÍGENA “ALFA Y OMEGA” **25**

2.1	INTRODUCCIÓN	25
2.2	ESTRUCTURA GENERAL DE LA COOPERATIVA INDÍGENA “ALFA Y OMEGA”	25
2.3	MISIÓN	26
2.4	VISIÓN	26
2.5	DESCRIPCIÓN DE LA INFRAESTRUCTURA FÍSICA	26
2.6	DESCRIPCIÓN DE LOS EQUIPOS CON LOS QUE CUENTA LA COOPERATIVA	28
2.7	DESCRIPCIÓN DE LA RED ACTUAL DE LA COOPERATIVA	30
2.7.1	DESCRIPCIÓN DE LA RED DE LA MATRIZ	30
2.7.2	DESCRIPCIÓN DE LA RED DE LA SUCURSAL	31

3 CAPÍTULO 3 ESTUDIO Y DISEÑO DEL ENLACE DE RADIO **33**

3.1	PERFILES TOPOGRÁFICOS Y SIMULACIONES DE LOS ENLACES	33
3.1.1	PERFIL TOPOGRÁFICO DEL TRAYECTO VILLAFLOA – TAMBILLO	33
3.1.2	PERFIL TOPOGRÁFICO DEL TRAYECTO VILLAFLOA – CERRO ATACAZO	34
3.1.3	COORDENADAS DE LOS SITIOS A ENLAZAR	36
3.1.4	SIMULACIÓN DEL ENLACE VILLAFLOA - CERRO ATACAZO	36
3.1.5	PERFIL TOPOGRÁFICO DEL TRAYECTO CERRO ATACAZO-TAMBILLO	38
3.1.6	SIMULACIÓN DEL ENLACE CERRO ATACAZO - TAMBILLO	39
3.1.7	ESTUDIO DE LA FACTIBILIDAD DEL ENLACE CERRO ATACAZO - TAMBILLO CON EL 60% DE LA PRIMERA ZONA DE FRESNEL	42
3.2	ESTUDIO DE FACTIBILIDAD	44
3.2.1	CÁLCULOS	44
3.2.2	CARACTERÍSTICAS DE LA ANTENA AIRGRID M5 HP	45
3.2.3	CARACTERÍSTICAS DE LA ANTENA NANOBIDGE NB-5G22	47
3.2.4	CARACTERÍSTICAS DE LA ANTENA ROCKETDISH	49
3.2.5	CARACTERÍSTICAS DE GANANCIA Y POTENCIA DE LOS EQUIPOS UBIQUITI	52
3.2.6	PRESUPUESTO DE POTENCIA: CERRO ATACAZO - TAMBILLO	52
3.2.6.1	Pérdidas en el espacio libre Cerro Atacazo - Tambillo	53
3.2.6.2	Potencia en el receptor	53
3.2.7	MARGEN DE DESVANECIMIENTO	55
3.2.8	UMBRAL DEL RECEPTOR	55
3.2.9	MARGEN DE UMBRAL	55
3.2.10	CÁLCULOS DE LA PRIMERA ZONA DE FRESNEL	55
3.2.10.1	Cálculo de las zonas de Fresnel para el enlace Cerro Atacazo - Tambillo	57
3.2.10.2	Cálculo del despeje	58
3.2.10.3	Cálculo del despeje para el enlace Cerro Atacazo - Tambillo	58

3.2.10.4	Cálculo tomando en cuenta la altura de las torres Cerro Atacazo y Tambillo	59
3.2.11	PRESUPUESTO DE POTENCIA: VILLAFLOA – ATACAZO	60
3.2.11.1	Pérdidas en el espacio libre: Villafloa - Cerro Atacazo	60
3.2.11.2	Potencia en el receptor	61
3.2.12	MARGEN DE DESVANECIMIENTO	61
3.2.13	UMBRAL DEL RECEPTOR	61
3.2.14	MARGEN DE UMBRAL	61
3.2.15	CÁLCULO DE LA PRIMERA ZONA DE FRESNEL PARA EL ENLACE VILLAFLOA - CERRO ATACAZO	62
3.2.15.1	Cálculo del despeje para el enlace Villafloa - Cerro Atacazo	63
3.2.15.2	Cálculo tomando en cuenta la altura de las torres	63
3.3	TIPOS DE TORRES USADOS EN TELECOMUNICACIONES	68
3.3.1	ASPECTOS TÉCNICOS GENERALES	68
3.3.2	TORRES AUTOSOPORTADAS	68
3.3.3	TORRES VENTeadas O SOPORTADA POR TIRANTES	69
3.3.3.1	Partes de una torre con tirantes	69
3.3.3.2	Elementos que hay que considerar para la instalación de torres de este tipo	70
3.3.3.3	Características generales de las torres	70
3.3.3.4	Elementos básicos con los que cuenta cada torre	70
3.4	SISTEMA DE BACKUP PARA LOS ENLACES DE MICROONDA	71
3.4.1	SISTEMA DE GENERACIÓN AUTÓNOMO (APS)	71
3.5	TARIFAS POR USO DE FRECUENCIAS	74
3.5.1	PARA EL SERVICIO FIJO DE ENLACES PUNTO-PUNTO Y PUNTO-MULTIPUNTO (NO MULTIACCESO)	74
3.6	MATERIALES ADICIONALES PARA EL FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA	75
3.7	COSTO TOTAL DEL PROYECTO Y DIAGRAMA FINAL DE LA RED	77
4 CAPÍTULO 4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		79
4.1	CONCLUSIONES	79
4.2	RECOMENDACIONES	79
4.3	BIBLIOGRAFÍA	80

ÍNDICE DE IMÁGENES

FIGURA 1.1 PROPAGACIÓN DE ONDAS ESPACIALES	2
FIGURA 1.2 LÍNEA DE VISTA LEJANA	2
FIGURA 1.3 REFRACCIÓN DE UNA ONDA ELECTROMAGNÉTICA	4
FIGURA 1.4 REFLEXIÓN DE UNA ONDA ELECTROMAGNÉTICA	4
FIGURA 1.5 REFLEXIÓN DE UNA SUPERFICIE SEMIÁSPERA	5
FIGURA 1.6 DIFRACCIÓN DE ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS	6
FIGURA 1.7 INTERFERENCIA DE LAS ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS	7
FIGURA 1.8 ANTENA DIPOLO $\lambda/2$	8
FIGURA 1.9 PATRÓN DE ELEVACIÓN ANTENA MULTI-ELEMENTO	9
FIGURA 1.10 ANTENA YAGI	10
FIGURA 1.11 PATRÓN DE AZIMUTH DE LA ANTENA YAGI	11
FIGURA 1.12 PATRÓN DE ELEVACIÓN DE LA ANTENA YAGI	11
FIGURA 1.13 PATRÓN DE ELEVACIÓN DE LA ANTENA PANEL PLANO	12
FIGURA 1.14 PATRÓN DE AZIMUTH DE LA ANTENA PANEL PLANO	13
FIGURA 1.15 PATRÓN DE ELEVACIÓN DE LA ANTENA PARABÓLICA	14
FIGURA 1.16 PATRÓN DE AZIMUTH DE LA ANTENA PARABÓLICA	15
FIGURA 1.17 ANTENA CON ALIMENTACIÓN CENTRAL	17
FIGURA 1.18 ANTENA CON ALIMENTACIÓN POR BOCINA	18
FIGURA 1.19 ANTENA CON ALIMENTACIÓN CASSEGRAIN	19
FIGURA 1.20 POLARIZACIÓN VERTICAL DE LAS ANTENAS	20
FIGURA 1.21 POLARIZACIÓN HORIZONTAL DE LAS ANTENAS	20
FIGURA 1.22 ABERTURA DEL HAZ DE LA ANTENA	20
FIGURA 2.1 ESTRUCTURA JERÁRQUICA DE LA COOPERATIVA ALFA Y OMEGA	25
FIGURA 2.2 INFRAESTRUCTURA FÍSICA DE LA COOPERATIVA	26
FIGURA 2.3 EQUIPOS DE COMUNICACIÓN DE LA COOPERATIVA	27
FIGURA 2.4 SERVIDOR	27
FIGURA 2.5 INFRAESTRUCTURA FÍSICA INTERNA DE LA COOPERATIVA MATRIZ	28
FIGURA 2.6 DESCRIPCIÓN FÍSICA DE LA RED DE LA MATRIZ	30
FIGURA 2.7 DIAGRAMA DE LA RED DE LA MATRIZ VILAFLOA	31
FIGURA 2.8 INFRAESTRUCTURA FÍSICA INTERNA DE LA SUCURSAL	32
FIGURA 2.9 DIAGRAMA DE LA RED DE LA SUCURSAL TAMBILLO	32
FIGURA 3.1 PERFIL TOPOGRÁFICO DIRECTO	33
FIGURA 3.2 PERFIL TOPOGRÁFICO VILAFLOA – CERRO ATACAZO	34
FIGURA 3.3 DETALLES DE PROPAGACIÓN DEL ENLACE VILAFLOA – CERRO ATACAZO	36
FIGURA 3.4 SIMULACIÓN DEL ENLACE VILAFLOA-CERRO ATACAZO	37
FIGURA 3.5 PERFIL TOPOGRÁFICO ENLACE CERRO ATACAZO-TAMBILLO	38
FIGURA 3.6 SIMULACIÓN DEL ENLACE CERRO ATACAZO –TAMBILLO	39

FIGURA 3.7 DETALLES DEL ENLACE CERRO ATACAZO-TAMBILLO	40
FIGURA 3.8 PERFIL TOPOGRÁFICO CERRO ATACAZO-TAMBILLO	41
FIGURA 3.9 DESPEJE DEL 60% DE LA PRIMERA ZONA DE FRESNEL	43
FIGURA 3.10 VISTA TRIDIMENSIONAL ENLACE VILLAFLOA-TAMBILLO	43
FIGURA 3.11 ANTENA AIRGRID VISTA FRONTAL	45
FIGURA 3.12 ANTENA AIRGRID VISTA LATERAL	46
FIGURA 3.13 ANTENA NANOBRIDGE VISTA LATERAL	49
FIGURA 3.14 ANTENA ROCKETDISH VISTA FRONTAL	50
FIGURA 3.15 ANTENA ROCKETDISH VISTA LATERAL	51
FIGURA 3.16 SISTEMA DE RADIO ROCKET M5	51
FIGURA 3.17 PRESUPUESTO DE POTENCIA ENLACE CERRO ATACAZO- TAMBILLO	52
FIGURA 3.18 DESPEJE DE LA ZONA DE FRESNEL	56
FIGURA 3.19 ALTURA DE DESPEJE	58
FIGURA 3.20 PRESUPUESTO DE POTENCIA VILLAFLOA-CERRO ATACAZO	60
FIGURA 3.21 ALTURA DE DESPEJE	63
FIGURA 3.22 LÍNEA DE VISTA HACIA EL CERRO ATACAZO	64
FIGURA 3.23 LÍNEA DE VISTA HACIA LA VILLAFLOA	65
FIGURA 3.24 CERRO ATACAZO	65
FIGURA 3.25 TORRE AUTOSOPORTADA CERRO ATACAZO VISTA TRASERA	66
FIGURA 3.26 VISTA DE LA COPA DE LA TORRE	67
FIGURA 3.27 VISTA LATERAL DE LA COPA DE LA TORRE	67
FIGURA 3.28 PARTES DE UNA TORRE AUTOSOPORTADA	68
FIGURA 3.29 PARTES DE UNA TORRE SOPORTADA POR TIRANTES	69
FIGURA 3.30 EQUIPO DE BACKUP DE ENERGÍA APS	71
FIGURA 3.31 SISTEMA COMPLETO DE BACKUP DE ENERGÍA	72
FIGURA 3.32 POSICIÓN DEL INTERRUPTOR PARA EL ESTADO DE AUTOMÁTICO DEL APS	73
FIGURA 3.33 POSICIÓN DE LOS DIPSWITCHES PARA EL ESTADO AUTOMÁTICO DEL APS	73
FIGURA 3.34 GABINETE PARA EQUIPOS DE COMUNICACIÓN	76
FIGURA 3.35 SWITCH 5 PUERTOS MEGABIT	76
FIGURA 3.36 CONEXIÓN A TRAVÉS DE UN SWITCH EN EL CERRO ATACAZO	77
FIGURA 3.37 CORTAPICOS	77
FIGURA 3.38 DIAGRAMA FINAL DE RED DE LA COOPERATIVA ALFA Y OMEGA	78

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1.1 VALORES TÍPICOS DE SENSIBILIDAD DEL RECEPTOR DE LAS TARJETAS INALÁMBRICAS	24
TABLA 2.1 CARACTERÍSTICAS DE LOS EQUIPOS USADOS EN LA COOPERATIVA	28
TABLA 2.2 CARACTERÍSTICAS DE LOS EQUIPOS USADOS EN LA COOPERATIVA	29
TABLA 2.3 CARACTERÍSTICAS DE LOS EQUIPOS USADOS EN LA COOPERATIVA	29
TABLA 2.4 CARACTERÍSTICAS DE LOS EQUIPOS USADOS EN LA SUCURSAL DE LA COOPERATIVA	29
TABLA 2.5 CARACTERÍSTICAS DE LOS EQUIPOS DE RED DE LA MATRIZ Y SUCURSAL DE LA COOPERATIVA	29
TABLA 3.1 COORDENADAS GEOGRÁFICAS DE LAS ENTIDADES Y REPETIDOR	36
TABLA 3.2 CARACTERÍSTICAS DE LA ANTENA AIRGRID M5 HP	45
TABLA 3.3 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL SISTEMA DE RADIO AIRGRID 5G23	46
TABLA 3.4 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL SISTEMA DE RADIO AIRGRID 5G27	47
TABLA 3.5 CARACTERÍSTICAS DE LA ANTENA NANOBRIDGE 5G22	47
TABLA 3.6 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL SISTEMA DE RADIO NANOBRIDGE 5G22	48
TABLA 3.7 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL SISTEMA DE RADIO NANOBRIDGE 5G25	48
TABLA 3.8 CARACTERÍSTICAS DE LA ANTENA ROCKETDISH 5G30 Y 5G34	49
TABLA 3.9 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL SISTEMA DE RADIO ROCKET M5	50
TABLA 3.10 CARACTERÍSTICAS DE LOS SISTEMAS DE RADIO UBIQUITI	52
TABLA 3.11 CARACTERÍSTICAS DE LAS ANTENAS UBIQUITI	52
TABLA 3.12 DISTANCIAS MÁXIMAS APLICABLES PARA FINES DE CÁLCULO DE LA TARIFA DEL SERVICIO FIJO PARA ENLACES PUNTO A PUNTO	74
TABLA 3.13 COEFICIENTE DE VALORACIÓN DEL ESPECTRO APLICABLE PARA FINES DE CÁLCULO DE LA TARIFA DE SERVICIO FIJO PARA ENLACES PUNTO A PUNTO	75
TABLA 3.14 PRESUPUESTO DEL PROYECTO	78

RESUMEN

El presente proyecto tiene como objetivo principal el análisis, estudio y diseño de un radio enlace para presentar una propuesta asequible en el aspecto económico y confiable en el aspecto técnico, además este proyecto se lo planteó con el fin de dotar de un servicio de telecomunicaciones fijo para la Cooperativa Indígena “Alfa y Omega”, este servicio permitirá compartir el servicio de Internet de la Matriz ubicada en la Villaflora hacia la sucursal ubicada en la parroquia de Tambillo, permitiendo reducir los costos por este servicio en la Sucursal y aumentando la calidad del mismo, además permitirá mejorar el servicio proporcionado por la entidad financiera, ya que este proyecto enlazará las dos redes de datos como si fuera una sola red, permitiendo compartir la información ubicada en el servidor de la Matriz de manera más ágil y eficaz dentro de la misma entidad, consiguiendo que la información, como puede ser estados de cuentas, información sobre los clientes, la cual es necesaria para realizar cualquier movimiento financiero, esté siempre disponible para todos los usuarios de la entidad financiera.

Los equipos utilizados trabajan en la banda de 5,8 GHZ, lo cual reduce el gasto total del proyecto.

Para obtener la información necesaria para el presente proyecto las herramientas más usadas son Google Earth y Radio Mobile, que permiten recopilar información necesaria para ubicar los sistemas de telecomunicaciones.

PRESENTACIÓN

El presente proyecto se ha dividido en cuatro capítulos, los cuales se describen brevemente a continuación.

En el primer Capítulo se aborda el marco teórico que nos brinda información útil para el desarrollo del proyecto, dicho marco teórico consta de temas como fenómenos de propagación, tipos de antenas, diagramas de radiación entre otros.

En el segundo Capítulo tenemos la descripción de la situación actual de la cooperativa indígena Alfa y Omega, en el cual se aborda y se describen los equipos con los que cuenta actualmente la cooperativa, permitiéndonos determinar cómo está estructurada su red de datos.

En el tercer Capítulo se detallan los procedimientos realizados durante el diseño del enlace de radio, como también la descripción de varios elementos necesarios para el correcto funcionamiento del mismo.

En el cuarto Capítulo se presentan las conclusiones obtenidas sobre este proyecto y recomendaciones útiles a la hora de instalar el sistema.

CAPÍTULO 1

FUNDAMENTO TEÓRICO DEL PROYECTO

1.1 PROPAGACIÓN

1.1.1 Que es Propagación: Se deriva del término latín propagatio que significa acción y efecto de propagar. Se puede hacer referencia al hecho de realizar o generar algún evento y el mismo llegue a diferentes lugares o sitios.

La propagación se vincula al hecho de generar y dirigir ondas de radio, llamadas también ondas electromagnéticas, las cuales viajan desde un transmisor, el cual generó en un principio la onda de radio, la misma que viaja hacia un receptor el cual será capaz de capturar esa onda de radio.

La propagación de ondas de radio o también llamadas ondas electromagnéticas generalmente se la considera en el vacío y se lo conoce como propagación por el espacio libre, en el cual no se consideran pérdidas como las que introduce la propagación por la atmósfera de la tierra la misma que no presenta buenas características para que las ondas electromagnéticas puedan desplazarse con la facilidad que se desearía, por tal motivo, se han desarrollado varias estrategias de solución para poder revertir el efecto dañino que causa la tierra sobre la propagación de las ondas electromagnéticas, las cuales son las encargadas de llevar la información de un lugar a otro, dándonos como resultado el poder comunicarnos con sitios lejanos por medio de las telecomunicaciones.

La radiocomunicación se basa en la propagación de ondas de radio, dependiendo de la banda de frecuencias en la que estas ondas se propagan, su comportamiento será diferente, pues las ondas terrestres son influidas por la atmósfera y por la Tierra que afectan sus trayectorias que normalmente son en línea recta, siendo las formas de propagación más usuales las siguientes:

- Propagación por onda terrestre.
- Propagación por onda espacial.
- Propagación por ondas celestes.

1.1.1.1 PROPAGACIÓN POR ONDA ESPACIAL

La propagación en forma de ondas espaciales hace referencia a las ondas electromagnéticas que se irradian en los kilómetros comprendidos entre la superficie de la tierra y en los límites inferiores de la atmósfera terrestre, en las ondas espaciales se incluyen ondas directas y las reflejadas en el suelo como se muestra en la figura 1.1.

Las ondas directivas viajan en línea recta entre las antenas de transmisión y recepción, la transmisión de este tipo de ondas se denomina transmisión por línea de vista (L.O.S Line Of Sight), tal como muestra la figura 1.2.

Este modo de propagación es el que corresponde a las frecuencias que están en el rango de 30MHz a 30 GHz, rango en el cual están incluidas las frecuencias usadas para radioenlaces punto a punto como la de 5,8 GHz que hemos usado para este proyecto, además este tipo de propagación está limitado por la curvatura de la Tierra provocando que el campo en la antena de recepción dependa de la distancia entre las dos antenas y de la fase entre las dos ondas directa y reflejada.



Figura 1.1 Propagación de ondas espaciales¹

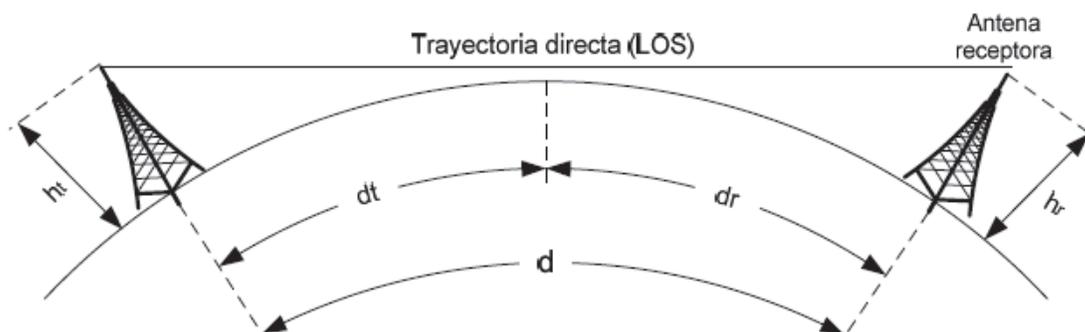


Figura 1.2 Línea de vista lejana²

¹ Sistemas de Comunicaciones Electrónicas (pag.361) por Wayne Tomasi 4ta Edición.

² Sistemas de Comunicaciones Electrónicas (pag.362) por Wayne Tomasi 4ta Edición.

1.2 FENÓMENOS DE PROPAGACIÓN

La propagación está expuesta a varios fenómenos que la afectan como son:

- Atenuación
- Absorción
- Refracción
- Reflexión
- Difracción
- Interferencia

A estas cuatro últimas también se las denomina propiedades ópticas de las ondas electromagnéticas, pues al igual que la luz, excepto en su frecuencia, las ondas electromagnéticas tienen las mismas propiedades.

1.2.1 ATENUACIÓN

Es un fenómeno que tiene por efecto la pérdida de energía de una señal debido a la distancia, a medida que la onda se aleja de la fuente, las ondas se alejan cada vez más entre sí, por tanto la cantidad de ondas por unidad de área es menor, por lo cual se puede decir que no se pierde o se disipa potencia, la onda solo se extiende sobre un área mayor disminuyendo la densidad de potencia conforme aumenta la distancia y se lo llama atenuación de la onda. Por tal razón, para que la señal llegue con la suficiente energía es necesario el uso de amplificadores o repetidores.

La atenuación se incrementa a medida que se incrementa la frecuencia, temperatura y el tiempo³.

1.2.2 ABSORCIÓN

Otra manera en cómo afecta la Tierra a la densidad de potencia de una onda electromagnética es a causa de la absorción, debido a que la atmósfera está compuesta por átomos y moléculas de sustancias gaseosas, líquidas y sólidas deteriorando la señal al absorber poco a poco parte de la energía de una onda electromagnética que viaja de un lugar a otro.

Una vez que la energía es absorbida por dichos elementos se pierde, causando atenuación en la intensidad de voltaje y en el campo magnético, resultando en la atenuación de la densidad de potencia.

³ http://repositorio.ute.edu.ec/bitstream/123456789/5646/1/34178_1.pdf

1.2.3 REFRACCIÓN

El desvío de trayectoria de un rayo al pasar con dirección oblicua por medios de diferente densidad se llama refracción, siendo la velocidad del rayo inversamente proporcional a la densidad del medio en el que se propaga. La figura 1.3 muestra la refracción de un frente de onda en una frontera plana entre dos medios con distintas densidades.

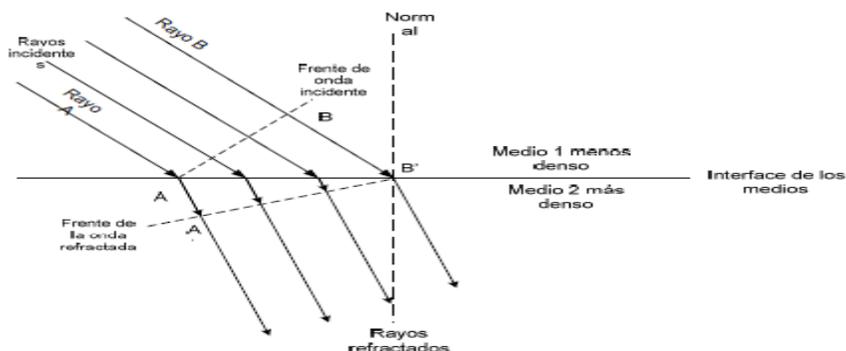


Figura 1.3 Refracción de una onda electromagnética⁴

1.2.4 REFLEXIÓN

Este fenómeno se produce al chocar un frente de onda en la frontera de dos medios contiguos lo que produce que parte o toda la potencia incidente se refleje (figura 1.4). Las velocidades de la onda incidente y reflejada son iguales siempre que permanezcan en el mismo medio. Si se cumple la condición anterior, los ángulos de incidencia y de reflexión también son iguales, lo que varía es la intensidad de voltaje reflejado el cual es menor respecto al incidente, la relación entre voltaje reflejado e incidente da como resultado el llamado coeficiente de reflexión.

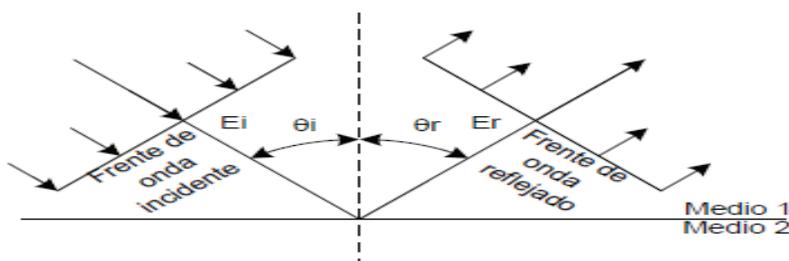


Figura 1.4 Reflexión de una onda electromagnética⁵

⁴ Sistemas de Comunicaciones Electrónicas (pag.353) por Wayne Tomasi 4ta Edición.

⁵ Sistemas de Comunicaciones Electrónicas (pag.361) por Wayne Tomasi 4ta Edición.

Este fenómeno no se produce solamente en la frontera de dos medios, sino que también se puede producir cuando el medio presenta una superficie áspera e irregular creando una reflexión difusa como se ve en la figura 1.5, pues el choque del frente de onda sobre una superficie de estas características provoca que el frente de onda se disperse en diferentes direcciones, pero también existe reflexión cuando hay una superficie completamente lisa, lo cual genera reflexión corpuscular, las superficies denominadas semiásperas abarcan a las llamadas superficies lisas e irregulares. Su efecto sobre el frente de onda es que reduce su potencia total.

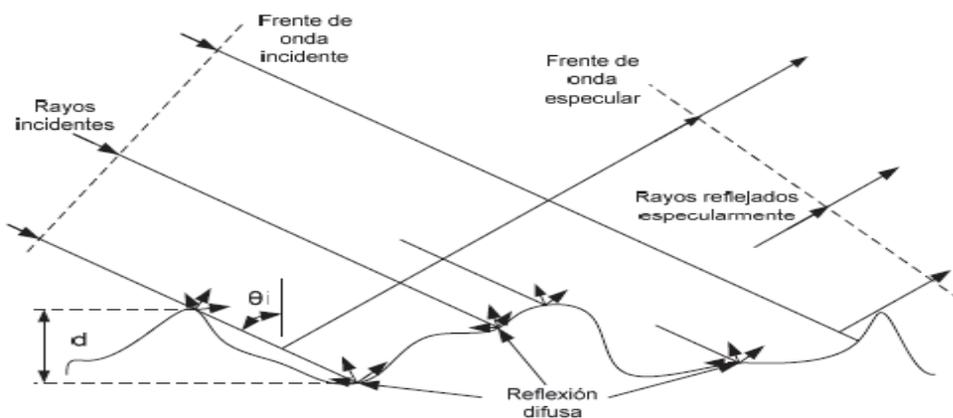


Figura 1.5 Reflexión de una superficie semiáspera⁶

1.2.5 DIFRACCIÓN

Es la redistribución de la energía en el frente de onda al pasar por la orilla de un objeto opaco, este fenómeno es el que permite que una onda se propague en torno a las esquinas de tal objeto, como lo describió Huygens todo punto que esté en el frente de onda se puede considerar como una nueva fuente secundaria de ondas, tal como vemos en la figura 1.6, las anulaciones de cada ondulación es parcial y se lleva a cabo en la orilla del obstáculo, permitiendo que las ondas secundarias se escurran en torno a las aristas del objeto y en la parte donde no existen anulaciones se llama zona de sombra. Cada fuente secundaria irradia en todas las direcciones, a pesar de eso el frente de onda sigue su dirección original y no se reparte, porque la anulación de ondas secundarias se hace en todas las direcciones, excepto en la dirección en la que avanza la onda, por tanto el frente de onda permanece plano.

⁶ Sistemas de Comunicaciones Electrónicas (pag.361) por Wayne Tomasi 4ta Edición.

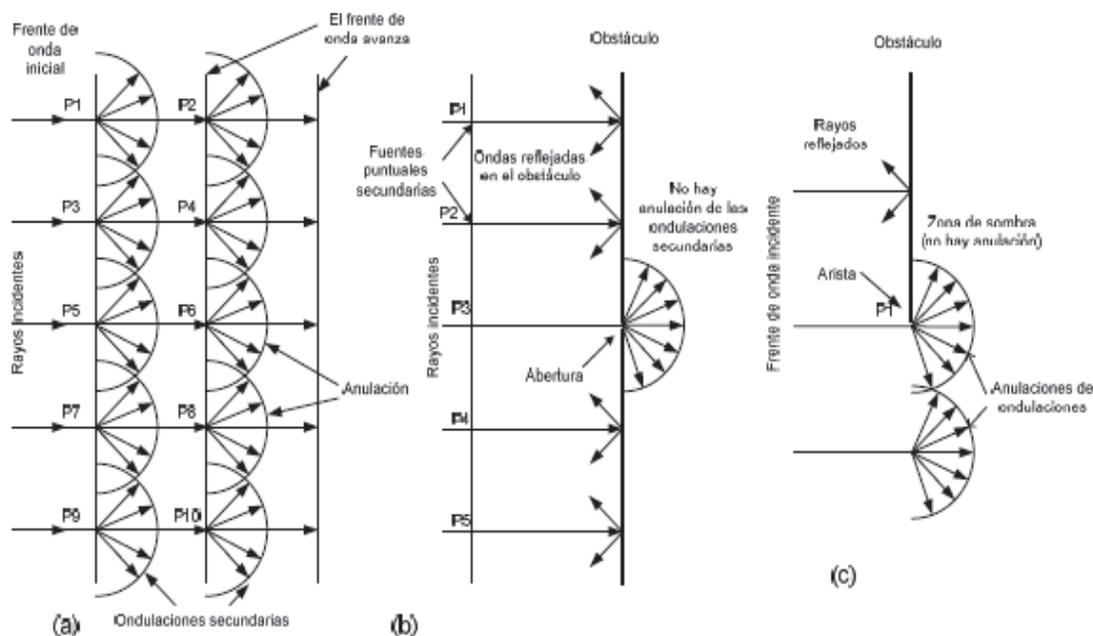


Figura 1.6 Difracción de ondas electromagnéticas⁷

1.2.6 INTERFERENCIA

Hasta ahora se ha analizado los fenómenos de difracción, reflexión y refracción en función de rayos y frentes de onda los cuales se han estudiado dentro de un análisis de óptica geométrica, pero a diferencia de estos fenómenos la interferencia se refiere a un principio, como es la superposición de ondas en un punto dado, este principio también afirma que la intensidad de voltaje en un punto dado es el resultado de sumar los vectores de las ondas individuales, generándose así un reforzamiento de intensidad, siempre que la diferencia de las distancias recorridas de las ondas directa y reflejada es un múltiplo entero e impar de la media longitud de onda se producirá una anulación de la intensidad, si la diferencia de las distancias recorridas es un múltiplo entero par se da un reforzamiento; en las frecuencias menores que VHF, las longitudes de onda relativamente grandes evitan que la interferencia sea un problema, este tipo de problemas son más usuales en UHF (300 MHz- 3 GHz) que en VHF (30 MHz- 300 MHz).

Cuando la diferencia de distancias sea intermedia entre las dos, puede producirse una anulación o un reforzamiento parcial.

⁷ Sistemas de Comunicaciones Electrónicas (pag.358) por Wayne Tomasi 4ta Edición.

En la figura 1.7 podemos observar la interferencia de ondas electromagnéticas que se genera al tener una superficie reflectora que cambia la dirección de la onda.

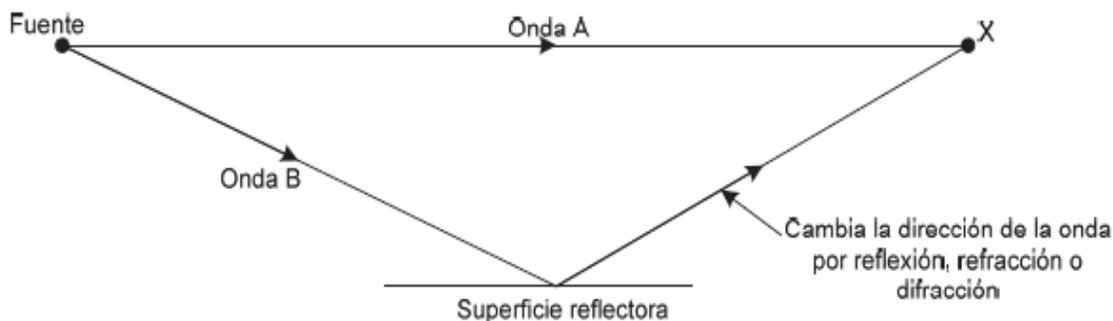


Figura 1.7 Interferencia de las ondas electromagnéticas⁸

1.3 ANTENAS

Una antena es un dispositivo o elemento que tiene la función de un transductor, el cual toma un tipo de energía a la entrada y la transforma en otra forma de energía diferente a la salida, este elemento genera y recoge ondas electromagnéticas.

Cuando genera ondas electromagnéticas, convierte señales eléctricas en ondas electromagnéticas y cuando recoge ondas electromagnéticas las transforma en señales eléctricas.

1.3.1 FUNCIONAMIENTO DE LA ANTENA

La antena emisora envía una onda electromagnética que será recibida por un conductor eléctrico, el cual es la antena receptora, la misma que funcionará como transductor, pues la inducción de la onda electromagnética en la antena hace que la antena transforme esta onda en una señal eléctrica, para que luego pueda ser interpretada por los usuarios como pueden ser datos, audio o video.

Existen antenas de distintos tipos como son:

- Antenas Dipolo.
- Antenas Dipolo Multi-Elemento.
- Antenas Yagi.
- Antenas Panel Plano (Flat Panel).
- Antenas Parabólicas (Plato Parabólico).

⁸ Sistemas de Comunicaciones Electrónicas (pag.359) por Wayne Tomasi 4ta Edición.

1.3.2 ANTENA DIPOLO

Es un hilo conductor el cual se corta por la mitad con una medida igual a la media longitud de onda según la frecuencia en la que se esté trabajando, en cuyo centro se coloca un generador.

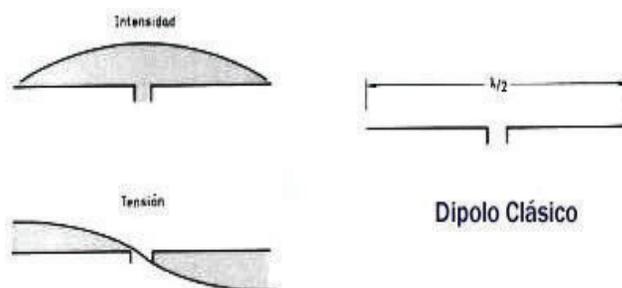


Figura 1.8 Antena Dipolo $\lambda/2$ ⁹

La longitud de un dipolo depende de la frecuencia a la que se trabaja por tanto:

$$L = 150 / f$$

Siendo f la frecuencia de trabajo medida en megahercios.

El material con el que se construye es material conductor, el cual es generalmente cobre, la medida que se obtiene con la fórmula descrita anteriormente variará pues para obtener la resonancia se debe acortar ligeramente esta longitud, así que se puede considerar que acortando la longitud un 5 % se consigue la condición de resonancia. Por lo tanto, la fórmula es:

$$L = 142,5 / f \quad \text{Fórmula [1.1]}$$

En la práctica, si es que no se está trabajando en frecuencias muy elevadas, se debe tomar en cuenta que el diámetro del hilo puede tener influencia.

Normalmente la impedancia nominal de un dipolo es de 73 ohmios. Esta característica depende de la distancia a la que se encuentra del suelo, es por eso que la impedancia varía considerablemente.

Dependiendo de la altura a la que se encuentra el dipolo varía su impedancia nominal, a mayor altura la variación de la impedancia será menor y nos permite acercarnos al valor nominal de 73 ohmios con mayor facilidad, conviene evitar alturas que se encuentren entre un poco más de $1/4$ y un poco menos de $1/2$ de longitud de onda. Además que un dipolo no debe montarse a alturas inferiores a $1/4$

⁹ <http://www.radiocomunicaciones.net/antenas-dipolo.html>.

de longitud de onda pues la impedancia baja muy rápidamente haciendo difícil su acoplamiento con la línea de alimentación.

1.3.3 ANTENAS DIPOLO MULTI-ELEMENTO

Utiliza múltiples elementos para incrementar su ganancia, en lo que respecta al patrón de elevación y patrón de Azimuth, es similar a la antena dipolo simple, pero la diferencia está en la direccionalidad que las antenas dipolo Multi-elemento nos permiten tener y además la ganancia que se obtiene, dependiendo de los elementos que se utilicen en la fabricación de este tipo de antenas podemos variar la ganancia que ofrece, en los siguientes gráficos podemos visualizar el patrón de elevación de una antena Dipolo Multi-elemento.

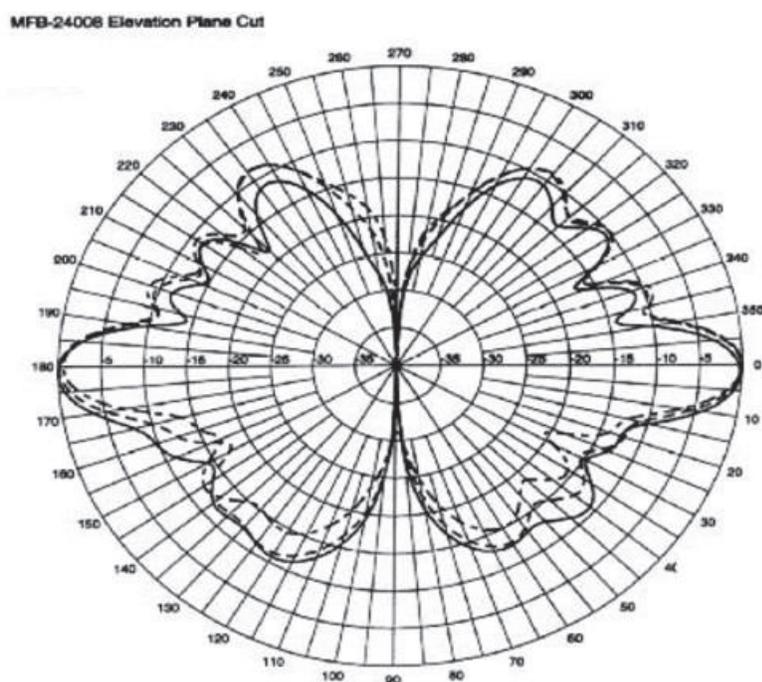


Figura 1.9 Patrón de elevación de la antena Multi-elemento¹⁰

1.3.4 ANTENA YAGI

Se compone de elementos parásitos o llamados elementos pasivos que carecen de conexión eléctrica con el irradiante, que al ubicarlos en las cercanías de un dipolo de media longitud de onda, podemos alterar su comportamiento.

¹⁰ <http://carlos-valarezo.blogspot.com/>.

El elemento parásito es un conductor que se ubica en forma paralela al dipolo de media onda o “irradiante”, a una distancia apropiada y que debe poseer una longitud adecuada. Por tanto, no es cualquier distancia, ni cualquier medida.

Dentro de los elementos llamados parásitos o pasivos tenemos el director el cual proporciona ganancia en el sentido dirigido desde él hacia el elemento activo o irradiante, y por lo general el director es más corto que el irradiante. Otro elemento pasivo conocido como reflector es el que proporciona ganancia de potencia en el sentido dirigido desde el irradiante hasta él y siempre es más largo que el elemento activo. Estos son los principales elementos que acompañan a un irradiante, es así que para tener una antena Yagi como mínimo se debe contar con estos 3 elementos Director, Irradiante y Reflector como podemos ver en la Figura 1.10.

Una antena Yagi compuesta de seis elementos puede lograr cifras de ganancia ubicadas en el orden de los 12 dB.

A continuación podemos observar los patrones de azimuth y elevación de este tipo de antenas en la Figura 1.11 y Figura 1.12.

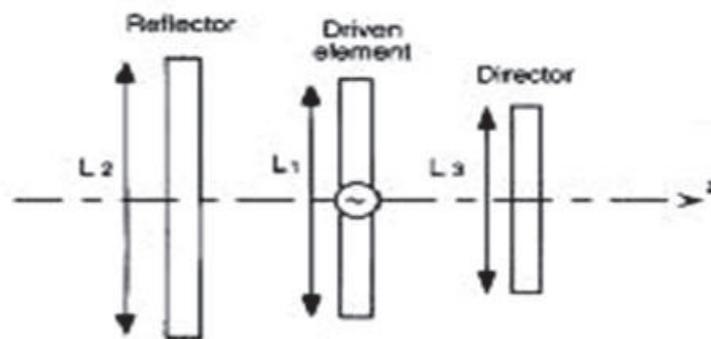


Figura 1.10 Antena Yagi¹¹

¹¹ <http://carlos-valarezo.blogspot.com/>.

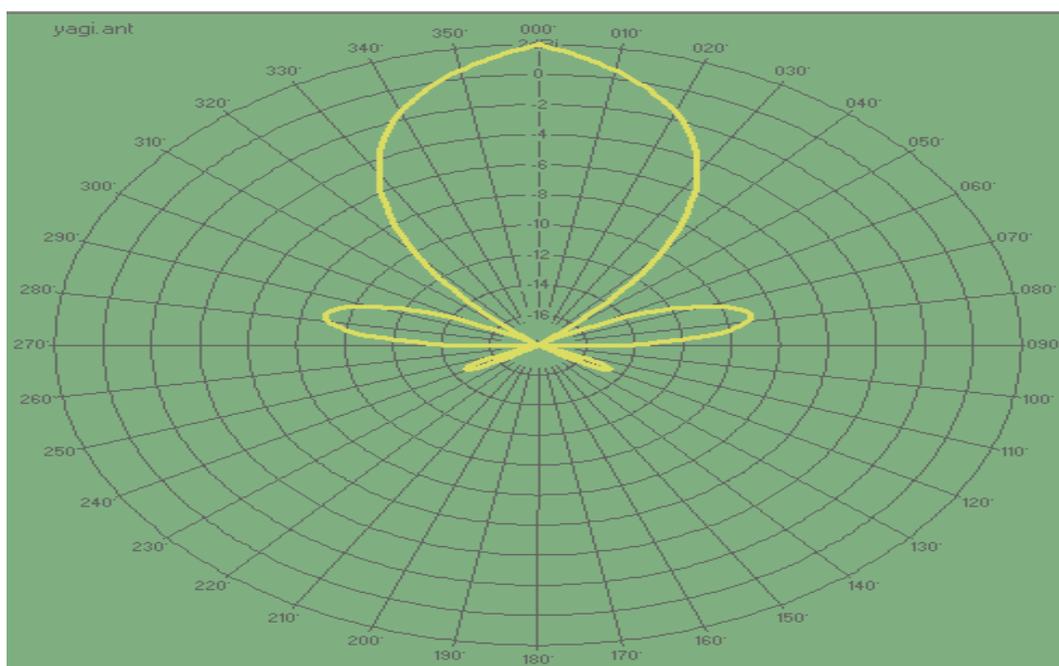


Figura 1.11 Patrón de Azimuth de la antena Yagi¹²

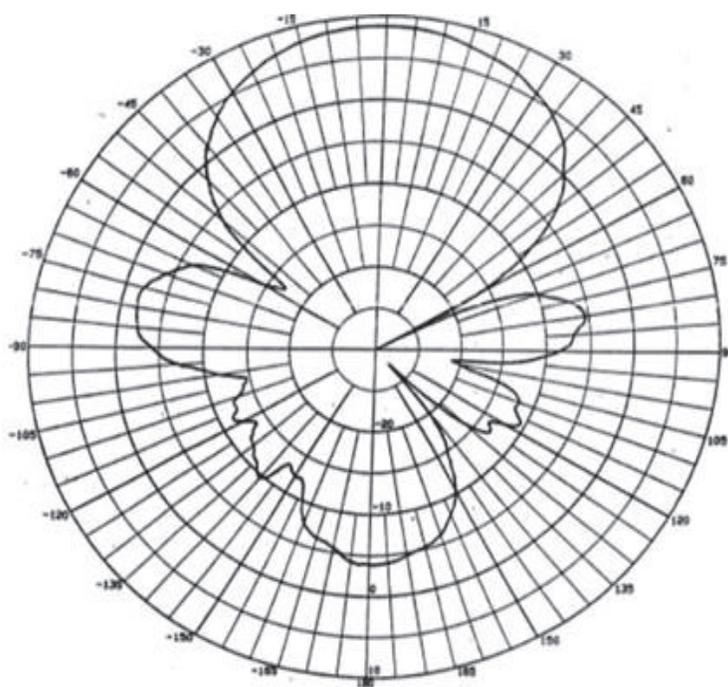


Figura 1.12 Patrón de elevación de la antena Yagi¹³

¹² Diagrama de radiación antena yagi software Radio Mobile

¹³ <http://carlos-valarezo.blogspot.com/>.

1.3.5 ANTENA PANEL PLANO

Tienen forma cuadrada o rectangular, tienen la característica de ser directivas tanto en el plano horizontal como vertical, pues la mayoría de su potencia radiada es en una sola dirección tanto en el plano horizontal como vertical, esto se lo puede apreciar en el patrón de elevación de la figura 1.13 y en el patrón de azimuth de la figura 1.14.

Este tipo de antenas se las fabrica con uno o más radiadores delante de un panel reflector asegurándonos antenas planas.

Se las fabrica en diferentes valores de ganancia, obteniendo excelente directividad y considerable ganancia.

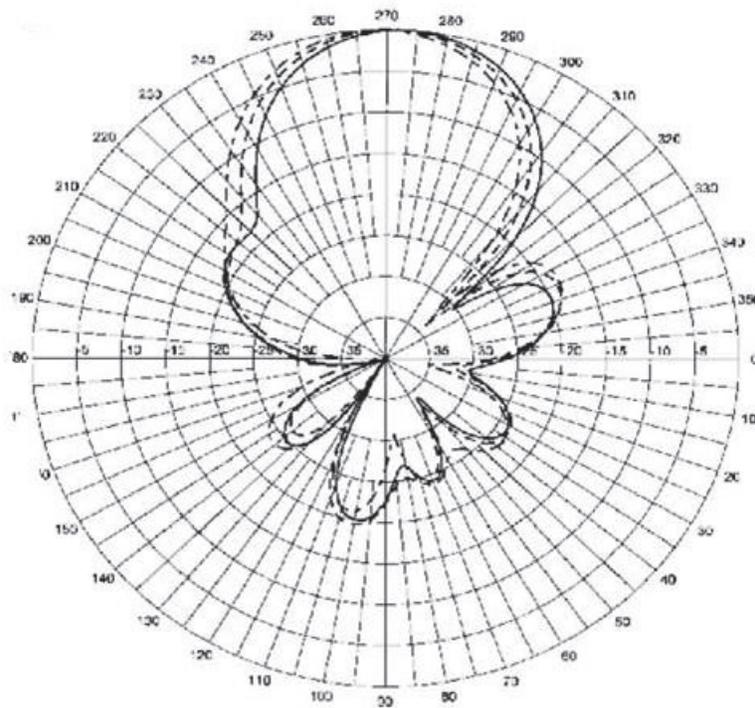


Figura 1.13 Patrón de elevación de la antena Panel Plano.¹⁴

¹⁴<http://carlos-valarezo.blogspot.com/>.

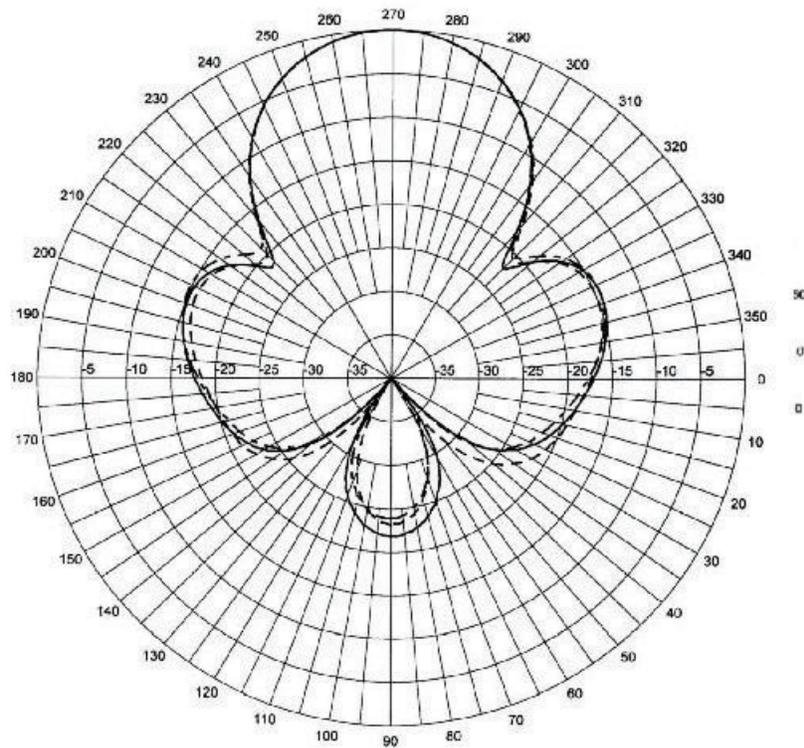


Figura 1.14 Patrón de Azimuth de la antena Panel Plano¹⁵

1.3.6 ANTENA PARABÓLICA

Las antenas parabólicas usan un iluminador llamado LNB (Low Noise Block); y un reflector parabólico que permite capturar la energía radiada por la antena y enfocarla en un haz estrecho, normalmente los diámetros están comprendidos entre los 60 y 80 cm permitiendo enfocar las ondas de radio recibidas por la antena a un punto focal, la propiedad con la que cuenta una antena parabólica es que puede concentrar la mayor parte de la energía en una dirección dada, mientras más grande sea la concentración de energía en una dirección, más grande será su ganancia.

Para los diámetros indicados anteriormente la ganancia bordea los 20 a 26 dB, y son altamente direccionales, por lo tanto es recomendable usarlas en enlaces punto a punto.

¹⁵ <http://carlos-valarezo.blogspot.com/>.

Como puede verse en la Figura 1.15, la antena parabólica es muy direccional. Al concentrar toda la potencia que llega a la antena y enfocarla en una sola dirección, este tipo de antena es capaz de proveer muy alta ganancia.

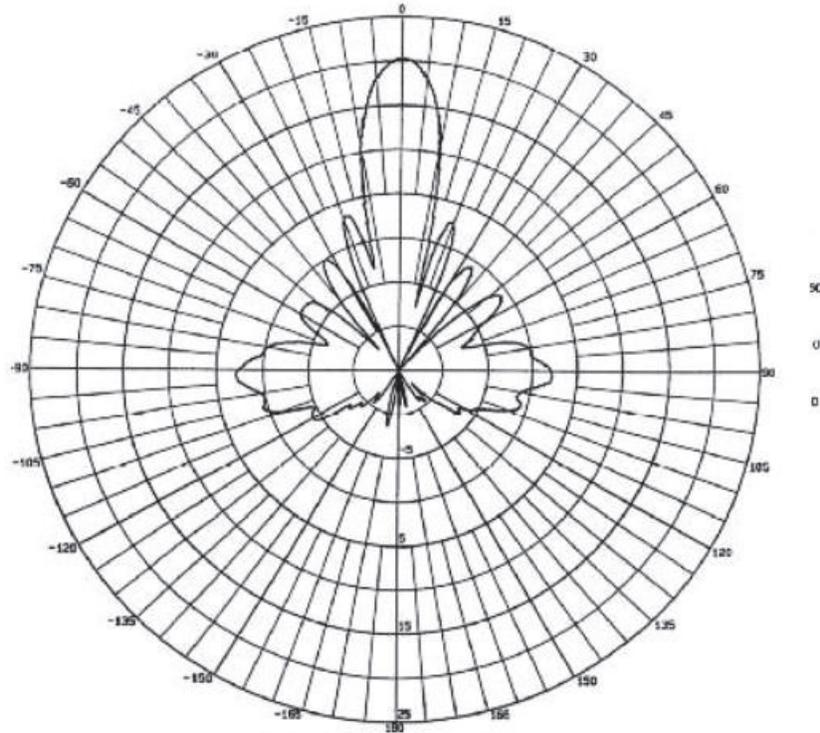


Figura 1.15 Patrón de elevación de la antena Parabólica¹⁶

¹⁶ <http://carlos-valarezo.blogspot.com/>.

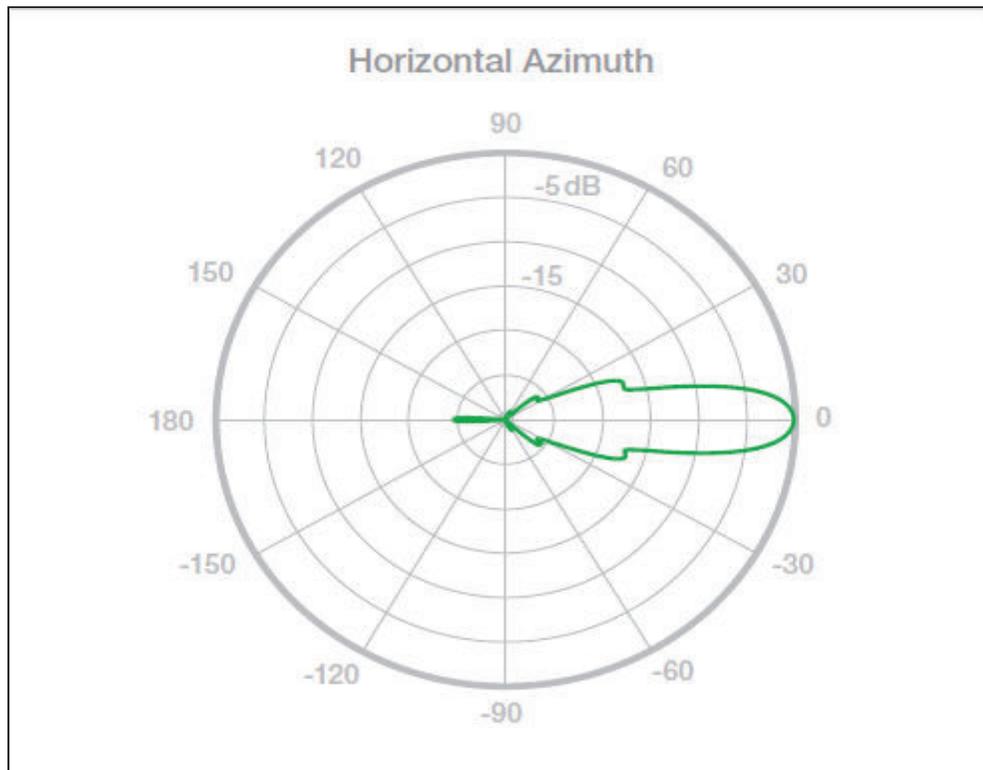


Figura 1.16 Patrón de Azimuth de la antena Parabólica¹⁷

Siendo este el tipo de antena que se utiliza en comunicaciones punto a punto por las características que nos brinda, será la que utilizaremos en el diseño del enlace, pues para nuestra aplicación es lo más recomendable.

1.4 ANTENAS UHF Y MICROONDAS

Las antenas usadas en UHF están en el rango de 0,3 a 3 GHz y para antenas microondas el rango de frecuencias va de 1 a 100 GHz, estas últimas deben ser muy direccionales es decir concentrar la potencia irradiada en un haz delgado, más que mandarlo por igual en todas las direcciones, la abertura del haz depende del factor ganancia de antena. Un haz más angosto minimiza los efectos de la interferencia debida a fuentes externas y a antenas adyacentes al sistema instalado. Sin embargo, para transmisión por línea de vista, y con haz angosto se impone varias limitaciones, como son estabilidad mecánica y mayor desvanecimiento debido a que el haz que emiten estas antenas en la banda de UHF es más directivo, lo que puede causar problemas en el alineamiento de la antena¹⁸.

La energía electromagnética emitida por una antena de microondas no se irradia completamente en la dirección del lóbulo principal, más bien una parte se concentra

¹⁷ http://dl.ubnt.com/datasheets/rocketdish/rd_ds_web.pdf.

¹⁸ <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/2290/1/CD-3030.pdf>

en los lóbulos laterales, que pueden ser fuentes de interferencia hacia o desde otras trayectorias de señal de microondas.

1.4.1 CARACTERÍSTICAS IMPORTANTES DE LAS ANTENAS DE MICROONDAS

1.4.1.1 La eficiencia direccional

Se define como la relación entre la ganancia máxima en dirección delantera y la ganancia máxima en dirección trasera. La eficiencia direccional de una antena es crítica en el diseño de un sistema de radio, porque las antenas de transmisión y recepción, en las estaciones repetidoras, se ubican con frecuencia opuestas entre sí, en la misma estructura.

1.4.1.2 Acoplamiento lado a lado y espalda con espalda

Normalmente las potencias de salida de transmisión tienen una intensidad de 60 dB o más que las potencias de recepción, es así que las pérdidas por acoplamiento deben ser altas, para evitar que una señal de transmisión de una antena interfiera con la señal de recepción de otra antena.

Las antenas muy direccionales se usan con más frecuencia en los sistemas de microondas de punto a punto. Pues enfocan la energía radioeléctrica en un haz angosto que se pueda dirigir hacia la antena receptora, la antena transmisora puede aumentar varios órdenes de magnitud la potencia efectiva irradiada, en comparación a una antena que no es direccional; de igual forma la antena receptora, puede aumentar la potencia efectiva recibida en una cantidad parecida. El tipo más común de antena de transmisión y recepción de microondas es el reflector parabólico.

1.5 ANTENA DE REFLECTOR PARABÓLICO

Las antenas de reflector parabólico proporcionan mayores ganancias y directividad y son muy usadas en los enlaces de comunicaciones por radio y satélite. Una antena parabólica se compone de dos partes principales que son un reflector parabólico y el elemento activo, llamado mecanismo de alimentación. En esencia, el mecanismo de alimentación encierra la antena primaria, que normalmente es un dipolo o una red de dipolos; la antena irradia ondas electromagnéticas hacia el reflector. El reflector es un elemento pasivo, que tan solo refleja la energía que le llega del mecanismo de alimentación, esta reflexión produce una emisión muy concentrada y muy direccional de energía, en la que todas las ondas individuales están en fase entre sí y por consiguiente, un frente de onda en fase.

1.6 MECANISMOS ALIMENTADORES

El mecanismo de alimentación en una antena parabólica, es el elemento que irradia la energía electromagnética, y por eso se llama antena primaria. Este mecanismo de alimentación es de importancia básica, porque su función es irradiar la energía hacia el reflector parabólico, en lo posible se debe evitar el efecto de sombra. En la práctica es imposible lograrlo, aunque con un buen diseño se puede lograr que la mayor parte de la energía se pueda irradiar en la dirección adecuada; y, se puede reducir la sombra al mínimo. Hay tres tipos principales de antenas: alimentación central, alimentación cónica, y alimentación Cassegrain.

1.6.1 ALIMENTACIÓN CENTRAL

Como se puede ver en la figura 1.17 el reflector paraboloide alimentado en el centro con un reflector esférico adicional en el cual la antena primaria se coloca en el foco, irradiando la energía hacia el reflector lo cual genera una reflexión hacia afuera, en forma de un haz concentrado. Sin embargo, la energía que no refleja el paraboloide se reparte en todas las direcciones, y tiende a perturbar la distribución general de la radiación. El reflector esférico redirige esas emisiones, hacia atrás, al reflector parabólico, donde se vuelven a reflejar en la dirección correcta, aunque el reflector ayuda a concentrar más la energía en la dirección deseada, también puede bloquear algunas de las reflexiones iniciales. En consecuencia la ventaja lograda se anula en algo debido a su propio efecto de sombra y su eficiencia general solo es un poco mejor que cuando no se agrega el reflector esférico.

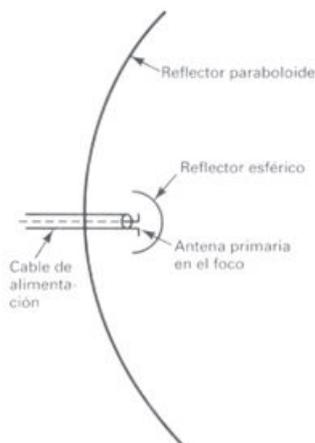


Figura 1.17 Antena con alimentación central¹⁹

¹⁹ http://datateca.unad.edu.co/contenidos/208019/MODULO%20ANTENAS%20Y%20PROPAGACION-2011/leccin_40_mecanismos_alimentadores.html

1.6.2 ALIMENTACIÓN POR BOCINA

Para una alimentación por bocina, la antena primaria es una antena pequeña cónica, y no un dipolo o arreglo de dipolos. La bocina es de un material abocardado (que tiene la boca semejante a la de una trompeta)²⁰ dirigida hacia el reflector parabólico. Cuando un campo electromagnético que se propaga llega a la boca del cuerno, continúa propagándose en la misma dirección general, pero según el principio de Huygens, el campo se reparte en dirección lateral y al final, formando un frente de onda esférico. La estructura cónica puede tener varias formas diferentes: sectorial, piramidal o cónica.

Como en la alimentación central, una alimentación cónica representa cierta obstrucción a las ondas que se reflejan del plato parabólico.

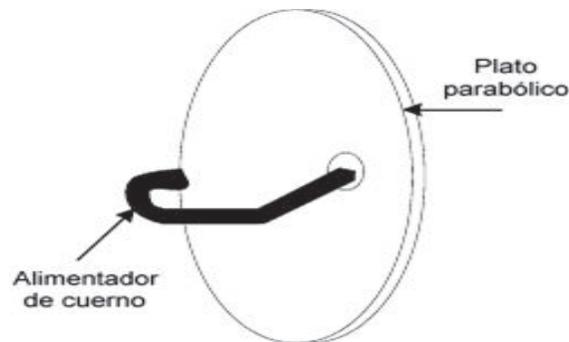


Figura 1.18 Antena con alimentación por bocina²¹

1.6.3 ALIMENTACIÓN DE CASSEGRAIN

Esta alimentación se deriva de los telescopios astronómicos ópticos, la forma geométrica de este reflector se muestra en la figura 1.19. La fuente de radiación primaria está atrás de una pequeña abertura en el vértice del paraboloide, y no en el foco. La antena primaria se apunta hacia un pequeño reflector secundario llamado (subreflector Cassegrain) que está en el vértice. Los rayos emitidos por la antena primaria se reflejan en el subreflector y a continuación iluminan el reflector parabólico principal, como si se hubieran originado en el foco. Los rayos son colimados por el reflector parabólico de la misma forma que los mecanismos de alimentación central y por bocina. El subreflector debe tener curvatura hiperbólica para reflejar los rayos de la antena primaria en tal forma que funcione como una fuente virtual en el foco del paraboloide.

²⁰ <http://es.thefreedictionary.com/abocardado>

²¹ Sistemas de Comunicaciones Electrónicas (pag.408) por Wayne Tomasi 4ta Edición.

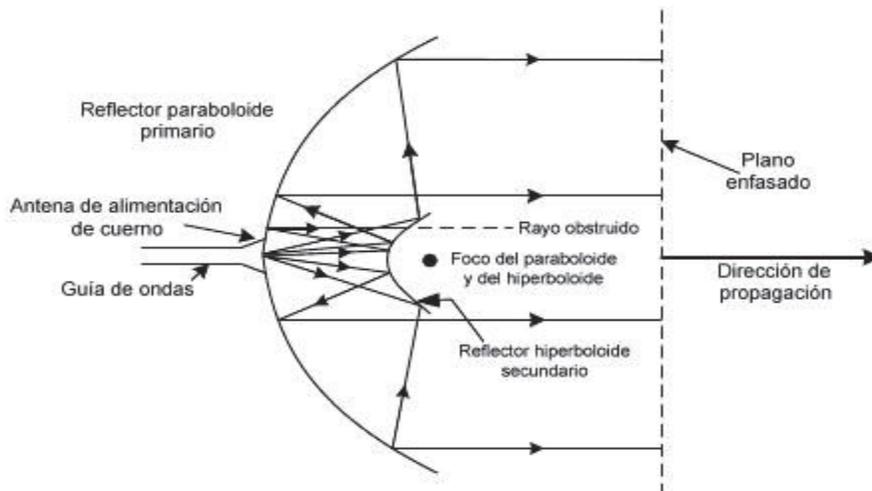


Figura 1.19 Antena con alimentación Cassegrain²²

1.7 GANANCIA DIRECTIVA Y GANANCIA DE POTENCIA

Los términos ganancia directiva y ganancia de potencia son términos que tienden a ser mal entendidos con frecuencia. La ganancia directiva es la relación de la densidad de potencia irradiada en una dirección particular con respecto a la densidad de potencia irradiada al mismo punto por una antena de referencia que normalmente se la toma respecto a una antena isotrópica, suponiendo que ambas antenas estén irradiando la misma cantidad de potencia. La gráfica de densidad de potencia de radiación para una antena en realidad es una gráfica de ganancia directiva. La ganancia directiva máxima se llama directividad.

La ganancia de potencia es lo mismo que la ganancia directiva, excepto que se usa la potencia total alimentada a la antena; es decir, se toma en cuenta la eficiencia de la antena. Se supone que la antena dada y la de referencia tienen la misma potencia de entrada y que la antena de referencia no tiene pérdidas.

1.8 POTENCIA ISOTRÓPICA EFECTIVA IRRADIADA

La EIRP es una potencia equivalente que debería irradiar una antena isotrópica para igualar la misma densidad de potencia que otra antena en la dirección elegida o en determinado punto, 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.

Es así que la antena irradia 10 veces más respecto a una antena isotrópica.

²² Sistemas de Comunicaciones Electrónicas (pag.409) por Wayne Tomasi 4ta Edición.

1.9 POLARIZACIÓN DE LA ANTENA

La polarización de una antena no es más que la orientación del campo eléctrico que se irradia de ella, entre los tipos de polarización tenemos la polarización lineal que puede ser vertical u horizontal.

Si la componente de campo eléctrico de la onda es perpendicular a la Tierra, la onda está polarizada de modo vertical, entonces se dice que una antena ubicada verticalmente produce polarización vertical, como se muestra en la figura 1.20²³.

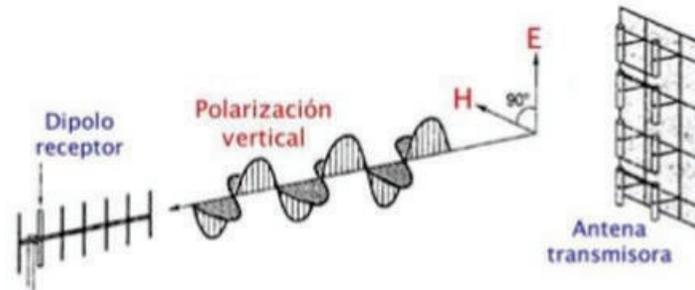


Figura 1.20 Polarización vertical de las antenas

Pero si una onda está horizontalmente polarizada, el campo eléctrico es paralelo a la Tierra, eso significa que la antena está ubicada horizontalmente, produciendo una polarización horizontal como muestra la figura 1.21.

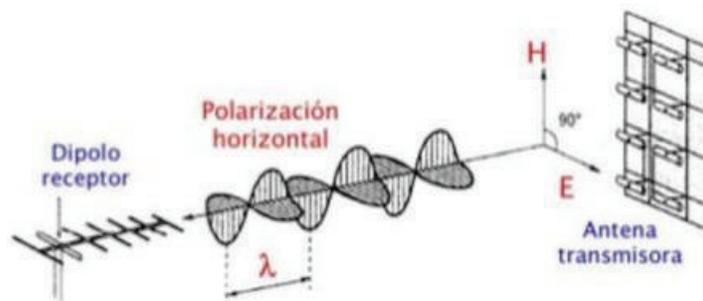


Figura 1.21 Polarización horizontal de las antenas

Normalmente en los sistemas radioeléctricos de comunicación es muy importante que las antenas transmisora y receptora tengan la misma polarización de la onda para una óptima recepción tal como podemos ver en la figura 1.20 y figura 1.21, en donde las antenas de transmisión y recepción están ubicadas de tal forma que

²³ <http://es.slideshare.net/edisoncoimbra/63-propagacion-en-el-espacio-libre>

produzcan la misma polarización ya sea esta polarización horizontal o polarización vertical.

1.10 ABERTURA DEL HAZ DE LA ANTENA

La abertura del haz de una antena es la separación angular entre dos puntos A y B respectivamente considerados de media potencia (-3 dB) en el lóbulo mayor de la gráfica de radiación de una antena que normalmente se suele tomar en uno de los planos “principales”. Se aprecia el ángulo del haz en la figura 1.22, la abertura del haz se llama a veces ancho de haz o ancho de haz de media potencia o ancho de lóbulo.

Además se puede acotar que la ganancia de la antena es inversamente proporcional a la abertura del haz mientras más grande es la ganancia de la antena el ancho del haz se hace más pequeño, dicho enunciado se puede comprobar en las antenas microonda de alta ganancia que tienen un ancho de haz de 1° .

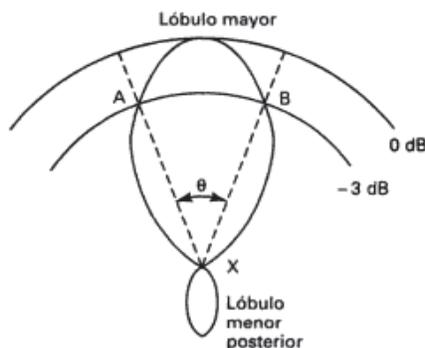


Figura 1.22 Abertura del haz de la antena²⁴

1.11 ANCHO DE BANDA DE ANTENA

El ancho de banda de una antena se define como el intervalo de frecuencias dentro del cual el funcionamiento de la antena es “satisfactorio”. Matemáticamente se define como la diferencia entre las frecuencias de media potencia (diferencia entre las frecuencias máxima y mínima de operación respectivamente).

El ancho de banda de una antena parabólica indica la banda de frecuencias para las que está diseñada la antena. Por ejemplo, una antena con un ancho de banda de 10,9 GHz a 12,8 GHz está diseñada para captar todas las frecuencias comprendidas entre los dos límites citados, lo que implica que tiene un ancho de banda de 1,9 GHz a partir de 10,9 GHz²⁵.

²⁴ Sistemas de Comunicaciones Electrónicas (pag.382) por Wayne Tomasi 4ta Edición.

²⁵ <http://fralbe.com/2009/06/05/antenas-parabólicas-ancho-de-banda-relación-senal-a-ruido-factor-de-potencia/>

1.12 PRESUPUESTO DE POTENCIA

Un presupuesto de potencia para un enlace punto a punto se define como el cálculo de ganancias y pérdidas desde el radio transmisor o fuente de la señal que emite la onda electromagnética, a través de cables, conectores o el espacio libre hacia el receptor. Para elegir el equipamiento adecuado es necesario realizar el presupuesto de potencia.

1.12.1 PÉRDIDAS EN EL ESPACIO LIBRE

Las pérdidas en el espacio libre se producen al propagarse la onda por el vacío y en línea recta sin tomar en cuenta la absorción ni reflexión de energía en objetos cercanos, esta pérdida que más bien debería llamarse pérdidas por dispersión se produce por el reparto de la energía la misma que a mayor distancia de la fuente es menor y más cerca de la fuente de energía es mayor.

$$L=32,4+20 \log(d[\text{km}])+20 \log(f[\text{MHz}]) \quad \text{Fórmula}[1.2]$$

Donde:

d: Es la distancia en kilómetros.

f: Es la frecuencia de operación en MHz.

1.12.2 MARGEN DE DESVANECIMIENTO

Se define como una pérdida adicional que se debe tomar en cuenta en las ya consideradas pérdidas de transmisión, en el margen de desvanecimiento se están considerando las pérdidas intermitentes en la intensidad de la señal provocadas por perturbaciones meteorológicas, como la lluvia, nieve, trayectos múltiples de transmisión y por la superficie irregular de la Tierra que afectan la propagación de las ondas electromagnéticas. El margen de desvanecimiento se incluye en la ecuación de ganancia del sistema para considerar características no ideales y no tan predecibles en la propagación de ondas de radio.

Además el margen de desvanecimiento nos permite tener en cuenta los objetivos de confiabilidad del sistema.

$$F_m=30\log d + 10\log (6 \cdot A \cdot B \cdot f) - 10\log (1-R) - 70 \quad \text{Fórmula}[1.3]$$

Donde:

F_m=Margen de desvanecimiento [dB].

$1-R=0.00001$ (objetivo de confiabilidad del enlace).

d =Distancia del transmisor al objetivo [Km].

A = Factor de rugosidad:

- 4 si el terreno es plano o agua.
- 1 para un terreno promedio.
- 0,25 para un terreno rugoso.

B = Factor climático:

- 0,5 zonas calientes y húmedas.
- 0,25 zonas intermedias.
- 0,125 para áreas montañosas o muy secas.

f =Frecuencia [GHz].

Para el propósito de nuestros cálculos se asumirá que $A=1$ y $B=0,125$, además se considerará un objetivo de confiabilidad del 99,99%= $(1-R)=0,0001$.

1.12.3 UMBRAL DE RECEPCIÓN

El umbral de recepción, es un valor referencial de potencia que tiene el equipo receptor, aquellos valores de señal por encima de este se puede decir que lograrán establecer una comunicación inalámbrica confiable.

$$U_r = P_r - F_m \text{ Fórmula [1.4]}$$

1.13 LA SENSIBILIDAD²⁶

La sensibilidad de un receptor es el nivel mínimo de señal de radio frecuencia que puede detectarse en la entrada del receptor y todavía producirá una señal de información demodulada que pueda ser útil.

Es algo arbitrario lo que constituye una señal de información utilizable. Generalmente, la relación de señal a ruido y la potencia de la señal en la salida de la sección de audio se utilizan para determinar la calidad de una señal recibida y si se puede utilizar o no. Por ejemplo para receptores de la banda de radiodifusión en AM comerciales, una relación de señal a ruido de 10 dB o mayor con 1/2 W de potencia

²⁶ <http://interactivelectronic.wordpress.com/2011/01/27/selectividad-y-sensibilidad-de-un-rx/>

(27 dBm) a la salida de la sección de audio se considera que se puede utilizar. Sin embargo, para receptores de microondas de banda ancha, una relación de señal a ruido de 40 dB o mayor con aproximadamente 5 mW de potencia (7 dBm) de la señal, es el valor mínimo aceptable. La sensibilidad de un receptor generalmente se indica en dBm o en micro voltios de señal recibida.

Como un concepto más amplio se puede decir que la sensibilidad identifica el valor mínimo de potencia necesario para decodificar bits lógicos y lograr alcanzar una cierta tasa de bits como se puede ver en la tabla 1 en la cual podemos apreciar que la tasa de transmisión depende de la sensibilidad de la tarjeta, es así que se considera que mientras más baja es la sensibilidad, mejor será la recepción del radio microonda.

Tarjeta	11 Mbps	5,5 Mbps	2 Mbps	1 Mbps
Orinoco cards PCMCIA Silver/Gold	-82 dBm	-87 dBm	-91 dBm	-94 dBm
Senao 802.11b card	-89	-91	-93	-95

Tabla 1 Valores típicos de sensibilidad de las tarjetas

inalámbricas para un receptor²⁷

En el desarrollo del proyecto se presentarán las características de los equipos de radio microondas, dichas características al igual que la tabla anterior nos presentan la tasa de bits de transmisión en función de los valores de sensibilidad que ofrecen los equipos.

Estas características son proporcionadas por el fabricante en las hojas de datos de los equipos, esta información será de gran ayuda pues nos permitirá elegir cuál es el equipo que cuenta con la mejor sensibilidad y mayor tasa de bits.

²⁷ http://www.itrainonline.org/itrainonline/mmtk/wireless_es/files/06_es_calculo-de-radioenlace_guia_v02.pdf

CAPÍTULO 2

SITUACIÓN ACTUAL DE LA COOPERATIVA INDÍGENA “ALFA Y OMEGA”

2.1 INTRODUCCIÓN

Para el presente capítulo es indispensable conocer como está estructurada la red de datos de la Cooperativa Indígena “Alfa y Omega”, esta información será de mucha ayuda para conocer las necesidades de comunicación que tiene la Cooperativa, en cuanto tiene que ver con datos y acceso a Internet.

2.2 ESTRUCTURA GENERAL DE LA COOPERATIVA INDÍGENA “ALFA Y OMEGA”

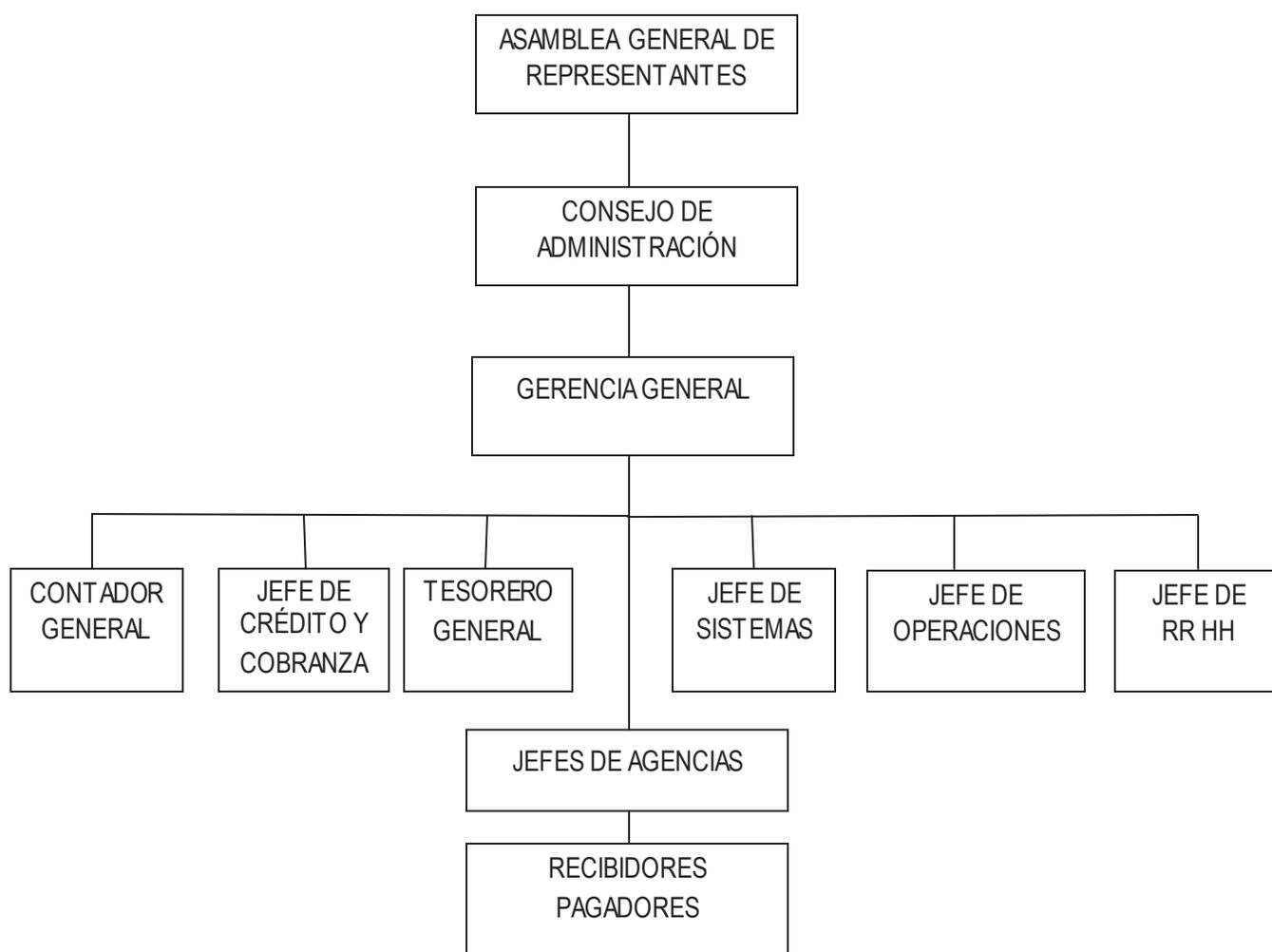


Figura 2.1 Estructura Jerárquica de la Cooperativa Alfa y Omega²⁸

²⁸ <http://coacalfayomega.com/servicios.php?i4>

2.3 MISIÓN

Ser considerada como una de las primeras Instituciones líderes en el mercado financiero a nivel local, regional y nacional, basadas en los principios y valores del cooperativismo, forjando el trabajo tesonero con ética, transparencia y rentabilidad a fin de brindar los mejores productos y servicios financieros a todos nuestros socios y clientes.

2.4 VISIÓN

La Cooperativa Indígena “ALFA Y OMEGA” es una organización indígena cristiana, que busca y aporta al desarrollo integral de la sociedad; fomentando y fortaleciendo la economía solidaria, contribuyendo al mejoramiento de la calidad de vida. Con un servicio de buena calidad, satisfaciendo todas las necesidades y exigencias de nuestros asociados.

2.5 DESCRIPCIÓN DE LA INFRAESTRUCTURA FÍSICA

La Cooperativa Alfa y Omega, funciona en el primer piso de una edificación ubicada en la Villaflora, en las calles Av. Calvas S10-100 y Av. Andrés Pérez, de esta ciudad de Quito, en la cual está instalada la Matriz de la Cooperativa, la cual ofrece servicios como son Créditos, Ahorros, Inversiones, Recaudación, Pago del SOAT, etc., cuenta con 8 oficinas distribuidas de la siguiente manera: Recepción, Caja, Tesorería, Gerencia General, Contabilidad General, Crédito, Cobranzas, Administración, las mismas que tienen un computador por cada oficina, actualmente la Cooperativa no cuenta con un lugar exclusivo para la ubicación de los equipos de comunicación.



Figura 2.2 Infraestructura física de la Cooperativa



Figura 2.3 Equipos de comunicación de la Cooperativa



Figura 2.4 Servidor



Figura 2.5 Infraestructura física interna de la Cooperativa

En lo que se refiere a la Sucursal, se encuentra ubicada en Tambillo, esta sucursal presta los mismos servicios que la Matriz, la diferencia es que tiene un espacio muy limitado, pues solo cuenta con dos oficinas, las mismas que cuentan con su propia computadora, de igual manera la Sucursal no cuenta con un lugar exclusivo para la ubicación de los equipos de comunicaciones.

2.6 DESCRIPCIÓN DE LOS EQUIPOS CON LOS QUE CUENTA LA COOPERATIVA

EQUIPOS MATRIZ	PC1	PC2	PC3
PROCESADOR	PENTIUM 4	PENTIUM 4	PENTIUM 4
MEMORIA	512 GB	512 GB	512 GB
DISCO DURO	120 GB	120 GB	120 GB
UNIDAD ÓPTICA	CD-ROM	CD-ROM	CD-ROM
VELOCIDAD INTERFAZ DE RED	10-100 MBPS	10-100 MBPS	10-100 MBPS

Tabla 2.1 Características de los equipos usados en la Cooperativa

EQUIPOS MATRIZ	PC4	PC5	PC6
PROCESADOR	PENTIUM 4	PENTIUM 4	PENTIUM 4
MEMORIA	512 GB	512 GB	512 GB
DISCO DURO	120 GB	120 GB	120 GB
UNIDAD ÓPTICA	CD-ROM	CD-ROM	CD-ROM
VELOCIDAD INTERFAZ DE RED	10-100 MBPS	10-100 MBPS	10-100 MBPS

Tabla 2.2 Características de los equipos usados en la Cooperativa

EQUIPOS MATRIZ	PC7	PC8	SERVIDOR
PROCESADOR	PENTIUM 4	PENTIUM 4	Intel® Core™ i5-4570
MEMORIA	2 GB	2 GB	4GB DDR3
DISCO DURO	120 GB	120 GB	500 GB
UNIDAD ÓPTICA	DVD-ROM	DVD-ROM	Slim SuperMulti ODD
VELOCIDAD INTERFAZ DE RED	10-100 MBPS	10-100 MBPS	10/100/1000 MBPS

Tabla 2.3 Características de los equipos usados en la Cooperativa

En la sucursal ubicada en Tambillo, se cuenta con dos computadores, un switch de propiedad de la Cooperativa; y, una antena parabólica que está instalada en las afueras de la edificación.

EQUIPOS SUCURSAL	PC1	PC2
PROCESADOR	PENTIUM 4	PENTIUM 4
MEMORIA	2 GB	2 GB
DISCO DURO	120 GB	120 GB
UNIDAD ÓPTICA	DVD-ROM	DVD-ROM
VELOCIDAD INTERFAZ DE RED	10-100 MBPS	10-100 MBPS

Tabla 2.4 Características de los equipos usados en la sucursal de la Cooperativa

	SWITCH MATRIZ	SWITCH SUCURSAL
MARCA	D-LINK	D-LINK
MODELO	DES-1024R+	DES-1024R+
NÚMERO DE PUERTOS	24	24
VELOCIDAD PUERTOS	10/100 FAST ETHERNET	10/100 FAST ETHERNET
ADMINISTRABLE SI/NO	NO	NO
PUERTOS POE SI/NO	NO	NO
OTRAS CARACTERÍSTICAS	Los puertos negocian automáticamente el ajuste del modo MDI/MDIX	Los puertos negocian automáticamente el ajuste del modo MDI/MDIX

Tabla 2.5 Características de los equipos de red de la matriz y sucursal de la Cooperativa

2.7 DESCRIPCIÓN DE LA RED ACTUAL DE LA COOPERATIVA

2.7.1 DESCRIPCIÓN DE LA RED DE LA MATRIZ

Actualmente la Cooperativa Indígena “Alfa y Omega” cuenta con una red LAN compuesta solo por el cableado horizontal, pues la Matriz ubicada en la Villaflora funciona solo en el primer piso de una edificación, actualmente la Matriz cuenta con servicio de Internet el cual fue contratado a la empresa Netlife, los términos y condiciones establecen un servicio a una velocidad de 5 Mbps para la navegación en Internet, adicionalmente en la Matriz se encuentran operando los equipos principales de la red como es el módem que provee la empresa Netlife, un switch propiedad de la cooperativa, ocho computadores los cuales están distribuidos uno por cada oficina, 2 cámaras de vigilancia y un servidor, en la figura 2.6 podemos observar la estructura dentro de la cooperativa.



Figura 2.6 Descripción física de la red de la matriz

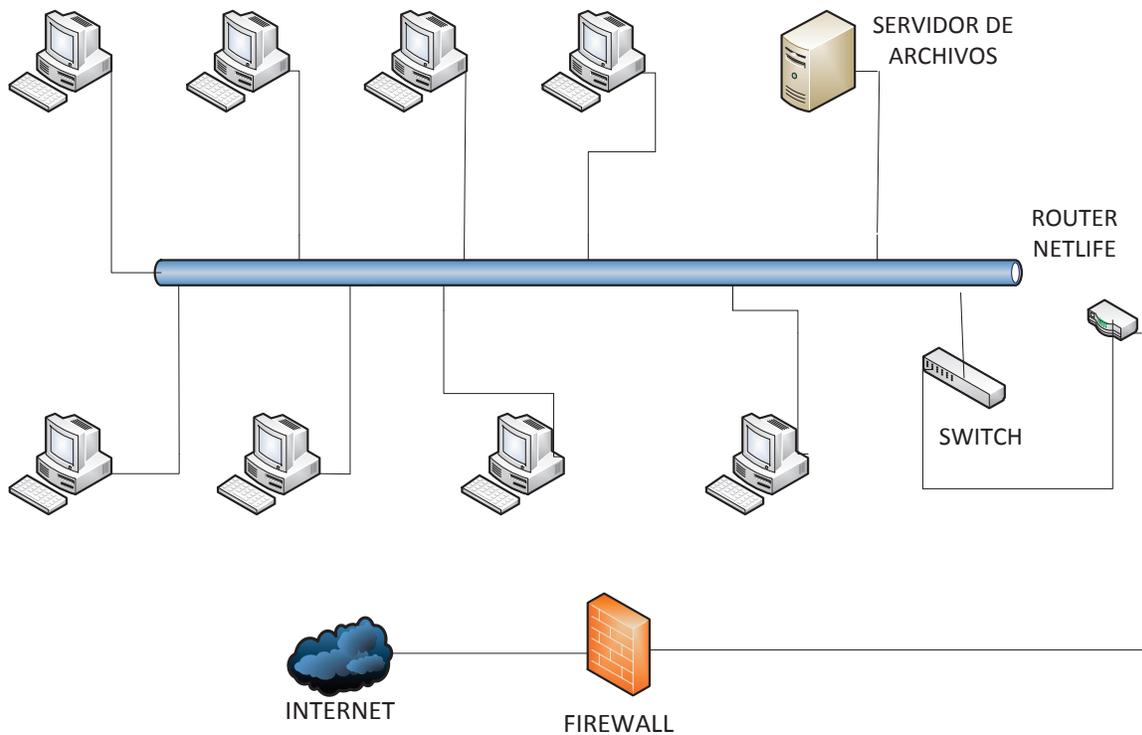


Figura 2.7 Diagrama de red de la matriz Villaflora

Todos los equipos se encuentran en el mismo segmento de red, todos los usuarios pueden acceder a la información que se encuentra en el servidor, pero solo pueden visualizarla, mas no manipular o realizar algún cambio en la información, solo aquellas personas que posean la clave, pueden ingresar y realizar algún cambio, como el estado de cuenta, cambio de contraseñas, cambio de activos etc., además toda la información sobre las transacciones que realiza la Cooperativa tanto en la Matriz como en la Sucursal es almacenada en este único servidor.

2.7.2 DESCRIPCIÓN DE LA RED DE LA SUCURSAL

Actualmente la Cooperativa Indígena “Alfa y Omega” Sucursal de Tambillo cuenta con una red LAN que está conformada solo por el cableado horizontal, con cuatro computadores, uno por cada oficina, un switch al que están conectados los equipos terminales y una antena que es la que permite conectarse con el proveedor de Internet.

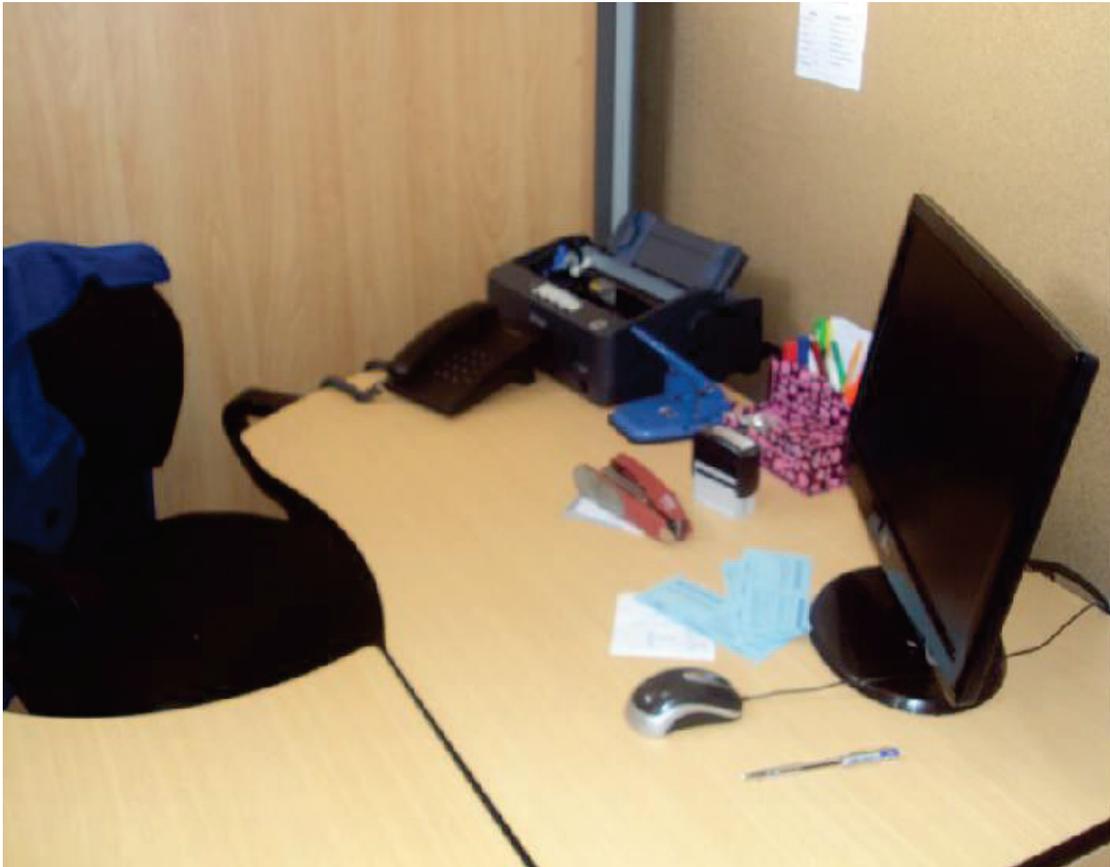


Figura 2.8 Infraestructura física interna de la sucursal

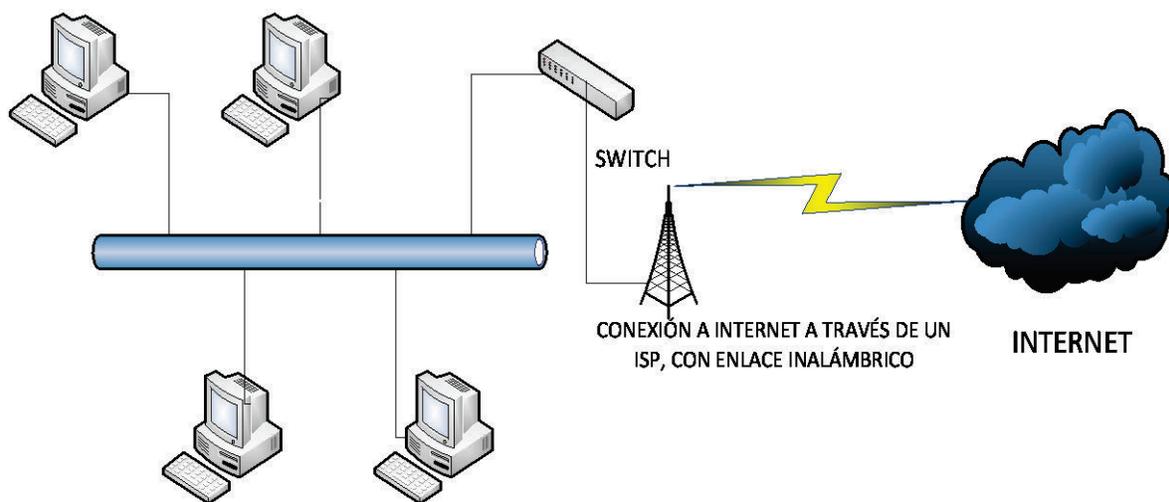


Figura 2.9 Diagrama de red de la sucursal Tambillo

CAPÍTULO 3

ESTUDIO Y DISEÑO DEL ENLACE DE RADIO

3.1 PERFILES TOPOGRÁFICOS Y SIMULACIONES DE LOS ENLACES

3.1.1 PERFIL TOPOGRÁFICO DEL TRAYECTO VILLAFLORA – TAMBILLO

Gracias a los datos proporcionados por Google Earth podemos conocer con anticipación el perfil del enlace Villaflora – Tambillo, y como se puede ver, debido a la situación geográfica en la que se encuentra tanto la Matriz ubicada en el sector de la Villaflora y de la sucursal ubicada en la parroquia de Tambillo, es imposible enlazar dichos puntos directamente tal como se muestra en la figura 3.1, por tanto es necesario hacer una triangulación, es decir poner los repetidores en sitios altos, estos repetidores se los ubica generalmente en partes altas como son montañas o cerros, para nuestro caso el mejor sitio que hemos escogido es el Cerro Atacazo, el mismo que hemos considerado como un punto estratégico, pues además que posee una buena altura, tiene una infraestructura ya instalada como son torres y casetas, cuenta con acceso para vehículos, por tanto es un sitio que cuenta con las condiciones necesarias para realizar el mantenimiento de los equipos o enlaces e idóneo para instalar las repetidoras.

Con estos datos empezamos a analizar el perfil topográfico que se tiene entre los sitios designados como es la Villaflora donde se encuentra la Matriz y el Cerro Atacazo, el cual hemos designado para ubicar las repetidoras, Google Earth nos permite visualizar si existe algún obstáculo que impide la línea de vista (L.O.S) entre estos dos sitios, lo cual puede afectar al desempeño de este enlace tal como

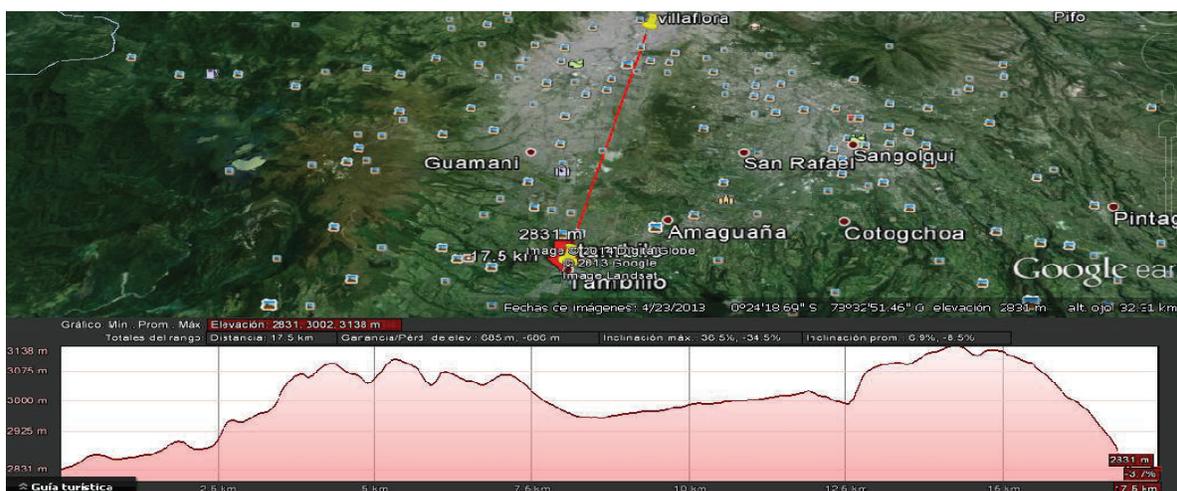


Figura 3.1 Perfil topográfico directo

se puede ver en la figura 3.2. Con esta aplicación podemos visualizar que hay una elevación a 1,86 km medidos desde el Cerro Atacazo, esta elevación podría ser un obstáculo para la zona de Fresnel, pero para considerarlo así, se trabajará con la aplicación Radio Mobile.

3.1.2 PERFIL TOPOGRÁFICO DEL TRAYECTO VILLAFLORA – CERRO ATACAZO

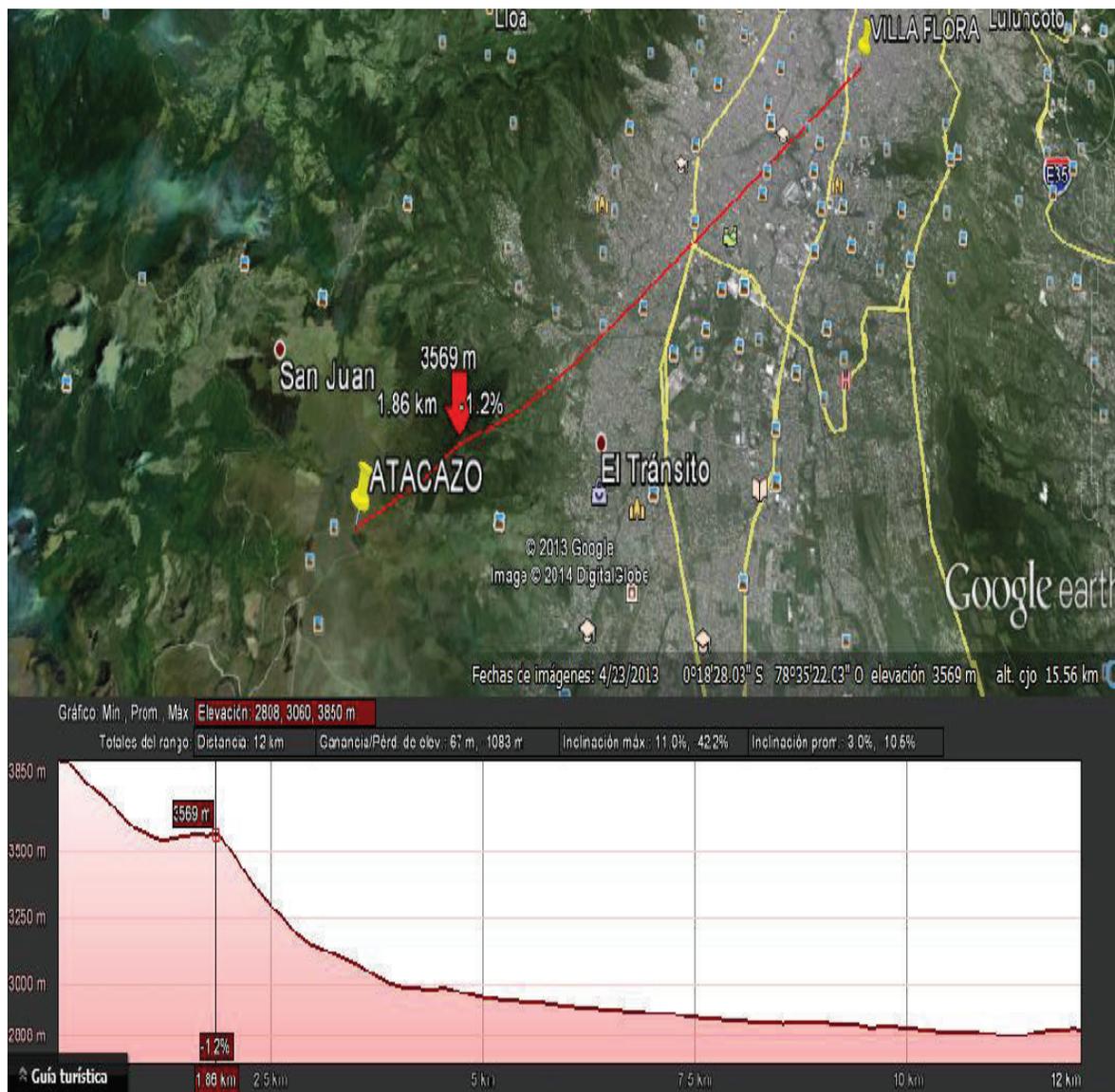


Figura 3.2 Perfil topográfico Villaflora – Cerro Atacazo

Radio Mobile es la aplicación que se usará en el presente proyecto, esta aplicación es de distribución libre, es un programa de simulación de radioenlaces que opera en el rango de 20 MHz a 20 GHz, como nuestro enlace trabajará en 5,8 GHz, podemos

usar esta aplicación sin ningún problema, esto es de mucha ayuda ya que evita el tedioso trabajo de hacerlo manualmente, además el trabajo de conseguir cartas topográficas e ir relevando todas las curvas de nivel que atraviesa nuestro enlace, para luego poder empezar a considerar los demás aspectos operativos para un correcto funcionamiento del mismo.

Una de las características más importantes de este programa es que usa cartografía y mapas obtenidos de los satélites, adicionalmente a esto, este software nos entrega información muy útil como pérdidas de propagación, despeje de la zona de Fresnel que se visualiza como WorstFresnel indicando que para $1F_1$ se tiene 100% de la primera zona de Fresnel despejada o bien $0,5F_1$ indicando que el 50% de la primera zona de Fresnel está despejada, también información sobre la distancia entre los dos sitios a enlazar, información sobre el ángulo de inclinación, el ángulo medido desde el norte magnético o más conocido como Azimuth, esta información es muy útil al momento de instalar las antenas ya que con la ayuda de una brújula tomamos como referencia el norte magnético, que es la dirección a donde siempre está apuntando la aguja magnética, y con la información proporcionada por Radio Mobile es mucho más fácil conocer en qué dirección se debe apuntar la antena, para nuestro caso las antenas usadas son antenas directivas que necesitan línea de vista y deben estar bien alineadas, permitiendo enfocar toda la potencia irradiada hacia la otra antena, al encontrar la dirección a la que debemos apuntar se puede empezar a realizar las pruebas respectivas hasta lograr conectividad.

Radio Mobile además nos permite variar las alturas de las torres logrando obtener una altura idónea para cada sitio, permitiéndonos despejar la primera zona de Fresnel, la cual es muy importante para poder obtener un enlace estable, al obtener la información acerca de las alturas de las torres, podremos escoger y cotizar las torres adecuadas que se van a instalar en la Matriz Villaflores y en la Sucursal Tambillo.

A continuación se muestra los cálculos que se obtuvieron con este software Radio Mobile (Figura 3.3), los cálculos son pérdidas de propagación y pérdidas por obstrucción, además en Radio Mobile se puede apreciar información de la frecuencia de trabajo, distancia entre los dos sitios y algo muy importante como es determinar si el enlace tiene línea de vista.

En la figura 3.4, podemos apreciar el perfil geográfico desde el Cerro Atacazo hasta la Matriz Villaflores, permitiéndonos comprobar si existe o no algún obstáculo que impida la línea de vista directa, también nos permite variar la altura de las torres y conocer como podemos mejorar o afectar al rendimiento del enlace.

Cabe destacar que las coordenadas de cada sitio fueron tomadas directamente de Google Earth, es por eso que los perfiles mostrados tanto en Google Earth como Radio Mobile son similares:

3.1.3 COORDENADAS DE LOS SITIOS A ENLAZAR

Nodo	Latitud	Longitud
Villaflora	0°15'6.11"S	78°31'7.01"O
Cerro Atacazo	0°19'5.10"S	78°36'8.10"O
Tambillo	0°24'18.69"S	78°32'51.46"O

Tabla 3.1 Coordenadas geográficas de las entidades y repetidor

3.1.4 SIMULACIÓN DEL ENLACE VILLAFLOA - CERRO ATACAZO

Radio Link

Edit View Swap

Distance between ATACAZO and VILLAFLOA is 11,9 km (7,4 miles)
 True North Azimuth = 51,63°, Magnetic North Azimuth = 54,15°, Elevation angle = -4,7607°
 Terrain elevation variation is 1038,5 m
 Propagation mode is line-of-sight, minimum clearance 7,6F1 at 0,2km
 Average frequency is 5800,000 MHz
 Free Space = 129,2 dB, Obstruction = 1,9 dB, Urban = 0,0 dB, Forest = 0,0 dB, Statistics = 6,7 dB
 Total propagation loss is 137,7 dB
 System gain from ATACAZO to VILLAFLOA is 189,0 dB (yagi.ant at 51,6° gain = 34,0 dB)
 System gain from VILLAFLOA to ATACAZO is 189,0 dB (yagi.ant at 231,6° gain = 34,0 dB)
 Worst reception is 51,3 dB over the required signal to meet
 70,000% of situations

Transmitter

ATACAZO

Role: Slave

Tx system name: VHF

Tx power: 0,5012 W 27 dBm

Line loss: 0 dB

Antenna gain: 34 dBi 31,8 dBd +

Radiated power: EIRP=1,26 kW ERP=0,77 kW

Antenna height (m): 30 - + Undo

Receiver

VILLAFLOA

Role: Master

Rx system name: VHF

Required E Field: 24,48 dBμV/m

Antenna gain: 34 dBi 31,8 dBd +

Line loss: 0 dB

Rx sensitivity: 4,4668μV -94 dBm

Antenna height (m): 10 - + Undo

Net

VILLAFLOA- ATACAZO

Frequency (MHz)

Minimum: 5780 Maximum: 5820

Figura 3.3 Detalles de propagación del enlace Villaflora – Cerro Atacazo

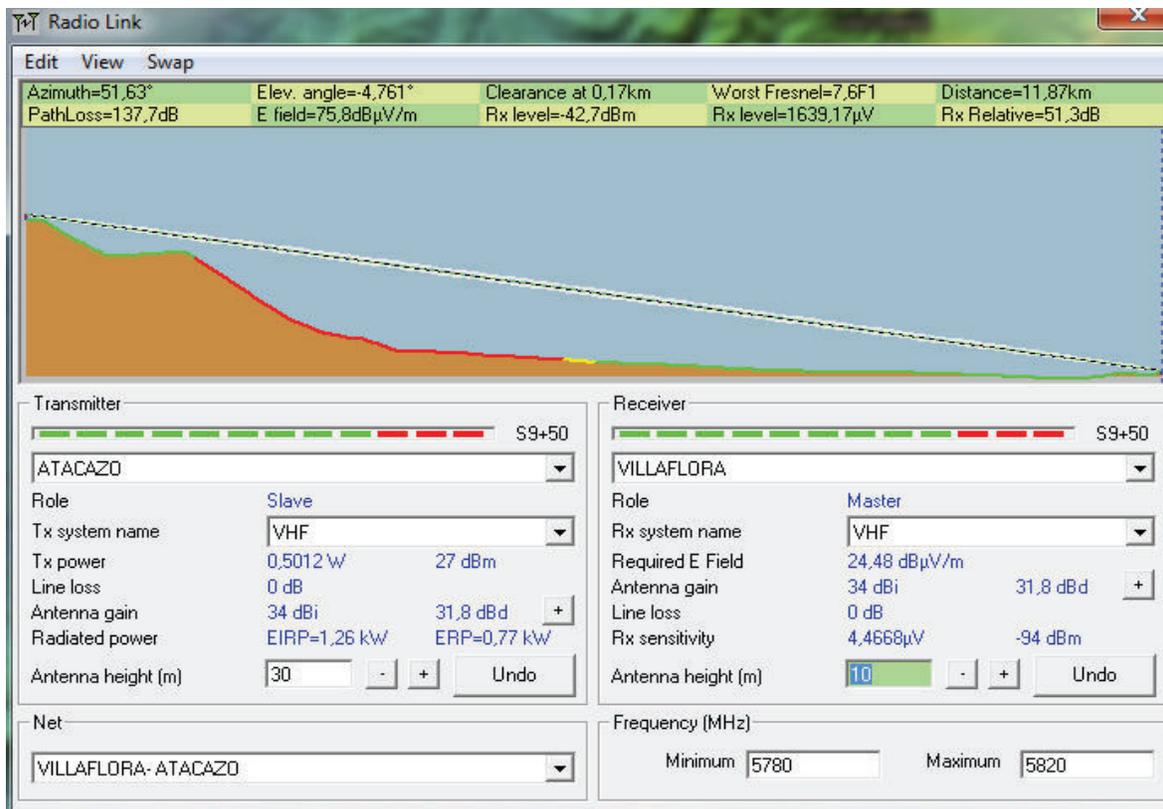


Figura 3.4 Simulación del enlace Villaflora - Cerro Atacazo

Como podemos ver, el radioenlace en la simulación está operando en 5800 MHz o lo que es lo mismo 5,8 GHz, se tiene un despeje de la primera zona de Fresnel indicado por WorstFresnel de 7,6F1, que es mayor que el recomendado (0,6F1), para que un enlace se considere confiable, cabe aclarar que en el caso del Cerro Atacazo, la altura de la torre instalada es de 60 metros, mucho más de la que hemos asumido, mientras que la altura de la torre asumida en la simulación para el sitio ubicado en el sector Villaflora fue de 10 metros, cabe aclarar que estos datos se han obtenido sin tomar en cuenta que existen edificaciones cercanas que pueden obstruir la línea de vista entre los mencionados sitios, por tanto más adelante se realizará una inspección para determinar si en realidad existe alguna edificación que impida la línea de vista directa, pero por ahora se puede decir que para instalar la antena solo necesitaríamos un subir la altura de la misma 2 metros adicionales, así pues la información mostrada por Radio Mobile en WorstFresnel es muy favorable aún trabajando con la mitad de la altura máxima que se encuentra en el Cerro Atacazo, por el momento se puede decir que el trayecto tomado desde la Matriz ubicada en la Villaflora, para llegar a la Sucursal ubicada en Tambillo a través del Cerro Atacazo presenta condiciones favorables en lo que respecta a las pruebas de línea de vista.

3.1.5 PERFIL TOPOGRÁFICO DEL TRAYECTO CERRO ATACAZO-TAMBILLO

Google Earth también nos proporciona información sobre el perfil geográfico entre el Cerro Atacazo y Tambillo, en el cual podemos ver que existe un obstáculo que se debe considerar y verificar que no obstruya la línea de vista, el cual se encuentra a una distancia de 1,5 km de Tambillo con una altura de 2949 metros.

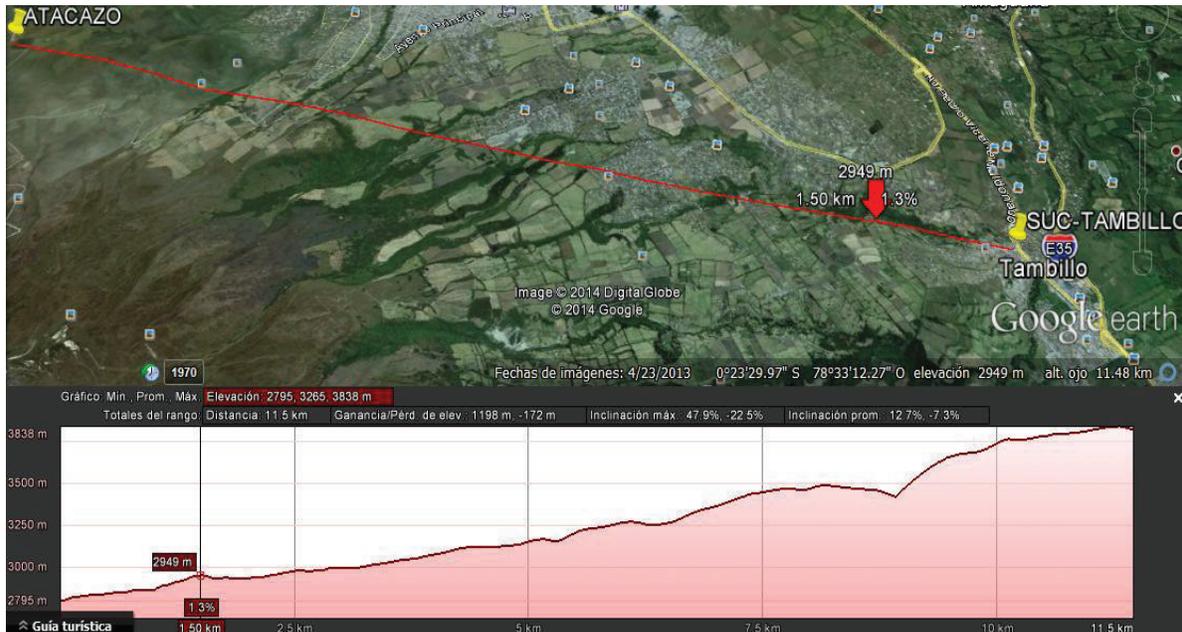


Figura 3.5 Perfil topográfico enlace Cerro Atacazo-Tambillo

Ahora procedemos a verificar si es posible tener línea de vista L.O.S, entre los dos sitios Cerro Atacazo y Tambillo, para lo cual también usaremos la aplicación Radio Mobile, en este enlace se tiene un despeje de la primera zona de Fresnel indicado por WorstFresnel que es igual a $1,3F1$.

Este valor es mejor que el esperado pues como se mencionó anteriormente para poder levantar un enlace, por lo menos el 60% de la primera zona de Fresnel debe estar despejada ($0,6F1$), mientras que para el valor obtenido de $1,3 F1$ podemos ver que más de la primera zona de Fresnel se encuentra despejada (Figura 3.6).

Adicionalmente podemos ver en la información que nos proporciona Radio Mobile en la simulación, el radio enlace está operando en 5800 MHz o lo que es lo mismo 5,8 GHz, el modo de operación es línea de vista, es decir que no hay una obstrucción que afecte al enlace (Figura 3.7).

3.1.6 SIMULACIÓN DEL ENLACE CERRO ATACAZO - TAMBILLO

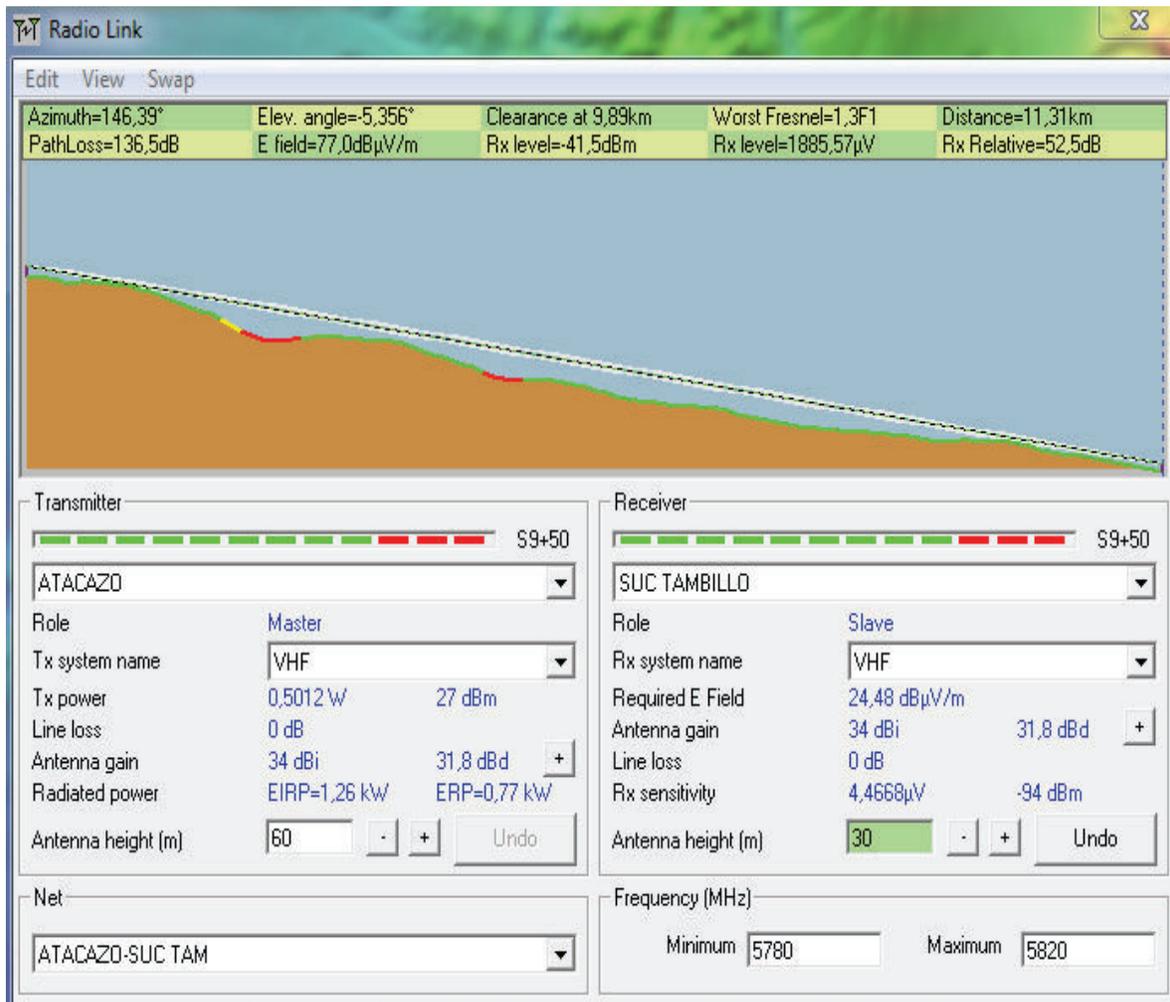


Figura 3.6 Simulación del enlace Cerro Atacazo –Tambillo

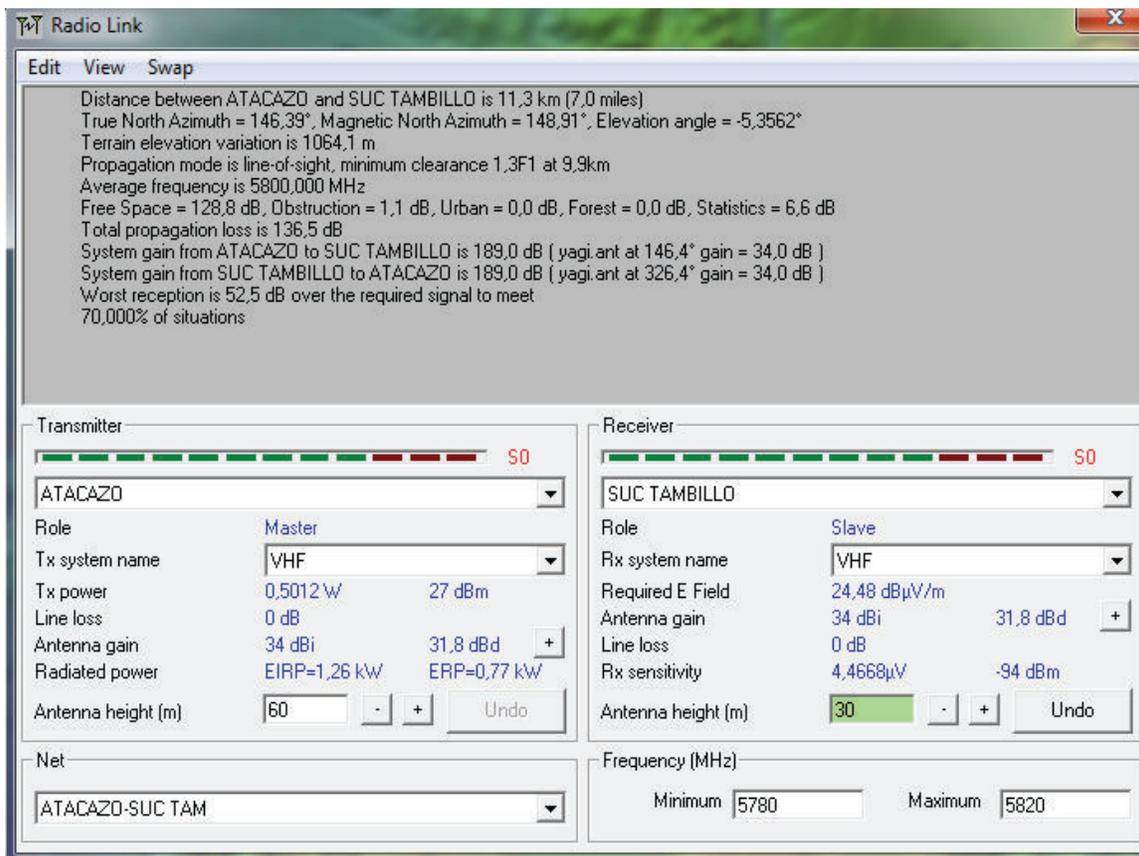


Figura 3.7 Detalles del enlace Cerro Atacazo-Tambillo

A diferencia de la anterior simulación para el enlace Villaflores - Cerro Atacazo, en la que se consiguió un óptimo despeje de la primera zona de Fresnel solo considerando la mitad de la altura de la torre instalada en el Cerro Atacazo, ahora fue necesario tomar la máxima altura de la torre (60 metros) para lograr un mayor despeje de la primera zona de Fresnel, consiguiendo así 1,3F1 en el despeje de la primera Zona de Fresnel, las alturas máximas consideradas de las torres en el Cerro Atacazo fueron 60 metros y para Tambillo 30 metros, cabe señalar que en el Cerro Atacazo la torre instalada cuenta con la altura considerada, mientras que en Tambillo la altura de la torre que nosotros hemos considerado es una altura promedio que debería tomarse en cuenta para su instalación, aunque como veremos más adelante la altura máxima puede variar, por ahora nos limitaremos a decir que a los 30 metros de altura se tiene el mayor valor de despeje de la primera zona de Fresnel.

Por otro lado en la práctica no es siempre posible ubicar la antena en la punta de la torre, porque puede darse el caso, que en el lugar se encuentren antenas ya instaladas este puede ser el caso de la torre en el Cerro Atacazo, así es que hemos reducido las alturas, pues el software Radio Mobile nos permite variar estos parámetros, hasta

obtener un despeje de la primera zona de Fresnel en 1F1, para lo cual es necesario una mínima altura de 57 m de la torre para el Cerro Atacazo (Figura 3.8), obteniendo un rango de 3 metros, en el cual se puede ir variando la altura a la cual se va a instalar la antena en el Cerro Atacazo, mientras que para Tambillo la altura recomendada aumentó a 33 metros, para mantener la primera zona de Fresnel 100% despejada (1F1).

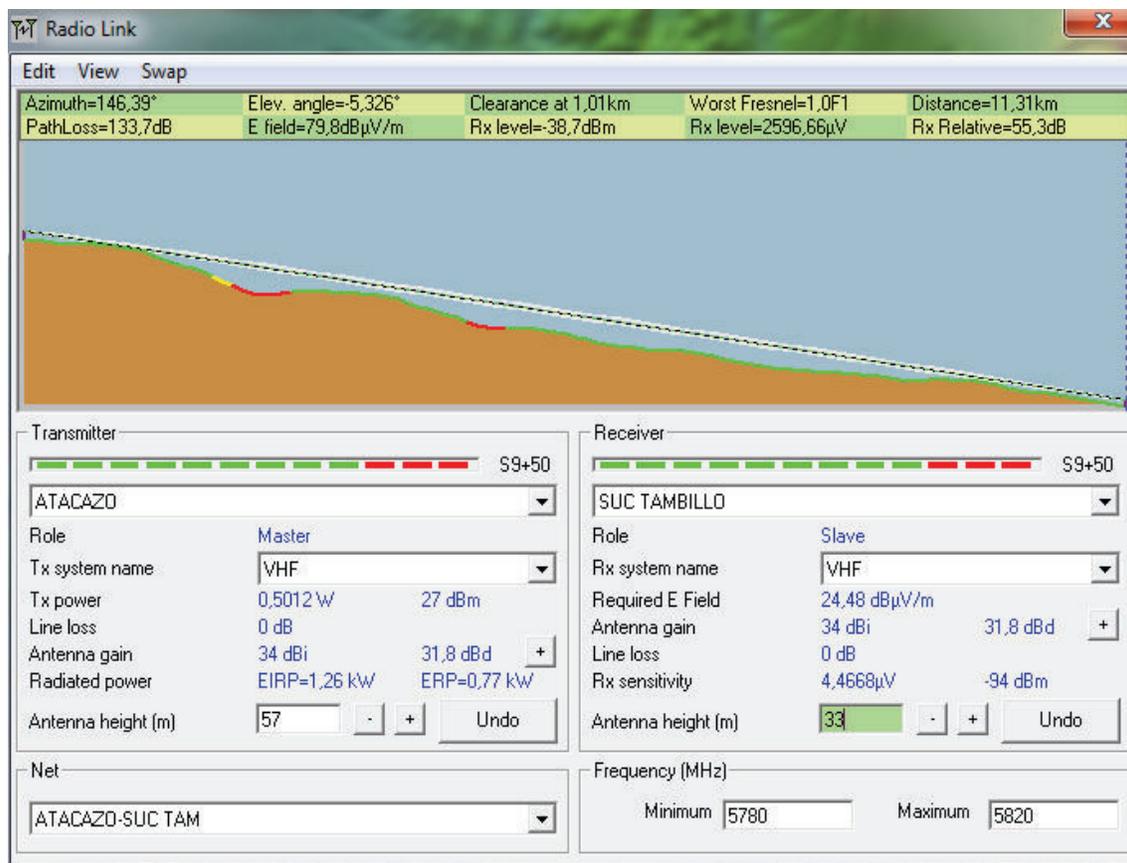


Figura 3.8 Simulación del enlace Cerro Atacazo- Tambillo

Así que lo recomendable sería instalar una torre de 36 metros en Tambillo, pues de no ser así implicaría poner la antena en la punta de la torre, es por eso que una torre de 36 metros es la que se considera debería instalarse, para lograr tener un rango de 3 metros, en el cual se puede variar la altura a la cual se va a instalar la antena. Consiguiendo así una línea de vista directa con el Cerro Atacazo y poder lograr un enlace estable.

3.1.7 ESTUDIO DE LA FACTIBILIDAD DEL ENLACE CERRO ATACAZO - TAMBILLO CON UN DESPEJE DEL 60% DE LA PRIMERA ZONA DE FRESNEL

A continuación se muestra las simulaciones que se llevaron a cabo en el software Radio Mobile (figura 3.9), que nos permiten conseguir un despeje para la primera zona de Fresnel de 0,6F1 o dicho de otra manera, el 60% de la zona de Fresnel despejada, ya que teóricamente es posible levantar un enlace si se cumple con este requerimiento de solo tener el 60 % de la primera zona de Fresnel despejada, es por eso que en el presente proyecto hemos analizado distintas alternativas con el objetivo de conocer cuál sería la altura mínima que debería tener la torre que se instalará en Tambillo, para obtener un enlace estable y confiable con el 60% de despeje de la primera zona de Fresnel.

Hemos conseguido reducir la altura requerida de la torre tanto para el Cerro Atacazo y para la torre a ser instalada en Tambillo, logrando reducir la altura hasta los 55 metros para el Cerro Atacazo y 25 metros para Tambillo, es decir que de ser necesario instalar la antena a esas alturas por varias razones como: espacio limitado, costo total de la torre, etc., se podría aún realizar el enlace entre el Cerro Atacazo y Tambillo.

Estos resultados nos han permitido encontrar la mínima altura que podría utilizarse para la construcción de las torres, obteniendo así una alternativa mucho más factible a la hora de implantar el proyecto, pero cabe señalar que el Cerro Atacazo cumple con las condiciones necesarias para la ubicación de las antenas, dichas condiciones ya se indicaron anteriormente, pero además es el lugar que ofrece una excelente línea de vista, la misma que es necesaria para un enlace punto a punto, y que asegura que la información siempre sea compartida en forma rápida y confiable, a través de un radioenlace desde la Matriz ubicada en la Villaflora hasta la Sucursal ubicada en la parroquia de Tambillo.

Los perfiles mostrados tanto en Google Earth como Radio Mobile nos han permitido conocer cuál es el enlace que presenta mayores obstáculos en el trayecto, siendo el enlace Cerro Atacazo hacia Tambillo el que tiene un perfil más irregular, es por eso que se ha enfocado en realizar un mayor análisis en este enlace, buscando la mínima altura a la que requiere estar la antena para permitir que el sistema continúe trabajando.

Nos hemos basado en criterios empíricos para el diseño del radioenlace que afirman que la atenuación desaparece cuando el despeje es igual al 60% del radio de la primera zona de Fresnel²⁹.

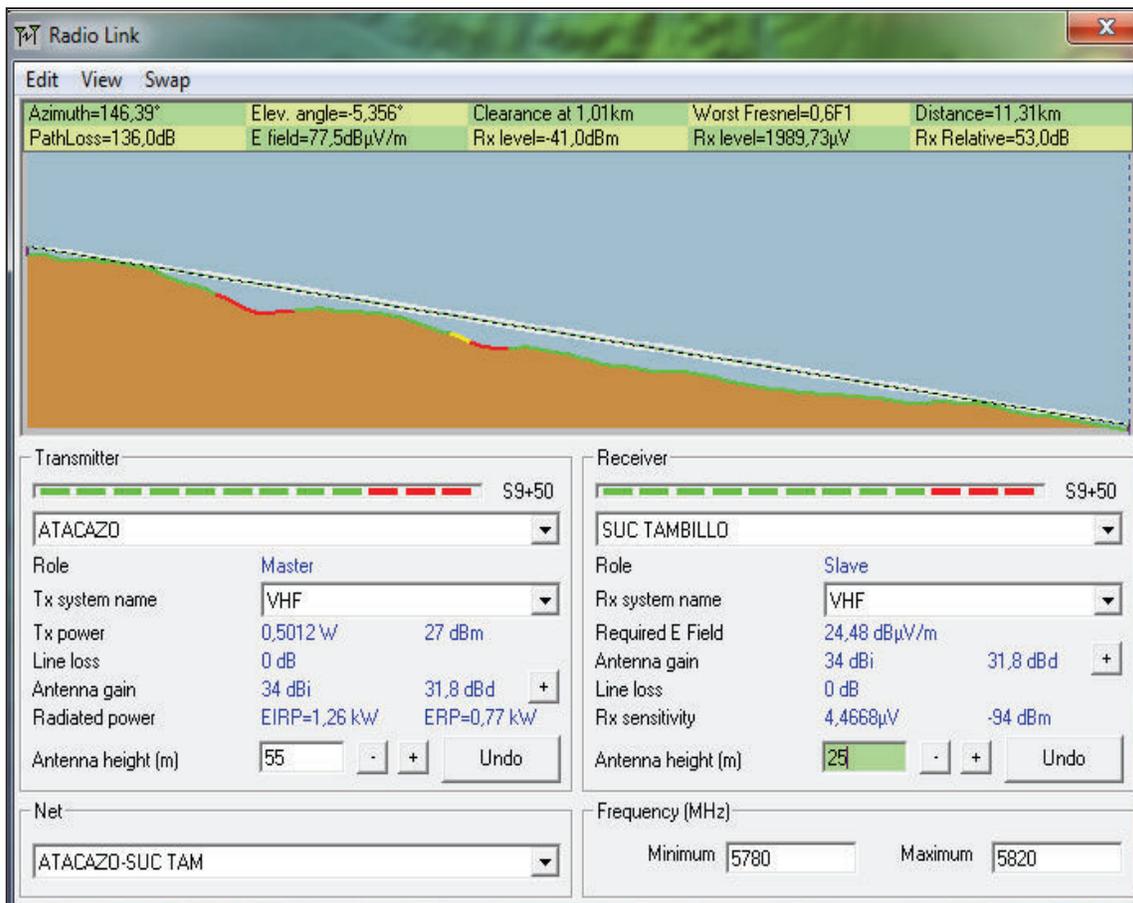


Figura 3.9 Despeje del 60% de la primera zona de Fresnel

²⁹ <http://www.radioenlaces.es/articulos/perdidas-en-obstaculos/>

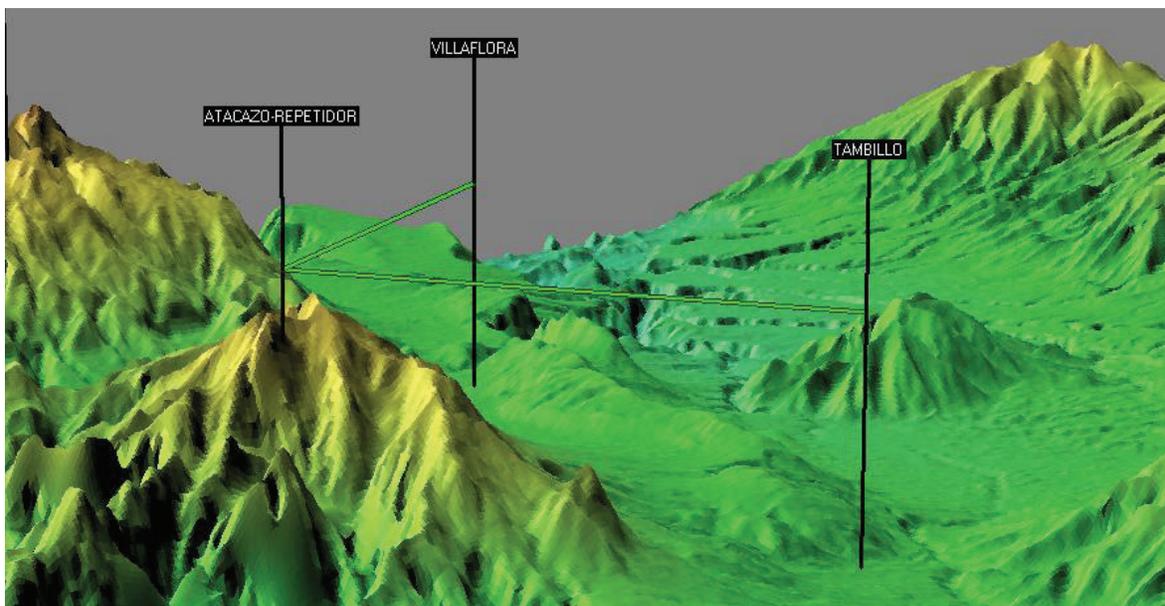


Figura 3.10 Vista tridimensional enlace Villaflora-Tambillo

3.2 ESTUDIO DE LA FACTIBILIDAD DEL ENLACE

Como hemos visto hasta ahora no fue posible realizar un enlace directo entre la matriz ubicada en el sector Villaflora y la sucursal ubicada en la parroquia de Tambillo para lo cual fue necesario realizar un estudio de propagación basado en simulaciones utilizando el software Radio Mobile que combina mapas proporcionados por la NASA (SRTM) (Misión Topográfica Shuttle Radar) y DEM (Mapas de elevación digital) y características del equipo para simular el enlace.

Además se realizó un estudio de propagación adicional para el enlace comprendido entre el repetidor ubicado en el Cerro Atacazo y la Sucursal ubicada en Tambillo utilizando el 60% de la zona de Fresnel, esto debido a que en la práctica es muy común utilizar solamente el 60% de la primera zona de Fresnel despejada para asegurar la comunicación de un enlace punto a punto, de este modo fue posible conocer la altura mínima necesaria que debe tener la torre que debería instalarse en la sucursal ubicada en Tambillo, y la altura mínima a la que debe instalarse la antena en la torre ubicada en el Cerro Atacazo.

3.2.1 CÁLCULOS

Como el proyecto se planteó para el uso exclusivo de antenas Ubiquiti, por los costos que implica la implementación de un radio enlace en otras marcas como Motorola, Cisco, TP Link, etc., que bordean los 3000 a 5000 dólares, hemos tratado de que los costos de los equipos sean más asequibles, es así que el uso de esta marca en especial es por el precio y tecnología tan competitivos que tiene en el mercado,

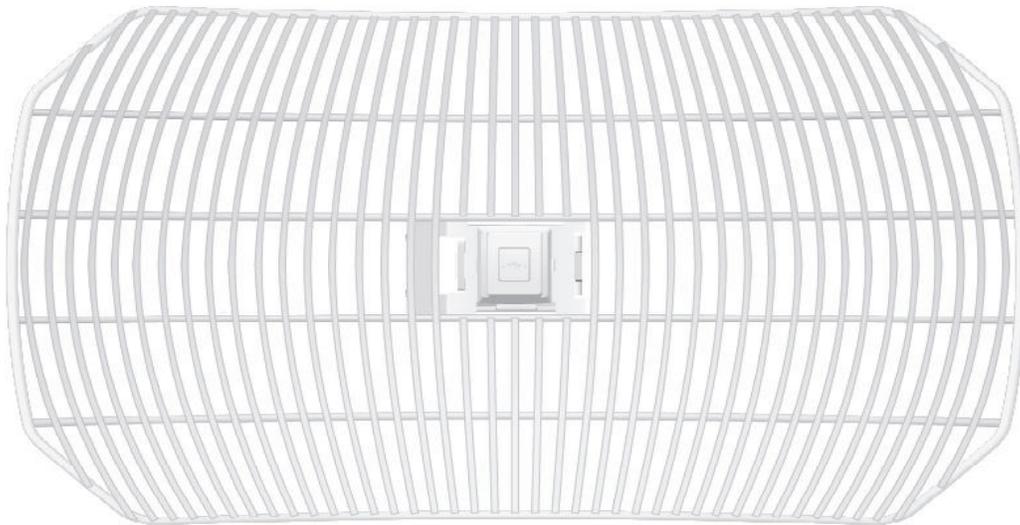
por tal motivo se mencionarán los equipos que cumplan con los requerimientos que busca la empresa como es transmitir datos e Internet, para lo cual se describirá las características de las diferentes antenas con las que cuenta la línea Ubiquiti, que en nuestro caso lo recomendable es usar antenas con la mayor ganancia y directividad posible, siendo las antenas parabólicas las que ofrecen dichas características y aún un mayor alcance, este tipo de antenas como se mencionó anteriormente concentran la mayor cantidad de energía hacia un solo lugar, siendo las antenas más utilizadas para enlaces punto a punto, esto nos da una buena referencia del tipo de antena que podemos usar en el estudio y diseño de un enlace para datos e Internet, en base a los puntos antes mencionados, realizaremos la comparación entre las antenas de la línea Ubiquiti que nos ofrezcan las características que necesitamos, como son alta ganancia, directividad, un buen ancho de banda y largo alcance.

Para poder escoger cuál antena ofrece las mejores características analizaremos cada una de ellas, entre las que tenemos:

3.2.2 CARACTERÍSTICAS DE LA ANTENA AIRGRID M5 HP

Model:	AG-HP-5G23	AG-HP-5G27
Worldwide:	5170 – 5875 MHz	5170 – 5875 MHz
Ganancia:	23 dBi	27 dBi
Antenna Size:	370 x 270 mm	620 x 460 mm

Tabla 3.2 Características de la antena AirGrid M5 HP



Front View

Figura 3.11 Antena Airgrid vista frontal



Side View

Figura 3.12 Antena Airgrid vista lateral

AG-HP-5G23 Specifications							
Dimensions	370 x 270 x 260 mm (Mount Included)						
Weight	1452 g (Mount Included)						
Wind Survivability	125 mph						
Wind Loading	8 lbf @ 125 mph						
Antenna / Radio Information							
Operating Frequency	Worldwide: 5170 – 5875 MHz USA: 5725 – 5850 MHz						
Output Power	25 dBm						
Max. VSWR	1.5:1						
Gain	23 dBi						
TX Power Specifications				RX Power Specifications			
Modulation	Data Rate	Avg. TX	Tolerance	Modulation	Data Rate	Sensitivity	Tolerance
11a	1 - 24 Mbps	25 dBm	± 2 dB	11a	1 - 24 Mbps	-97 dBm min.	± 2 dB
	36 Mbps	24 dBm	± 2 dB		36 Mbps	-90 dBm	± 2 dB
	48 Mbps	22 dBm	± 2 dB		48 Mbps	-86 dBm	± 2 dB
	54 Mbps	21 dBm	± 2 dB		54 Mbps	-84 dBm	± 2 dB
11n / airMAX	MCS0	25 dBm	± 2 dB	11n / airMAX	MCS0	-97 dBm	± 2 dB
	MCS1	25 dBm	± 2 dB		MCS1	-96 dBm	± 2 dB
	MCS2	25 dBm	± 2 dB		MCS2	-93 dBm	± 2 dB
	MCS3	24 dBm	± 2 dB		MCS3	-91 dBm	± 2 dB
	MCS4	23 dBm	± 2 dB		MCS4	-87 dBm	± 2 dB
	MCS5	22 dBm	± 2 dB		MCS5	-84 dBm	± 2 dB
	MCS6	21 dBm	± 2 dB		MCS6	-78 dBm	± 2 dB
MCS7	19 dBm	± 2 dB	MCS7	-75 dBm	± 2 dB		

Tabla 3.3 Especificaciones técnicas del sistema de radio AirGrid 5G23

AG-HP-5G27 Specifications							
Dimensions	620 x 460 x 360 mm (Mount Included)						
Weight	2585 g (Mount Included)						
Wind Survivability	125 mph						
Wind Loading	8 lbf @ 125 mph						
Antenna / Radio Information							
Operating Frequency	Worldwide: 5170 – 5875 MHz USA: 5725 – 5850 MHz						
Output Power	25 dBm						
Max. VSWR	1.5:1						
Gain	27 dBi						
TX Power Specifications				RX Power Specifications			
Modulation	Data Rate	Avg. TX	Tolerance	Modulation	Data Rate	Sensitivity	Tolerance
11a	1 - 24 Mbps	25 dBm	± 2 dB	11a	1 - 24 Mbps	-97 dBm min.	± 2 dB
	36 Mbps	24 dBm	± 2 dB		36 Mbps	-90 dBm	± 2 dB
	48 Mbps	22 dBm	± 2 dB		48 Mbps	-86 dBm	± 2 dB
	54 Mbps	21 dBm	± 2 dB		54 Mbps	-84 dBm	± 2 dB
11n / airMAX	MCS0	25 dBm	± 2 dB	11n / airMAX	MCS0	-97 dBm	± 2 dB
	MCS1	25 dBm	± 2 dB		MCS1	-96 dBm	± 2 dB
	MCS2	25 dBm	± 2 dB		MCS2	-93 dBm	± 2 dB
	MCS3	24 dBm	± 2 dB		MCS3	-91 dBm	± 2 dB
	MCS4	23 dBm	± 2 dB		MCS4	-87 dBm	± 2 dB
	MCS5	22 dBm	± 2 dB		MCS5	-84 dBm	± 2 dB
	MCS6	21 dBm	± 2 dB		MCS6	-78 dBm	± 2 dB
MCS7	19 dBm	± 2 dB	MCS7	-75 dBm	± 2 dB		

Tabla 3.4 Especificaciones técnicas del sistema de radio AirGrid 5G27

3.2.3 CARACTERÍSTICAS DE LA ANTENA NANOBIDGE NB-5G22

Model:	NB-5G22	NB-5G25
Worldwide:	5475– 5825 MHz	5475– 5825 MHz
Ganancia:	22 dBi	25 dBi
EnclosureSize:	241 x326 x 326 mm	16cm x 8cm x 3cm

Tabla 3.5 Características de la antena Nanobridge 5G22

NB-5G22 – Output Power: 23 dBm							
5 GHz TX POWER SPECIFICATIONS				5 GHz RX POWER SPECIFICATIONS			
	Data Rate	Avg. TX	Tolerance		Data Rate	Sensitivity	Tolerance
11 n/w/airMAX	MCS0	23 dBm	± 2 dB	11 n/w/airMAX	MCS0	-96 dBm	± 2 dB
	MCS1	23 dBm	± 2 dB		MCS1	-95 dBm	± 2 dB
	MCS2	23 dBm	± 2 dB		MCS2	-92 dBm	± 2 dB
	MCS3	23 dBm	± 2 dB		MCS3	-90 dBm	± 2 dB
	MCS4	22 dBm	± 2 dB		MCS4	-86 dBm	± 2 dB
	MCS5	20 dBm	± 2 dB		MCS5	-83 dBm	± 2 dB
	MCS6	19 dBm	± 2 dB		MCS6	-77 dBm	± 2 dB
	MCS7	18 dBm	± 2 dB		MCS7	-74 dBm	± 2 dB
	MCS8	23 dBm	± 2 dB		MCS8	-95 dBm	± 2 dB
	MCS9	23 dBm	± 2 dB		MCS9	-93 dBm	± 2 dB
	MCS10	23 dBm	± 2 dB		MCS10	-90 dBm	± 2 dB
	MCS11	23 dBm	± 2 dB		MCS11	-87 dBm	± 2 dB
	MCS12	22 dBm	± 2 dB		MCS12	-84 dBm	± 2 dB
	MCS13	20 dBm	± 2 dB		MCS13	-79 dBm	± 2 dB
	MCS14	19 dBm	± 2 dB		MCS14	-78 dBm	± 2 dB
MCS15	18 dBm	± 2 dB	MCS15	-75 dBm	± 2 dB		
NB-5G22 Antenna Information							
Gain				22 dBi			

Tabla 3.6 Especificaciones técnicas del sistema de radio Nanobridge 5G22

NB-5G25 – Output Power: 23 dBm							
5 GHz TX POWER SPECIFICATIONS				5 GHz RX POWER SPECIFICATIONS			
	Data Rate	Avg. TX	Tolerance		Data Rate	Sensitivity	Tolerance
11mWairMAX	MCS0	23 dBm	± 2 dB	11mWairMAX	MCS0	-96 dBm	± 2 dB
	MCS1	23 dBm	± 2 dB		MCS1	-95 dBm	± 2 dB
	MCS2	23 dBm	± 2 dB		MCS2	-92 dBm	± 2 dB
	MCS3	23 dBm	± 2 dB		MCS3	-90 dBm	± 2 dB
	MCS4	22 dBm	± 2 dB		MCS4	-86 dBm	± 2 dB
	MCS5	20 dBm	± 2 dB		MCS5	-83 dBm	± 2 dB
	MCS6	19 dBm	± 2 dB		MCS6	-77 dBm	± 2 dB
	MCS7	18 dBm	± 2 dB		MCS7	-74 dBm	± 2 dB
	MCS8	23 dBm	± 2 dB		MCS8	-95 dBm	± 2 dB
	MCS9	23 dBm	± 2 dB		MCS9	-93 dBm	± 2 dB
	MCS10	23 dBm	± 2 dB		MCS10	-90 dBm	± 2 dB
	MCS11	23 dBm	± 2 dB		MCS11	-87 dBm	± 2 dB
	MCS12	22 dBm	± 2 dB		MCS12	-84 dBm	± 2 dB
	MCS13	20 dBm	± 2 dB		MCS13	-79 dBm	± 2 dB
	MCS14	19 dBm	± 2 dB		MCS14	-78 dBm	± 2 dB
MCS15	18 dBm	± 2 dB	MCS15	-75 dBm	± 2 dB		
NB-5G25 Antenna Information							
Gain				25 dBi			

Tabla 3.7 Especificaciones técnicas del sistema de radio Nanobridge 5G25



Figura 3.13 Antena Nanobridge vista lateral

3.2.4 CARACTERÍSTICAS DE LA ANTENA ROCKETDISH

Model:	RD-5G-30	RD-5G-34
Worldwide:	4.90 – 5.90 GHz	4.90 – 5.90 GHz
Ganancia:	30 dBi	34 dBi
Diameter:	648 mm	972 mm

Tabla 3.8 Características de la antena Rocketdish 5G30 y 5G34.

Rocket M5 / M5 GPS - Operating Frequency 5470-5825 MHz*							
OUTPUT POWER: 27 dBm							
5 GHz TX POWER SPECIFICATIONS				5 GHz RX POWER SPECIFICATIONS			
	DataRate	Avg. TX	Tolerance		DataRate	Sensitivity	Tolerance
11a	6-24 Mbps	27 dBm	+/- 2 dB	11a	6-24 Mbps	-94 dBm min	+/- 2 dB
	36 Mbps	25 dBm	+/- 2 dB		36 Mbps	-80 dBm	+/- 2 dB
	48 Mbps	23 dBm	+/- 2 dB		48 Mbps	-77 dBm	+/- 2 dB
	54 Mbps	22 dBm	+/- 2 dB		54 Mbps	-75 dBm	+/- 2 dB
11n / AirMax	MCS0	27 dBm	+/- 2 dB	11n / AirMax	MCS0	-96 dBm	+/- 2 dB
	MCS1	27 dBm	+/- 2 dB		MCS1	-95 dBm	+/- 2 dB
	MCS2	27 dBm	+/- 2 dB		MCS2	-92 dBm	+/- 2 dB
	MCS3	27 dBm	+/- 2 dB		MCS3	-90 dBm	+/- 2 dB
	MCS4	26 dBm	+/- 2 dB		MCS4	-86 dBm	+/- 2 dB
	MCS5	24 dBm	+/- 2 dB		MCS5	-83 dBm	+/- 2 dB
	MCS6	22 dBm	+/- 2 dB		MCS6	-77 dBm	+/- 2 dB
	MCS7	21 dBm	+/- 2 dB		MCS7	-74 dBm	+/- 2 dB
	MCS8	27 dBm	+/- 2 dB		MCS8	-95 dBm	+/- 2 dB
	MCS9	27 dBm	+/- 2 dB		MCS9	-93 dBm	+/- 2 dB
	MCS10	27 dBm	+/- 2 dB		MCS10	-90 dBm	+/- 2 dB
	MCS11	27 dBm	+/- 2 dB		MCS11	-87 dBm	+/- 2 dB
	MCS12	26 dBm	+/- 2 dB		MCS12	-84 dBm	+/- 2 dB
	MCS13	24 dBm	+/- 2 dB		MCS13	-79 dBm	+/- 2 dB
	MCS14	22 dBm	+/- 2 dB		MCS14	-78 dBm	+/- 2 dB
MCS15	21 dBm	+/- 2 dB	MCS15	-75 dBm	+/- 2 dB		

Tabla 3.9 Especificaciones técnicas del sistema de radio Rocket M5.



Figura 3.14 Antena RocketDish vista frontal

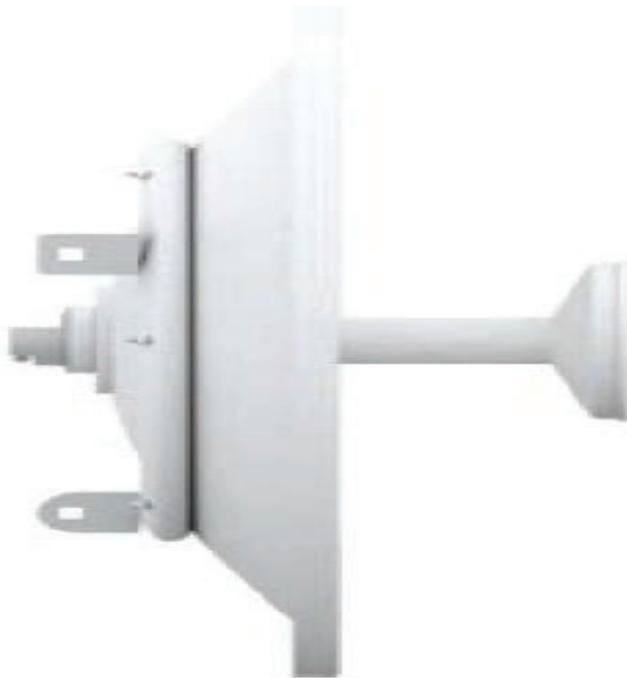


Figura 3.15 Antena RocketDish vista lateral



Figura 3.16 Sistema de radio Rocket M5

3.2.5 CARACTERÍSTICAS DE GANANCIA Y POTENCIA DE LOS EQUIPOS UBIQUITI

MODELO DE LAS ANTENAS	FRECUENCIA	GANANCIA
AG-HP-5G23	5 GHz	23 dBi
AG-HP-5G27	5 GHz	27 dBi
NB-5G22	5 GHz	22 dBi
NB-5G25	5 GHz	25 dBi
RocketDish	5 GHz	30 dBi
RocketDish	5 GHz	34 dBi

Tabla 3.10 Características de las antenas Ubiquiti

MODELO DE LOS RADIOS	FRECUENCIA	GANANCIA
AirGrid M5 HP	5 GHz	25 dBm
NanobridgeM	5 GHz	23 dBm
RocketM	5 GHz	27 dBm

Tabla 3.11 Características de los sistemas de radio Ubiquiti

3.2.6 PRESUPUESTO DE POTENCIA: CERRO ATACAZO - TAMBILLO

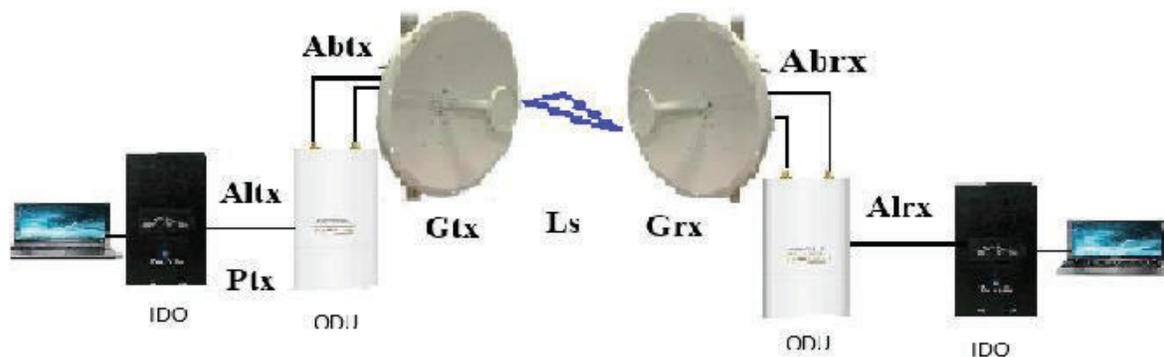


Figura 3.17 Presupuesto de potencia enlace Cerro Atacazo - Tambillo

$$Prx = Ptx - Abtx - Altx + Gtx - Ls + Grx - Alrx - Abrx \quad \text{Fórmula [3.1]}$$

Prx= Potencia en la entrada de los terminales del equipo receptor.

Ptx= Potencia entregada por el transmisor.

Abtx= Abrx = Atenuación por Branching.

Altx= Alrx Atenuación en el cable de bajada.

Gtx= Grx= Ganancia de la antena.

Ls= Pérdidas por trayectoria en el espacio libre.

Ur= Potencia umbral o sensibilidad del equipo receptor.

Mu= Margen de umbral.

3.2.6.1 Pérdidas en el espacio libre Cerro Atacazo - Tambillo

$$Ls = 32,4 + 20 \log(5800 \text{MHz}) + 20 \log(11,5 \text{km})$$

$$Ls = 32,4 + 75,26 + 21,16$$

$$Ls = 128,8 \text{ dB}$$

Con la obtención de las características necesarias de los equipos Ubiquiti, podremos realizar los cálculos de potencia en el receptor y en base a los resultados de dichos cálculos que obtengamos poder decidir cuál de las tres alternativas es la mejor: AirGrid, Nanobridge o Rocket M5.

3.2.6.2 Potencia en el receptor

$$Prx = Ptx - Abtx - Altx + Gtx - Ls + Grx - Alrx - Abrx$$

PARA EL EQUIPO AIRGRID

AG-HP-5G23

$$Prx = 25 \text{ dBm} - 0 \text{ dB} - 2 \text{ dB} + 23 \text{ dBi} - 128,8 \text{ dB} + 23 \text{ dBi} - 2 \text{ dB} - 0 \text{ dB}$$

$$Prx = -61,8 \text{ dBm}$$

EQUIPO AG-HP-5G27

$$Prx = 25 \text{ dBm} - 0 \text{ dB} - 2 \text{ dB} + 27 \text{ dBi} - 128,8 \text{ dB} + 27 \text{ dBi} - 2 \text{ dB} - 0 \text{ dB}$$

$$Prx = -53,8 \text{ dBm}$$

EQUIPO NANOBIDGE

$$Prx = 23 \text{ dBm} - 0 \text{ dB} - 2 \text{ dB} + 22 \text{ dBi} - 128,8 \text{ dB} + 22 \text{ dBi} - 2 \text{ dB} - 0 \text{ dB}$$

$$Prx = -65,8 \text{ dBm}$$

$$Prx = 23 \text{ dBm} - 0 \text{ dB} - 2 \text{ dB} + 25 \text{ dBi} - 128,8 \text{ dB} + 25 \text{ dBi} - 2 \text{ dB} - 0 \text{ dB}$$

$$Prx = -59,8 \text{ dBm}$$

EQUIPO ROCKET M5

$$Prx = 27 \text{ dBm} - 0 \text{ dB} - 2 \text{ dB} + 30 \text{ dBi} - 128,8 \text{ dB} + 30 \text{ dBi} - 2 \text{ dB} - 0 \text{ dB}$$

$$Prx = -45,8 \text{ dBm}$$

$$Prx = 27 \text{ dBm} - 0 \text{ dB} - 2 \text{ dB} + 34 \text{ dBi} - 128,8 \text{ dB} + 34 \text{ dBi} - 2 \text{ dB} - 0 \text{ dB}$$

$$Prx = -37,8 \text{ dBm}$$

Al concluir los cálculos matemáticos para el enlace microonda, se puede verificar que los resultados son favorables en cuanto se refiere a los niveles de potencia en el receptor calculado anteriormente, permitiéndonos corroborar que los enlaces son posibles de realizar con estos equipos de comunicación.

Con estos cálculos se ha tratado de constatar que el presupuesto de potencia obtenido a través de resultados teóricos y matemáticos se simplifican con el uso de un software de simulación el mismo que además de realizar los cálculos necesarios,

toma en cuenta otras consideraciones adicionales que hacen más real la obtención de los resultados para realizar el estudio del enlace.

Además las pérdidas por branching que corresponden a elementos o guías de onda que se encuentran entre la salida del equipo y la entrada de la antena (y viceversa en sentido recepción)³⁰ son mínimas, ya que los radios no están conectados a través de ninguno de estos elementos a la antena, pues los radios se montan directamente en la antena reduciendo considerablemente las llamadas pérdidas por branching y en el caso de los equipos Rocket M5 que si usan guías de onda las pérdidas siguen siendo mínimas.

Como hemos calculado matemáticamente el mayor valor obtenido para la potencia de recepción, fue con una antena Rocket Dish cuya ganancia es de 34 dBi y la potencia de transmisión del radio Rocket M5 es de 27 dBm, es por estas razones que escogimos este modelo de antena para nuestro enlace, y además como veremos más adelante el margen de umbral que tenemos es mucho mayor, lo cual es conveniente, pues en la Ciudad de Quito el clima es muy variante durante los 365 días del año, en el cual hay días de sol, lluvia y niebla.

Además en el mismo sitio donde se van a instalar las repetidoras como es el Cerro Atacazo, es muy común observar una espesa neblina más aun en la temporada de invierno, lo cual puede ocasionar que la potencia de transmisión que hemos calculado teóricamente, empiece a descender, por tal motivo, es recomendable que mientras se tenga un margen de umbral mayor, el enlace estará funcionando a pesar de los factores climáticos como lluvia y neblina que puede afectar su rendimiento.

3.2.7 MARGEN DE DESVANECIMIENTO

$$A=1$$

$$B=0,125$$

$$F_m = 30 \log d + 10 \log (6 * A * B * f) - 10 \log (1 - R) - 70 \quad \text{Fórmula [3.2]}$$

$$F_m = 30 \log (11,5) + 10 \log (6 * 1 * 0,125 * 5800) - 10 \log (0,0001) - 70$$

$$F_m = 38,2 \text{ dB}$$

3.2.8 UMBRAL DEL RECEPTOR

$$U_r = P_r - F_m$$

³⁰http://bibliodigital.itcr.ac.cr/xmlui/bitstream/handle/2238/178/Proyecto_Graduaci%C3%B3n_Allan_Leal_Murillo.pdf?sequence=1

$$U_r = -37,8 \text{ dBm} - 38,2 \text{ dB}$$

$$U_r = -76 \text{ dBm}$$

Este valor es igual a la sensibilidad del equipo en el receptor.

3.2.9 MARGEN DE UMBRAL

$$M_u = P_r - S_r \quad \text{Fórmula [3.3]}$$

$$M_u = -37,8 \text{ dBm} - (-96 \text{ dBm})$$

$$M_u = 58,2 \text{ dB}$$

$$M_u = -76 \text{ dBm} - (-96 \text{ dBm}) = 20 \text{ dB}$$

Tomando en cuenta todos los factores implicados en el radioenlace aún se obtiene un excelente Margen de Umbral.

3.2.10 CÁLCULOS DE LA PRIMERA ZONA DE FRESNEL

$$n = 548 \sqrt{\frac{n * d1 * d2}{f * d}} \quad \text{Fórmula [3.3]}$$

La zona que rodea el L.O.S. o llamada línea de vista son las conocidas zonas de Fresnel en honor al físico Auguste Jean Fresnel.

La primera zona de Fresnel es una zona de despeje que siempre hay que tener en consideración en un enlace microonda punto a punto, además de tener una visibilidad directa entre las dos antenas.

Este factor se deriva de la teoría de ondas electromagnéticas que se refieren a la expansión de las mismas al viajar en el espacio libre y que al pasar sobre un obstáculo provoca reflexiones y cambios de fase, dando como resultado un aumento o disminución en el nivel de intensidad de la señal recibida, para lo cual se debe considerar la curvatura de la tierra con un factor (k), que dependiendo del caso puede tomar diferentes valores y en el peor de ellos se tomaría un valor $K = 2/3$ y en el caso más óptimo $k = 4/3$.

En óptica y en comunicaciones de radio, las zonas de Fresnel tienen forma de elipsoide de revolución concéntrica infinita y donde las señales más fuertes se concentran en la primera zona de Fresnel.

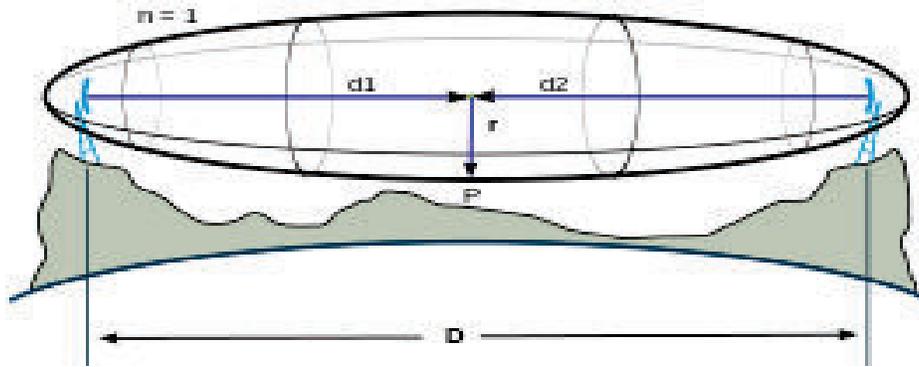


Figura 3.18 Despeje de la zona de Fresnel³¹

Se debe tomar en cuenta ciertas recomendaciones:

- a) La obstrucción máxima permisible para considerar que no hay obstrucción, es el 40% de la primera zona de Fresnel.
- b) La obstrucción máxima recomendada es el 20%.
- c) En la práctica es muy común utilizar el 60% (0,6F1) de la primera zona de Fresnel despejada para considerar un enlace libre de obstáculos.

Para calcular el despeje de la primera zona de Fresnel, primero debemos determinar que si existe línea de vista, la misma que ya la hemos verificado a través del simulador ahora procederemos a calcular el valor de la primera zona de Fresnel.

3.2.10.1 Cálculo de las zonas de Fresnel para el enlace Cerro Atacazo -Tambillo

La fórmula genérica de cálculo de las zonas de Fresnel es:

$$Rn = 548 \sqrt{\frac{n * d1 * d2}{f * d}}$$

Si se considera las distancias $d1=d2$, la fórmula permite determinar el radio de la primera zona de Fresnel:

³¹ http://es.wikipedia.org/wiki/Zona_de_Fresnel

$$Rn = 548 \sqrt{\frac{n * (d1)^2}{f * d}}$$

$$Rn = 548 \sqrt{\frac{n * (d/2)^2}{f * d}}$$

$$Rn = 548 \sqrt{\frac{n * (d/2)^2}{f * d}}$$

$$Rn = 548 \sqrt{\frac{n * (d)^2}{4 * f * d}}$$

$$Rn = 548 \sqrt{\frac{n * d}{4 * f}}$$

Como la fórmula asegura que el valor más exacto de la primera zona de Fresnel es al considerar que las distancias al obstáculo son iguales, así podremos calcular fácilmente la primera zona de Fresnel.

$$Rn = 548 \sqrt{\frac{n * d}{4 * f}}$$

$$Rn = 548 \sqrt{\frac{n * 11,5}{4 * 5800}}$$

$$Rn = 12.2 \text{ metros}$$

3.2.10.2 Cálculo del despeje

Comenzaremos primero por calcular si la primera zona de Fresnel se despeja con el valor de las alturas consideradas para el enlace entre el Cerro Atacazo y Tambillo, pues según los datos proporcionados por Google Earth se puede observar que existe

un obstáculo que podría impedir la línea de vista desde el Cerro Atacazo hacia Tambillo, así que del resultado de estos cálculos depende si el Cerro Atacazo será el lugar adecuado para la instalación de las antenas que actuarán como repetidoras del enlace para poder comunicar la Matriz ubicada en la Villaflora con la Sucursal ubicada en Tambillo.

3.2.10.3 Cálculo del despeje para el enlace Cerro Atacazo -Tambillo

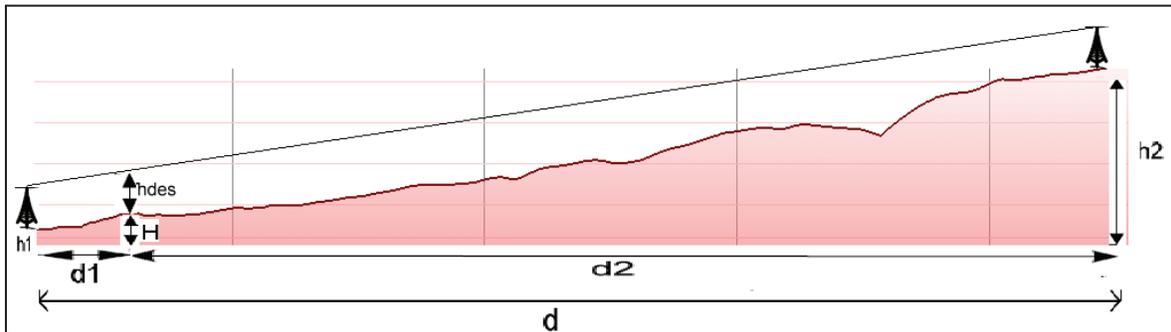


Figura 3.19 Altura de despeje

Dónde:

h_{des} = Altura de despeje desde el obstáculo hasta la línea de vista.

h_1 = Altura del punto A (incluyendo la torre).

h_2 = Altura del punto B (incluyendo la torre).

h = Altura del obstáculo.

d = Distancia total del enlace.

d_1 = Distancia desde el transmisor hasta el obstáculo.

d_2 = Distancia desde el obstáculo hasta el receptor.

k = Coeficiente de radio efectivo de la Tierra, valor tomado como $4/3$ para la atmósfera estándar.

A = 6370 metros, radio promedio de la tierra.

3.2.10.4 Cálculo tomando en cuenta la altura de las torres Cerro Atacazo y Tambillo

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

$$h_{des} = 2795 + 35 + \frac{1,5}{11,5} \left((3838 + 57) - (2795 + 35) \right) - \left(2949 + \frac{1,5 * 10 * 1000}{2 * \frac{4}{3} * 6370} \right)$$

$$= 19,01$$

$$h_{des} = 19 \text{ metros}$$

$$h_{des} > R_n$$

Se puede verificar que h_{des} (altura de despeje) es mayor que R_n (radio de la primera zona de Fresnel) por lo tanto podemos decir que la primera zona de Fresnel queda totalmente despejada.

Matemáticamente con la altura a la que se ubiquen las antenas, la primera zona de Fresnel está despejada con aproximadamente 7 metros sobre el obstáculo. Permittiéndonos decir que el enlace es factible de realizar por este trayecto tomado para llegar hasta Tambillo, adicionalmente cabe señalar que los demás requisitos que son necesarios para el funcionamiento del mismo en el Cerro Atacazo, como electricidad, fácil acceso vehicular al sitio donde se van a instalar las antenas y más que todo la línea de vista desde la torre hacia los nodos o sitios que vamos a enlazar son cumplidos.

3.2.11 PRESUPUESTO DE POTENCIA: VILLAFLORES-CERRO ATACAZO

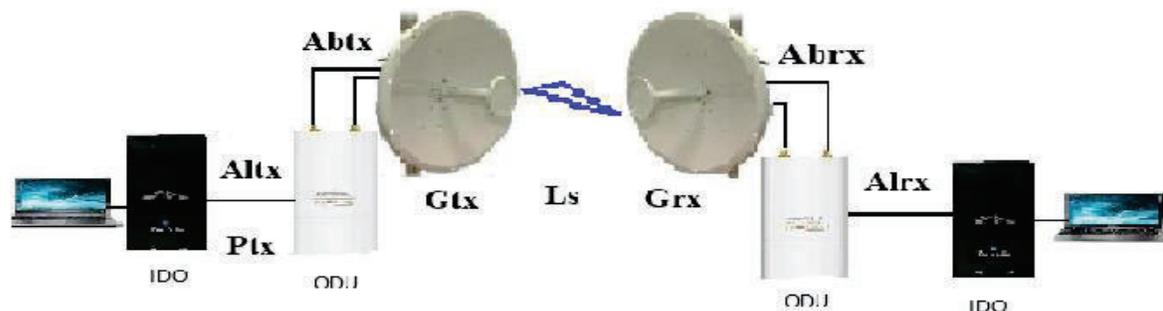


Figura 3.20 Presupuesto de potencia enlace Villaflores – Cerro Atacazo

$$Prx = Ptx - Abtx - Altx + Gtx - Ls + Grx - Alrx - Abrx$$

Prx= Potencia en la entrada de los terminales del equipo receptor.

Ptx=Potencia entregada por el transmisor.

Abtx=Abrx= Atenuación por Branching.

Altx=Alrx Atenuación en el cable de bajada.

Gtx=Grx= Ganancia de la antena.

Ls=Pérdidas por trayectoria en el espacio libre.

Ur=Potencia umbral o sensibilidad del equipo receptor.

Mu= Margen de umbral.

3.2.11.1 Pérdidas en el espacio libre: Villaflora - Cerro Atacazo

$$Ls = 32,4 + 20 \log(5800 \text{ MHz}) + 20 \log(12 \text{ km})$$

$$Ls = 32,4 + 75,26 + 21,48$$

$$Ls = 129,25 \text{ dB}$$

3.2.11.2 Potencia en el receptor

$$Prx = Ptx - Abtx - Altx + Gtx - Ls + Grx - Alrx - ABrx$$

$$Prx = 27 \text{ dBm} - 0 \text{ dB} - 2 \text{ dB} + 34 \text{ dBi} - 129,25 \text{ dB} + 34 \text{ dBi} - 0 \text{ dB} - 2 \text{ dB}$$

$$Prx = -38,25 \text{ dBm}$$

3.2.12 MARGEN DE DESVANECIMIENTO

$$A = 1$$

$$B = 0,125$$

$$Fm = 30 \log d + 10 \log(6 * A * B * f) - 10 \log(1 - R) - 70$$

$$Fm = 30 \log(12 \text{ km}) + 10 \log(6 * 1 * 0,125 * 5800) - 10 \log(0,0001) - 70$$

$$Fm = 38,71 \text{ dB}$$

3.2.13 UMBRAL DEL RECEPTOR

$$Ur = Pr - Fm$$

$$U_r = -38,15 \text{ dBm} - 38,71 \text{ dB}$$

$U_r = -76,91 \text{ dBm}$ Este valor es igual a la sensibilidad del equipo en el receptor.

3.2.14 MARGEN DE UMBRAL

$$M_u = P_r - S_r$$

$$M_u = -38,15 \text{ dBm} - (-96 \text{ dBm})$$

$$M_u = 57,85 \text{ dBm}$$

$$M_u = -76,91 \text{ dBm} - (-96 \text{ dBm}) = 19,09 \text{ dB}$$

Tomando en cuenta todos los factores implicados en el radioenlace aún se obtiene un excelente Margen de Umbral.

3.2.15 CÁLCULO DE LA PRIMERA ZONA DE FRESNEL PARA EL ENLACE VILAFLORES - CERRO ATACAZO

La fórmula genérica de cálculo de las zonas de Fresnel es:

$$R_n = 548 \sqrt{\frac{n * d_1 * d_2}{f * d}}$$

Si se considera las distancias $d_1 = d_2$, la fórmula permite determinar el radio de la primera zona de Fresnel:

$$R_n = 548 \sqrt{\frac{n * (d_1)^2}{f * d}}$$

$$R_n = 548 \sqrt{\frac{n * (d/2)^2}{f * d}}$$

$$R_n = 548 \sqrt{\frac{n * (d/2)^2}{f * d}}$$

$$Rn = 548 \sqrt{\frac{n * (d)^2}{4 * f * d}}$$

$$Rn = 548 \sqrt{\frac{n * d}{4 * f}}$$

$$Rn = 548 \sqrt{\frac{n * 12}{4 * 5800}}$$

$$Rn = 12.46 \text{ metros}$$

3.2.15.1 Cálculo del despeje para el enlace Villaflora- Cerro Atacazo

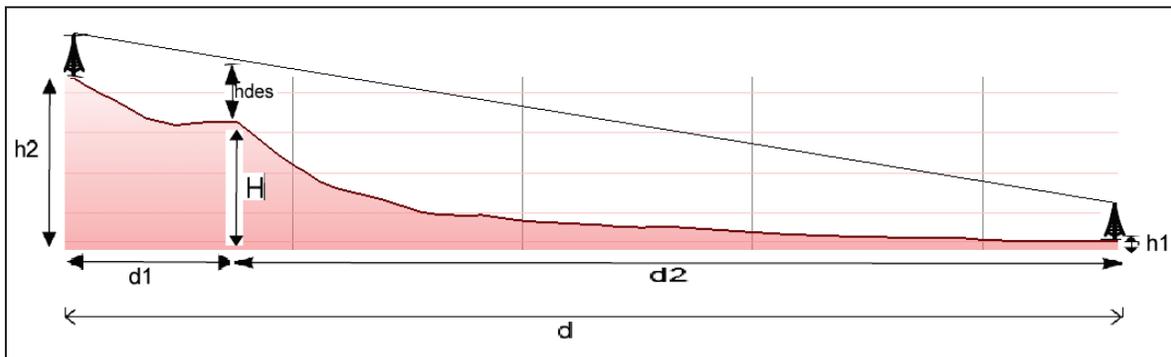


Figura 3.21 Altura de despeje

Dónde:

h_{des} = Altura de despeje desde el obstáculo hasta la línea de vista.

h_1 = Altura del punto A (incluyendo la torre).

h_2 = Altura del punto B (incluyendo la torre).

H = Altura del obstáculo.

d = Distancia total del enlace.

d_1 =Distancia desde el transmisor hasta el obstáculo.

d_2 =Distancia desde el obstáculo hasta el receptor.

k =Coeficiente de radio efectivo de la Tierra, valor tomado como $4/3$ para la atmósfera estándar.

a = 6370 metros, radio promedio de la tierra.

3.2.15.2 Cálculo tomando en cuenta la altura de las torres

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

$$h_{des} = 2808 + 10 + \frac{10,14}{12} + ((3850 + 30) - (2806 + 10)) - \left(3569 + \frac{1,86 * 10,14 * 1000}{2 * 4/3 * 6370} \right)$$

$$h_{des} = 146,98 \text{ metros}$$

$$h_{des} > R_n$$

Se puede verificar que h_{des} (altura de despeje) es mayor que R_n (radio de la primera zona de fresnel) asegurando así que no existe obstrucción en el trayecto del enlace.

Hay que considerar que Radio Mobile solo toma el perfil topográfico es decir solo está describiendo las elevaciones, entre la Villaflora y el Cerro Atacazo, Radio Mobile y Google Earth no están considerando edificaciones o construcciones en el trayecto del enlace, es por eso que en la Villaflora se realizó una inspección para determinar si existe algún obstáculo que impida la línea de vista hacia el Cerro Atacazo.

Mientras que en el trayecto Cerro Atacazo-Tambillo, Radio Mobile y Google Earth si dan un perfil más exacto y preciso del trayecto del enlace ya que en el mismo no se presentan construcciones o edificaciones que puedan alterar el desempeño del enlace.

Con una altura de 10 m en la torre en el sitio donde está ubicada la Matriz sector la Villaflores se tiene la primera zona de Fresnel completamente despejada y adicionalmente se tiene una excelente línea de vista hacia el Cerro Atacazo como se puede visualizar en la figura 3.22.



Figura 3.22 Línea de vista hacia el Cerro Atacazo

Sin embargo como se ve en la figura anterior una torre de 10 metros ubicada en la terraza de la Matriz es una altura que permite obtener la primera zona de Fresnel totalmente despejada por tal motivo se toma en cuenta la altura que tiene la edificación la cual consta de 2 pisos con una altura de 4 metros por piso dando una altura total de 8 metros aproximadamente, pero se puede apreciar que existe una edificación que limita la línea de vista directa, es así que será necesario instalar una torre de una mínima altura de 4 metros para evitar dicho obstáculo.



Figura 3.23 Línea de vista hacia la Villaflores



Figura 3.24 Cerro Atacazo



Figura 3.25 Torre Autosoportada Cerro Atacazo vista trasera

En la figura 3.25 podemos visualizar la torre ubicada en el Cerro Atacazo, la misma que es una torre autosoportada de 60 metros, que nos permitirá ubicar las antenas a la altura requerida por el estudio realizado en Radio Mobile, verificando así que si es posible conseguir un enlace estable con la primera zona de Fresnel totalmente despejada entre la Matriz de la Cooperativa Indígena “Alfa y Omega” ubicada en la Villaflora y la Sucursal ubicada en la parroquia de Tambillo, se puede verificar también en la figura 3.26 y en la figura 3.27 que la copa de la torre no está ocupada completamente por equipos o antenas de comunicación, lo cual nos da la posibilidad de ubicar nuestras antenas direccionadas hacia la Villaflora y la parroquia Tambillo sin más contratiempo.



Figura 3.26 Vista de la copa de la torre



Figura 3.27 Vista lateral de la copa de la torre

3.3 TIPOS DE TORRES USADOS EN TELECOMUNICACIONES

Existen 3 tipos de torres usados en telecomunicaciones:

Torres autoportadas sección cuadrada.

Torres autoportadas sección triangular.

Torres venteadas.

3.3.1 ASPECTOS TÉCNICOS GENERALES

El tipo y dimensiones de una torre para telecomunicaciones va ligado fundamentalmente a:

- El sistema de comunicación a instalar.
- El terreno disponible.
- Tipo y cantidad de antenas a instalar.
- Restricciones en la desplazabilidad de dichas antenas en función del sistema instalado.

3.3.2 TORRES AUTOSOPORTADAS

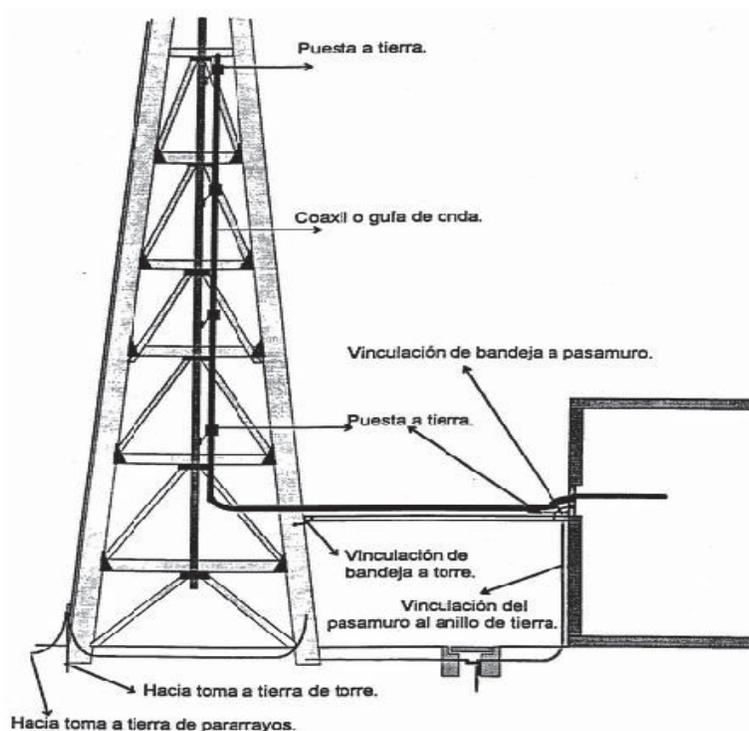


Figura 3.28 Partes de una torre autosoportada³²

Este tipo de torre se instala fundamentalmente cuando existen limitaciones del terreno y cuando la cantidad, dimensiones de las antenas así lo requieran. Estas torres pueden ser de base triangular o base cuadrada.

3.3.3 TORRES VENDEADAS O SOPORTADA POR TIRANTES

Las torres venteadas son más económicas que las autosoportadas de la misma altura y se instalan cuando no hay limitaciones en el terreno; en general necesita un área que permita inscribir una circunferencia de radio aproximadamente igual a la mitad de la altura de la torre.

Las bases de anclaje se ubican a 120° una de otra esto es con el fin de distribuir la carga generada por viento de forma balanceada.

Los cables de tensión se ubican en grupos de tres uniéndose cada grupo con su base de anclaje correspondiente, tal como se puede ver en la figura 3.29.

³² <http://www.monografias.com/trabajos38/puesta-a-tierra/puesta-a-tierra2.shtml>

3.3.3.1 Partes de una torre con tirantes



Figura 3.29 Partes de una torre soportada por tirantes³³

3.3.3.2 Elementos que hay que considerar para la instalación de torres de este tipo:

Dimensiones de las bases de anclaje.

Dimensión de la base de la torre.

Cables de anclaje de acero de 8 mm de diámetro.

Los tramos de la torre son de 3 metros, esto es por comodidad a la hora de transportar cada tramo.

³³<http://radioenlaceft.wikispaces.com/Requerimientos++t%C3%A9cnicos+para+la+implementaci%C3%B3n+de+radio+bases>

3.3.3.3 Características generales de las torres³⁴

Todos los elementos de las torres son fabricados de acero estructural y sometido luego a un galvanizado en caliente a fin de garantizar su resistencia a la corrosión.

El concreto armado es diseñado con una resistencia de 210 Kg/cm² y acero de 4.200 Kg/cm².

Las torres, después de montadas se añade un material que incrementa la resistencia a la corrosión, y luego pintadas con poliuretano en colores blanco y naranja, conforme a las normas de aeronáutica civil.

3.3.3.4 Elementos básicos con los que cuenta cada torre:

- Un sistema de balizaje standard, compuesto de una lámpara de obstrucción doble en el tope y para alturas mayores de 50 metros, lámparas sencillas a alturas intermedias, dicho sistema se enciende mediante una célula fotoeléctrica.
- Un pararrayos con su sistema de aterramiento.
- Escalera de acceso para torres autosportadas y venteadas.
- De acuerdo a las necesidades del cliente pueden suministrarse e instalarse plataformas de trabajo internas y externas, soportes para antenas parabólicas, soportes para antenas celulares, etc., escalerillas horizontales y pasaguías.

La torre que se cotizará es una torre de 35 metros soportada con tirantes pues como hemos visto son torres más económicas, lo que permite que sean más asequibles a los usuarios.

3.4 SISTEMA DE BACKUP PARA LOS ENLACES DE MICROONDA

Dentro de un sistema de comunicación es muy importante considerar que dicho sistema debe ofrecer un servicio permanente sin interrupción las 24 horas del día, los 365 días del año, por tal razón la parte de energía eléctrica es uno de los aspectos a considerar, pues es fundamental para el funcionamiento de todo sistema dependiente de energía eléctrica, siendo necesario implementar un sistema alternativo de energía que pueda mantener la alimentación de energía durante un

³⁴ <http://www.principi.com/torres.html>

apagón repentino y pueda mantener el correcto funcionamiento de todo el sistema. Para lo cual hemos considerado la siguiente alternativa llamada APS.

3.4.1 SISTEMA DE GENERACIÓN AUTÓNOMO (APS)

Es una unidad portátil autogestionada, que proporciona energía eléctrica en corriente continua o alterna desde unas placas solares, desde un generador o desde unas baterías, según la disponibilidad³⁵, cuyas características principales se detallan a continuación.



Figura 3.30 Equipo de backup de energía APS



Figura 3.31 Sistema completo del backup de energía

³⁵ <http://www.norwatt.es/es/aps>

Número de Modelo: APS750.

- Entrada de 12V CC o 120V CA; salida de 120V CA; 2 tomacorrientes.
- Salida de 750 vatios continuos, 1125 vatios del inversor OverPower™.
- Cargador de 3 etapas, 20 amp seleccionables con batería húmeda/seca.
- Opción de conmutación a transferencia automática para el funcionamiento del respaldo de baterías.
- Confiabilidad del gran transformador mejorado con terminales de cableado para CC protegidas.

1.-Este sistema nos permitirá tener una alternativa energética durante un apagón repentino, el cual es muy común en los sitios estratégicos destinados para la comunicación en este caso el Cerro Atacazo, el equipo tiene tres etapas de funcionamiento automático que permite la transferencia automática entre los modos CC y CA.

2.-Solo carga para mantener la carga de la batería completa cuando hay CA.

3.-Sistema apagado.

Para nuestra necesidad la mejor opción es dejar funcionando el APS en automático (figura 3.32), lo cual permitirá, que al conectar el APS a la energía eléctrica alimente al sistema con A.C. y cuando haya un corte de energía eléctrica conmute automáticamente a D.C., es decir empiece a alimentar al sistema con las baterías, y además los dipswitches deben estar todos hacia abajo tal como indica la figura 3.33.



Figura 3.32 Posición del conmutador en el estado de automático del APS



Figura 3.33 Posición de los dipswitches de estado automático del APS

3.5 TARIFAS POR USO DE FRECUENCIAS

3.5.1 PARA EL SERVICIO FIJO DE ENLACES PUNTO-PUNTO Y PUNTO-MULTIPUNTO (NO MULTIACCESO)

El CONATEL establece la tarifa por uso de frecuencias para el Servicio Fijo, enlace punto-punto, la cual se calculará en base de la distancia (D) en kilómetros entre las estaciones fijas y la anchura de banda utilizada, de acuerdo con la Ecuación.

$$T(\text{US\$}) = K_a * \alpha_3 * \beta_3 * A * (D)^2 = 339,6$$

T (US\$) = Tarifa mensual en dólares, por frecuencia asignada.

Ka = Factor de ajuste por inflación, inicialmente se toma el valor de 1.

α_3 = Coeficiente de valoración del espectro del Servicio Fijo para enlaces punto-punto (De acuerdo a la Tabla 3.13).

β_3 = Coeficiente de corrección para el Sistema Fijo, enlace punto – punto, inicialmente se toma el valor de 1.

A = Anchura de banda de la frecuencia asignada.

D = Distancia en kilómetros entre las estaciones fijas.

La Ecuación anterior se aplica a cada frecuencia del enlace y por enlace. Si una estación fija opera con más de una frecuencia en la misma dirección, la tarifa resultante será la suma de las tarifas individuales calculadas por cada frecuencia de transmisión y recepción.

Rango de frecuencias; f (frecuencia de operación)	Distancia máxima aplicable, Km.	Distancia mínima aplicable, Km.
0 GHz <f<= 1 GHz	70	30
1 GHz <f<= 5 GHz	50	15
5 GHz <f<= 10 GHz	30	12
10 GHz <f<= 15 GHz	25	9
15 GHz <f<= 20 GHz	20	8
20 GHz <f<= 25 GHz	15	6
f > 25 GHz	10	5

Tabla 3.12 Distancias máximas aplicables para fines de cálculo de la tarifa del servicio fijo, enlaces punto a punto³⁶

³⁶ http://www.regulaciontelecomunicaciones.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2013/07/reglamento_concesión_espectro_radioelect.pdf

Rango de frecuencias; f (frecuencia de operación)	Coefficiente de valoración del espectro α_3
0 GHz <f<= 1 GHz	0.0815313
1 GHz <f<= 5 GHz	0.0323876
5 GHz <f<= 10 GHz	0.0237509
10 GHz <f<= 15 GHz	0.0215917
15 GHz <f<= 20 GHz	0.0194325
20 GHz <f<= 25 GHz	0.0183529
f > 25 GHz	0.0172734

Tabla 3.13 Coeficiente de valoración del espectro aplicable para fines de cálculo de la tarifa del servicio fijo, enlaces punto a punto

El valor para la concesión de frecuencias se lo calculó solo para el enlace Atacazo – Villaflora, el cual está dentro de la distancia mínima de 12 km que estipula la norma de la tabla 3.12 , mientras que para el enlace Atacazo-Tambillo la distancia es 11,5 km, mucho menor que la distancia mínima aplicable.

Es por eso que el valor total de concesión de frecuencias corresponde a un enlace dirigido desde la Villaflora – Cerro Atacazo, mientras que para el otro enlace desde el Cerro Atacazo- Tambillo el valor es de cero dólares.

Según los estudios realizados por la SUPERTEL indican que el uso de la frecuencia destinada para este estudio, puede ser utilizada sin ningún problema en los sitios designados para la instalación de los equipos.

3.6 MATERIALES ADICIONALES PARA EL FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA

- Gabinete para equipos de comunicación.
- Switch 5 puertos Megabit.
- Cortapicos.



Figura 3.34 Gabinete para equipos de comunicación



Figura 3.35 Switch 5 puertos megabit

En el Cerro Atacazo es necesario conectar a través de un switch las dos antenas para poder transmitir los datos provenientes del enlace Villaflora-Atacazo hacia el otro enlace Atacazo-Tambillo, como se puede ver en la figura 3.36.



Figura 3.36 Conexión a través de un switch en el Cerro Atacazo



Figura 3.37 Cortapicos

Este cortapicos permitirá tener tomacorrientes disponibles para cada equipo y además proteger a los equipos de sobre voltajes que puedan dañarlos, en el Cerro Atacazo utilizaremos un tomacorriente exclusivamente para el POE del enlace Villaflora - Atacazo , un tomacorriente para el switch, un tomacorriente para el APS y finalmente un cuarto tomacorriente, para alimentar la antena del enlace Atacazo-Tambillo.

3.7 COSTO TOTAL DEL PROYECTO Y DIAGRAMA FINAL DE LA RED

Tanto las cotizaciones de los equipos, torres, etc., se ha adjuntado en los anexos que se presentan al final de este documento, con el propósito de saber cuál es el costo real de la inversión requerida para la implementación del presente proyecto, adicionalmente se presentan los costos en la tabla 3.14 para realizar el cálculo respectivo y conocer el costo total del proyecto.

Cantidad	Descripción	Costo Total
4	Antenas parabólicas 34 dBi	1,787.52
4	Radios Ubiquiti	940.80
1	Torre soportada con tirantes	2,862,74
1	Switch	11.20
150m	Cable UTP para exteriores	135.44
100	Conectores Rj45 Categoría 5e	8.96
1	Capuchones	19.00
1	APS	311.06
1	Bateria 12 V C.C.	308
1	Gabinete	220.28
1	Cortapicos	10.36
1	Costo mano de obra	600
1	Costo concesión de frecuencias	339,6
	TOTAL DOLARES	4110,34

Tabla 3.14 Presupuesto del proyecto

A continuación se detalla el diagrama final de red de la Cooperativa Indígena Alfa y Omega, como se puede apreciar, a través de un enlace inalámbrico dos redes diferentes pueden convertirse en un mismo segmento de red, lo que permite compartir información entre las dos entidades de una manera más ágil y sencilla.

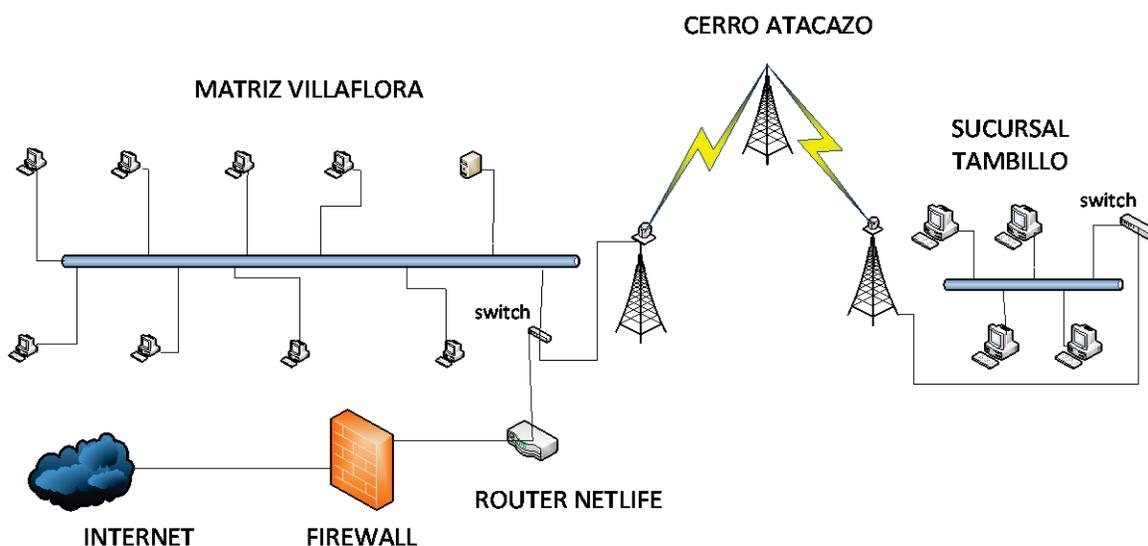


Figura 3.38 Diagrama final de red de la Cooperativa Alfa y Omega

CAPÍTULO 4

4.1 CONCLUSIONES

En este estudio hemos podido apreciar que a pesar de la distancia, situación geográfica en la que se encuentran los sitios de interés a enlazar, se ha logrado demostrar que es posible levantar un radioenlace de comunicación a un costo relativamente económico, que permitirá compartir el servicio de Internet e información útil para ambas localidades de la Cooperativa Indígena Alfa y Omega.

A través de la ayuda de aplicaciones de software gratuitas como Google Earth y Radio Mobile, se ha logrado recopilar información útil para conocer y validar los lugares donde se deben ubicar las repetidoras, alturas requeridas por las antenas, obteniendo una alternativa para el trayecto del radioenlace.

Los niveles de recepción simulados y calculados teóricamente han sido satisfactorios, permitiéndonos decir que existirá un buen desempeño del enlace.

Las torres soportadas por tirantes a pesar que necesitan mayor diámetro para ser instaladas, son torres usadas con mayor frecuencia por costos y por la facilidad de la instalación respecto a las torres autosoportadas.

El uso de bandas no licenciadas no implica que el uso de dichas bandas o frecuencias no tengan un costo por su utilización; dicho costo menor en comparación con bandas licenciadas debe pagarse a la autoridad correspondiente, ya que según la nueva ley de telecomunicaciones el espectro radioeléctrico es un recurso natural, irreproducible, limitado, estratégico y es de todos los ecuatorianos. Por este motivo genera una renta extraordinaria o renta natural.

4.2 RECOMENDACIONES

En sistemas de comunicación que ofrecen este tipo de servicio es necesario contar con un backup o respaldo de energía eléctrica en los sitios donde se instalan estos sistemas, que generalmente son cerros y altas montañas que normalmente presentan interrupciones en el servicio eléctrico, por tanto es necesario solventar este problema considerando una alternativa energética para el correcto y continuo funcionamiento del sistema durante un corte repentino de energía eléctrica que pueda suscitarse en el Cerro Atacazo.

Es importante tomar en cuenta en la configuración de los equipos que se instalarán, configurar la opción de scan automático en el máster o (Access Point) y mientras que en el slave o (Estación) se debe habilitar todas las opciones de frecuencias, así el equipo podrá detectar si hay otra estación causando interferencia y automáticamente conmutará a un canal que este libre y dentro del rango permisible para transmitir en dicho canal.

4.3 BIBLIOGRAFÍA

http://repositorio.ute.edu.ec/bitstream/123456789/5646/1/34178_1.pdf

SISTEMAS DE COMUNICACIONES ELECTRÓNICAS – TOMASI WAYNE –
PEARSON – CUARTA EDICIÓN

<http://www.radiocomunicaciones.net/antenas-dipolo.html>

<http://carlos-valarezo.blogspot.com/>

Diagrama de radiación antena yagi software Radio Mobile

<http://carlos-valarezo.blogspot.com/>

http://dl.ubnt.com/datasheets/rocketdish/rd_ds_web.pdf

<http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/2290/1/CD-3030.pdf>

http://datateca.unad.edu.co/contenidos/208019/MODULO%20ANTENAS%20Y%20PROPAGACION-2011/leccin_40_mecanismos_alimentadores.html

<http://es.thefreedictionary.com/abocardado>

<http://es.slideshare.net/edisoncoimbra/63-propagacion-en-el-espacio-libre>

<http://fralbe.com/2009/06/05/antenas-parabolicas-ancho-de-banda-relacion-senal-a-ruido-factor-de-potencia/>

http://bibliodigital.itcr.ac.cr/xmlui/bitstream/handle/2238/178/Proyecto_Graduaci%C3%B3n_Allan_Leal_Murillo.pdf?sequence=1

http://es.wikipedia.org/wiki/Zona_de_Fresnel

<http://www.monografias.com/trabajos38/puesta-a-tierra/puesta-a-tierra2.shtml>

<http://radioenlaceuft.wikispaces.com/Requerimientos++t%C3%A9cnicos+para+la+implementaci%C3%B3n+de+radio+bases>

<http://www.principi.com/torres.html>

<http://www.norwatt.es/es/aps>

http://www.regulaciontelecomunicaciones.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2013/07/reglamento_concesion_espectro_radioelect.pdf

