

ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO

**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y
ELECTRÓNICA**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA
Y TELECOMUNICACIONES**

**PROYECTO DE GRADO PARA LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERÍA**

**DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE SERVICIOS DE
TELECOMUNICACIONES Y ENERGÍA ELÉCTRICA PARA LAS
COMUNIDADES DE LAS PROVINCIAS DE ESMERALDAS, MORONA
SANTIAGO, ORELLANA Y SUCUMBÍOS COMO COMPLEMENTO DEL
PROYECTO EUROSOLAR**

DANIEL EDUARDO PAREDES GAIBOR

Sangolquí – Ecuador

2011

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente proyecto de Tesis de Grado fue realizado en su totalidad por el señor Daniel Eduardo Paredes Gaibor, desde su inicio hasta su consecución final bajo nuestra dirección.

Sr. Ing. Fabián Sáenz
Director

Sr. Ing Carlos Romero
Codirector

RESUMEN

El presente proyecto está diseñado para brindar los servicios de Internet, telefonía y red eléctrica a ocho comunidades que se encuentran ubicadas en las provincias de Esmeraldas, Sucumbíos, Morona Santiago y Orellana. Para entregar los servicios de Internet y telefonía se diseñó una red WAN y LAN para cada comunidad.

Se realizaron enlaces satelitales para las comunidades de: Dogolita Arriba, Piedrita Afuera y El Colorado; y enlaces inalámbricos entre las comunidades del proyecto EUROSOLAR con las comunidades de: Precooperativa Bolivareense, La Primavera, Sumak Kichwa, Tsanimp y Kuri.

La red LAN está diseñada para dar servicios a cinco computadores y una línea telefónica VoIP, estos equipos están conectados a un switch, acceden al internet por medio de un Router que se enlaza al proveedor de Internet y telefonía.

Se diseña una red eléctrica utilizando un sistema fotovoltaico para generar energía eléctrica renovable y poder alimentar los equipos de telecomunicaciones, computadores y dotar de luz a la escuela donde se encuentra la infraestructura tecnológica.

Mediante un análisis económico se presenta el costo total para la implementación del proyecto, considerando el costo de mantenimiento y el costo de operación, los cuales serán financiados por la FODETEL durante los primeros cinco años.

DEDICATORIA

Esta tesis la dedico a dos Personas

Le dedico a mi Madre que del cielo me está siempre acompañando y dándome fuerzas para seguir adelante, como en esas noches de cansancio que ella me acompañaba para terminar mis deberes.

Le dedico a mi esposa que siempre fuimos unidos, apoyándonos mutuamente para poder ahora ya ser profesionales.

AGRADECIMIENTO

A mi Dios que siempre esta llamándome a construir un mañana mejor.

A mi padre por su esfuerzo, empeño y confianza para poder verme siempre llegar a mis metas.

A mi Mamita que siempre estará a mi lado, gracias por todo lo que diste y enseñaste.

Al amor de mi vida Diana por su amor y cariño que siempre sigue igual como el primer día de enamorados, para ahora juntos ir por el camino de la vida.

A mis hermanas Patty y Laly, que han estado siempre pendientes de mí y mis estudios.

A mis sobrinos Marcel y Martin, enseñándome con sus juegos y travesuras, que las cosas simples son las que se deben valorar.

Agradezco a mis tíos, por su empeño para que yo cumpla el objetivo de tener mi título de ingeniero.

Al Ing Fabián Saenz, por su consejo, que aun cuando se esté trabajando con un poco de esfuerzo se puede lograr graduarse.

A un grupo de locos discípulos, hombres de valor que forjaron un camino mejor para yo seguir.

PROLOGO

A través del tiempo las telecomunicaciones han ido creciendo con el avance tecnológico y científico, y de esta forma el hombre ha dependido de la comunicación para tener un desarrollo y una mejor vida, es así que los pueblos necesitan de la comunicación para el desarrollo cultural e intelectual de sus habitantes

El Ecuador ha puesto en marcha el plan de servicio universal de telecomunicaciones, el cual, es entregar los servicios de telecomunicaciones a lugares donde las empresas públicas y privadas no llegan con los servicios básicos, es por esto que a través del Fondo de desarrollo de telecomunicaciones FODETEL y con convenios con otras entidades públicas y privadas están llegando con comunicaciones a las localidades lejanas del Ecuador.

Es por esto que el proyecto es de importancia, porque por las condiciones de atraso de infraestructura en comunicaciones que tienen las comunidades del Ecuador, no se han desarrollado los pueblos.

Además con esta infraestructura de comunicaciones se podrá brindar una mejor educación, implementando proyectos de teleeducación para las comunidades.

ÍNDICE

CAPÍTULO 1 1

ESTUDIO DE TECNOLOGÍAS APLICADAS A LAS TELECOMUNICACIONES 1

1	INFORMACIÓN TEÓRICA DEL PROYECTO	1
1.1	Descripción técnica del proyecto	1
1.2	Comunicación Satelital.....	3
1.2.1	El transponder	5
1.2.2	Las estaciones terrenas	6
1.2.3	Bandas de transmisión satelital.....	7
1.2.4	Elección banda C o banda Ku.....	8
1.2.5	Trayectoria de los satélites	9
1.2.6	Técnicas de acceso múltiple empleadas por los satélites.....	10
1.2.7	Redes Vsat.....	11
1.2.8	Ventajas y desventajas de la transmisión vía satélite	13
1.3	Comunicaciones inalámbricas IEEE 802.11 (WiFi).....	15
1.3.1	Estándar 802.11	15
1.3.2	Variaciones al estándar 802.11	18
1.3.3	Redes de corta distancia Wlan.....	20
1.3.4	Enlaces de larga distancia	22
1.4	Redes de área local (LAN).....	24
1.4.1	Topología de las redes LAN.....	24
1.5	Redes de telefonía.....	26
1.5.1	Telefonía alámbrica.....	26
1.5.2	Telefonía inalámbrica.....	26
1.5.3	Telefonía IP (VoIP).....	27
1.6	Sistemas para obtención de energía eléctrica.....	29
1.6.1	Centrales hidroeléctricas.....	30
1.6.2	Centrales termoeléctricas.....	30
1.6.3	Centrales eólicas.....	30
1.6.4	Centrales fotovoltaicas	30

CAPÍTULO 2 31

REQUERIMIENTOS FÍSICOS PARA EL DISEÑO DE LA RED 31

2	Requerimientos.....	31
2.1	Ubicación de las comunidades	31
2.2	Información socio – económica de las comunidades.....	33
2.2.1	Provincia de Esmeraldas	34
2.2.2	Provincia de Sucumbíos	35
2.2.3	Provincia de Morona Santiago	36
2.2.4	Provincia de Orellana	37
2.2.5	Información socio – económica de las comunidades del proyecto	38
2.3	Análisis de la infraestructura tecnológica que se encuentra cercana a las comunidades.....	38
2.4	Estudio de campo análisis del terreno	41
2.5	Determinación de tecnología para entregar los servicios a las Comunidades ...	49

CAPITULO 3.....	52
DISEÑO DE LA RED DE TELECOMUNICACIONES	52
3 ANÁLISIS TÉCNICO DE LOS REQUERIMIENTOS PARA EL DISEÑO DEL PROYECTO.....	52
3.1 Análisis de Tráfico.....	52
3.1.1 Transmisión de los servicio de Datos.....	53
3.1.2 Transmisión de los servicio de Voz.....	53
3.1.3 Estimación del ancho de banda	57
3.2 Características y propiedades de los equipos y materiales.....	59
3.2.1 Equipos	59
3.2.2 Materiales.....	63
3.3 Diseño de la red de transporte.....	66
3.4 Cálculo del enlace satelital para las comunidades de Esmeraldas.	67
3.4.1 Ancho de banda para el enlace satelital	68
3.4.2 Análisis de las bandas de frecuencia.....	69
3.4.3 Posicionamiento de la antena en las comunidades	69
3.5 Cálculo del radio enlace inalámbrico para las comunidades	76
3.5.1 Enlace de las comunidades Barbudal No.1 a Precooperativa Bolivarense en Esmeraldas	77
3.5.2 Enlace entre las comunidades Progreso Río Canande a La Primavera en Esmeraldas	84
3.5.3 Enlace entre las comunidades La Guinea a El Colorado Esmeraldas... ..	87
3.5.4 Enlace entre las comunidades Chayuk (San Luis) a Kuri en Morona Santiago	89
3.5.5 Enlace entre las comunidades Carashino a Sumak Kichwa Orellana	92
3.5.6 Enlace entre las comunidades Vencedores a Tsanimp en Sucumbios ..	94
3.6 Seguridad de redes inalámbrica	97
3.6.1 Seguridad en la transmisión OFDM	97
3.6.2 Encriptación AES	97
3.6.3 Encriptación DES	97
 CAPITULO 4.....	 98
DISEÑO DEL SISTEMA ELÉCTRICO	98
4 SISTEMA DE ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA	98
4.1 Componentes.....	98
4.1.1 Paneles solares.....	99
4.1.2 Baterías	99
4.1.3 Regulador.....	101
4.1.4 Inversores	101
4.2 Análisis de los requerimientos técnicos de energía eléctrica.....	101
4.2.1 Cálculo de la carga eléctrica	102
4.3 Diseño del sistema de energía renovable para equipos de telecomunicaciones.....	104
4.3.1 Determinación de la carga en Ah/día	104
4.3.2 Cálculo de la radiación solar en el peor mes	106
4.3.3 Cálculo de los paneles solares	107
4.3.4 Cálculo de las Baterías	109
4.3.5 Cálculo del regulador	111
4.3.6 Cálculo del inversor.....	112
4.4 Diseño del sistema de energía renovable para electrodomésticos.....	112
4.4.1 Determinación de la carga en Ah/día	113
4.4.2 Cálculo de los paneles solares	113
4.4.3 Cálculo de las Baterías	114

4.4.4	Cálculo del regulador	116
4.4.5	Cálculo del inversor.....	116
4.5	Conclusiones del diseño del sistema fotovoltaico.....	116
CAPITULO 5.....	118
ANÁLISIS DE COSTOS	118
5	INTRODUCCIÓN	118
5.1	Análisis de costos de equipos y materiales	119
5.1.1	Costos de los equipos y materiales.....	119
5.1.2	Propuestas para el proyecto	121
5.1.3	Análisis de las propuestas planteadas en el proyecto	124
5.2	Análisis de costos de operación y mantenimiento	124
5.2.1	Costos de operación del enlace.....	125
5.2.2	Costos de mantenimiento	129
5.2.3	Costo total de operación y mantenimiento.....	130
5.3	Costos anuales a partir del segundo año.....	130
5.4	Costo del proyecto	130
5.5	Plan de sostenibilidad del proyecto.....	130
CAPITULO 6.....	132
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	132
6	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	132
6.1	Conclusiones.....	132
6.2	Recomendaciones	135
ANEXO 1.....	137
ANÁLISIS DE SELECCIÓN DE LAS 91 COMUNIDADES DEL PROYECTO		
EUROSOLAR.....	137
ANEXO 2.....	141
HOJAS TÉCNICAS DE LOS EQUIPOS	141
ANEXO 3.....	155
COTIZACIONES DE LOS EQUIPOS Y MATERIALES	155
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	159

ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla. 1.1. Asignación de frecuencia para transmisión satelital</i>	8
<i>Tabla. 1.2. Aplicaciones de servicios en sistemas Vsat</i>	12
<i>Tabla. 1.3. Equipos de un enlace VSAT</i>	13
<i>Tabla. 1.4. Tipos de antenas</i>	24
<i>Tabla. 1.5. Dispositivos de una red LAN</i>	25
<i>Tabla. 1.6. Características de sistemas de telefonía</i>	27
<i>Tabla. 2.1. Comunidades del proyecto</i>	32
<i>Tabla. 2.2. Situación socio- económica de Esmeraldas</i>	34
<i>Tabla. 2.3. Situación geográfica de Sucumbíos</i>	35
<i>Tabla. 2.4. Situación geográfica de Morona Santiago</i>	36
<i>Tabla. 2.5. Situación geográfica de Orellana</i>	37
<i>Tabla. 2.6. Información socioeconómica comunidades del proyecto</i>	38
<i>Tabla. 2.7. Comunidades del proyecto EUROSOLAR</i>	39
<i>Tabla. 2.8. Altitud que se encuentran las comunidades</i>	41
<i>Tabla. 2.9. Enlaces y distancias de las comunidades</i>	48
<i>Tabla. 2.10. Elección banda C o banda Ku</i>	50
<i>Tabla. 3.1. Aplicaciones que se transmiten en Internet</i>	53
<i>Tabla. 3.2. Tipos de codificación de la señal</i>	56
<i>Tabla. 3.3. Ancho de Banda para VoIP</i>	57
<i>Tabla. 3.4. Velocidades de transmisión</i>	58
<i>Tabla. 3.5. Parámetros a medir en el cable UTP Cat 6</i>	65
<i>Tabla. 4.1. Equipos que se conectarán en el sistema fotovoltaico</i>	102
<i>Tabla. 4.2. Equipos son la potencia de consumo</i>	103
<i>Tabla. 4.3. Cálculo de la energía consumida de equipos de telecomunicaciones</i>	103
<i>Tabla. 4.4. Cálculo de la energía consumida de electrodomésticos</i>	104
<i>Tabla. 4.5. Radiación solar de los doce meses del año 2008</i>	106
<i>Tabla. 4.6. Radiación solar en el peor mes de las 8 comunidades</i>	107
<i>Tabla. 4.7. Potencia total de los equipos</i>	112
<i>Tabla. 4.8. Potencia total de los electrodomésticos</i>	116
<i>Tabla. 4.9. Resumen de los requerimientos de sistema eléctrico</i>	117
<i>Tabla. 5.1. Equipos de telecomunicaciones</i>	119
<i>Tabla. 5.2. Materiales de telecomunicaciones</i>	120
<i>Tabla. 5.3. Equipos del sistema eléctrico</i>	120
<i>Tabla. 5.4. Puesta a tierra</i>	120
<i>Tabla.5.5. Mano de obra</i>	120
<i>Tabla.5.6. costos de equipos y materiales con enlace inalámbrico</i>	121
<i>Tabla.5.7. costos de equipos y materiales con enlace satelital</i>	123
<i>Tabla. 5.8. Tarifas del servicio</i>	125
<i>Tabla. 5.9. Factor de capacidad</i>	128

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura. 1.1. Sistema satelital</i>	4
<i>Figura. 1.2. Diagrama de bloques de un transponder</i>	5
<i>Figura. 1.3. Diagrama de bloques de la estación terrena de salida</i>	6
<i>Figura. 1.4. Diagrama de bloques de la estación terrena de llegada</i>	7
<i>Figura. 1.5. Red de datos cableada e inalámbrica</i>	21
<i>Figura 1.6 proceso de transmisión VoIP</i>	28
<i>Figura. 3.1. Diagrama de bloques proceso de digitalización de la señal</i>	54
<i>Figura. 3.2. Antena transmisora CANOPY</i>	60
<i>Figura. 3.3. Diseño de la red de transporte para cada comunidad</i>	66
<i>Figura. 3.4. Enlace satelital con Dogolita Arriba</i>	70
<i>Figura. 3.5. Enlace satelital con Piedrita Afuera</i>	73
<i>Figura. 3.6. Enlace satelital con El Colorado</i>	75
<i>Figura. 3.7. Perfil del terreno Barbudal No.1 a Precooperativa Bolivarense</i>	77
<i>Figura. 3.8. Perfil en peores condiciones Barbudal No.1 a Precooperativa Bolivarense</i> ..	79
<i>Figura. 3.9. Gráfico de la primera zona de fresnel</i>	81
<i>Figura. 3.10. Enlace con línea de vista y sin obstrucción en la zona de fresnel</i>	82
<i>Figura. 3.11. Enlace con línea de vista Progreso Río Canande a La Primavera</i>	85
<i>Figura. 3.12. Enlace con línea de vista La Guinea a El Colorado</i>	88
<i>Figura. 3.13. Enlace con línea de vista Chayuk (San Luis) a Kuri</i>	90
<i>Figura. 3.14. Enlace con línea de vista Carashino a Sumak Kichwa</i>	93
<i>Figura. 3.15. Enlace con línea de vista Vencedores a Tsanimp</i>	95
<i>Figura. 4.1. Elementos del sistema fotovoltaico</i>	98

GLOSARIO

AES: Estándar de Encriptación Avanzada (*Advanced Encryption Standard*), también conocido como Rijndael, es un esquema de cifrado por bloques adoptado como un estándar de cifrado por el gobierno de los Estados Unidos.

AP: Punto de acceso inalámbrico (*Wireless Access Point*) en redes de computadoras es un dispositivo que interconecta dispositivos de comunicación inalámbrica para formar una red inalámbrica.

ATA: Adaptador telefónico analógico, es un dispositivo electrónico utilizado para permitir que funcionen teléfonos analógicos o máquinas de facsímil en VoIP.

ATM: Modo de Transferencia Asíncrona (*Asynchronous Transfer Mode*) es una tecnología de telecomunicaciones desarrollada para hacer frente a la gran demanda de capacidad de transmisión para servicios y aplicaciones.

AWG: Calibre de alambre estadounidense (*American Wire Gauge*) es una referencia de clasificación de diámetros.

CDMA: Acceso múltiple por división de código (*Code Division Multiple Access*) es un término genérico para varios métodos de multiplexación o control de acceso al medio basado en la tecnología de espectro expandido.

Códec: Codificación-Decodificador, describe una especificación desarrollada en software o hardware capaz de codificar o decodificar un archivo de datos.

CONATEL: es el ente de la administración y regulación de las telecomunicaciones en el Ecuador.

CONELEC: Consejo Nacional de Electricidad.

CSMA/CA: Acceso al Medio por detección de Portadora evitando colisiones, cuando dos estaciones transmiten al mismo tiempo existirá una colisión. Para solucionar este problema se utiliza esta técnica de transmisión en el medio.

CSMA/CD: Acceso al medio por detección de portadora detectando colisiones (*Carrier Sense Multiple Acces/Collision Detect*), en redes Ethernet censa el medio para saber cuándo puede acceder y detecta cuando sucede una colisión.

DAMA: Acceso múltiple asignado demanda (*Demand Asigna Multiple Access*) es una tecnología usada para asignar el ancho de banda a los clientes que no necesitan utilizarlo constantemente.

DBi: Decibelio isótropo, es una unidad para medir la ganancia de una antena en referencia a una antena isótropa teórica.

DBm: es una unidad de medida utilizada, principalmente, en telecomunicaciones para expresar la potencia absoluta mediante una relación logarítmica.

DES: Estándar de encriptación de datos (*Data Encryption Standard*), es un método para cifrar información.

EIA/TIA: Son normas internacionales que regula el manejo y funcionamiento del sistemas de cableado estructurado para redes de datos.

FCC: Federal Communications Commission.

FDMA: El Acceso múltiple por división de frecuencia (*Frecuency Division Multiple Access*) es una técnica de multiplexación usada en múltiples protocolos de comunicaciones, tanto digitales como analógicos.

FM: Frecuencia Modulada, es una modulación angular que transmite información a través de una onda portadora variando su frecuencia.

FODETEL: Fondo de desarrollo de telecomunicaciones es una entidad que se encarga de desarrollar proyectos de telecomunicaciones donde otras compañías no llegan con los servicios.

Gdm: Valor medio de la irradiación global, es un valor extraído de estudios de la incidencia solar en un área determinada.

HUB: Un concentrador es un dispositivo que permite centralizar el cableado de una red y poder ampliarla. Esto significa que dicho dispositivo recibe una señal y repite esta señal emitiéndola por sus diferentes puertos.

IEC: Comisión electrónica internacional (International Electrotechnical Commission).

IEEE: Instituto de Ingeniería Eléctrica y Electrónica (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*), una asociación técnico-profesional mundial dedicada a la estandarización, entre otras cosas.

IF: Frecuencia intermedia, es la mezcla de la señal sintonizada en una antena con una frecuencia variable generada localmente.

IP: Protocolo de Internet (*Internet Protocol*), es un protocolo no orientado a conexión usado tanto por el origen como por el destino para la comunicación de datos a través de una red de paquetes conmutados.

ITU: Unión internacional de telecomunicaciones (*International Telecommunications Union*), Organismo de las Naciones Unidas encargado de regular las telecomunicaciones entre las distintas administraciones y empresas operadoras.

ISO: Organización Internacional de Normalización.

Kbps: Un kilobit por segundo, es una unidad de medida que se usa en telecomunicaciones e informática para calcular la velocidad de transferencia de información a través de una red.

LAN: Una red de área local, (*local area network*) es la interconexión de varios periféricos. Su extensión está limitada físicamente a un entorno de 200 metros.

LLC: Control de enlace lógico (*Logical Link Control*) define la forma en que los datos son transferidos sobre el medio físico, proporcionando servicio a las capas superiores del modelo OSI.

LNA: Amplificador de bajo ruido.

MAC: Control de acceso al medio, es un conjunto de mecanismos y protocolos por los que varios dispositivos de una red se ponen de acuerdo para compartir un medio de transmisión común.

MAN: Red de área metropolitana (*metropolitan area network*) es una red de alta velocidad que da cobertura en un área geográfica extensa.

MIMO: Múltiple entrada múltiple salida (*Multiple-input Multiple-output*), se refiere a la forma como son manejadas las ondas de transmisión y recepción en antenas para dispositivos inalámbricos.

Msnm: metros sobre el nivel del mar, sirve como referencia para ubicar la altitud de las localidades y accidentes geográficos.

OSI: Interconexión de Sistemas Abiertos (*Open System Interconnection*) es el modelo de red descriptivo para la definición de arquitecturas de interconexión de sistemas de comunicaciones.

PCM: Modulación por impulsos codificados (*Pulse Code Modulation*) es un procedimiento de modulación utilizado para transformar una señal analógica en una secuencia de bits (señal digital).

PIRE: Potencia Isotrópica Radiada Equivalente, para el satélite es el producto de la potencia que alimenta la antena transmisora por la ganancia de dicha antena.

PSK: Modulación por desplazamiento de Fase (*Phase Shift Keying*) es una forma de modulación angular que hace variar la fase de la portadora entre un número de valores discretos.

QAM: Modulación de Amplitud en Cuadratura, Es una técnica de modulación digital avanzada que transporta datos, mediante la modulación de la señal portadora de información tanto en amplitud como en fase.

QoS: Calidad de Servicio (*Quality of Service*) son las tecnologías que garantizan la transmisión de cierta cantidad de información en un tiempo dado (throughput).

RF: Radiofrecuencia, se aplica a la porción menos energética del espectro electromagnético, situada entre unos 3 Hz y unos 300 GHz.

SIP: Protocolo de Iniciación de la Sesión, es el protocolo para VOIP y otras sesiones de texto y de multimedia.

TCP/IP: Protocolo de Control de Transmisión (*Transmission Control Protocol*), es uno de los protocolos fundamentales en internet.

TDMA: Acceso múltiple por división de tiempo (*Time Division Multiple Access*), es una técnica que permite la transmisión de señales digitales, que consiste en ocupar un canal de transmisión en un determinado tiempo.

UL: Underwriters Laboratories.

UR: Unidades de rack, es una unidad de medida tomada en gabinetes y rack de telecomunicaciones.

UTP: Cable trenzado sin apantallar (Unshielded Twisted Pair), son cables de pares trenzados sin apantallar que se utilizan tecnologías de red local.

USB: Bus serial universal (*Universal Serial Bus*) es un dispositivo de almacenamiento masivo que utiliza memoria flash para guardar la información.

VoIP: Voz sobre Protocolo de Internet, es un grupo de recursos que hacen posible que la señal de voz viaje a través de Internet empleando el protocolo IP.

VSAT: (*Very Small Aperture Terminals*) son redes privadas de comunicación de datos vía satélite para intercambio de información punto-punto o punto-multipunto.

WAN: Las redes de área amplia (*wide area network*) son redes informáticas que se extienden sobre un área geográfica extensa.

WiFi: Fidelidad inalámbrica (*Wireless Fidelity*), es un conjunto de redes que no requieren de cables.

Wimax: Interoperabilidad mundial para acceso por microondas (*Worldwide Interoperability for Microwave Access*), es una norma de transmisión de datos que utiliza las ondas de radio en las frecuencias de 2,3 a 3,5 GHz.

CAPÍTULO 1

ESTUDIO DE TECNOLOGÍAS APLICADAS A LAS TELECOMUNICACIONES

1 INFORMACIÓN TEÓRICA DEL PROYECTO

1.1 Descripción técnica del proyecto

Este proyecto es un diseño para brindar los servicios de Internet, telefonía y una red eléctrica utilizando energía renovable; para ocho comunidades que se encuentran ubicadas en las provincias de: Esmeraldas, Sucumbíos, Morona Santiago y Orellana.

Para entregar los servicios de Internet y telefonía se va a diseñar una red WAN para cada comunidad y una red LAN para interconectar cinco máquinas de cómputo.

La red WAN está definida por los enlaces satelitales y los enlaces wireless entre dos puntos, los puntos de enlace son: la comunidad para la cual se diseña y una comunidad que pertenece al proyecto EUROSOLAR, las cuales están descritas en el anexo 1.

Se analizan las tecnologías inalámbricas y redes satelitales para determinar cuál es factible para realizar la red WAN de cada comunidad; se toman estas

tecnologías, ya que son tecnologías de última generación que se encuentran en el mercado.

La red LAN está formada por cinco computadores, los cuales se conectan por medios alámbricos a un switch y a través de un Router se enlaza con la red WAN

Para hacer el enlace entre la red LAN y la red WAN se analiza la forma alámbrica y la forma inalámbrica y se determinará cual es factible, ya que algunas distancias son grandes y otras son pequeñas.

Se realiza un análisis del terreno, buscando el mejor punto de acceso para realizar los enlaces entre las comunidades del Proyecto EUROSOLAR¹ y las ocho comunidades de este proyecto; de esta forma se determina el perfil del terreno que afectará la propagación de la señal.

El proveedor de Internet al que se conectarán las ocho comunidades es la Compañía nacional de telecomunicaciones (CNT) ya que las comunidades del proyecto Eurosolar se enlazarán a este proveedor

Los enlaces WAN se diseñaron con el programa Radio Mobile, que ayuda a determinar si el enlace tiene línea de vista y si la señal podrá llegar a cada una de las comunidades sin pérdidas, para entregar calidad de servicio al usuario.

Para la determinación del ancho de banda, se realiza pruebas de tiempo en segundos que demora descargar el contenido en Kbps de páginas Web más usadas del Internet.

Existen algunas comunidades que no se puede realizar enlaces wireless, es así que se analiza la posibilidad de entregarles el servicio a través de enlaces satelitales.

¹ Ver Anexo 1

A las ocho comunidades se entregara una línea telefónica (SIP) VoIP que se tomara de la central telefónica IP que maneja la CNT; a esta línea se le transforma en línea convencional, utilizando un dispositivo conversor ATA para no tener que colocar un teléfono IP.

Para la instalación de los equipos es necesario conocer el marco regulatorio que la CONATEL entrega para la legalización de los enlaces.

Las comunidades no cuentan con servicio eléctrico, es así que se realiza el diseño de la red eléctrica utilizando paneles solares para generar energía eléctrica renovable.

Se describe cada uno de los equipos que se utilizan para la generación de electricidad, se presenta un análisis de la incidencia de radiación solar que existe en el territorio de las provincias donde se encuentran las comunidades.

Se realiza un análisis del tipo de baterías que se van a utilizar para el almacenamiento de energía eléctrica, se diseña el cableado para dotar de energía eléctrica a los equipos de comunicación y a la sala de cómputo, la cual está ubicada en la escuela de cada comunidad.

Finalmente, se realiza un análisis económico utilizando las cotizaciones provistas por las empresas que prestan los servicios para la implementación de las tecnologías con las que se ha planteado este proyecto.

1.2 Comunicación Satelital

La comunicación satelital es una opción para llegar a lugares donde no puedan comunicarse con las tecnologías terrestre (wireless, fibra óptica cableado de datos), también se la utiliza como señal de *backup* cuando se pierde las señales de los enlaces terrestres, esta tecnología es utilizada desde hace mucho tiempo atrás ya que es una forma de llegar con los servicios de telecomunicaciones a lugares inaccesibles.

Las comunicaciones satelitales es una tecnología costosa, esto se debe a que los equipos para realizar el enlace y el alquiler del espacio en el satélite son costosos, además se suma el costo del servicios que presta la compañía de comunicaciones.

Para realizar una comunicación satelital, primero se debe entender el funcionamiento y características del sistema satelital, es decir los componentes que forman un sistema satelital para que los servicios de telecomunicaciones lleguen con las mejores características.

En el sistema satelital, se tiene un equipo repetidor que se encuentra en la atmósfera, que tiene la capacidad de recibir y retransmitir las señales provenientes de la tierra.

Un sistema satelital está compuesto de tres partes: dos estaciones terrenas que se encuentran en la superficie terrestre y el satélite que se encuentra en el espacio, como se indica en la figura 1.1.

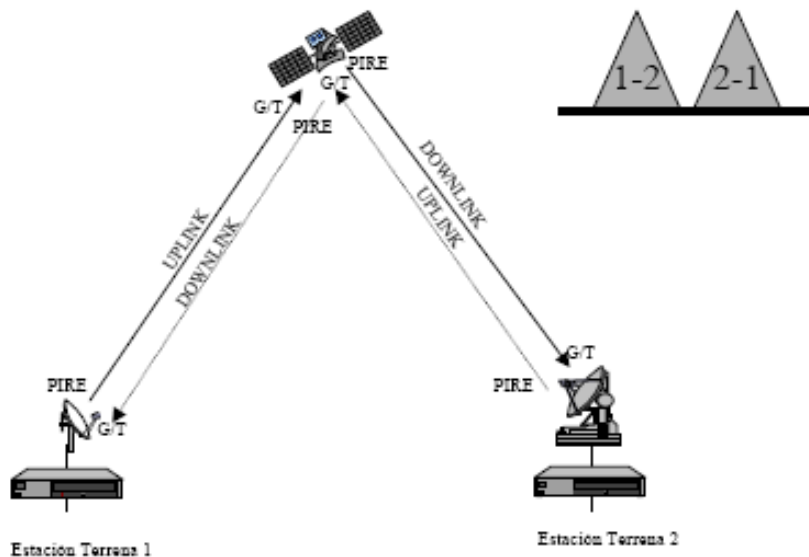


Figura. 1.1. Sistema satelital

1.2.1 El transponder

Los satélites están compuestos de varios dispositivos llamados transponder en el cual la señal transmitida desde una estación terrena la recibe, la amplifica, le cambia de frecuencia y la vuelve a transmitir hacia otra estación terrena.

Técnicamente, el transponder está compuesto por una etapa de filtrado que se encarga de eliminar el ruido que la señal obtuvo en todo el camino de subida, este proceso lo realiza utilizando un filtro pasa banda con esto deja pasar solo la señal en una frecuencia determinada que será dirigida hacia un transponder determinado.

La siguiente etapa tiene un amplificador de bajo ruido (LNA) que eleva la señal para poder ser cambiada de frecuencia utilizando un desplazador de frecuencia, el cual tiene un oscilador y un mezclador que cambia la frecuencia en banda baja de salida, esta señal esta en RF, después viene la etapa de amplificación de la señal de RF y por último pasa la señal por otro filtro pasa bandas para ser enviada hacia la estación terrena.

En la figura 2.2 se tiene el diagrama de bloques de las diferentes etapas que la señal pasa cuando ingresa al satélite para enviar la información a la estación terrena.

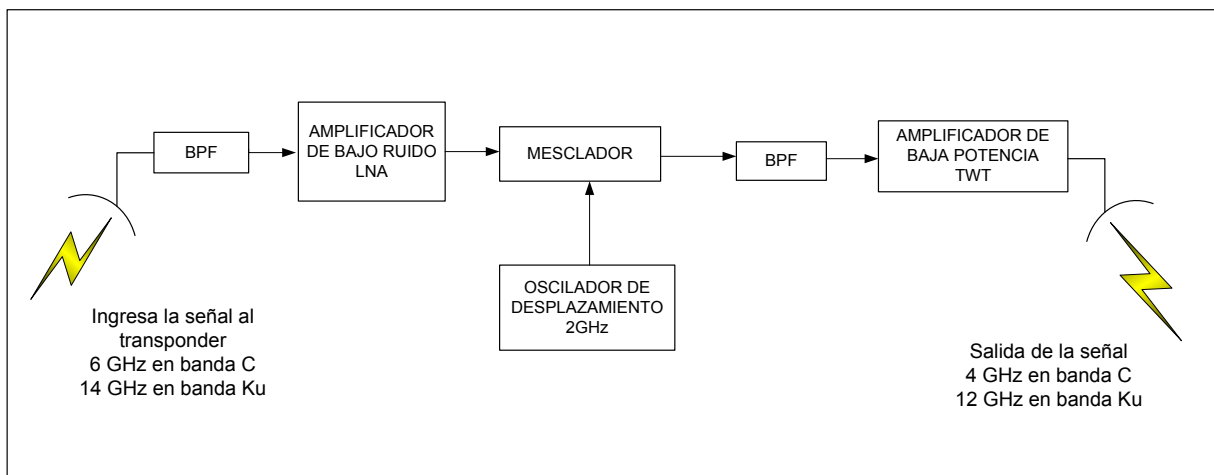


Figura. 1.2. Diagrama de bloques de un transponder

1.2.2 Las estaciones terrenas

Un sistema satelital está compuesto por dos estaciones terrenas, una para el enlace de subida que hace de transmisor y la otra estación terrena funciona para el enlace de bajada.

La estación terrena² está compuesto por un equipo transmisor, el cual envía a través de una antena la señal al satélite, en la figura 1.3 se encuentra el diagrama de bloques del sistema transmisor que está compuesto por un modulador de frecuencia intermedia (IF), el cual transforma la señal que viene de banda base a frecuencia intermedia, utilizando la modulación FM, PSK o QAM, el bloque convertidor elevador tiene un mezclador y un filtro pasa bandas (BFP) que cambia la señal de frecuencia intermedia (IF) a radio frecuencia con una portadora dependiendo de qué banda vaya a transmitir al satélite (C,Ku). El amplificador de alta potencia (HPA) proporciona la potencia necesaria para que la señal llegue al satélite.

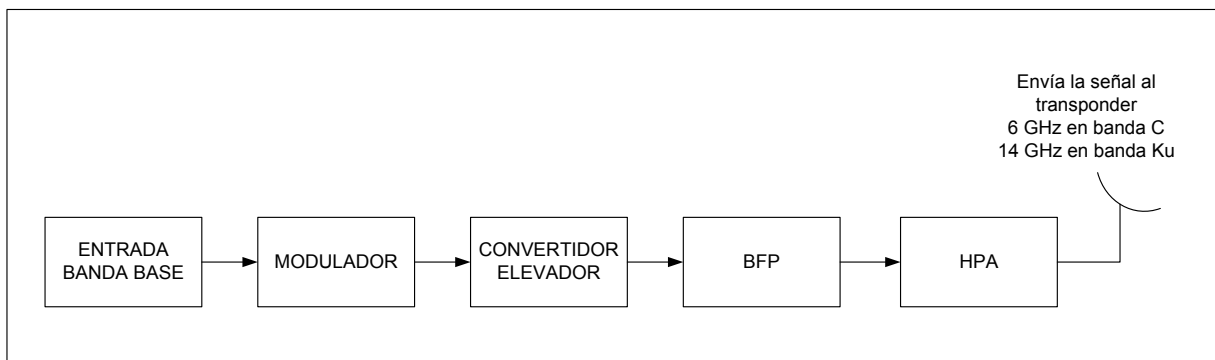


Figura. 1.3. Diagrama de bloques de la estación terrena de salida

Para cerrar la comunicación satelital se tiene en el enlace de bajada una estación terrena con un equipo receptor formado por varias etapas, como se muestra en el diagrama de bloques en la figura 1.4, en la entrada de la señal se tiene un filtro pasa bandas (BFP) que está limitando la señal a fin de que el ruido que se mezcla con la señal por efectos de la trayectoria se elimine para que

² Información tomada de la página web:

http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lem/peredo_a_s/indice.html

Software para análisis del presupuesto de enlace para comunicaciones vía satélite

pueda pasar la señal a un amplificador de bajo ruido que es un dispositivo sensible; la señal de Radio frecuencia (RF) es trasformada a frecuencia intermedia (IF) a través de un convertidor descendente que tiene varios elementos, tales como: un oscilador y un mezclador en el cual la señal sale en frecuencia intermedia (IF), por último con un demodulador se transforma la señal de frecuencia intermedia (IF) en banda base.

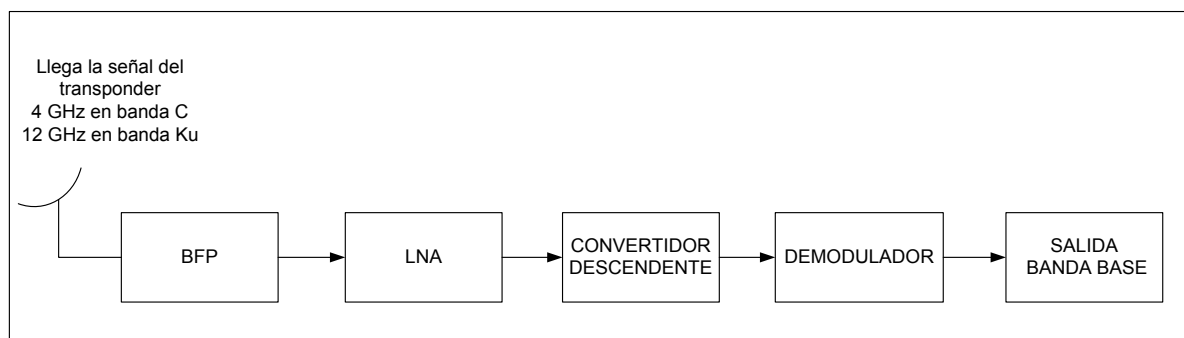


Figura. 1.4. Diagrama de bloques de la estación terrena de llegada

1.2.3 Bandas de transmisión satelital

Los sistemas de transmisión satelital utilizan dos tipos de frecuencias, los cuales son empleados para los enlaces de subida y los enlaces de bajada, las frecuencias son normalizadas dependiendo de la región en la que se realice la transmisión, existen tres regiones:

- Región 1: Europa, África, Rusia, Mongolia
- Región 2: Norteamérica, Sudamérica y Groenlandia
- Región 3: Asia Australia y Pacifico Sur

El Ecuador se encuentra en la región 2 así que se tiene las asignaciones de frecuencia igual que los Estados Unidos, la asignación de frecuencias es realizada por la Conferencia de Radio Administrativa Mundial (WARC), en la tabla 1.1 se presenta la distribución de frecuencias.

En Ecuador se utilizan las bandas de frecuencias C o Ku, ya que según el plan de frecuencia establecido por la Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU) se ha establecido que las bandas de frecuencia:

- Banda C o banda Ku para aplicaciones civiles.
- Banda X para aplicaciones militares.
- Banda Ka para sistemas experimentales.

Tabla. 1.1. Asignación de frecuencia para transmisión satelital

Bandas	Frecuencia de subida (GHz)	Frecuencia de bajada (GHz)	Servicio
Banda L	0.350	1.55	Servicio móvil
Banda S	2	2.5	Sistema de telemedicina y telecomando
Banda C	5.9 - 6.4	3.7 – 4.2	Servicio fijo
Banda X	7.9 – 8.4	7.25 – 7.75	Uso militar
Banda Ku	14 – 14.5 17 - 17.5	11.7 – 12.2 11.7 – 12.2	Servicio fijo DBS
Enlace entre satélites	18	27	Enlace entre satélites
Banda Ka	27 – 30	17 - 20	Uso militar

1.2.4 Elección banda C o banda Ku

Para hacer la elección con que banda se va a transmitir, es necesario realizar un análisis de varios puntos, en los cuales se determinará qué frecuencia se tomará para la transmisión; los puntos que se deben tomar en cuenta son:

- La disponibilidad de un satélite, el cual cubra la zona donde se realizara la transmisión.
- En que bandas está funcionando dicho satélite.
- En que banda transmite el proveedor de servicios.
- Ver qué tipo de señales se tiene alrededor de las estaciones terrenas, ya que algunos sistemas de microondas funcionan con ciertas frecuencias de bandas satelitales.

- Se debe conocer las condiciones climáticas que se tiene en el lugar donde se instalara el equipo, ya que se tiene efectos de atenuación por cambios climáticos.
- Se debe tomar en cuenta el espacio físico disponible para la instalación de las antenas, porque las dimensiones de las antenas varían dependido de la frecuencia en la que se vaya a transmitir.
- Se debe saber que técnica de acceso al medio (FDMA, TDMA, CDMA o DAMA) utilizan las bandas de frecuencia, ya que hay técnicas que hace un uso menos eficaz del ancho de banda.
- Se tiene que hacer un análisis de costos de la tecnología y del arrendamiento del transponder de los dos tipos de bandas, para escoger la que mejor se ajuste al presupuesto.

Una vez realizado este análisis se determinará la tecnología adecuada que se pueda aplicar al proyecto.

1.2.5 Trayectoria de los satélites

Los satélites están girando alrededor de la tierra utilizando un patrón de giro orbital que depende de la distancia que se encuentra el satélite de la tierra y de la velocidad de inicio que se le da al satélite, existen tres patrones orbitales: el circular polar, el circular ecuatorial y la elíptica inclinada.

La órbita circular polar gira alrededor de la tierra en forma longitudinal, es decir va del polo norte al polo sur en forma descendente, en forma ascendente va del polo sur al polo norte, la órbita circular ecuatorial es la trayectoria que puede seguir un satélite a lo largo de la línea ecuatorial, cuando el satélite se encuentra a una distancia de 36000 Km, en órbita ecuatorial el satélite rota a la misma velocidad de la tierra es por esto que según el punto de vista el satélite parece estar estacionario

La órbita elíptica inclinada, es la que no cumplen con las características de las dos anteriores orbitas, poniendo una velocidad inicial al satélite la trayectoria cambia de forma elíptica.

Los satélites se pueden localizar a tres distancias diferentes, de ahí que se tiene tres órbitas conocidas como: GEO, LEO, MEO.

- La órbita GEO por sus siglas significa órbita terrestre geoestacionaria, esta órbita tiene una altitud de 35.786 Km, es una órbita terrestre circular, la cual está ubicada en la línea ecuatorial, un satélite en esta órbita tiene una velocidad igual al de la tierra, esto hace que permanezca estacionario frente a un punto que abarca el 43% de la tierra.
- La órbita MEO por sus siglas significa órbita terrestre media tiene una altitud de 5000 a 12000 Km, es una órbita terrestre circular, está ubicada con una inclinación de 50° de la línea ecuatorial, un satélite en esta órbita tiene un periodo de recorrido de 6 horas, abarcando el 7% de la tierra, para tener una cobertura total se deben tener 15 satélites en la órbita MEO.
- La órbita LEO por sus siglas significa órbita terrestre baja, tiene una altitud de 500 a 900 Km. Es una órbita circular que está ubicada con una inclinación de 90° de la línea ecuatorial, el satélite en esta órbita tiene un periodo de recorrido de una hora y media. Por la altitud que tiene esta órbita se tiene menor retardo en la transmisión.

1.2.6 Técnicas de acceso múltiple empleadas por los satélites

El acceso múltiple es una técnica que utilizan las estaciones terrenas para ingresar simultáneamente a un transponder y así se puedan enlazar para poder transmitir ya sea voz, datos y videos.

Las técnicas de acceso múltiple que utiliza un sistema satelital son las siguientes:

FDMA: acceso múltiple por división de frecuencia.

TDMA: acceso múltiple por división de tiempo.

DAMA: acceso múltiple por división de demanda (versión de TDMA)

CDMA: acceso múltiple por división de código.

1.2.7 Redes Vsat³

Very Small Aperture Terminals (VSAT) es una red privada de equipos terminales satelitales que pueden funcionar punto – punto o punto – multipunto, en esta red pueden funcionar aplicaciones unidireccionales y bidireccionales, la estructura de un sistema Vsat es igual a un sistema satelital, con sus etapas de manejo de la señal para que pueda transmitirse al satélite y del satélite a las estaciones terrenas.

Las características principales de la red Vsat son:

- Es una red privada que fue diseñada a las necesidades del usuario.
- Las antenas de las estaciones terrenas tienen una dimensión menor a los 2.4 metros.
- Un sistema Vsat maneja velocidades de transmisión en el orden de 56 a 64Kbps
- Sus aplicaciones de servicio son de voz, datos y video.
- Pueden manejar una gran cantidad de estaciones Vsat, las cuales se controlan con un HUB ubicado en la estación central.
- Los enlaces Vsat son asimétricos
- Los sistemas Vsat pueden funcionar en banda Ku o banda C por sus características en alta potencia de transmisión y sensibilidad en recepción.
- Tiene un bajo costo y es fácil de instalar un sistema Vsat.

Las aplicaciones de una red Vsat como se mencionó, pueden ser unidireccionales o bidireccionales, en la tabla 1.2⁴ se tiene algunas aplicaciones de servicio en un sistema Vsat.

³ Información tomada de la página web:
http://www.upv.es/satelite/trabajos/pract_4/vsat_hpg.htm
Sistemas VSat

⁴ Información recopilada de la página web:
http://www.upv.es/satelite/trabajos/pract_4/general/aplicaci.htm#unidir

Tabla. 1.2. Aplicaciones de servicios en sistemas Vsat.

Aplicaciones unidireccionales	Aplicaciones bidireccionales
Transmisión de Televisión	Tele enseñanza.
Difusión de noticias.	Videoconferencia
Educación a distancia.	Internet
Transmisión de datos	Servicios de emergencia.
Teledetección de incendios	Comunicaciones de voz
Transmisión de datos de la Bolsa de Valores.	Monitorización de ventas y control de stock.
	Comunicación con bases de datos.
	Telemetría y telecontrol de procesos.
	Transacciones bancarias y control de tarjetas de crédito.

- **Equipos que definen una red Vsat⁵**

Para formar un enlace satelital se debe tener en cuenta los equipos que se van a utilizar en las estaciones terrenas los cuales deben cumplir con las características que define un estudio de un enlace satelital, en la tabla siguiente se encuentran los datos más relevantes que debe tener cada elemento que forma el sistema de comunicación satelital.

En la tabla1.3 se muestra los equipos y características y bandas de frecuencia que se deben verificar al momento de realizar un diseño de un enlace satelital.

⁵ Información recopilada de la página web:
http://www.upv.es/satelite/trabajos/pract_4/eltos/eltos.htm

Tabla. 1.3. Equipos de un enlace VSAT

EQUIPO	Ítem	CARACTERÍSTICA VSAT
Bandas de frecuencias	Banda de frecuencias para transmisión	14-14.5 GHz. en banda Ku 5.925-6.425 GHz en banda C
	Banda de frecuencias para recepción	10.7-12.75 GHz. en banda Ku 3.625-4.2 GHz en banda C
Antenas	Tipo de antena	Reflector simple offset
	Diámetro	1.8-3.5m en banda C 1.2-1.8m en banda Ku
	Aislamiento Tx/Rx	35dB
	Relación de onda estacionaria	<1.3
	Polarización	Lineal ortogonal en banda Ku Circular ortogonal en banda C
	Ajuste de polarización	90° grados para polarización lineal
	Nivel de lóbulo secundario	25-29 dB
	Excursión en azimut	160°
	Excursión en elevación	3°-90°
	Viento	Estación en operación: 100 Km/h Soporta: hasta 210 Km/h
Deshielo	Opcional	
Amplificador de potencia	Potencia de salida	En amplificadores SSPA: 0.5-5W en banda Ku 3-30W en banda C
	Escalones de frecuencia	100 KHz
MODEM Satelital	Modulación	BPSK,QPSK,PSK
	Potencia de transmisión	-30 a -5 (dBm)
	Tasa digital de datos	2.4Kbps a 2.5 Mbps

1.2.8 Ventajas y desventajas de la transmisión vía satélite

Por presentar una cobertura territorial muy amplia genera serios problemas de seguridad, ya que cualquier estación puede captarlos con solo sintonizar la

frecuencia del satélite; para evitarlo se adicionan medidas de seguridad: cifrado y encriptado de transmisiones.

Debido a que trabaja en bandas de frecuencias muy altas, cada satélite es capaz de soportar varios miles de canales telefónicos. Por ejemplo, un satélite moderno está formado por diez transponder y cada uno con capacidad de 48 Mbps.

Las condiciones meteorológicas adversas pueden afectar la señal durante su camino entre la estación terrena y el satélite; además periódicamente el sol, el satélite y la estación terrena quedan alineados provocando una elevación del ruido térmico que supera la intensidad de la señal.

Otra desventaja es la del retardo que origina problemas de comunicación, ya que la señal recorre 36.000 Km de subida y otros tantos de retorno a la Tierra.

En las grandes ciudades existe actualmente congestión de microondas; se instalaron tantas antenas de microondas que se interfieren unas a otras y las ondas en el aire están saturadas. Esto obliga a buscar un medio de transmisión alternativo como los enlaces vía satélite. Pero una desventaja con respecto al satélite propiamente dicho es que resulta muy costosa la construcción, lanzamiento y mantenimiento del mismo.

Se han dispuesto, mundialmente, varias bandas de frecuencia para su uso comercial por satélite. La más común de estas consta de una banda central de 500 MHz centrada en 6 GHz en el enlace hacia arriba (hacia el satélite) y centrada en 4 GHz en el enlace hacia abajo (hacia la Tierra).

La banda de 500 MHz, en cada una de las frecuencias, esta normalmente dividida en 12 bandas; servidas por cada transponder, de 36 MHz de ancho de banda cada una, más 2 MHz a ambos extremos para protección (el espaciamiento entre las bandas es el responsable del ancho de banda en exceso). Cada banda del transponder esta a su vez dividida en un cierto número de canales de

frecuencia, dependiendo del tipo de aplicación o de la señal que se esté transmitiendo.

1.3 Comunicaciones inalámbricas IEEE 802.11 (WiFi)⁶

Las comunicaciones inalámbricas son sistemas en los cuales no se tiene un medio físico para la comunicación, sino que utilizan las ondas electromagnéticas para transportar la información de un lugar a otro. Las comunicaciones inalámbricas aparecieron desde la demostración de la existencia de las ondas electromagnéticas, desde ahí han venido evolucionando y ocupándose en diferentes aplicaciones el espectro electromagnético.

Se ha venido estableciendo normativas con respecto a las bandas de frecuencia que se tiene en el espectro electromagnético, de tal manera que se puede encontrar bandas licenciadas y bandas no licenciadas y esto se ha hecho con la necesidad de que las redes inalámbricas puedan llegar a todas las personas, ya que los precios para acceder a una red eran muy altos.

Una de las redes inalámbricas más difundidas en el mundo es la conocida WiFi o IEEE 802.11, que fue creada como estándar por el Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE) para que los fabricantes puedan someterse a los parámetros de esta tecnología no licenciada

1.3.1 Estándar 802.11

El estándar IEEE 802.11 está definida como una red de área local con la transmisión de datos de forma inalámbrica, este estándar fue diseñado para trabajar en bandas no licenciadas específicamente en las frecuencias de 2.4 GHz y 5.8GHz.

Igual que el estándar Ethernet las redes inalámbricas se manejan en los niveles inferiores del modelo OSI⁷ como es la capa física, y la capa de enlace.

⁶ Wireless Fidelity

⁷ Open System Interconnection (Interconexión de Sistemas Abiertos)

- **Capa física**

En la capa física se tiene las técnicas de difusión de la señal, aquí se modula la onda de radio, y se tiene las características de señalización para el manejo de la transmisión de datos, las técnicas de difusión de la señal para transmitir y recibir son FHSS, DSSS Y OFDM.

El espectro disperso por salto de frecuencia (FHSS), consiste en dividir la banda de frecuencia en canales, por los cuales la señal transmitida salta de un canal a otro, teniendo un patrón de salto, el cual conoce el transmisor y el receptor.

El espectro disperso de secuencia directa (DSSS), consiste en codificar cada bit de información con una secuencia de bits y así de esta forma el receptor puede identificar la información transmitida y las señales tales como: interferencia y ruido, no permiten mezclarse con la señal.

La Multiplexación por División de Frecuencias Ortogonales, (OFDM), consiste en dividir el ancho de banda en subcanales, cada uno centrado en una portadora, las cuales están ortogonales entre si, a través de estas portadoras que se crean se envía información, la cual es modulada, las técnicas de modulación de la señal para transmitir y recibir son: BPSK, QPSK, QAM y CCK.

La modulación binaria por salto de fase (BPSK) es la utilización de la fase para representar un 0 y otra fase para representar un 1, cada bit se encuentra contenido en el cambio de fase entre dos ciclos completos de señal. Con esta modulación se obtienen velocidades de hasta 1 Mbps.

La modulación por salto de fase en cuadratura (QPSK) utiliza cuatro fases para codificar la señal, cada fase lleva 2 bit de información, para poder entender este tipo de modulación se debe revisar como función PSK ya que QPSK es igual a 4 PSK.

La modulación por desplazamiento de fase (PSK) utiliza la fase de la onda portadora para modular y codificar bits de información digital en cada cambio de fase. Con esta modulación se puede obtener velocidades de hasta 2 Mbps.

La modulación de amplitud en cuadratura (QAM) es una modulación en amplitud en la cual se modula dos señales independientes y desfasadas 90°, una de estas señales es la información y la otra es la portadora. Esta modulación se utiliza para transmitir datos en anchos de banda reducidos, teniendo alta velocidad de transmisión, ya que en el canal no se interfiere porque las portadoras están en cuadratura.

La modulación por código complementario (CCK) es una modulación que utiliza códigos binarios finitos. La velocidad de transmisión de datos puede llegar hasta 11Mbps.

- **La capa de enlace**

La capa de enlace es la encargada de controlar el acceso al medio de un equipo WiFi, que en este caso el medio de transmisión es el espectro radio eléctrico. En la capa de enlace de datos, existen dos subcapas, que son: la subcapa de control de enlace lógico (LLC) y la subcapa de control de acceso al medio (MAC).

La subcapa LLC es igual a la capa que tiene Ethernet, de tal forma que permite la compatibilidad con otra red 802.2

La subcapa MAC no es igual a la de Ethernet ya que se tiene problemas de nodo oculto y para solucionar el problema se utiliza otro método de acceso al medio diferente al utilizado en Ethernet.

El método de acceso al medio que se utiliza es el CSMA/CA que es el acceso al medio por detección de portadora evitando colisiones, con este método se evita las colisiones reduciéndose a un mínimo nivel.

1.3.2 Variaciones al estándar 802.11⁸

Por a la necesidad de tener un estándar inalámbrico, no se tomó en cuenta lo referente a seguridad, QoS, roaming, utilización del espectro y otros, es por esto que la IEEE realiza correcciones al protocolo 802.11 creando así nuevas versiones a este estándar inalámbrico que a continuación se detalla.

- **Estándar 802.11a**

El estándar 802.11a, funciona en la banda de frecuencia de 5GHz, utilizando la codificación OFDM, la cual permite obtener una tasa de transmisión de hasta 54Mbps, adaptándose la tasa de transmisión al receptor y a la congestión del canal, este estándar tiene 12 canales sin solapamiento, utilizando 8 canales de radio para uso interior y 4 canales para enlaces exteriores.

- **Estándar 802.11b**

El estándar 802.11b trabaja en el rango de frecuencia de 2.4 GHz utilizando la codificación DSSS, teniendo una tasa de transmisión máxima de 11 Mbps, transmitiendo a distancias de hasta 300 mts. en espacios abiertos. Maneja tres canales de radio, en la actualidad es el estándar más utilizado.

- **Estándar 802.11c**

Este estándar se creó para poder realizar la compatibilidad con el estándar 802.11 con los nuevos equipos que salían con el estándar 802.11d.

- **Estándar 802.11d**

Este estándar se creó para que las redes locales 802.11 puedan funcionar en el rango que permite el funcionamiento de cada país

- **Estándar 802.11e**

Este estándar hace mejoras en cuanto al manejo del ancho de banda y el retardo de la transmisión en la capa de enlace de datos, esto se realizó pensando en mejorar las transmisiones de audio y video que requieren de calidad de servicio.

⁸ Información recopilada de la página web:
http://es.wikipedia.org/wiki/IEEE_802.11

- **Estándar 802.11f**

Este estándar regulariza la compatibilidad de los productos entre proveedores, se crea el protocolo IAPP que hace que un usuario pueda manejar la red con dos marcas diferentes obteniendo la misma funcionalidad del enlace.

- **Estándar 802.11g**

Este estándar es una evolución del estándar 802.11b con un cambio importante, que es el aumento en la velocidad a 54 Mbps, con una tasa de transmisión real de 22Mbps, este estándar funciona a la frecuencia de 2.4 Ghz.

En la actualidad este estándar ha sido el más difundido, ya que la mayor parte de los equipos que se encuentran en el mercado se han diseñado con este estándar al poder adaptar con el estándar 802.11b. También con este estándar se construyen los equipos para realizar enlaces de larga distancia.

- **Estándar 802.11h**

Este estándar son modificaciones del 802.11 de tal manera que pueda coexistir el WLAN con las señales de radar y satélite, a fin de que no existan interferencias co-canal, en la banda de 5Ghz, regulando el uso de la frecuencia y el rendimiento de la potencia de transmisión de acuerdo al estándar europeo.

- **Estándar 802.11i**

Este estándar fue creado para poder mejorar la seguridad y la transferencia de datos de las redes inalámbricas con el cifrado y autenticación de datos utilizando el estándar de cifrado avanzado (AES), este estándar se acopla bien con los estándares 802.11 a, b, g.

- **Estándar 802.11j**

Este estándar es creado de la misma manera que 802.11h pero para las regulaciones Japonesas.

- **Estándar 802.11k**

Este estándar es creado como aplicaciones a las redes WLAN, en el cual se puede calcular los recursos de radiofrecuencia para los equipos clientes, como para la infraestructura inalámbrica, este estándar es implementado bajo software.

- **Estándar 802.11n**

Este estándar es una nueva revisión al estándar 802.11 en el cual la velocidad de transmisión llega hasta 600 Mbps y se tiene alcances mayores de operación, ya que se utiliza varios canales de transmisión de la señal para transmitir y recibir datos, esto se lo llama Multiple Input Multiple Output (MIMO), los nuevos equipos inalámbricos están desarrollados con este nuevo estándar utilizando tres antenas, este estándar puede trabajar en dos frecuencias de 2.4GHz y 5 GHz con lo cual le hace compatible con los anteriores estándares

1.3.3 Redes de corta distancia Wlan

Las redes inalámbricas de área local (WLAN) son sistemas semejantes a las redes LAN, ya que tienen las mismas características en el manejo de la información transmitida, pero la diferencia le hace el medio de transmisión, ya que las WLAN utilizan el medio de comunicación inalámbricos para llevar la información, esto hace que se convierta en una alternativa a las redes cableadas utilizando radiofrecuencia en lugar de cables para la transmisión y recepción de la información.

Las redes WLAN son redes de corta distancia, es decir comparando con la LAN que va hasta 100mts, pero en el caso de las WLAN alcanzan distancias de hasta 150 mts en áreas abiertas y dependiendo del entorno el enlace baja su distancia.

Existen dos tipos de instalaciones de redes inalámbricas WLAN, que son punto a punto y redes centralizadas

Una red punto a punto se obtiene realizando una red ad-hoc, esta se utiliza cuando se necesita conectarse con un usuario específico ya sea para compartir información o para compartir algún dispositivo. Una red Ad-doc se forma

utilizando equipos terminales con un adaptador inalámbrico, estas se conectan entre sí formando enlaces punto a punto

Una red centralizada se realiza utilizando un punto de acceso (AP) los cuales son concentradores inalámbricos en el cual se conectan los equipos terminales, el AP puede ser un intermediario entre la red cableada y la red inalámbrica, ya que el punto de acceso forma parte de una red Ethernet compartiendo datos o el Internet.

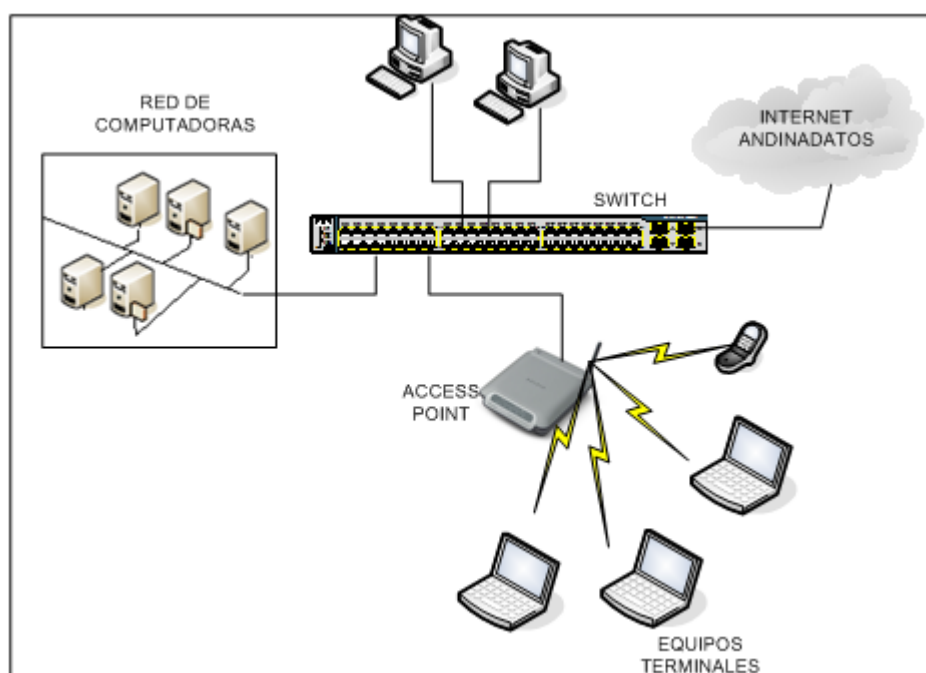


Figura. 1.5. Red de datos cableada e inalámbrica

Según se observa la figura 1.5, el AP está conectado a un puerto de un switch formando parte de la red de datos y los equipos terminales se conectan al AP en topología de estrella, brindando de esta forma el acceso a la información ya sea de equipos Servidores o tomando la información del Internet.

- **Funcionamiento de una red WLAN**

Las WLAN empiezan con la utilización de los estándares 802.11 y sus distintas regulaciones, para la transmisión de la información hacia los equipos terminales, la información es modulada en una portadora o canal y se transmite a

una frecuencia ya sea 2.4 GHZ o 5GHz, esto dependiendo de las regulaciones del país, La frecuencia de 2.4GHz tiene 11 canales adyacentes, de los cuales se utilizan solo 3 canales (1, 6 y 11) para poder evitar la interferencia co-canal. La frecuencia de 5Ghz tiene más canales, de los cuales se tiene 12 canales no adyacentes que se puede utilizar.

El equipo terminal no necesita configurar el canal de transmisión, ya que este detecta directamente en que canal esta el AP, se enlaza y empieza a transmitir. Se puede realizar una red manejando varios nodos de acceso, con los cuales se puede cubrir varios sectores de una zona y de esta forma el usuario tiene movilidad sin perder la comunicación, el momento de pasar de un nodo a otro se produce el llamado roaming.

1.3.4 Enlaces de larga distancia

Los enlaces microondas han sido un medio de transmisión de información para poder llegar a sectores donde carecen de comunicaciones, pero solo las grandes compañía como fue en su tiempo Andinatel realizaba este tipo de enlaces para proveer de telefonía en sectores alejados de las ciudades, los costo era muy alto ya que se necesita una infraestructuras de telecomunicaciones que manejen bandas licenciadas, las cuales eran específicos a una frecuencia.

Con la existencia de las redes WIFI empezaron a analizar la utilización del estándar 802.11 para formar infraestructuras de comunicaciones para largas distancias, como se sabe WIFI tiene un bajo costo por la cantidad de fabricantes y distribuidores que existen, su funcionamiento en frecuencias no licenciadas, son las ventajas que hicieron que estos sistemas sean factibles para realizar los enlaces de larga distancia, claro está con sus limitaciones en potencia que dictan las normas de cada país; con la amplificación de la señales utilizando antenas de distintas clase se logra realizar los enlaces de distancias considerablemente extensas.

Al realizar un enlace de larga distancia se debe considerar los siguientes pasos para su funcionamiento.

- **Recolección de la información**

La información no solo son las aplicaciones que se va a entregar a través del enlace al usuario final, sino que se debe comenzar con un reconocimiento geográfico de la zona, ubicando los puntos inicial y final del enlace y la ubicación del usuario final; luego de esto se debe realizar un análisis de la factibilidad del radio enlace.

- **Topología del sistema inalámbrico**

Existen tres tipos de topología que son: punto a punto, punto a multipunto y malla, esto depende del lugar y de los requerimientos del usuario para poder escoger la topología.

La topología punto a punto, o llamada también puente (bright) es la que se tiene una solo frecuencia, en la cual se enlaza dos puntos para enviar la información.

La topología punto a multipunto o llamada estrella, es la que utiliza un punto de acceso donde se conectan varios usuarios, los cuales acceden a la información al mismo tiempo.

La topología malla es la topología donde se obtiene redundancia de la señal, de tal forma que la señal pueda tener varios caminos para llegar a un punto, en caso que un camino se pierda, la señal tome otro camino.

- **Selección de antenas y requerimiento de ancho de banda**

Existen varias tipos de antenas, que dependen de la potencia de transmisión y de la distancia a la que quieren alcanzar, en la tabla 1.4 se encuentra los tipos de antenas y características de funcionamiento.

Tabla. 1.4. Tipos de antenas

Antena	Potencia de transmisión (dBi)	Distancia (Km)
Omni direccional	6-12	0.2 – 2
Panel	12-23	4 – 50
Rejilla	18-32	15 – 50
Sectorial	10-18	2 – 50

1.4 Redes de área local (LAN)

Las Redes de área local (LAN) son redes de datos de alta velocidad que abarcan un área geográfica relativamente pequeña, es una red que conecta equipos de trabajo y dispositivos periféricos que se encuentran en un área determinada.

1.4.1 Topología de las redes LAN

La topología de una red es la definición de una red en la cual se estructura con dos partes que son las siguientes:

- **Topología física**

La topología física es la distribución de los cables que forman una red de datos, a continuación se detalla los tipos de topologías físicas:

- topología en estrella
- topología en anillo
- topología en bus
- topología en malla

- **Topología lógica**

La topología lógica se refiere a la forma de comunicación de los equipos terminales utilizando la red cableada, existen algunas formas de las cuales se destacan: Broadcast y tokens.

Broadcast o topología lógica Ethernet, es la topología más utilizada en redes LAN. Token o topología token ring es cuando se envía un token a todos los dispositivos secuencialmente, el que recibe el token puede enviar los datos, si no tiene, envía el token al siguiente dispositivo.

- **Tipos de dispositivos**

En una red LAN se va a encontrar varios tipos de dispositivos que están formando la red, en la tabla 1.5 se encuentran los equipos que forman una red y algunas características del equipo.

Tabla. 1.5. Dispositivos de una red LAN

Equipos de redes	Características
HUB	El hub es un concentrador de información, permite centralizar la información para poder enviar a todos los dispositivos conectados a este equipo.
Switch	El switch es un conmutador de paquetes de datos, este dispositivo funciona en capa 2 del modelo OSI, este equipo envía los paquetes de datos a un terminal específico
Router	El enrutador es un equipo que permite interconectar dos redes para garantizar la ruta del envío de datos entre redes. Este equipo funciona en capa 3 del modelo OSI. El router garantiza la conexión de una red empresarial al mundo de la internet
Servidor	Un servidor es un computador que entrega servicios a otros computadores clientes. Los servicios que pueden dar son: DHCP, servidor de archivos, servidor de email, etc.
Equipo terminal hosts	El equipo terminal puede ser un computador cliente, una impresora, etc

1.5 Redes de telefonía

Las redes de telefonía son fundamentales en las telecomunicaciones, su principio fundamental es la transmisión de la voz humana utilizando un medio de comunicación, en principio fue por medio alámbrico.

La tecnología ha cambiado y se ha generado diferentes formas de transmisión de la voz, cambiando de forma análoga a digital, pero siempre teniendo el objetivo fundamental de transmitir de un punto a otro.

Los medios de transmisión utilizados son las redes alámbricas o las redes inalámbricas en estos casos se tiene como proveedores de estos medios a la CNT como medio alámbrico y a las operadoras de celular como medios inalámbricos.

Otra forma de llevar la señal de la voz es transformando a la señal en digital, esta señal digital se la encripta colocando en los protocolos TCP/IP y así convirtiéndose en Voz sobre IP (VoIP).

1.5.1 Telefonía alámbrica

Una red de telefonía está formada de dos partes fundamentales: las redes de acceso y los equipos de conmutación.

Las redes de acceso se definen como el medio que permite la conexión de un punto de abonado (usuario) con la central telefónica. Los medios alámbricos de comunicación usados pueden ser conductores de cobre o de fibra óptica.

Los equipos de conmutación son las centrales telefónicas, cuya función principal es establecer enlaces entre dos usuarios, en este caso es el Llamante y el Llamado, la central telefónica establece la comunicación conmutando los circuitos que pertenecen a cada usuario.

1.5.2 Telefonía inalámbrica

Anteriormente se reviso como es el funcionamiento de la comunicación inalámbrica, en el cual se daba a conocer que una comunicación inalámbrica se da cuando el medio de comunicación es el aire, en el cual se propaga las ondas

electromagnéticas de un lugar a otro. Tomando de antecedente lo mencionado, la telefonía inalámbrica es simplemente el envío de la voz de un lugar a otro, utilizando como medio el aire.

Existen varias etapas de evolución de la telefonía inalámbrica las cuales se detallan en la tabla 1.6

Tabla. 1.6. Características de sistemas de telefonía

Telefonía inalámbrica	Características	Frecuencias de funcionamiento
Teléfono inalámbrico	El teléfono inalámbrico es una forma mixta, donde llega la señal de la voz por cable, esta señal ingresa a una base que modula la señal y la transmite a una frecuencia hacia el teléfono.	1,7 MHz, 27 MHz, 43–50 MHz, 900 MHz, 1,9 GHz 2,4 GHz, 5,8 GHz. Las dos últimas frecuencias no son muy usadas, ya que estas frecuencias son saturadas con las redes WIFI
Teléfono móvil	La revolución de la telefonía se genera en el momento en el que entra las comunicaciones móviles a funcionar con los llamados sistemas celulares. Estos sistemas están compuestos de la red de comunicación y los teléfonos terminales	Operador: CLARO Frecuencia: GSM 850 Mhz Operador: Alegro PCS Frecuencia: PCS 1900 Mhz Operador: Movistar Frecuencia: CDMA 800 Mhz

1.5.3 Telefonía IP (VoIP)

La telefonía IP es el transporte de la voz utilizando protocolos IP, desde un transmisor a un receptor, de tal manera que se transmita ya sea en redes LAN, WAN, MAN o utilizando la red global de internet

La telefonía IP se define como la combinación de voz, datos, video y aplicaciones inalámbricas en una infraestructura empresarial integrada que ofrece integrabilidad, interoperabilidad, y seguridad en la red de voz.

El proceso de transformación de la voz en un teléfono IP es de acuerdo a la figura 1.6 la cual digitaliza transformando en señales PCM (pulse code modulación) después la codifica utilizando Codec de voz como es el G711, la señal codificada la comprime y la encapsula en tramas de paquetes de datos utilizando algoritmos de compresión, de esta forma puede ser ya transmitida en una red de datos. En el otro punto de la comunicación se realizan exactamente las mismas funciones pero en un orden inverso

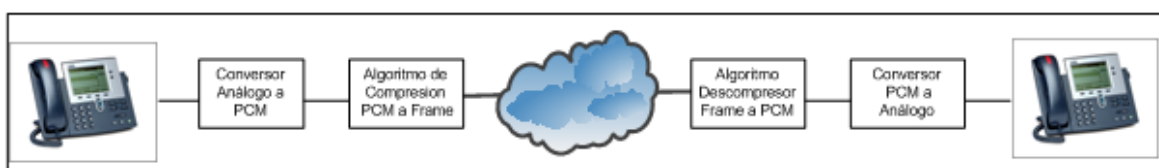


Figura 1.6 proceso de transmisión VoIP⁹

Al utilizar una red de telefonía VoIP se tiene grandes beneficios que se describen a continuación:

- El tener cableado estructurado para transmitir Voz y Datos es un beneficio ya que el costo en mantenimiento de una sola red es muy inferior que tener separado una red para telefonía y otra para datos.
- La solución VoIP en una compañía representa un costo en facturación de telefonía el 50% más bajos que tener un sistema convencional de telefonía para comunicarse externamente entre oficinas.
- VoIP maneja anchos de bandas inferiores ya que tiene compresores eficientes que reducen la señal de voz sin perder calidad para el usuario.
- El manejo de una sola red utilizando equipos tales como Switches o Routers hacen que la administración de la red sea de forma escalable con una red convergente.
- Con VoIP ya no es necesario el establecimiento de circuitos físicos ya que todo se transforma en paquetes de datos IP que entran a la red

⁹ Figura tomada de la página web:
<http://telefoniasandovoip.blogspot.com/>

Al utilizar una red de telefonía VoIP también se tiene desventajas que se describen a continuación:

- La transmisión de paquetes de datos en una red IP no garantiza el tiempo de llegada ya que existen pérdida de paquetes.
- La telefonía VoIP aun no está difundido como una red pública ya que su despliegue de infraestructura tiene un costo alto, la telefonía VoIP maneja a nivel de empresas privadas conmutándose a la red pública utilizando líneas analógicas
- La velocidad en la comunicación es alta pero no se tiene confiabilidad en la comunicación
- Un teléfono VoIP requiere de una conexión eléctrica lo cual es una desventaja frente a un teléfono convencional que si se corta la energía eléctrica la comunicación telefónica sigue funcionando.
- Cuando una persona está utilizando la telefonía VoIP y otro persona está escuchando, existe una latencia que cuando llega a 200ms de pausa en la transmisión se genera mala comunicación, así que se debe controlar el QoS para garantizar una transmisión con calidad.

1.6 Sistemas para obtención de energía eléctrica¹⁰

En la actualidad, la mayor parte de la energía empleada en el mundo es a través de la energía no renovable, que proviene de los combustibles fósiles pero para la obtención de estos combustibles surgen los problemas de contaminación del medio ambiente. Se tiene también otras fuentes de energía alternativa, las cuales causan menos impacto al medio ambiente, estas fuentes de energía son las renovables.

Las fuentes de energía no renovables que el hombre emplea en la actualidad son: los combustibles fósiles y los minerales radioactivos.

Las fuentes de energía renovables que se explotan actualmente son: el sol, el viento, el agua, los volcanes, aguas termales, organismos vivos y el hidrógeno.

¹⁰ información recopilada de la página web:

http://es.wikipedia.org/wiki/Generaci%C3%B3n_de_energ%C3%ADa_el%C3%A9ctrica

Los sistemas más conocidos de obtención de energía eléctrica son: las centrales hidroeléctricas, centrales termoeléctricas, centrales eólicas y centrales fotovoltaicas

1.6.1 Centrales hidroeléctricas

Las centrales hidroeléctricas generan energía eléctrica mediante la utilización de un recurso natural como es el agua, el cual utiliza el gran potencial de la caída del agua para poder mover las turbinas hidráulicas.

El aprovechamiento de la energía del agua para generar electricidad es una forma clásica de obtener energía, alrededor del 20% de la electricidad usada en el mundo procede de esta fuente.

1.6.2 Centrales termoeléctricas

La central termoeléctrica para producir energía quema en una caldera carbón, gas natural o fueloil que es un derivado del petróleo; el calor producido se transmite a una red de tuberías, por donde circula el agua que es vaporizada, este vapor sale a gran presión y velocidad hacia las turbinas que están conectadas a un alternador que produce la electricidad.

1.6.3 Centrales eólicas

Las centrales eólicas producen energía que se obtiene del viento usando los aerogeneradores, estos sistemas se encuentran en lugares donde el viento corre con alta intensidad.

1.6.4 Centrales fotovoltaicas

Un sistema solar fotovoltaico transforma la energía de la luz solar en electricidad, la luz solar se aplica en paneles solares, que son módulos formados por elementos semiconductores que se excitan liberando electrones, produciendo así una corriente eléctrica, esta corriente es continua, se la transforma a energía eléctrica alterna.

Un sistema solar fotovoltaico puede proporcionar la energía a un grupo reducido de habitantes en zonas donde no hay red de servicio público, siendo así una de las aplicaciones que justifica el uso de esta tecnología.

CAPÍTULO 2

REQUERIMIENTOS FÍSICOS PARA EL DISEÑO DE LA RED

2 Requerimientos

2.1 Ubicación de las comunidades¹¹

Las ocho comunidades a las cuales están dirigidas este proyecto se distribuyen en cuatro provincias del Ecuador las cuales son: Esmeraldas, Morona Santiago, Sucumbíos y Orellana. En Esmeraldas están cinco comunidades, una en Morona Santiago, una en Sucumbíos y en Orellana la última comunidad, estas comunidades son lugares carentes de los servicios básicos como es el agua potable y luz eléctrica.

Este proyecto está dirigido para implementarse en las escuelitas de cada comunidad, los alumnos y todas las personas que pertenecen a la comunidad podrán utilizar los servicios tecnológicos.

La tabla 2.1 contiene los nombres de las ocho comunidades, la provincia y el cantón donde están ubicadas.

¹¹ Información tomada del anexo 1

Tabla. 2.1. Comunidades del proyecto

Comunidad	Provincia	Cantón
Dogolita Arriba	Esmeraldas	Quininde
El colorado	Esmeraldas	Quininde
La Primavera	Esmeraldas	Quininde
Piedrita Afuera	Esmeraldas	Quininde
Precoperativa Bolivarense	Esmeraldas	Quininde
Tsanimp	Sucumbíos	Shushufindi
Kuri	Morona Santiago	Huamboya
Sumak Kichwa	Orellana	Loreto

A continuación se describe la ubicación de las comunidades con sus coordenadas geográficas y los poblados más cercanos:

- **Dogolita Arriba**

Esta comunidad se encuentra ubicada en las coordenadas: latitud 0°18'54" N y longitud 79°41'24" O, los recintos más cercanos a la comunidad son Manuel Antonio y Boca de Sabalita que está a 13.2 Km.

- **El Colorado**

Esta comunidad se encuentra ubicada en las coordenadas: latitud 0°32'50.5" N y longitud 79°43'0.3" O, el recinto más cercano a la comunidad es El Naranjal que está a 14 Km de distancia

- **La Primavera**

La Primavera se encuentra ubicada en las coordenadas: latitud 0°51'35" N y longitud 79°44'09" O, la parroquia cercana a la comunidad es Tonsupa, están a 5 Km de distancia

- **Piedrita Afuera**

Esta comunidad se encuentra ubicada en las coordenadas: latitud 0°44'47" N y longitud 79°49'7" O, el recinto más cercano a la comunidad es Crnel. Carlos Concha Torres que está a 6 Km de distancia

- **Precooperativa Bolivareense**

La comunidad se encuentra ubicada en las coordenadas: latitud 0°49'25" N y longitud 79°44'58" O, los recintos más cercanos a la comunidad son Salina, las Mareas y la parroquia de Tonsupa que está a 9 Km de distancia

- **Tsanimp**

Esta comunidad se encuentra ubicada en las coordenadas: latitud 0°18'22" S y longitud 76°37'42" O, la parroquia más cercana es San Antonio que está a 5.6Km de distancia

- **Kuri**

La comunidad se encuentra ubicada en las coordenadas: latitud 2°3'0.5" S y longitud 77°52'21.7" O, la parroquia más cercana a la comunidad es Shankaimi que está a 8.3Km de distancia

- **Sumak Kichwa**

Esta comunidad se encuentra ubicada en las coordenadas: latitud 0°51'16.3" S y longitud 77°29'20.8" O, la parroquia más cercana es San Vicente de Huaticocha que está a 11.9Km de distancia

2.2 Información socio – económica de las comunidades¹²

Las ocho comunidades están situadas en cuatro provincias del Ecuador, es así que se revisaran algunos aspectos que caracterizan cada una de estas provincias, para poder saber cómo y en qué estado socio – económico se encuentran las comunidades.

¹²Información recopilada de la pagina web:
<http://www.siise.gov.ec/Principal.aspx>

2.2.1 Provincia de Esmeraldas

Esmeraldas la provincia verde como se la conoce, está situada en la costa noroccidental del país. El territorio en general es plano, tiene algunas elevaciones que no superan los 300 mts sobre el nivel del mar. Algunas elevaciones existen en Atacames y Cojimíes en Punta Gorda, San Francisco y en el cerro del Chinto.

En aspectos geográficos se encuentran los ríos que han servido a la provincia como vías naturales para el transporte de productos (tagua, balsa, caucho, banano) y para el sistema de riego.

La provincia como atractivo turístico tiene las playas, y la reserva ecológica Cayapas-Mataje. En la tabla 2.2 se encuentra otros aspectos socio-económicos de la provincia.

Tabla. 2.2. Situación socio- económica de Esmeraldas

Extensión:	Ubicación:	Población:	Limites:
15.232.60 Km2.	En el extremo noroccidental de la República del Ecuador.	416.272 habitantes	Norte: República de Colombia Sur: Provincia de Manabí Este: Provincias de Carchi, Imbabura y Pichincha Oeste: Océano Pacifico.

Cantones:	Clima:	Recursos Naturales:
Esmeraldas, Eloy Alfaro, Muisne, Quinindé, San Lorenzo, Atacames, Rioverde, La Concordia.	La temperatura en la zona costera está entre 25°C y 26°C y hacia el interior al pie de las faldas andinas es de 20°C.	Agricultura: tabaco, café, cacao, banano.

El cantón donde se encuentran las comunidades es Quinindé, este cantón se encuentra en un lugar intermedio sobre la carretera que une Esmeraldas con Santo Domingo de los Tsáchilas, tiene sus grandes plantaciones de palma africana y las típicas casitas de caña guadúa, construidas sobre pilares de madera y rodeadas por cocoteros y plataneros.

2.2.2 Provincia de Sucumbíos

Sucumbíos pertenece a la región amazónica, esta provincia está limitada al norte por la República de Colombia. Ocupa una extensa franja selvática con abundante fauna y vegetación. En su territorio se encuentra el volcán el Reventador (3562 m), que se encuentra en el límite con la provincia del Napo; y el volcán Sur Pax (2.341 m), al Noreste.

Esta provincia tiene algunos parajes exuberantes, que han convertido a Sucumbíos como Reserva ecológica, entre ellos se encuentran: el Cuyabeno, que tiene 600 hectáreas de vegetación, es la más grande del país y la Reserva Cayambe-Coca que cuenta con una superficie de 403.103 hectáreas; Sucumbíos tiene el primer pozo petrolero explotado en el país.

En la tabla 2.3 se encuentra otros aspectos socio-económicos de la provincia.

Tabla. 2.3. Situación geográfica de Sucumbíos

Extensión:	Ubicación:	Población:	Limites:
18.327 km ² .	En la región nororiental de Ecuador.	144.774 habitantes.	Norte: Colombia, Sur: Napo y Orellana Este: Colombia y Perú Oeste: Carchi, Imbabura y Pichincha.

Cantones:	Clima:	Actividad Turística:	Recursos Naturales:
Lago Agrio, Gonzalo Pizarro, Putumayo, Shushufindi, Sucumbíos, Cascales y Cuyabeno.	la parte alta de la cordillera, el clima es de páramo y conforme se desciende a la selva amazónica, va cambiando su clima debido a factores como la altitud, humedad, vientos y temperatura que lo convierten en tropical húmedo.	Selva tropical, Lagunas de Cuyabeo (Putumayo), Flotel por el río Aguarico.	Se cultiva maíz, palma africana, banano, café, piñas

El cantón donde se encuentran las comunidades es Shushufindi, tiene una superficie de 2.485 km² y una población de 18.977 habitantes y esta a una altitud de 260m. Las parroquias del cantón Shushufindi son: 7 de Julio, San Pedro de los Cofanes, San Roque, Pañacocha, Limoncocha y Shushufindi.

2.2.3 Provincia de Morona Santiago

Morona Santiago tiene una zona ubicada en las estribaciones de la cordillera oriental de los Andes. Otra zona de la provincia es llanura bañada por ríos que nacen en la cordillera de los Andes.

En Morona Santiago existen numerosas comunidades en las cuales habitan el pueblo shuar. En este territorio se encuentra el volcán Sangay, con 5230m, que está en actividad. Por el sur de la provincia están las cordilleras tales como: el Boliche, Zapote Naida, Manga Urcu, Yupaiqui y la Cordillera del Cóndor

En la tabla 2.4 se encuentra otros aspectos socio-económicos de la provincia

Tabla. 2.4. Situación geográfica de Morona Santiago

Extensión:	Ubicación:	Población:	Límites:
28.915 Km ² .	Está ubicada en el sureste de Ecuador y se extiende desde los Andes hasta la frontera peruana.	84.216 habitantes.	Norte: Pastaza y Tungurahua Sur: Zamora Chinchipe Este: República del Perú Oeste: Chimborazo, Cañar y Azuay.

Cantones:	Clima:	Actividad Económica:	Recursos Naturales:
Macas, Gualaquiza, Gral. Leonidas (Limón Indanza), Palora, Santiago, Sucúa, Huamboya, San Juan Bosco.	En los valles y mesetas es caliente, la temperatura oscila entre 18 y 23oC.	Sector Agropecuario, Minería, Industria, Artesanía y Turismo.	Maíz, plátano, yuca, banano, fréjol, papa china, tabaco, hortalizas, café, cacao y varias clases de fruta.

El cantón donde se encuentran las comunidades es Huamboya tiene una extensión de 653,2 km². y una población de 5965 habitantes, con el 77.8% de indígenas Shuar, este cantón está limitado al Norte por el Cantón Palora y la Provincia de Pastaza, al Sur por el Cantón Morona, al Este por Cantón Taisha y Provincia de Pastaza y al Oeste por la Provincia del Chimborazo.

Huamboya está a una altitud: 950 – 1350 m.s.n.m. con una temperatura variante entre los 18 a 22°C.

2.2.4 Provincia de Orellana

Cuenta con una envidiable riqueza ambiental, en un entorno de bosque húmedo tropical. Sin embargo, esta riqueza natural se encuentra amenazada por la deforestación y la contaminación. Sus habitantes nativos pertenecen principalmente a las comunidades Huaorani, Schuar y Quichua.

En la tabla 2.5 se encuentra otros aspectos socio-económicos de la provincia

Tabla. 2.5. Situación geográfica de Orellana

Extensión:	Ubicación:	Población:	Límites:
22.500 Km ² .	Situado en las desembocaduras de los ríos Coca y Payamino.	70.009 habitantes.	Norte: Sucumbíos Sur: Pastaza y Napo Este: Perú Oeste: Napo

Cantones:	Clima:	Actividad Económica:	Recursos Naturales:
Francisco de Orellana, Aguarico (c.c. Nuevo Rocafuerte), La Joya de los Sachas, Loreto.	Predomina el tropical húmedo, con lluvias persistentes que originan intensa evaporación y consecuentemente altas temperaturas de 25°C	Agropecuaria, artesanía y turismo.	Explotación petrolera, madera, etc.

2.2.5 Información socio – económica de las comunidades del proyecto¹³

En la tabla 2.6 se encuentra información socio-económica de cada una de las comunidades

Tabla. 2.6. Información socioeconómica comunidades del proyecto

Comunidad	Número de habitantes	Acceso a la comunidad	Condiciones de la carretera	Centros de salud	Número de alumnos
Dogolita Arriba	450	Vía terrestre	Mala	Si	35
Precooperativa Bolivareense	120	Vía terrestre	Mala	Si	20
La Primavera	250	Vía terrestre	Mala	Si	40
El Colorado	160	Vía terrestre	Mala	Si	28
Piedrita Afuera	100	Vía terrestre	Mala	Si	32
Tsanimp	100	Vía terrestre	Buena	Si	
Kuri	142	Vía terrestre	Mala	Si	28
Sumak Kichwa	105	Vía terrestre	Mala	Si	24

2.3 Análisis de la infraestructura tecnológica que se encuentra cercana a las comunidades

Este proyecto es una extensión del proyecto EUROSOLAR¹⁴, es así que los enlaces se van a realizar con las comunidades del proyecto Eurosolar; en Esmeraldas se encuentran veinte comunidades, en Sucumbíos hay diecinueve comunidades, en Morona Santiago se encuentran catorce comunidades y en Orellana hay quince comunidades, estas comunidades fueron favorecidas para la implementación del proyecto Eurosolar.

En la tabla 2.7 se detallan las posibles comunidades para poder realizar los enlaces inalámbricos del proyecto Eurosolar, en el anexo 1 se encuentran más detalladas dichas comunidades

¹³ Tomado del anexo 1

¹⁴ Los datos de coordenadas de las comunidades del proyecto Eurosolar se encuentran en el anexo 1

Tabla. 2.7. Comunidades del proyecto EUROSOLAR

No-	Esmeraldas	Sucumbios	Morona Santiago	Orellana
1	Zapotalito	Sani Isla	Yaupi	El Edén
2	Agua Clara	Tierras Orientales	Cayamentza	Avila Viejo
3	Libertad Lojana	San José de Dumbiki	Otto Arosemena	Jandia Yacu
4	Chorrera Grande	Playas de Cuyabeno	Pankings	Colmito Yacu
5	Los Sengues del Dogola	Comuna Pañacocha Cofán Duvuno	Santiago Tukup	San José de Payamino
6	Achicube Bajo	Pucapeña y Tangay	Numpain	Cotapino
7	El Botado	Siecoya Remolino	Chuwints	Carashino
8	Barbudalito	Yana Allpa	Yamanunka	Añangu
9	Nueva Esperanza	Comunidad San Roque	Pankints	Comuna El Inca
10	Progreso Río Canande	Jesús del Gran Poder	Chayuk (San Luis)	Nueva Providencia
11	Boca de Zabaleta	Unión Amazónica	San Francisco (Wawaim)	Nueva Esperanza
12	Tachina Cabecera	Pilche	Tsunt Suim	El Descanso
13	Sabaletita	Asociación San Roque	Loma Linda	Bajo Huino
14	Barbudal No. 1	Comuna Tereré	Yaap	Parotoyacu
15	Campamento Nueva Vida	Pastaza (Ishkay-Kucha)		Avila Viejo
16	Valle de Tulicio	El Arenal		
17	La Flor de la Chile	Vencedores		
18	Primero de Mayo	Papayu		
19	La Guinea	Sharup		
20	La Merced			

Las comunidades descritas en la tabla anterior se encuentran dispersas en todo el territorio de las provincias, así que se determinará que comunidades se encuentran cercanas a las ocho del proyecto, además se debe tomar en cuenta el tipo de enlace que se realizará dependiendo de las distancias y de su línea de vista.

Se describen las ocho comunidades con los posibles puntos de enlace para tomar la señal de comunicación.

- **Dogolita Arriba**

Las comunidades más cercanas a esta comunidad son: Los Sengues del Dogola con 1.83 Km, Nueva Esperanza con 13.65 Km, Sabaletita con 9.83 Km y La Merced con 10.06 Km.

- **Precooperativa Bolivareense**

Las comunidades más cercanas son: Progreso Río Canande con 9.76 Km y Barbudal No. 1 con 8.97 Km

- **La Primavera**

Las comunidades más cercanas son: Agua Clara con 15.82 Km, Progreso Río Canande: 6.95 Km y Barbudal No. 1: 12.81Km.

- **El Colorado**

Las comunidades más cercanas son: Achicube Bajo con 6.6 Km, Nueva Esperanza con 12.45 Km, Chorrera Grande con 11.27 Km, Tachina Cabecera 12.11 Km y La Guinea 5.98 Km.

- **Piedrita Afuera**

Las comunidades más cercanas son: Barbudal No. 1 con 9.42 Km y La Flor de la Chile con 12.72 Km.

- **Tsanimp**

Las comunidades más cercanas son: Unión Amazónica con 21.15Km, Vencedores con 23.6 Km y Tierras Orientales con 29.77 Km.

- **Kuri**

Las comunidades más cercanas son: Tsunt Suim con 15 Km, Chayuk (San Luis) con 5.88 Km y Pankints con 13.44 Km

- **Sumak Kichwa**

Las comunidades más cercana son: Carashino con 13.21 Km y Cotapino con 7.15 Km.

2.4 Estudio de campo análisis del terreno

Como se mencionó anteriormente, para determinar el tipo de enlace, se debe tomar en cuenta que exista línea de vista entre las dos comunidades y su distancia deber ser aceptable para realizar el enlace inalámbrico. En la tabla 2.8 se encuentra las alturas de las 8 comunidades

Tabla. 2.8. Altitud que se encuentran las comunidades¹⁵

Comunidades	Altura (m)
Dogolita Arriba	248.00
Precooperativa Bolivarense	231.30
La Primavera	210.30
El Colorado	204.90
Piedrita Afuera	179.00
Tsanimp	527.00
Kuri	1143.10
Sumak Kichwa	273.00

A continuación se describe la topografía del perfil del enlace entre las comunidades más cercanas a cada comunidad de este proyecto.

¹⁵ Esta altitud es tomada del Google Earth posesionándose con las coordenadas de la comunidad

- Dogolita Arriba

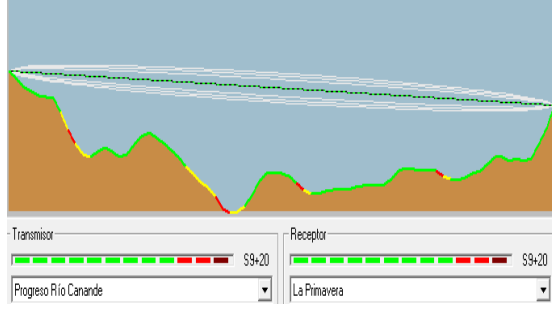
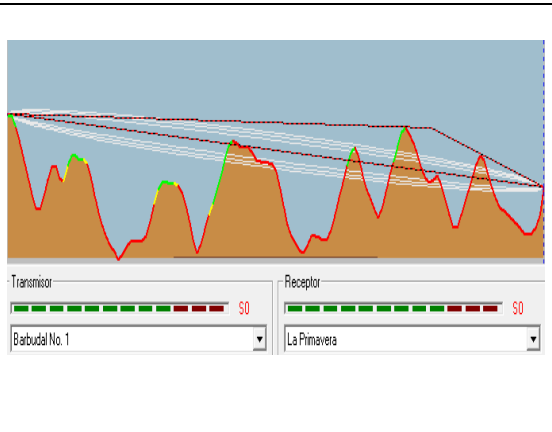
Comunidades proyecto Eurosolar	Altura (m)	Situación Análisis del terreno	Perfil del terreno
Los Sengues del Dogola	173.4	Existe una montaña a 0.91 Km. con una altura de 281 msnm que cubre a Sengues del Dogola	
Nueva Esperanza	500.8	El enlace no llega ya que se tiene un perfil irregular con varios picos de montañas que cubre a Dogolita Arriba en especial uno que se encuentra a 5.56Km con una altitud de 593 msnm	
Sabalelita	192.1	Existe un perfil irregular con varias montañas que cubren a las dos comunidades en especial uno se encuentra a 7.4Km con una altitud de 366 msnm desde la estación máster	
La Merced	383.3	Se tiene un perfil irregular montañoso que cubren a las dos comunidades esto imposibilita realizar el enlace	

• **Precooperativa Bolivareense**

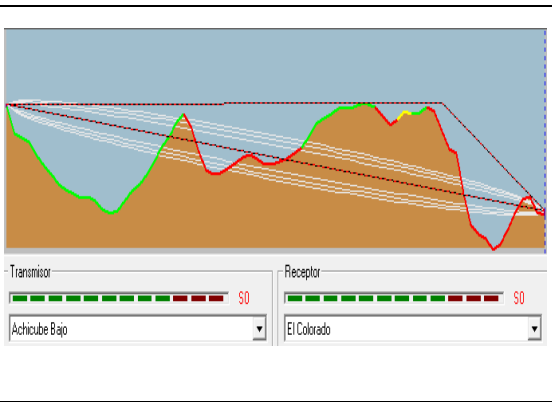
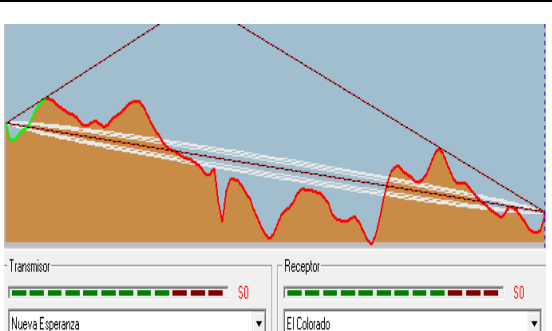
Comunidades proyecto Eurosolar	Altura (m)	Situación Análisis del terreno	Perfil del terreno
Progreso Río Canande	269	no existe montañas que cubran las comunidades ya que las dos comunidades tienen mayores alturas que las montañas que existen en el perfil	
Barbudal No. 1	347.3	no existe montañas que cubran las comunidades ya que las dos comunidades tienen mayores alturas que las montañas que existen en el perfil	

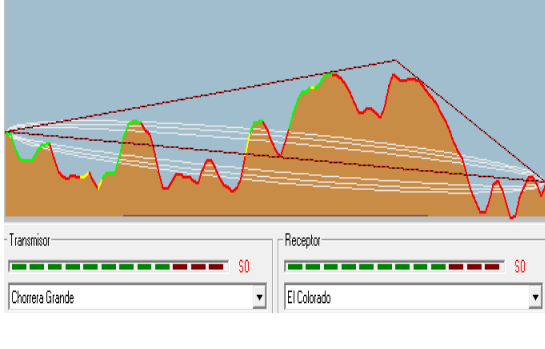
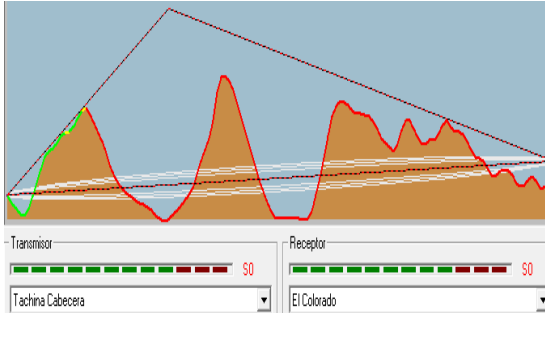
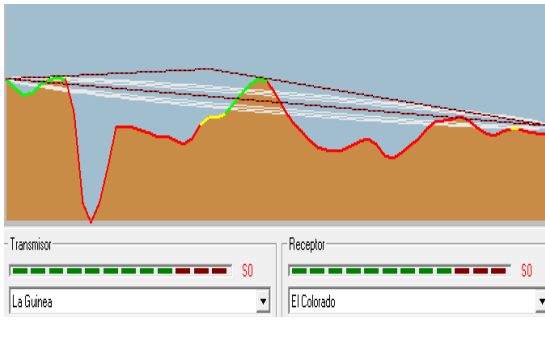
• **La Primavera**

Comunidades proyecto Eurosolar	Altura (m)	Situación Análisis del terreno	Perfil del terreno
Agua Clara	165	El perfil es irregular tiene montañas que cubren a las dos comunidades una se encuentra a 5.84Km con una altitud de 301 msnm desde la estación máster	

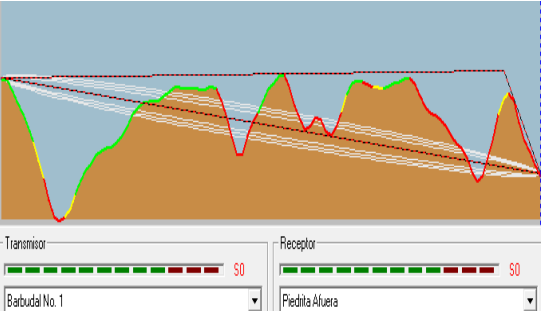
<p>Progreso Río Canande</p>	<p>269</p>	<p>no existe montañas que cubran las comunidades ya que las dos comunidades tienen mayores alturas que las montañas que existen en el perfil</p>	
<p>Barbudal No. 1</p>	<p>347.3</p>	<p>El perfil es irregular con varios picos de montañas que están cubriendo a la primavera el pico mas alto es el que se encuentra a 9.22 Km con una altitud de 324 msnm desde la estación máster</p>	

• El Colorado

<p>Comunidades proyecto Eurosolar</p>	<p>Altura (m)</p>	<p>Situación Análisis del terreno</p>	<p>Perfil del terreno</p>
<p>Achicube Bajo</p>	<p>323</p>	<p>El perfil es irregular con varios picos de montañas que están cubriendo al colorado el pico más alto es el que se encuentra a 9.22 Km con una altitud de 324 msnm desde la estación máster</p>	
<p>Nueva Esperanza</p>	<p>500.8</p>	<p>El perfil es irregular con varios picos de montañas que cubren a las dos comunidades</p>	

<p>Chorrera Grande</p>	<p>267.8</p>	<p>El perfil es irregular con varios picos de montañas que cubren a las dos comunidades en especial uno se encuentra a 8.08Km con una altitud de 341 msnm desde la estación máster</p>	
<p>Tachina Cabecera</p>	<p>120.6</p>	<p>El perfil es irregular con varios picos de montañas que cubren a las dos comunidades en especial uno pico que se encuentra a 1.7Km con una altitud de 341 msnm desde la estación máster</p>	
<p>La Guinea</p>	<p>306.2</p>	<p>El perfil es irregular tiene un pico de montaña que no permite que pase le enlace este pico se encuentra a 2.81Km con una altitud de 305.8 msnm desde la estación máster</p>	

- **Piedrita Afuera**

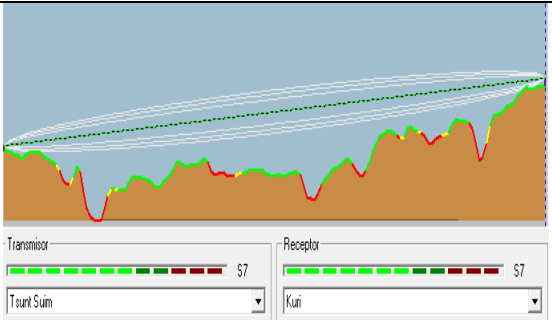
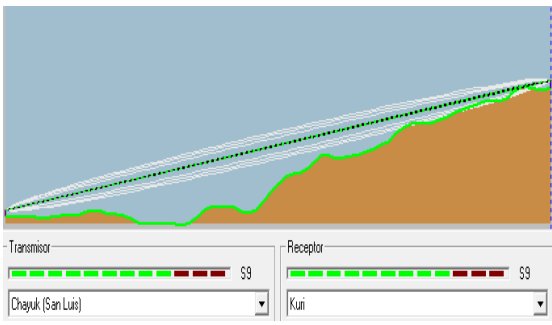
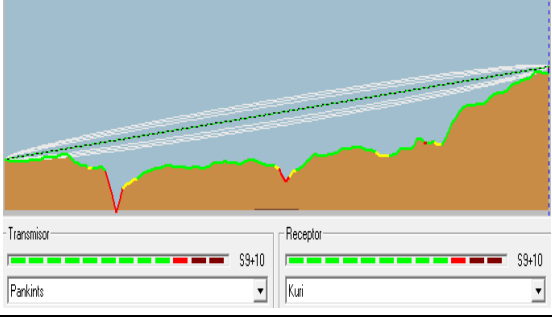
<p>Comunidades proyecto Eurosolar</p>	<p>Altura (m)</p>	<p>Situación Análisis del terreno</p>	<p>Perfil del terreno</p>
<p>Barbudal No. 1</p>	<p>347.3</p>	<p>El perfil es irregular con varias montañas que están cubriendo a Piedrita Afuera el pico más cercano se encuentra a 8.82 Km con una altitud de 323.6 msnm.</p>	

<p>La Flor de la Chile</p>	<p>129.3</p>	<p>El perfil es irregular con varios picos de montañas que cubren a las dos comunidades en especial el pico que se encuentra a 9.8Km con una altitud de 190.6 msnm desde la estación máster</p>	
----------------------------	--------------	---	--

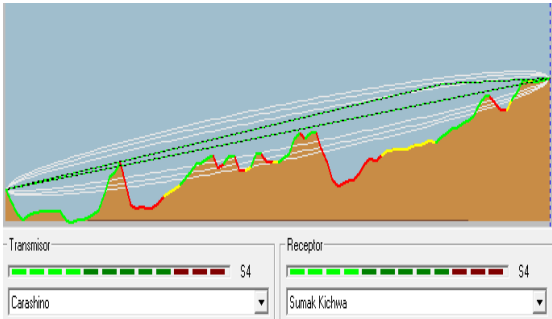
- **Tsanimp**

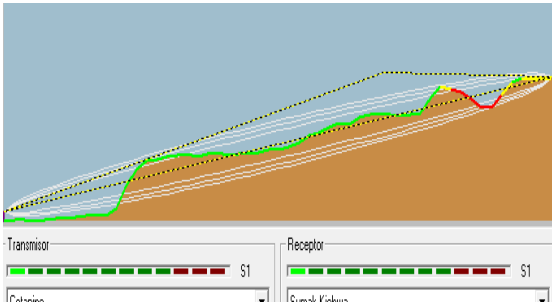
<p>Comunidades proyecto Eurosolar</p>	<p>Altura (m)</p>	<p>Situación Análisis del terreno</p>	<p>Perfil del terreno</p>
<p>Unión Amazónica</p>	<p>243.1</p>	<p>El perfil es irregular con varios picos de montañas que cubren a las dos comunidades</p>	
<p>Vencedores</p>	<p>248</p>	<p>El perfil es irregular con varios picos de montañas que cubren a las dos comunidades</p>	
<p>Tierras Orientales</p>	<p>72.2</p>	<p>El perfil es irregular con varios picos de montañas que están cubriendo a Tierras Orientales ya que su altura es inferior a los 100m</p>	

• Kuri

Comunidades proyecto Eurosolar	Altura (m)	Situación Análisis del terreno	Perfil del terreno
Tsunt Suim	1027.5	No existe montañas que cubran las comunidades ya que las dos comunidades tienen mayores alturas que las montañas que existen en el perfil	
Chayuk (San Luis)	922.7	No existe montañas que cubran las comunidades ya que las dos comunidades tienen mayores alturas que las montañas que existen en el perfil	
Pankints	910.4	No existe montañas que cubran ya que las dos comunidades tienen mayores alturas que las montañas que existen en el perfil	

• Sumak Kichwa

Comunidades proyecto Eurosolar	Altura (m)	Situación Análisis del terreno	Perfil del terreno
Carashino	388.2	El perfil es irregular con varios picos de montañas que cubren a las dos comunidades	

Cotapino	373.7	El perfil es irregular con varios picos de montañas que cubren a las dos comunidades	
----------	-------	--	--

Es así que con el análisis del terreno realizado utilizando el software Radio Mobile se llega a determinar qué comunidad del proyecto Eurosolar se tomará para que se realicen los enlaces, existen tres comunidades en las que la línea de vista se encuentra obstruida y es así que mediante un análisis más específico se determinará si es factible realizar el enlace.

En la tabla 2.9 están las dos comunidades que se realizará los enlaces y a qué distancia se encuentran

Tabla. 2.9. Enlaces y distancias de las comunidades¹⁶

Comunidad 1	Comunidad 2	Distancia (Km)
Precooperativa Bolivareense	Barbudal No. 1	8.18KM
La Primavera	Progreso Río Canande	6.77KM
Sumak Kichwa	Carashino	13.21 Km
Tsanimp	Vencedores	23.6 Km
Kuri	Chayuk (San Luis)	5.88 Km
Dogolita Arriba	-----	N/A
Piedrita Afuera	-----	N/A
El Colorado	-----	N/A

¹⁶ La distancia es tomada de acuerdo al software Radio Mobile

En las tres últimas comunidades, se determinó que realizar el enlace inalámbrico será complicado, ya que no se tiene una línea de vista. Se realizará un estudio factible para colocar un enlace satelital a estas tres comunidades.

2.5 Determinación de tecnologías para entregar los servicio a las Comunidades

Se ha hecho un análisis de la infraestructura tecnológica que se encuentra cercana a las comunidades y con el análisis del terreno se puede determinar que las posibles soluciones para entregar el servicio de telecomunicaciones a las comunidades son a través de un enlace satelital o un enlace inalámbrico.

Los enlaces inalámbricos se realizaran a través de la tecnología WiFi 802.11, se toma esta alternativa ya que por su costo, el uso de frecuencias libres y porque en el mercado ecuatoriano se tiene varias marcas de equipos y accesorios para utilizar esta tecnología en distancias largas.

Wimax no es una alternativa para realizar los enlaces, ya que esta tecnología está diseñada para aplicaciones de difusión multipunto y además la tecnología está recién apareciendo y los aspectos legales aun no están bien definidos en el país, por estas razones esta tecnología quedaría descartada para aplicaciones en este proyecto.

Así que la mejor opción para realizar los enlaces inalámbricos en las cinco comunidades es WiFi por sus bondades y aspectos tecnológicos que hacen confiables para enlaces de larga distancia.

Para las otras tres comunidades se va a utilizar el enlace satelital, previo al diseño se realiza un análisis de algunos parámetros descritos en el capítulo anterior, en la tabla 2.10 se encuentran los parámetros y un análisis dependiendo de la banda de transmisión satelital.

Tabla. 2.10. Elección banda C o banda Ku

Parámetros	Banda C	Banda Ku
Que satélite cubre la zona donde se encuentra las comunidades	Intelsat Satmex Amazonas	Intelsat Satmex Amazonas
En que bandas está funcionando dicho satélite.	Tx: 5.925-6.425 GHz Rx: 3.625-4.2 GHz	Tx: 14-14.5 GHz. Rx: 10.7-12.75 GHz.
En que banda transmite el proveedor de servicios.	Si	Si
Qué tipo de señales de frecuencia se tiene en donde se ubicaran las estaciones terrenas (interferencia).	Ninguna	Ninguna
Qué condiciones climáticas que se tiene en las comunidades donde se instalara el sistema satelital.	Condiciones extremas. Humedad, temperatura y ambientes salinos	Condiciones extremas. Humedad, temperatura y ambientes salinos
Que espacio físico disponible se tiene para la instalación de las antenas.	En todas la comunidades se tiene un espacio mínimo de 5 m ²	En todas la comunidades se tiene un espacio mínimo de 5 m ²
Que técnica de acceso al medio se va a utilizar	CDMA	CDMA
Cuál sería el costo del sistema satelital más la suma del arrendamiento del transponder.	Revisar capitulo de costos	Revisar capitulo de costos

Aun cuando el costo y espacio físico es mucho menos en banda Ku, siempre se depende del proveedor de servicios que en este caso es la CNT, el cual tiene una infraestructura montada para transmitir en banda C.

Es por esto que se llega a escoger la banda C para la transmisión satelital, para llegar con el servicio a las comunidades donde no se pueda acceder con un enlace terrestre.

Para la puesta en marcha del sistema se tiene que verificar si existen instalaciones eléctricas, como se ve en la tabla 2.6 las comunidades carecen de energía eléctrica, es por esto que la mejor solución en tecnologías de baja tensión, es la utilización de sistemas de energía renovable a través de celdas fotovoltaicas.

CAPITULO 3

DISEÑO DE LA RED DE TELECOMUNICACIONES

3 ANÁLISIS TÉCNICO DE LOS REQUERIMIENTOS PARA EL DISEÑO DEL PROYECTO

Para realizar el diseño de los enlaces de cada comunidad se debe tener en cuenta que tipo de señal se va a transmitir.

Los servicios tecnológicos que se entregarán a cada comunidad son: Internet y telefonía; para transmitir el Internet y tener VoIP es necesario tener un ancho de banda adecuado para que no existan problemas con la transmisión de la señal. Para dimensionar el ancho de banda es necesario determinar qué tipo de tráfico existirá en la red.

Con en diseño de los enlaces inalámbricos entre comunidades se va a obtener el dimensionamiento de los equipos y de la infraestructura para el montaje de las antenas.

3.1 Análisis de Tráfico

Para determinar el nivel de tráfico que será enviado por la red, se tomará valores de referencia de la información que se transmitirá. La información que se transmitirá es voz y datos.

3.1.1 Transmisión de los servicio de Datos

Para poder realizar una transmisión de datos no se exige tener un buen ancho de banda, ya que la información transmitida no tiene que llegar en tiempo real como es la voz y el video; Pero se debe tener en cuenta que la información tan poco debe tomar mucho tiempo en enviarse ya que el jitter puede afectar la transmisión de la información.

Las aplicaciones típicas que se transmiten como Datos es: correo electrónico, documentos en Word, Excel, PowerPoint y páginas Web; en la tabla 3.1 se indica valores referenciales de las aplicaciones típicas que se transmiten por Internet.

Tabla. 3.1. Aplicaciones que se transmiten en Internet¹⁷

Tipo de Aplicación	Valores Referenciales
Word	300KB
Excel	300KB
PowerPoint	600KB
Correo Electrónico	100KB
Páginas Web	150KB

3.1.2 Transmisión de los servicio de Voz

El ancho de banda de la voz humana es de 4Khz, para poder transmitir la señal de voz primero tiene que pasar por varias etapas, en la figura 3.1 se muestra un diagrama de bloques de las etapas que sigue una señal analógica de la voz para transmitirse como VoIP.

¹⁷ Valores típicos para enviar archivos adjuntos utilizando Mail

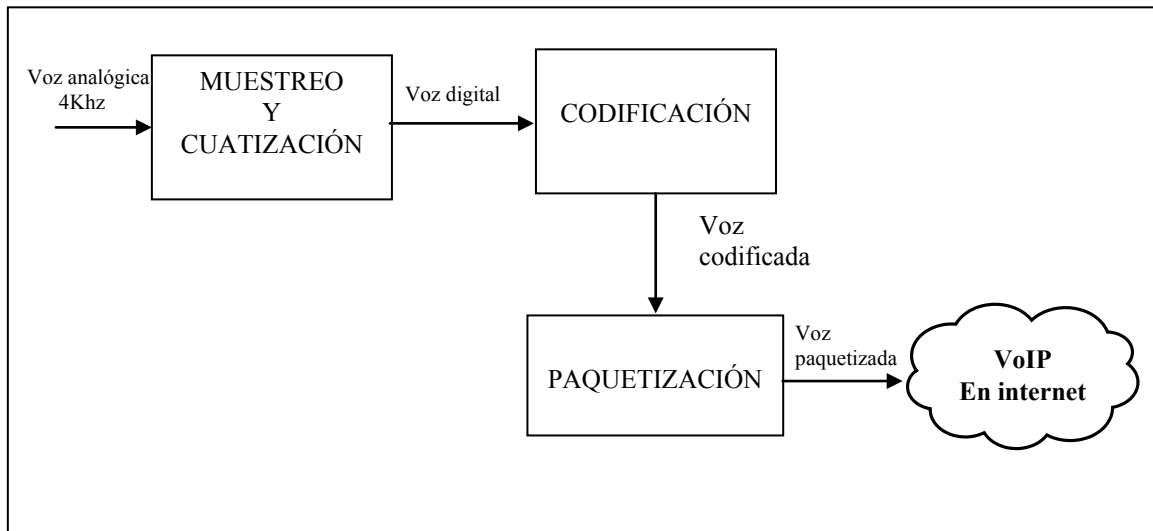


Figura. 3.1. Diagrama de bloques proceso de digitalización de la señal

Una señal de voz pasa por las siguientes etapas para digitalizarse: muestreo y cuantización, codificación y paquetización.

- **Muestreo y cuantificación**

La señal de voz es continua en tiempo y amplitud, para poder transmitir esta señal como digital se debe convertir en una señal discreta en tiempo y amplitud.

- **Muestreo**

Para que la señal de la voz se convierta en una señal discreta pasa primero por el proceso de muestreo, que consiste medir la señal en valores determinados de tiempo; el número de muestras por segundo se conoce como bit-rate, mientras más alto sea el bit-rate, la señal muestreada se parecerá más a la señal original.

Para poder muestrear una señal se debe tener en cuenta un aspecto importante como es el teorema de muestreo que dice: "Una señal $x_c(t)$ con un espectro limitado a la frecuencia f_B puede ser muestreada sin pérdida de información si la frecuencia de muestreo f_S supera la cantidad $2f_B$, es decir la frecuencia de muestreo debe ser mayor o igual a 2 veces el ancho de banda $f_S=2AB$.

- **Cuantificación**

El siguiente paso de la señal discreta en el tiempo es la cuantización que consiste en tomar niveles finitos de amplitud de la señal discreta, este paso se lo realiza para establecer una numeración binaria a cada nivel de amplitud.

Este proceso compromete la precisión de la señal de voz, ya que las muestras que están entre los niveles de amplitud tomados se van a perder, esto hace que exista el error de cuantización.

Para poder compensar este error se utiliza los llamados cuantizadores no lineales, que es incrementar de forma logarítmica los niveles de amplitud, esto quiere decir que se tiene más niveles de cuantización en la parte inferior de la señal y menos niveles de cuantización en la parte superior de la señal.

Existen varios modelos de cuantización, los más utilizados son los modelos de cuantización no lineal ley-A y ley- μ . En telefonía, el número de intervalos de cuantización es 256 niveles, a estos niveles se les codifica.

- **Codificación**

La codificación es un proceso en el cual a cada uno de los niveles de cuantización se le asigna un código; el código que se ocupa es el código binario (0 y 1). Como se tiene 256 niveles de cuantización, cada nivel tendrá un código binario de 8 bits.

Existen varios algoritmos de codificación como se muestra en la tabla 3.2, dependiendo de la codificación se tiene un algoritmo de modulación de la señal, por ejemplo con un codec G711 el algoritmo utilizado para la transmisión de voz es PCM (Pulse Code Modulation), este codec realiza el proceso de muestreo de la señal de voz con una frecuencia de 8Khz y la codifica poniendo un código de 8 bits, teniendo así una tasa de transmisión de 64 Kbps.

Tabla. 3.2. Tipos de codificación de la señal¹⁸

Codificación Estándar	Algoritmo	Taza de Datos
G.711	PCM (Pulse Code Modulation)	64 Kbps
G.726	ADPCM (Adaptive Differential Pulse Code Modulation)	16, 24, 32, 40 Kbps
G.728	LD-CELP (Low Delay Excited Linear Prediction)	16 Kbps
G.729	CS-ACELP (Conjugate Structure Algebraic CELP)	8 Kbps
G.723.1	MP-MLQ (Multi-Pulse Maximum Likelihood Quantization)	6.3 Kbps 5.3 Kbps
	ACELP (Algebraic Code Excited Linear Prediction)	6.3 Kbps 5.3 Kbps

- **Paquetización**

La paquetización es un proceso en el cual la información que esta en tramas codificadas se las coloca en un paquete, en nuestro caso el paquete será IP el cual está compuesto de varias tramas de datos donde se encuentra la información necesaria para poder ser transmitida.

En este proceso de paquetización IP se aumenta más bytes a las tramas que ya vienen codificadas, el siguiente paso de la señal ya paquetizada es la transmisión por un medio de comunicación como por ejemplo: Ethernet, ATM, Freme Relay, etc.

Cualquiera que sea el protocolo para transmitir, a la señal se tiene que incorporarle datos de cabecera que se ocupa para el control de transmisión de la información.

En el tabla 3.3 se encuentra el ancho de banda necesario para que la VoIP se transmita por Ethernet, dependiendo del codec que se utilice en la codificación se necesita un ancho de banda para la transmisión.

¹⁸ Tabla obtenida de la página web:
<http://telefoniausandoip.blogspot.com/>

Tabla. 3.3. Ancho de Banda para VoIP

CODEC	Tasa	Ancho de banda [Kbps]
G.729	8Kbps	28.80
G723.1	6.4Kbps	27.20
	5.3Kbps	26.13
G711	64Kbps	74.40
G726	32Kbps	52.80

3.1.3 Estimación del ancho de banda

Para realizar la transmisión de la información ya sea voz, video o datos es necesario determinar el ancho de banda que debe tener el canal de comunicación con cada comunidad.

El ancho de banda tiene que ser el necesario para tener un servicio de Internet que satisfaga los requerimientos tomados en cuenta en el análisis de tráfico y el número de usuarios simultáneos que estarán utilizando la red de computadoras. En cada comunidad se instalaran cinco computadoras que tendrán el servicio de Internet y además en cada comunidad estará un enlace de VoIP con una línea telefónica SIP.

Una página Web debe demorar entre 5 a 10 segundos en descargarse para que tenga calidad de servicio. Un usuario que está abriendo una página Web que pesa un promedio de 180Kb, aplicando la ecuación 3.1 se obtiene la velocidad de transmisión de:

$$V_{transf} = \frac{\text{tamaño pagina}}{\text{tiempo}} \quad [\text{Ec. 3.1}]$$

$$V_{transf} = \frac{180Kb}{5s} = 36Kbps$$

Los 36 Kbps es por cada usuario, como se tiene 5 computadoras, asumiendo las condiciones más desfavorables, de que los cinco usuarios estén levantando páginas Web, se tiene la ecuación 3.2, para tener la velocidad de transmisión total que debe haber para que haya calidad de servicio.

$$V_{t_{trans}} = V_{trans} * \#usuarios \quad [Ec. 3.2]$$

$$V_{t_{trans}} = 36kbps * 5 = 180Kbps$$

CNT tiene sus centrales telefónicas SIP que utilizan la codificación G.711 para la digitalización de la señal y como se va a transmitir por Ethernet el enlace VoIP ocupará un ancho de banda de 74.4 Kbps.

Tabla. 3.4. Velocidades de transmisión

Tipo de información	Velocidad de transmisión
Datos	180 Kbps
Voz ¹⁹	74.4 Kbps
total	254.4 Kbps

Cuando se quiere enviar un correo electrónico con un archivo adjunto se necesita tener un ancho de banda de subida, el cual tenga un nivel de subida aceptable al usuario. Por pruebas realizadas se tiene un tiempo estimado de 20 a 30seg para que suba un archivo que pesa un promedio de 400Kb ya sea un documento de Word, Excel, etc., así que para que suba el archivo al Internet se debe calcular con la ecuación 3.1 la velocidad de transmisión.

$$V_{transf} = \frac{\text{tamano archivo}}{\text{tiempo}}$$

$$V_{transf} = \frac{400Kb}{20s} = 20Kbps$$

¹⁹ Dato tomado de la tabla 3.3

La velocidad de transmisión de 20Kbps es por cada usuario, asumiendo las condiciones más desfavorables, de que los 5 usuarios estén subiendo un archivo de más o menos la misma capacidad, la velocidad total de transmisión es:

$$V_{t_{trans}} = V_{trans} * \#usuarios$$

$$V_{t_{trans}} = 20kbps * 5 = 100Kbps$$

Aproximando los valores encontrados se deberá contratar un ancho de banda de 256 Kbps de bajada y 128Kbps de subida.

3.2 Características y propiedades de los equipos y materiales

Para realizar un diseño se tiene que conocer las características y propiedades de los equipos que se implementarán en un proyecto, para un diseño de una red de transporte se tiene que utilizar los datos obtenidos en el análisis de la infraestructura física y el análisis de los requerimientos técnicos que se desarrollo en los temas anteriores.

Como se mencionó anteriormente este proyecto va a ser un complemento del proyecto Eurosolar, es decir que las 8 comunidades recibirán los mismos servicios que las comunidades del proyecto Eurosolar,

Para que las comunidades tengan los servicios de telecomunicaciones se deberá levantar una infraestructura que consta de equipos de última tecnología y con características que hacen que soporten condiciones y ambientes hostiles que mantienen los sectores donde están ubicadas las comunidades.

3.2.1 Equipos

- **Enlace inalámbrico**

Este proyecto se va a realizar con los equipos de enlace inalámbrico CANOPY que trabaja en el rango de frecuencia de 2400- 2483 MHz, este rango de frecuencia pertenece a WiFi (IEEE 802.11), pero estos equipos tiene una propiedad que hace que salga del estándar WiFi, esta propiedad es la técnica de

difusión OFDM la cual es licenciada, esto hace que un equipo WiFi común no logre conectarse a un equipo Canopy.

Estos equipos son específicos para realizar enlaces punto a punto porque pueden alcanzar distancias de hasta 56Km en línea de vista (LOS²⁰), utilizando antenas de tipo plato reflector pasivo de 11dB de ganancia, estos equipos tienen una sensibilidad de recepción de -86dBm con una ganancia de la antena interna de 8dBi y se puede ajustar la potencia de transmisión.



Figura. 3.2. Antena transmisora CANOPY

La figura 3.2 es la antena transmisora CANOPY que consta de un módulo suscriptor y un plato reflector que enfoca el rayo de luz dentro de un ángulo angosto hacia el módulo suscriptor.

El módulo suscriptor se alimenta con un enlace Ethernet con un módulo de administración, en el Anexo B se encuentra la hoja técnica del equipo transmisor y los detalles del funcionamiento de este equipo.

²⁰ Line of Sight

- **Router**

La señal que llega del enlace se le encamina utilizando un dispositivo llamado router que es un dispositivo de capa 3 del modelo OSI, el cual interconecta el mundo de la Internet con la red de computadoras, este equipo toma decisiones de la ruta que tiene que seguir la información.

Las características que tiene que cumplir el router para la implementación del proyecto son las siguientes:

- Un puerto Fast Ethernet
- Consola de administración.

- **Switch**

Para realizar la red LAN con las cinco computadoras y el teléfono VoIP se tiene que utilizar un switch, como la red es pequeña no requiere de características de administración del switch de datos, los parámetros que deben cumplir son:

- Que tenga como mínimo 8 puertos de red (10/100Base- Tx)
- Que cumpla con los estándares IEEE 802.3 10Base-T Ethernet , IEEE 802u 100Base-TX class II Fast Ethernet y ANSI/IEEE Std 802.3 Nway
- Conectores RJ-45
- Transferencia 10/100 Mbps Full Duplex, autodetect
- Método de acceso CSMA/CD
- Puerta de acceso: link/activity, velocidad 100Mbps, Full-duplex colisión.
- Consumo máximo 8 – 12 Watts Máximo
- Un puerto de Giga Ethernet

Ya que no se requiere de características avanzadas, el switch puede ser de las marcas que tienen equipos de gama baja como el D'link.

- **Adaptador de teléfono analógico (ATA)**

Para entregarles el servicio de telefonía VoIP se propone utilizar un equipo denominado ATA (adaptador de teléfono analógico), el cual es un dispositivo que transforma la señal IP (datos) a señal analógica, esto se lo realiza ya que los teléfonos IP son sofisticados para el manejo y son más sensibles a dañarse por el

mal trato, es por eso que se propone utilizar un teléfono analógico convirtiendo la señal con este adaptador.

- **Sistema Satelital**

Con los equipos antes mencionados se puede brindar el servicio de Internet y telefonía, para completar la red de transporte se tiene el sistema satelital, el cual estará ubicado en las comunidades escogidas para realizar los enlaces inalámbricos.

Como se mencionó en el capítulo 1 el equipo satelital está compuesto por dos parte, el equipo exterior y el equipo interior.

El equipo exterior está compuesto por:

- Antena.
- Sistemas electrónicos.
- Amplificador de transmisión.
- Receptor de bajo ruido.
- Sintetizador de frecuencia.
- Osciladores para variar la frecuencia.
- Duplexor.
- Amplificador de potencia.

El equipo interior está compuesto por el MODEM.

El equipo que se propone para realizar los enlaces debe cumplir con los siguientes parámetros:

- Una antena de 1.8m
- Un transmisor de 2W
- Cuatro puertos de salida de usuario.
- Velocidad de transmisión=128 kbps.
- Tasa de código=1/2.
- Modulación BPSK con eficiencia espectral de 0.5 bps/Hz.
- Ancho de banda de portadora para el inbound= 250 KHz, acceso TDMA.
- Para el outbound: Ancho de banda de 1 MHz y TDM

- **Computadora**

Para el proyecto se requiere de 5 computadoras las cuales debe tener las siguientes características:

- Ser una Computadora portátil de 14-17" de espesor de la pantalla
- Sistema operativo Windows XP o posteriores
- La memoria RAM mínimo de 1 Gb
- El disco duro debe tener mínimo 80 Gb
- Puerto de Red
- Puertos USB
- Mouse óptico externo
- El cargador de batería debe tener a la entrada 110V 1.7A y en la salida debe entregar 18.5V DC y 3.5 A

- **Teléfono**

El teléfono es un equipo que esta manejado por el usuario, es por eso que se debe utilizar un teléfono analógico, el cual se conecta al dispositivo ATA, que transforma las señales digitales VoIP en señales analógicas para el teléfono convencional. Sin no se tuviera la ATA se debe colocar un teléfono IP directamente.

3.2.2 Materiales

En los materiales se tiene todo lo referente al gabinete donde están alojados los equipos y al cableado para telecomunicaciones, por donde se distribuirá la señal a las cinco computadoras y al teléfono IP.

- **Faceplates**

Los Faceplates deben cumplir con las siguientes características:

- Deben ser modulares del tipo single GANG.
- Deberán ser de 02 puertos y contar con una tapa plástica transparente para la protección de las etiquetas a fin de que estas no sean expuestas al contacto directo.
- Deben tener porta etiquetas con protector transparente de acrílico.
- Deberá incluir tornillos de fijación a la caja plástica.
- Deben ser de color blanco.

- Los faceplates deben permitir la instalación de los jacks Cat 6.
- Deberán estar hechos de materiales ABS, PVC o superior.
- El faceplate deberá tener espacio para las etiquetas de identificación protegidas por una ventana transparente.
- Deben contar con Certificación ISO 9001.

- **Cable UTP**

Se utilizará para realizar el tendido horizontal del sistema de telecomunicaciones, para este proyecto se plantea el cable de cobre de 4 pares UTP Categoría 6, en el mercado se tiene varias marcas de cables así que se debe tomar en cuenta algunas características y estándares que debe cumplir el cable UTP Cat6

Los estándares que debe cumplir son:

- EIA/TIA 568B.2-10
- ISO 11801
- CONECTOR: IEC 60603-7
- IEEE Std. 802.3an estandar para soportar 10GBASE-T

Las características que debe cumplir son:

- Tipo: CMR (RISER)
- Desempeño y transmisión: 100 OHMS 350 MHZ
- Diámetro máximo del cable: 8.9 mm

Para la manipulación y conexión del cable durante la instalación se deberán tomar en cuenta los siguientes aspectos:

- Radio de giro mínimo: 25.4 mm (1")
- Tensión máxima: 25 lbs/f
- Distancia máxima: 90m + 10m del Área de Trabajo (patch cord)
- Conectores (JACKS): Modulares Categoría 6 (IEC 60603-7)
- Pin Out (Código de colores): T568-B

Para la certificación del cable UTP Cat 6, debe cumplir los parámetros indicados en la tabla 3.5

Tabla. 3.5. Parámetros a medir en el cable UTP Cat 6

Parámetros	Frecuencia	Canal
PSNEXT	100 MHz	32.7 dB
	155 MHz	29.6 dB
	160 MHz	29.4 dB
Atenuación	100 MHz	22.3 dB
	155 MHz	28.6 dB
	160 MHz	29.1 dB
PSACR	100 MHz	10.4 dB
	155 MHz	1.0 dB
	160 MHz	0.3 dB
PSELFEXT	100 MHz	20.0 dB
RETURN LOSS	155 MHz	16.2 dB
	160 MHz	15.9 dB
	100 MHz	12.0 dB
Propagación Delay	155 MHz	10.1 dB
	160 MHz	10.0 dB
		490ns
Delay Skew		25ns
Available Bandwidth		160 MHz

- **Jacks Categoría 6**

Los Feceplates deben cumplir con las siguientes características:

- Deben ser de categoría 6 de acuerdo a la TIA/EIA 568-B.2-10.
- Deben ser de 8 posiciones tipo IDC, para la instalación sin herramienta de impacto.
- Debe permitir la instalación con las normas T568A o T568B.
- Deben cumplir FCC parte 68 subparte F, los contactos deben estar recubiertos con 50 micropulgadas de oro, y cumplir con IEC 60603-7
- Deben asegurar la no desconexión del cable UTP sólido al ser expuesto a jalones,
- Debe permitir la inserción de iconos plásticos para indicar los servicios de voz y datos.

- Debe permitir la terminación de cables sólidos de 22 a 26 AWG.
- El conector debe tener la opción de rearmado por lo menos 20 ocasiones sin deteriorar su comportamiento físico.
- Debe poder ser instalado en los faceplates.
- Debe permitir la inserción de patch cord de 8 posiciones sin degradarse.
- Deben contar con Certificación ISO 9001.

- **Gabinete**

El gabinete debe cumplir con las siguientes características:

- Se utilizará un gabinete abatible de 12 UR
- Debe tener el montaje en la pared
- La puerta debe ser de vidrio transparente, con llave de seguridad
- Debe tener un sistema de extractor de aire

3.3 Diseño de la red de transporte

La red de transporte de servicios se conforma por un enlace WAN que va desde la estación terrena de la CNT hacia las comunidades de este proyecto.

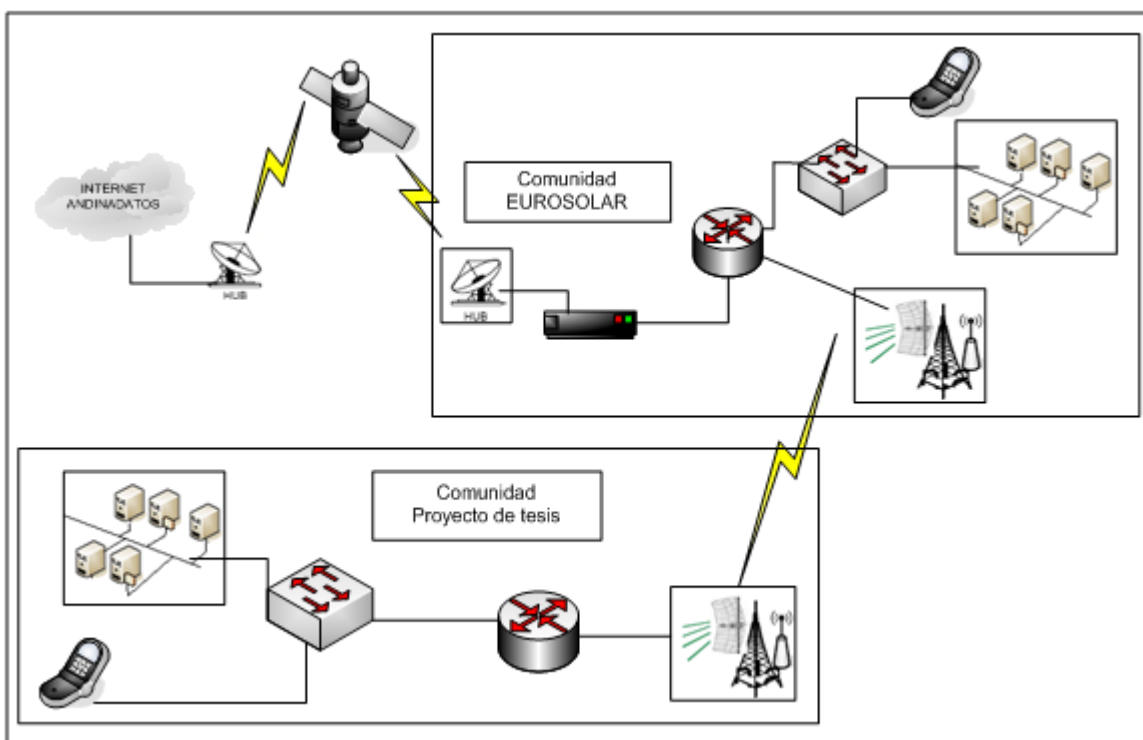


Figura. 3.3. Diseño de la red de transporte para cada comunidad

El enlace WAN está conformado por dos etapas, como se muestra en la figura 3.3, la primera es un enlace satelital en la cual se baja la señal de datos del satélite INTELSAT donde la CNT tiene un transponder para realizar las redes VSAT, y la segunda etapa es un enlace inalámbrico que va de las comunidades del proyecto Eurosolar a las comunidades de este proyecto.

Según el análisis de terreno solo se tiene cinco comunidades que se puede realizar el enlace, las otras tres se obtendrá la señal del satélite directamente. De esta forma se tendría la red de transporte, luego se realiza el enlace de última milla, que es una red LAN en la cual estarán conectadas las terminales de usuario que son cinco computadoras y una línea de telefonía VoIP.

Para entregar el servicio de telefonía a las comunidades, se lleva la línea telefónica SIP a través de la red de transporte antes mencionada, esta línea VoIP viene de la central telefónica SIP de la CNT.

El servicio de Internet es entregado por la antes conocida Andinanet que ahora pertenece a la CNT.

3.4 Cálculo del enlace satelital para las comunidades de Esmeraldas.

Otra propuesta para poder llegar con la señal a las comunidades es utilizando las redes Vsat que se enlazan con la estación terrena de la corporación nacional de telecomunicaciones (CNT), ubicada en Quito (QUT-03A), a través del satélite INTELSAT 310^o E con banda de frecuencia C y el transponder 12, ahí se tiene 10 MHz de ancho de banda disponible.

Las 91 comunidades del proyecto Eurosolar están diseñadas para obtener la señal vía satélite, en este caso se realizará una comparación de las dos tecnologías en precio y en confiabilidad.

De las ocho comunidades de este proyecto solo se tiene 3 que no tienen línea de vista, es así que se realizará el diseño para estas tres comunidades, pero se puede extender el diseño a las ocho comunidades, solo se tiene que realizar el cálculo del posicionamiento de la antena en la estación terrena para cada

comunidad; pero en general los equipos a utilizar serán los mismos ya que los enlaces serán con el satélite INTELSAT y con la estación terrena de la CNT.

El cálculo previo al diseño del enlace satelital es encontrar el ancho de banda que se utilizará en el satélite para entregar la señal a las comunidades, luego de esto se tiene que determinar el posicionamiento de la antena en las comunidades, luego se tiene que determinar la calidad del enlace.

3.4.1 Ancho de banda para el enlace satelital

Para calcular el ancho de banda satelital se necesita el tráfico que va a cruzar por el enlace, este tráfico fue calculado cuando se realizó el análisis del tráfico en el tema anterior, así que utilizando la ecuación 3.3 se encuentra el ancho de banda para el enlace satelital.

$$AB = \frac{(velocidad\ de\ transmision)(FM)(1 + factorderolloff)}{(FEC)} \quad [Ec. 3.3]$$

Donde:

FM= Modulación del MODEM

FEC= Factor debido al código de errores por adelanto

Datos:

Velocidad de transmisión = 256 Kbps

Factor de rolloff = 1,4

FM = QPSK (0.5)

FEC = $\frac{3}{4}$

$$AB = \frac{(256Kbps)(0.5)(1 + 1.4)}{(0.75)}$$

$$AB = 409.6KHz$$

3.4.2 Análisis de las bandas de frecuencia.

Para el diseño satelital se tiene que hacer el análisis de que banda de frecuencia es factible utilizar en el proyecto, en este caso se realiza el análisis entre las bandas C y Ku.

Como primera parte se tiene que determinar a qué satélite se tiene que enganchar los equipos para la transmisión, como se mencionó la señal va a proporcionar la CNT²¹, ellos trabajan con el satélite INTELSAT 301, el cual funciona en banda C o banda Ku.

Las estaciones terrenas de la CNT transmiten en banda C, en las comunidades no se tiene ninguna señal que interfiera al enlace satelital.

Se debe conocer las condiciones climáticas que se tiene en el lugar donde se instalará el equipo, ya que se tiene efectos de atenuación por cambios climáticos.

Se debe tomar en cuenta el espacio físico disponible para la instalación de las antenas, porque las dimensiones de las antenas varían dependiendo de la frecuencia en la que se vaya a transmitir.

Se debe analizar que técnica de acceso al medio utilizan las bandas de frecuencia (FDMA, TDMA, CDMA o DAMA), ya que hay técnicas que hace un uso menos eficaz del ancho de banda.

Se tiene que hacer un análisis de costos de la tecnología y del arrendamiento del transponder de los dos tipos de bandas, para poder escoger la que mejor se ajuste al presupuesto.

3.4.3 Posicionamiento de la antena en las comunidades

El enlace satelital se realizará con el transponder de la Corporación Nacional de Telecomunicaciones ya que el Fodetel tiene contrato para realizar el enlace. La

²¹ Corporación Nacional de Telecomunicaciones

Corporación Nacional de Telecomunicaciones tiene el contratado para llevar la señal con el satélite INTELSAT, este satélite se encuentra en la órbita 310 E

En el capítulo anterior se definió las comunidades que tendrán vía satélite los servicios de telecomunicaciones, y con los datos del análisis del terreno se calculan los enlaces satelitales.

Teniendo las coordenadas geográficas de las comunidades y del satélite, se realiza el cálculo de elevación y Azimut para poder posicionar la antena.

- **Dogolita Arriba**

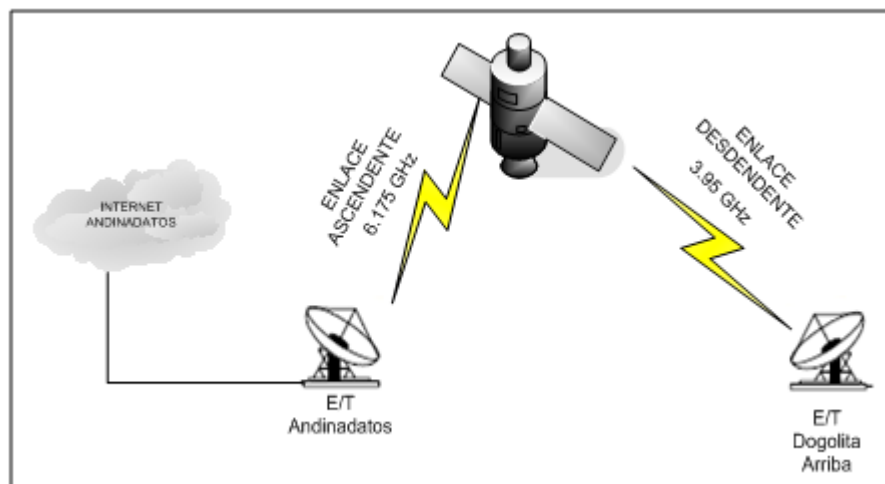


Figura. 3.4. Enlace satelital con Dogolita Arriba

La comunidad se encuentra ubicada en las coordenadas:

Latitud 0.315 N

Longitud 79.69 O.

➤ **Calculo del ángulo de elevación**

Para realizar el cálculo del ángulo de elevación que va a tener la antena, se utiliza la ecuación 3.4:

$$EL = \tan^{-1}((\cos \alpha - 0.15127) / \sin \alpha) \quad [\text{Ec. 3.4}]$$

$$\alpha = \cos^{-1}(\cos \Delta w * \cos \varphi)$$

Donde:

Δw = diferencia de longitud entre la estación terrena y el satélite.

φ = Latitud de la estación terrena.

$$\Delta w = -79.69^\circ - 310^\circ$$

$$\Delta w = -389.69^\circ$$

$$\varphi = 0.315^\circ$$

$$\alpha = \cos^{-1}(\cos \Delta w * \cos \varphi)$$

$$\alpha = \cos^{-1}(\cos -389.69^\circ * \cos 0.315^\circ)$$

$$\alpha = 29.69^\circ$$

$$EL = \tan^{-1}((\cos 29.69^\circ - 0.15127) / \sin 29.69^\circ)$$

$$EL = 55.38^\circ$$

➤ Cálculo del ángulo de Azimut

Para realizar el cálculo del ángulo Azimut es necesario tener en cuenta en que hemisferio se encuentra el lugar donde se colocará la antena, si esta en el hemisferio norte se ocupara la ecuación 3.5, si esta en el hemisferio sur se ocupara la ecuación 3.6.

$$AZ = \tan^{-1}\left(-\frac{\tan \Delta w}{\sin \alpha}\right) + 180^\circ \quad \text{Hemisferio Norte} \quad [\text{Ec. 3.5}]$$

$$AZ = \tan^{-1}\left(-\frac{\tan \Delta w}{\sin \alpha}\right) \quad \text{Hemisferio Sur} \quad [\text{Ec. 3.6}]$$

La comunidad de Dogolita Arriba se encuentra en el hemisferio norte así que se aplica la ecuación 3.5.

$$AZ = \tan^{-1}\left(-\frac{\tan \Delta w}{\sin \alpha}\right) + 180^\circ$$

$$AZ = \tan^{-1}\left(-\frac{\tan(-389.69)}{\sin 29.69}\right) + 180^\circ$$

$$AZ = 130.98^\circ$$

➤ **Distancia entre la E/T de Dogolita Arriba al satélite**

Utilizando la ecuación 3.7 Se encuentra la distancia en Km entre una estación terrena hacia el satélite.

$$D = \{R^2 + Re^2 - (2 Re(R)sen(E + sen^{-1}((Re/ R) \cos E)))\}^{1/2} \quad [\text{Ec. 3.7}]$$

Donde:

R= Distancia Promedio del Centro de la tierra al Satélite (42164.2Km)

Re= Radio Promedio de la Tierra (6378.155 Km).

E= Ángulo de elevación.

$$D = \{R^2 + Re^2 - (2 Re(R)sen(E + sen^{-1}((Re/ R) \cos E)))\}^{1/2}$$

$$D = \left\{ 42164.2^2 + 6378.16^2 - \left[2 * 6378.16 * 42164.2 * sen \left[55.38^\circ + sen^{-1} \left(\left(\frac{6378.16}{42164.2} \right) \cos 55.38^\circ \right) \right] \right] \right\}^{1/2}$$

$$D = 36759.371 \text{ Km}$$

➤ **Perdidas en el espacio libre**

La frecuencia de subida en banda C son de 5.925 – 6.425GHz y la frecuencia de bajada 3.700 – 4.200 GHz. Para el diseño de enlaces satelitales la frecuencia de media banda ascendente es 6.175 GHz, y la frecuencia de media banda descendente es 3.95GHz. Las pérdidas en el espacio libre dependen de la distancia que se encuentra la estación, la ecuación 3.8 se utiliza para realizar el cálculo de las pérdidas en el espacio libre.

$$Lod = 20 \log D + 20 \log F + 92.5dB \quad [\text{Ec. 3.8}]$$

Donde:

Lod = pérdidas en el espacio libre descendente

D = distancia del satélite a la estación terrena

F = frecuencia de banda descendente

$$Lod = 20 \log D + 20 \log F + 92.5dB$$

$$Lod = 20 \log(36759.371) + 20 \log(3.95) + 92.5dB$$

$$Lod = 195.74dB$$

- **Piedrita Afuera**

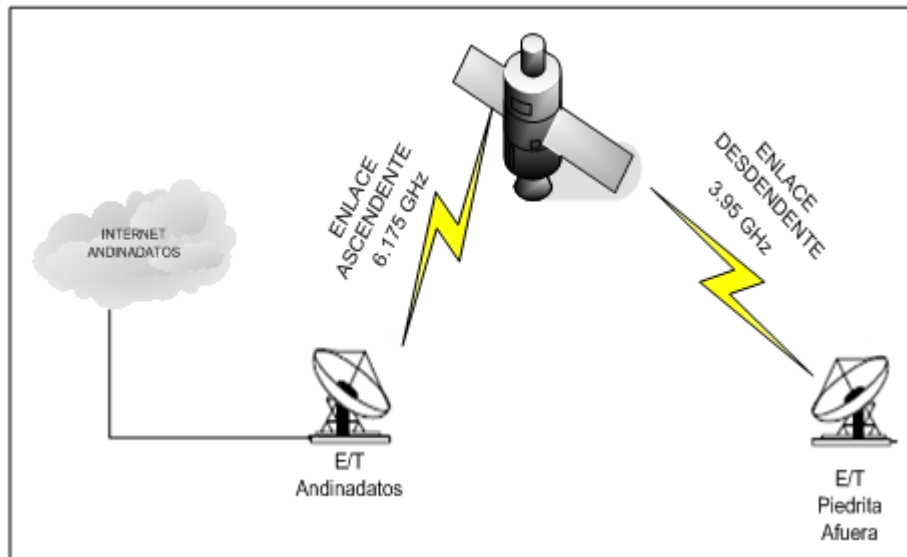


Figura. 3.5. Enlace satelital con Piedrita Afuera

La comunidad se encuentra ubicada en las coordenadas:

Latitud: 0.7463889 N

Longitud: 79.81861 O.

➤ **Cálculo del ángulo de elevación**

Utilizando la ecuación 3.4 se calcula el ángulo de elevación

$$EL = \tan^{-1}((\cos \alpha - 0.15127) / \sin \alpha)$$

$$\alpha = \cos^{-1}(\cos \Delta w * \cos \varphi)$$

$$\Delta w = -79.818^\circ - 310^\circ$$

$$\Delta w = -389.818^\circ$$

$$\varphi = 0.746^\circ$$

$$\alpha = \cos^{-1}(\cos \Delta w * \cos \varphi)$$

$$\alpha = \cos^{-1}(\cos -389.81^\circ * \cos 0.746^\circ)$$

$$\alpha = 29.818^\circ$$

$$EL = \tan^{-1}((\cos 29.82^\circ - 0.15127) / \sin 29.82^\circ)$$

$$EL = 57.79^\circ$$

➤ **Cálculo del ángulo de Azimut**

La comunidad de Piedrita Afuera se encuentra en el hemisferio norte así que se aplica la ecuación 3.5.

$$AZ = \tan^{-1}\left(-\frac{\tan \Delta w}{\sin \alpha}\right) + 180^\circ$$

$$AZ = \tan^{-1}\left(-\frac{\tan(-389.818)}{\sin 29.82}\right) + 180^\circ$$

$$AZ = 130.94^\circ$$

➤ **Distancia entre la E/T de Piedrita Afuera al satélite**

Utilizando la ecuación 3.7 Se encuentra la distancia en Km entre una estación terrena hacia el satélite.

$$D = \{R^2 + Re^2 - (2 Re(R) \text{sen}(E + \text{sen}^{-1}((Re/R) \cos E)))\}^{1/2}$$

$$D = \left\{ 42164.2^2 + 6378.16^2 - \left[2 * 6378.16 * 42164.2 * \text{sen} \left[57.79^\circ + \text{sen}^{-1} \left(\left(\frac{6378.16}{42164.2} \right) \cos 57.79^\circ \right) \right] \right] \right\}^{1/2}$$

$$D = 36630.354 \text{ Km}$$

➤ **Perdidas en el espacio libre**

Con la ecuación 3.8 se calcula las perdidas en el espacio libre

$$Lod = 20 \log D + 20 \log F + 92.5 \text{ dB}$$

$$Lod = 20 \log(36630.354) + 20 \log(3.95) + 92.5 \text{ dB}$$

$$Lod = 195.708 \text{ dB}$$

- **El Colorado**

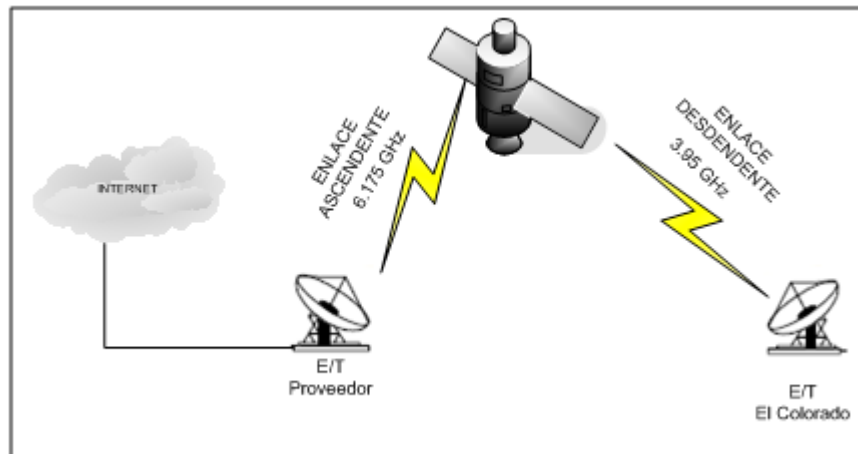


Figura. 3.6. Enlace satelital con El Colorado

La comunidad se encuentra ubicada en las coordenadas:

Latitud: 0.5477778 N

Longitud: 79.71675 O

➤ **Cálculo del ángulo de elevación**

Utilizando la ecuación 3.4 se calcula el ángulo de elevación

$$EL = \tan^{-1}((\cos \alpha - 0.15127) / \sin \alpha)$$

$$\alpha = \cos^{-1}(\cos \Delta w * \cos \varphi)$$

$$\Delta w = -79.716^\circ - 310^\circ$$

$$\Delta w = -389.716^\circ$$

$$\varphi = 0.548^\circ$$

$$\alpha = \cos^{-1}(\cos \Delta w * \cos \varphi)$$

$$\alpha = \cos^{-1}(\cos -389.81^\circ * \cos 0.548^\circ)$$

$$\alpha = 29.814^\circ$$

$$EL = \tan^{-1}((\cos 29.814^\circ - 0.15127) / \sin 29.814^\circ)$$

$$EL = 55.238^\circ$$

➤ **Cálculo del ángulo de Azimut**

La comunidad de El Colorado se encuentra en el hemisferio norte así que se aplica la ecuación 3.5.

$$AZ = \tan^{-1}\left(-\frac{\tan \Delta w}{\sin \alpha}\right) + 180^\circ$$

$$AZ = \tan^{-1}\left(-\frac{\tan(-389.716)}{\sin 29.814}\right) + 180^\circ$$

$$AZ = 131.05^\circ$$

➤ **Distancia entre la E/T de El Colorado al satélite**

Utilizando la ecuación 3.7 se encuentra la distancia en Km entre una estación terrena hacia el satélite.

$$D = \{R^2 + Re^2 - (2 Re(R) \text{sen}(E + \text{sen}^{-1}((Re/R) \cos E)))\}^{1/2}$$

$$D = \left\{ 42164.2^2 + 6378.16^2 - \left[2 * 6378.16 * 42164.2 * \text{sen} \left[55.238^\circ + \text{sen}^{-1} \left(\left(\frac{6378.16}{42164.2} \right) \cos 55.238^\circ \right) \right] \right] \right\}^{1/2}$$

$$D = 36767.245 \text{ Km}$$

➤ **Perdidas en el espacio libre**

Con la ecuación 3.8 se calcula las perdidas en el espacio libre

$$Lod = 20 \log D + 20 \log F + 92.5 \text{ dB}$$

$$Lod = 20 \log(36767.245) + 20 \log(3.95) + 92.5 \text{ dB}$$

$$Lod = 195.741 \text{ dB}$$

3.5 Cálculo del radio enlace inalámbrico para las comunidades

Para desarrollar el diseño del enlace inalámbrico primero se tiene que conocer el perfil del terreno por donde va a pasar el enlace inalámbrico, ingresando las coordenadas de las comunidades en el software Radio Mobile ubicamos en el mapa geográfico que presenta el software, de esta manera se dibuja el perfil del terreno por donde recorrerá el enlace.

Con el software radio mobile se puede determinar si es factible el enlace, ya que se puede ver si existe línea de vista, y si no la tiene se puede jugar con la altura de las antenas para obtener línea de vista, ingresando los datos de los equipos como la potencia de transmisión, sensibilidad del receptor, tipo de antena y ganancia de la antena, logramos visualizar como se comportará el enlace.

Para realizar este proyecto se ha desarrollado un proceso, en el cual aplicando las ecuaciones del cálculo de radio enlaces se logra analizar la propagación de la señal, si el enlace tiene línea de vista pero se encuentra obstruido la primera zona de freznel, se debe encontrar la altura exacta de las antenas que logre pasar la señal sin tener perdida por obstrucción.

Las distancias de los enlaces son relativamente pequeñas, tomando distancias menores a 25 Km. Esto facilita que con un solo salto de la señal se llegue a la comunidad.

3.5.1 Enlace de las comunidades Barbudal No.1 a Precooperativa Bolivareense en Esmeraldas

El perfil del terreno se obtiene sacando la altura y la distancia del mapa de curvas de nivel, estos valores obtenidos son comparados con los valores que el software Radio Mobile presenta, de esta forma se grafica el perfil del terreno en Excel, ahí se puede ver el perfil siguiendo la curvatura de la tierra como se muestra en la figura 3.7 donde el perfil del terreno es bastante irregular.

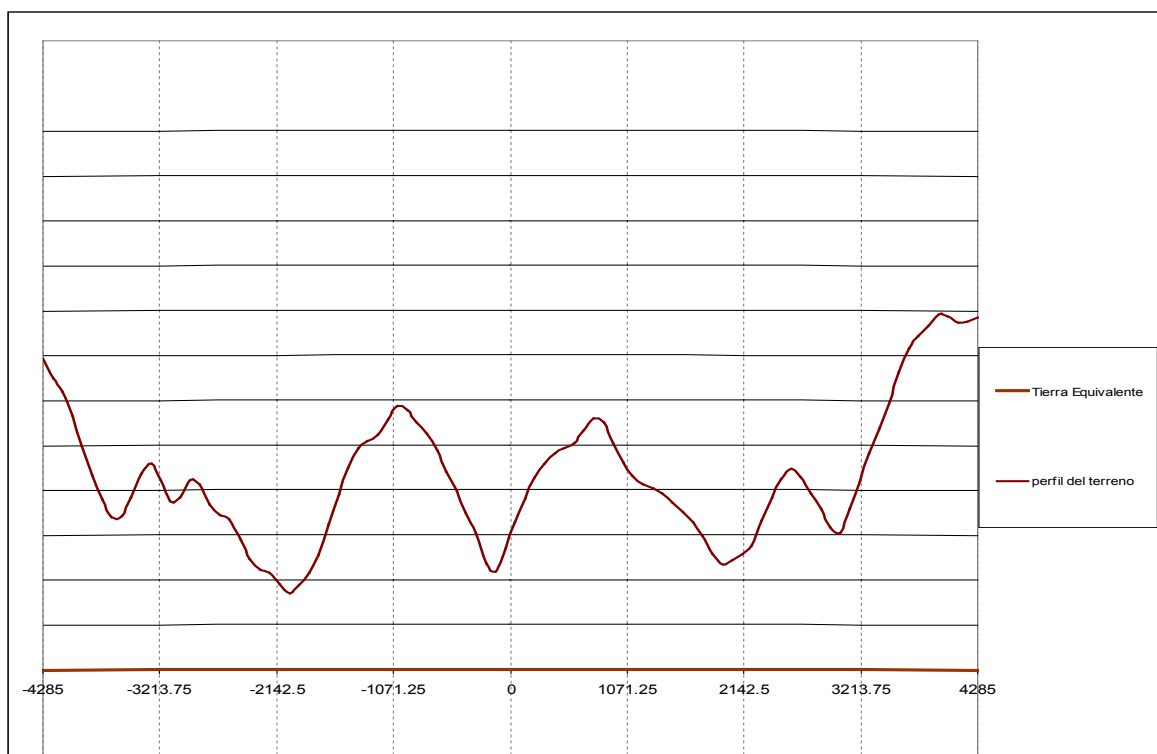


Figura. 3.7. Perfil del terreno Barbudal No.1 a Precooperativa Bolivareense

Se traza la línea de vista para ver si la señal esta obstruida con alguna montaña, para esto primero debemos dibujar el perfil en peores condiciones atmosféricas.

➤ **Cálculo del perfil en peores condiciones**

El factor de K es una constante que cambia según el ambiente en que se realiza el enlace

K= 6/5 a 4/3 en zonas frías

K= 4/3 a 2/3 en zonas tropicales

K= 4/3 en zonas templadas

K=4/3 a 2 zona cálida

$$\begin{array}{c}
 ZC \text{-----} ZT \text{-----} ZF \\
 \quad \quad \quad -\Delta h_k \quad \quad \quad \Delta h_k \\
 2 \text{-----} \frac{4}{3} \text{-----} \frac{2}{3} \cong 0.8 \\
 \quad \quad \quad -\frac{d1xd2}{51} \quad \quad \quad +\frac{d1xd2}{25}
 \end{array}$$

Las peores condiciones de un terreno es cuando el perfil de un terreno aumenta, en este caso se encuentra en una zona cálida donde se reduce el terreno así que no se tendría problema para realizar el enlace.

Con la ecuación 3.9 se calcula el perfil en peores condiciones para esta zona

$$h_x = \frac{4}{51} \frac{d1xd2}{K} \quad [\text{Ec. 3.9}]$$

Donde

hx = Variación del terreno en cambio de condiciones atmosféricas

d1 = Distancia desde la estación izquierda al punto en el perfil

d2 = Distancia desde la estación derecha al punto en el perfil

K = Constante que depende de las condiciones atmosféricas.

Aplicando K para zonas cálidas en la ecuación 3.9, se tiene la ecuación 3.10 con la cual se calcula los puntos relevantes del perfil del terreno:

$$h_x = \frac{d_1(\text{Km}) \times d_2(\text{Km})}{25} \quad [\text{Ec. 3.10}]$$

$$h(1071.25) = \frac{1.07125 \times 7.49875}{25} = 0.3213$$

$$h(2142.5) = \frac{2.1425 \times 6.4275}{25} = 0.5508$$

$$h(3213.75) = \frac{3.2138 \times 5.3563}{25} = 0.6885$$

$$h(4285) = \frac{4.285 \times 4.285}{25} = 0.7344$$

$$h(3925) = \frac{8.210 \times 0.360}{25} = 0.1182 \quad \text{Este punto es donde existe obstruccion}$$

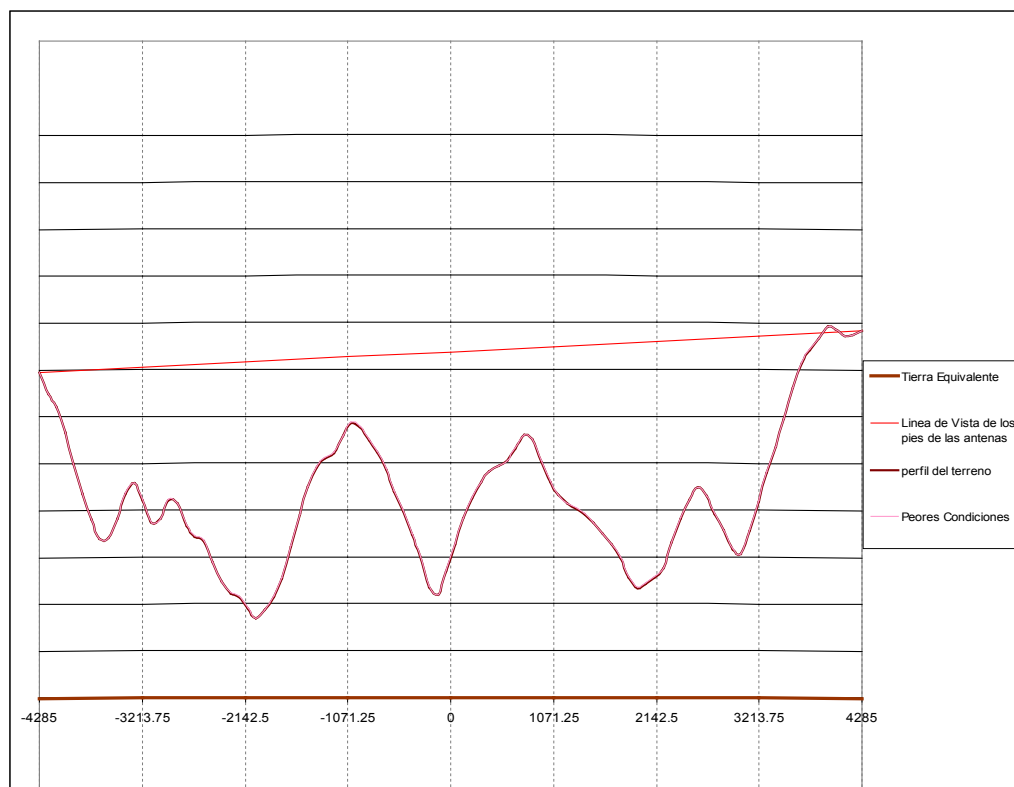


Figura. 3.8. Perfil en peores condiciones Barbudal No.1 a Precooperativa Bolivareense

➤ **Factor de tolerancia**

La ecuación 3.11 se utiliza para hacer el cálculo del factor de tolerancia

$$C = h_1 + \frac{d_1}{d}(h_2 - h_1) - h_s - h_k \quad [\text{Ec. 3.11}]$$

Donde :

h_1 : altura de la comunidad izquierda.

h_2 : altura de la comunidad derecha.

h_s : altura desde la tierra equivalente al perfil del terreno donde existe obstrucción.

h_k : variación de altura en peores condiciones en el punto donde existe obstrucción.

d_1 : distancia al punto donde está la obstrucción.

d : distancia total.

Tomando los puntos donde se ve claramente que tiene obstrucción el enlace, se calcula el factor de tolerancia

Primer punto

$$C = h_1 + \frac{d_1}{d}(h_2 - h_1) - h_s - h_k$$

$$h_1 = 346m$$

$$h_2 = 391.3m$$

$$d_1 = 8.210Km$$

$$d = 8.570Km$$

$$h_s = 395m$$

$$h_k = 0.1182$$

$$C = 346 + \frac{8.210}{8.570}(391.3 - 346) - 395 - 0.1182$$

$$C = -5.721$$

segundo punto

$$C = h_1 + \frac{d_1}{d}(h_2 - h_1) - h_s - h_k$$

$$h_1 = 346m$$

$$h_2 = 391.3m$$

$$d_1 = 3.250Km$$

$$d = 8.570Km$$

$$h_s = 292.8m$$

$$h_k = 0.6916$$

$$C = 346 + \frac{3.250}{8.570}(391.3 - 346) - 292.8 - 0.6916$$

$$C = 69.68$$

Como se ve el punto ubicado a 8210Km de la estación máster es la que obstruye a la señal, se tiene que utilizar este valor para encontrar la altura de las antenas.

➤ Cálculo de la primera zona de fresnel

La ecuación 3.12 se aplica para el cálculo de la primera zona de fresnel

$$F = 548 \sqrt{\frac{d_1(Km) \times d_2(Km)}{f(Mhz) \times d(Km)}} \quad [\text{Ec. 3.12}]$$

Con el punto de obstrucción se calcula la primera zona de fresnel, en la figura 3.9 se puede observar como la primera zona de fresnel topa en el punto de obstrucción.

$$F = 548 \sqrt{\frac{8.210 \times 0.360}{2400 \times 8.570}}$$

$$F = 6.57$$

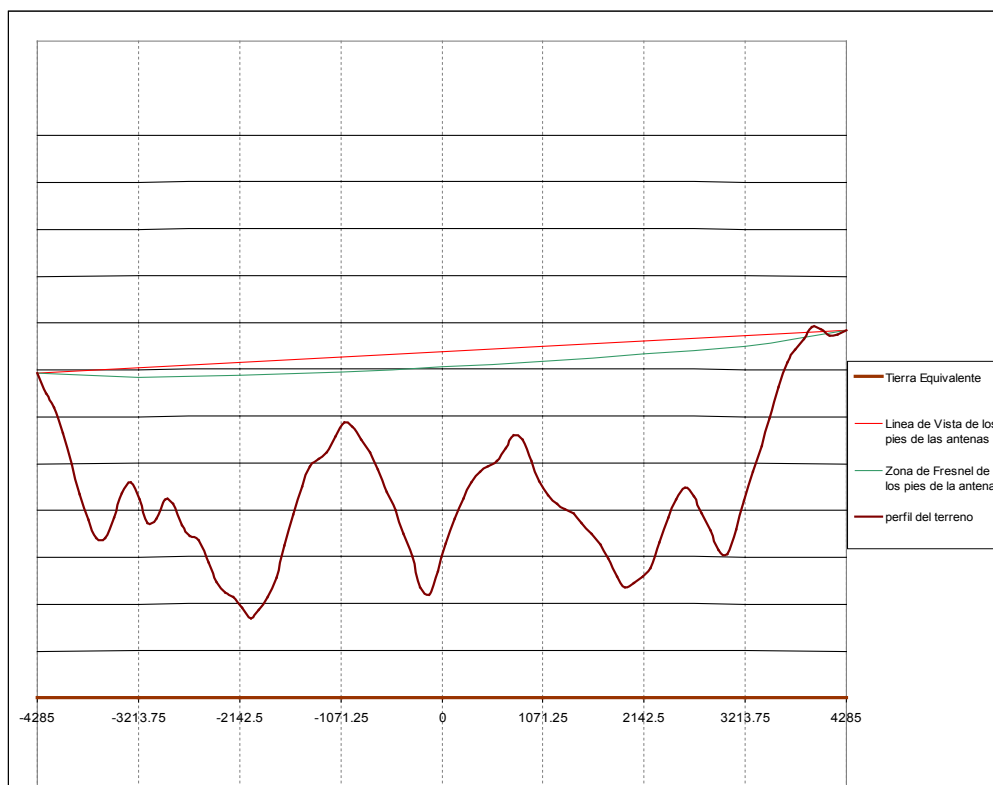


Figura. 3.9. Gráfico de la primera zona de fresnel

Para peores condiciones a la zona de freznel se multiplica por 0.6

$$F_2 = 0.6xF$$

$$F_2 = 0.6x6.57$$

$$F_2 = 3.942$$

➤ Cálculo de las alturas de las antenas

Con la ecuación 3.13 se determina a qué altura debe estar colocada la antena para que la primera zona de freznel no choque con el terreno.

$$h_1 = h_2 = |C| + F_2 \quad [\text{Ec. 3.13}]$$

$$h_1 = h_2 = |-5.721| + 3.942$$

$$h_1 = h_2 = 9.663m \approx 10m$$

En la figura 3.10 se encuentra el enlace con línea de vista y sin obstrucción en la zona de freznel

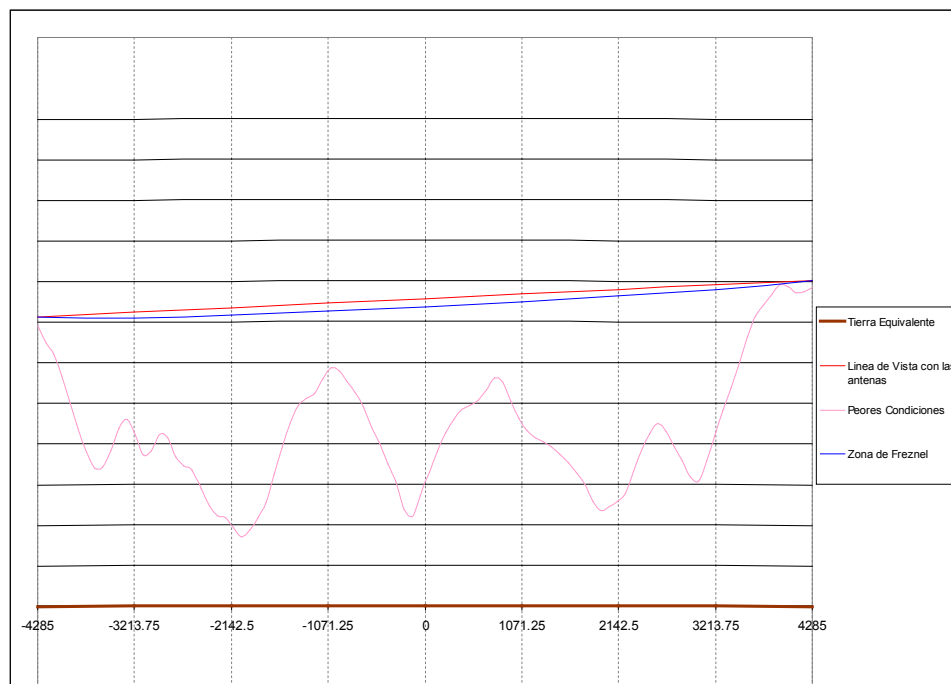


Figura. 3.10. Enlace con línea de vista y sin obstrucción en la zona de freznel

➤ **Cálculo de la potencia de transmisión de los equipos**

Para determinar con que potencia se va a transmitir, a fin de que llegue la señal de una comunidad a otra, se propone algunos parámetros que tiene que cumplir los equipos con los que se va a trabajar.

La frecuencia de operación es de 2.4 GHz, ganancia de las antenas Tx y Rx es 8 dBi, sensibilidad de recepción -86dBm, cable de alimentación de las antenas es UTP

Con la ecuación 3.14 se calcula la potencia de transmisión con la que va a llegar a la comunidad.

$$P_t = P_r - G_T - G_R + L_{el} + L_{ALIM} \quad [\text{Ec. 3.14}]$$

Donde:

P_R = potencia de recepción

G_T = ganancia del transmisor

G_R = ganancia del receptor

L_{el} = perdida en el espacio libre

L_{alim} = perdida en los conductores

Datos

$$G_R = 8dBi \quad d_A = 8.570 Km$$

$$G_T = 8dBi \quad h_R = 10m$$

$$P_r = -86dBm \quad h_T = 10m$$

$$L_g = 0.33 \frac{dB}{m} \quad P_T = ?$$

$$f = 2.4Ghz$$

Con la ecuación 3.15 se calcula las perdidas en el espacio libre

$$L_{el} = 32.5 + 20 \log f(MHz) + 20 \log d(Km) \quad [dB] \quad [\text{Ec. 3.15}]$$

$$L_{el} = 32.5 + 20 \log 2400 + 20 \log 8.570 \quad [dB]$$

$$L_{el} = 32.5 + 67.6 + 18.66$$

$$L_{el} = 118.763 [dB]$$

La conexión del equipo se realiza con cable UTP cat 6, este cable tiene atenuación cuando pasa de 100m de largo, de esta manera se ve que no va a influir la atenuación del cable ya que las distancias son menores de 100m.

Aplicando los datos en la ecuación 3.14 se tiene:

$$P_t = P_r - G_T - G_R + A_{el} + A_{ALIM}$$

$$P_t = -86[dBm] - 8[dBi] - 8[dBi] + 118.763[dB] + 0[dB]$$

$$P_t = 16.738[dBm]$$

$$P_t(W) = 10^{\frac{P_t(dBm)}{10}} \times 10^{-3} [W]$$

$$P_t(W) = 10^{\frac{26.663}{10}} \times 10^{-3}$$

$$P_t(W) = 0.464 [W]$$

3.5.2 Enlace entre las comunidades Progreso Río Canande a La Primavera en Esmeraldas

DATOS		
Escala:		
Altura	1cm - 50 m	Distancia T 6740 Km
Distancia	2cm - 842.5 m	
Frecuencia		
K	0.9	2400 Mhz

	1	2	3	4	5	6	7
d1	842.5	1685	2527.5	3370	4212.5	5055	5898
d2	5897.5	5055	4212.5	3370	2527.5	1685	842.5
Ho	9.599	12.569	14.052	14.513	14.052	12.569	9.599
ho(cm)	0.192	0.251	0.281	0.290	0.281	0.251	0.192
0,6ho	5.760	7.541	8.431	8.708	8.431	7.541	5.760
0,6ho(cm)	0.115	0.151	0.169	0.174	0.169	0.151	0.115

Punto de mayor altura del perfil

	Punto 1	Punto 2
d1	6620	0
d2	120	6740
Ho	3.838	0.000
0,6ho	2.303	0.000
hk=	0.0318	0
C=	4.5884	0
Altura de la Antenas		
ha=hb(m)=	6.891	0.000
ha=hb(cm)=	0.1378	0

En la figura 3.11 se encuentra el enlace con línea de vista y sin obstrucción en la zona de fresnel

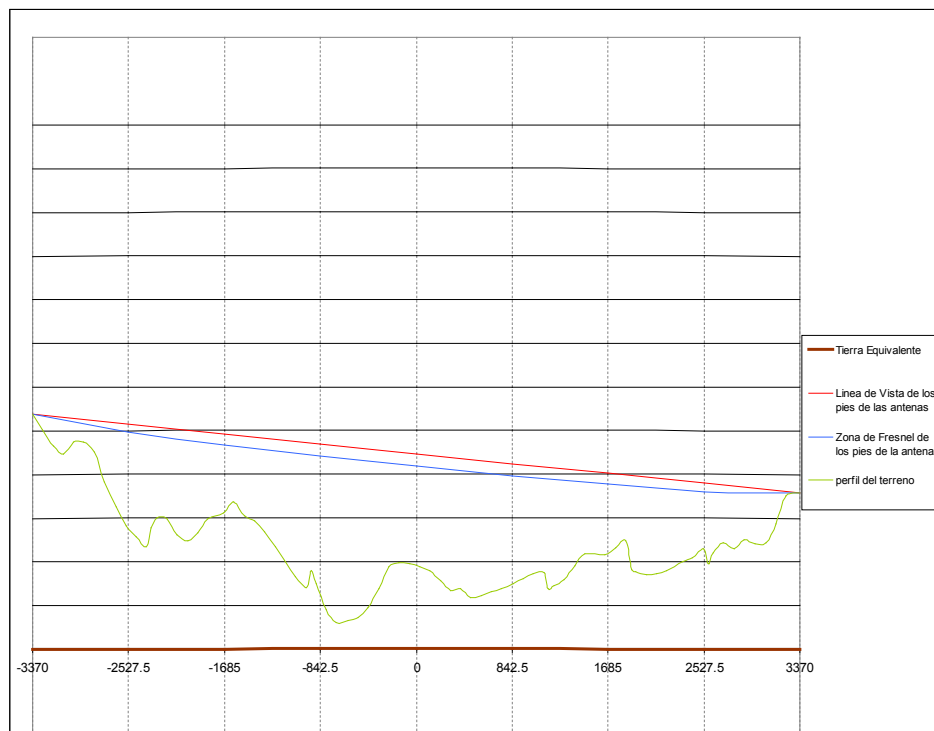


Figura. 3.11. Enlace con línea de vista Progreso Río Canande a La Primavera

El enlace no se encuentra obstruido en la zona de freznel, como indica la figura 3.11, así que no es necesario realizar el cálculo de las antenas. Se le puede poner a cualquier altura las antenas solo para que tenga un buen soporte y no se pierda el enlace por causa del movimiento ocasionados por el viento.

➤ **Cálculo de la potencia de transmisión de los equipos**

Los parámetros para el cálculo de potencia son:

DATOS:

$$G_R = 8dB_i$$

$$G_T = 8dB_i$$

$$Pr = -86dBm$$

$$L_g = 0.33dB/m$$

$$d_A = 6.740 Km$$

$$h_R = 3m$$

$$h_T = 3m$$

Con la ecuación 3.15 se calcula las perdidas en el espacio libre

$$L_{el} = 32.5 + 20 \log f(MHz) + 20 \log d(Km) \quad [dB]$$

$$L_{el} = 32.5 + 20 \log 2400 + 20 \log 6.740 \quad [dB]$$

$$L_{el} = 32.5 + 67.6 + 16.57$$

$$L_{el} = 116.6774[dB]$$

Con la ecuación 3.14 se calcula la potencia de transmisión con que va a llegar a la comunidad.

$$P_t = P_r - G_T - G_R + A_{el} + A_{ALIM}$$

$$P_t = -86[dBm] - 8[dBi] - 8[dBi] + 116.6774[dB] + 0[dB]$$

$$P_t = 14.67[dBm]$$

$$P_t(W) = 10^{\frac{P_t(dBm)}{10}} \times 10^{-3} [W]$$

$$P_t(W) = 10^{\frac{14.67}{10}} \times 10^{-3}$$

$$P_t(mW) = 29.35[mW]$$

$$P_t(W) = 0.02935[W]$$

3.5.3 Enlace entre las comunidades La Guinea a El Colorado en Esmeraldas

DATOS			
Escala:		Distancia T	
Altura	1cm -	50 m	5940 Km
Distancia	2cm -	742.5 m	
			Frecuencia
K	0.9	2400 Mhz	

	1	2	3	4	5	6	7
d1	742.5	1485	2227.5	2970	3712.5	4455	5198
d2	5197.5	4455	3712.5	2970	2227.5	1485	742.5
ho	9.012	11.799	13.192	13.624	13.192	11.799	9.012
ho(cm)	0.180	0.236	0.264	0.272	0.264	0.236	0.180
0,6ho	5.407	7.079	7.915	8.175	7.915	7.079	5.407
0,6ho(cm)	0.108	0.142	0.158	0.163	0.158	0.142	0.108

Punto de mayor altura del perfil

	Punto 1	Punto 2	Punto 3
d1	2750	4900	600
d2	3190	1040	5340
ho	13.587	10.356	8.211
0,6ho	8.152	6.213	4.927
hk=	0.3509	0.2038	0.1282
C=	-66.981	-31.54	-28.05
Altura de las antenas			
ha=hb(m)=	75.133		

En la figura 3.12 se encuentra el enlace con línea de vista y sin obstrucción en la zona de freznel

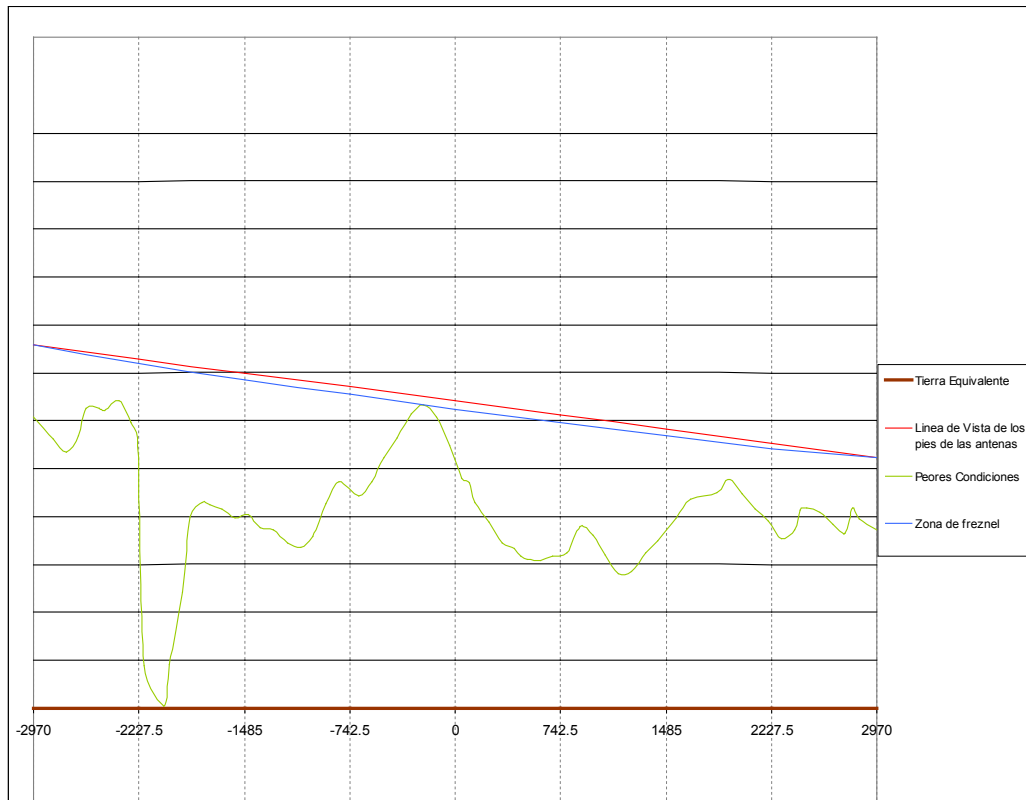


Figura. 3.12. Enlace con línea de vista La Guinea a El Colorado

El enlace tiene obstrucción en la zona de fresnel, para que se pueda realizar el enlace es necesario colocar una altura a las antenas de 75 m, como indica la figura 3.12; con el estudio de costos se debe definir si es factible realizar este enlace, caso contrario se debe realizar un enlace satelital.

➤ **Cálculo de la potencia de transmisión de los equipos**

Los parámetros para el cálculo de potencia son:

Datos:

$$G_R = 8dBi$$

$$G_T = 8dBi$$

$$Pr = -86dBm$$

$$L_g = 0.33 \frac{dB}{m}$$

$$d_A = 5.940 Km$$

$$h_R = 76m$$

$$h_T = 76m$$

Con la ecuación 3.15 se calcula las perdidas en el espacio libre

$$L_{el} = 32.5 + 20 \log f(MHz) + 20 \log d(Km) \quad [dB]$$

$$L_{el} = 32.5 + 20 \log 2400 + 20 \log 5.940 \quad [dB]$$

$$L_{el} = 32.5 + 67.6 + 15.475$$

$$L_{el} = 115.579 [dB]$$

Con la ecuación 3.14 se calcula la potencia de transmisión con que va a llegar a la comunidad.

$$P_t = P_r - G_T - G_R + A_{el} + A_{ALIM}$$

$$P_t = -86 [dBm] - 8 [dBi] - 8 [dBi] + 115.579 [dB] + 0 [dB]$$

$$P_t = 13.579 [dBm]$$

$$P_t(W) = 10^{\frac{P_t(dBm)}{10}} \times 10^{-3} [W]$$

$$P_t(W) = 10^{\frac{14.67}{10}} \times 10^{-3}$$

$$P_t(mW) = 22.803 [mW]$$

3.5.4 Enlace entre las comunidades Chayuk (San Luis) a Kuri en Morona Santiago

DATOS			
Escala:		Distancia T	
Altura	1cm -	200 m	5880 Km
Distancia	2cm -	735 m	
			Frecuencia
K	0.9	2400 Mhz	

	1	2	3	4	5	6	7
d1	735	1470	2205	2940	3675	4410	5145
d2	5145	4410	3675	2940	2205	1470	735
ho	8.966	11.739	13.125	13.555	13.125	11.739	8.966
ho(cm)	0.045	0.059	0.066	0.068	0.066	0.059	0.045
0,6ho	5.380	7.044	7.875	8.133	7.875	7.044	5.380
0,6ho(cm)	0.027	0.035	0.039	0.041	0.039	0.035	0.027

Punto de mayor altura del perfil

	Punto 1	Punto 2	Punto 3
d1	5610	4350	5060
d2	270	1530	820
ho	5.675	11.895	9.392
0,6ho	3.405	7.137	5.635
hk=	0.061	0.266	0.166
C=	-	5.229	0.014
	14.209		
Altura de las antenas			
ha=hb(m)=	17.613		

En la figura 3.13 se encuentra el enlace con línea de vista y sin obstrucción en la zona de fresnel

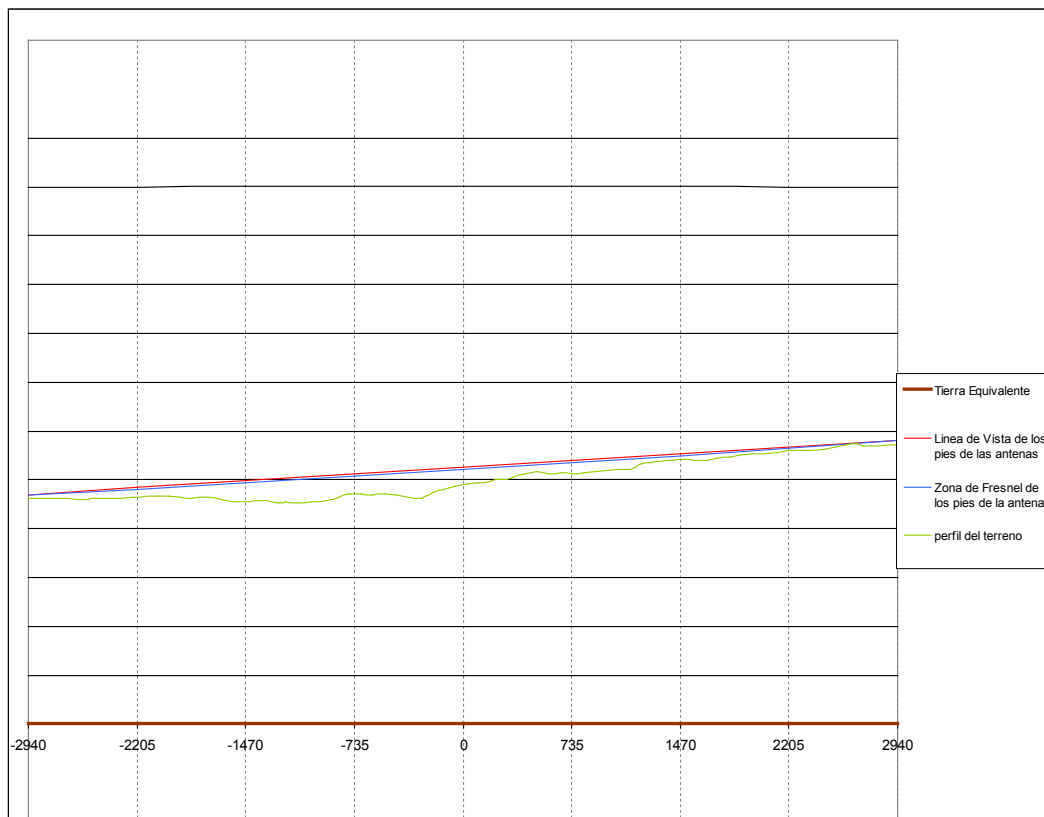


Figura. 3.13. Enlace con línea de vista Chayuk (San Luis) a Kuri

El enlace tiene obstrucción en la zona de freznel, así que las antenas deben estar a una altura de 18 m para que la zona de freznel se encuentre libre, como indica en figura 3.13.

➤ **Cálculo de la potencia de transmisión de los equipos**

Los parámetros para el cálculo de potencia son:

Datos

$$G_R = G_T = 8dBi$$

$$Pr = -86dBm$$

$$L_g = 0.33dB/m$$

$$f = 2.4Ghz$$

$$d_A = 5.880 Km$$

$$h_R = h_T = 20m$$

Con la ecuación 3.15 se calcula las perdidas en el espacio libre

$$L_{el} = 32.5 + 20 \log f(MHz) + 20 \log d(Km) \quad [dB]$$

$$L_{el} = 32.5 + 20 \log 2400 + 20 \log 5.880 \quad [dB]$$

$$L_{el} = 32.5 + 67.6 + 15.387$$

$$L_{el} = 115.491 [dB]$$

Con la ecuación 3.14 se calcula la potencia de transmisión con que va a llegar a la comunidad.

$$P_t = P_r - G_T - G_R + A_{el} + A_{ALIM}$$

$$P_t = -86 [dBm] - 8 [dBi] - 8 [dBi] + 115.491 [dB] + 0 [dB]$$

$$P_t = 13.491 [dBm]$$

$$P_t(W) = 10^{\frac{P_t(dBm)}{10}} \times 10^{-3} [W]$$

$$P_t(W) = 10^{\frac{14.67}{10}} \times 10^{-3}$$

$$P_t(mW) = 22.34 [mW]$$

3.5.5 Enlace entre las comunidades Carashino a Sumak Kichwa en Orellana

DATOS			
Escala:		Distancia T	
Altura	1cm -	80 m	13210 Km
Distancia	2cm -	1651.3 m	
		Frecuencia	
K	0.9	2400 Mhz	

	1	2	3	4	5	6	7
d1	1651.3	3302.5	4954	6605	8256.25	9908	11559
d2	11559	9907.5	8256	6605	4953.75	3303	1651
ho	13.439	17.596	19.673	20.318	19.673	17.596	13.439
ho(cm)	0.168	0.220	0.246	0.254	0.246	0.220	0.168
0,6ho	8.063	10.557	11.804	12.191	11.804	10.557	8.063
0,6ho(cm)	0.101	0.132	0.148	0.152	0.148	0.132	0.101

Punto de mayor altura del perfil

	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4
d1	12520	2730	7460	12590
d2	690	10480	5750	620
ho	9.041	16.454	20.147	8.594
0,6ho	5.425	9.872	12.088	5.157
hk=	0.3456	1.1444	1.716	0.31223
C=	-14.14	-2.278	-0.302	-5.4137
Altura de las antenas				
ha=hb(m)=	19.561			

En la figura 3.14 se encuentra el enlace con línea de vista y sin obstrucción en la zona de freznel

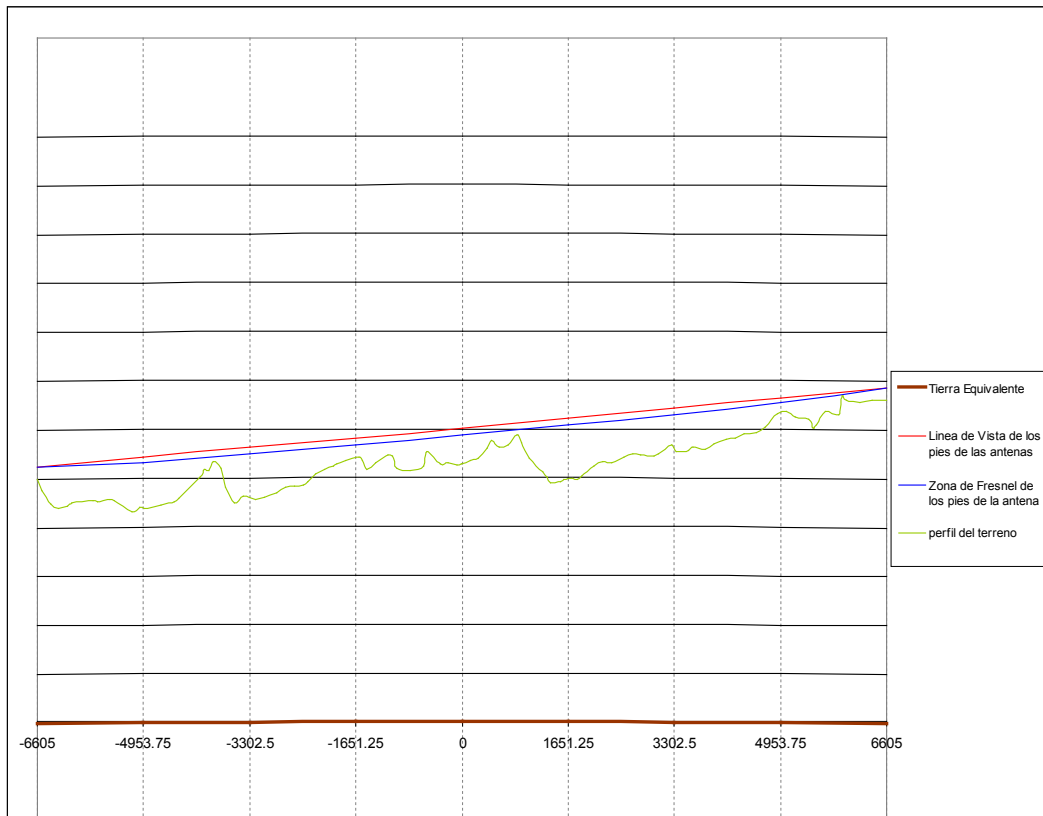


Figura. 3.14. Enlace con línea de vista Carashino a Sumak Kichwa

El enlace tiene obstrucción la zona de fresnel, así que las antenas deben estar a una altura de 20 m para que la zona de fresnel se encuentre libre, como indica la figura 3.14.

➤ **Cálculo de la potencia de transmisión de los equipos**

Los parámetros para el cálculo de potencia son:

Datos

$$G_R = 8dBi$$

$$G_T = 8dBi$$

$$Pr = -86dBm$$

$$L_g = 0db/m$$

$$d_A = 13.210 Km$$

$$h_R = 20m$$

$$h_T = 20m$$

Con la ecuación 3.15 se calcula las pérdidas en el espacio libre

$$L_{el} = 32.5 + 20 \log f(\text{MHz}) + 20 \log d(\text{Km}) \quad [\text{dB}]$$

$$L_{el} = 32.5 + 20 \log 2400 + 20 \log 13.210 \quad [\text{dB}]$$

$$L_{el} = 32.5 + 67.6 + 12.41$$

$$L_{el} = 122.522 [\text{dB}]$$

Con la ecuación 3.14 se calcula la potencia de transmisión con que va a llegar a la comunidad.

$$P_t = P_r - G_T - G_R + A_{el} + A_{ALIM}$$

$$P_t = -86 [\text{dBm}] - 8 [\text{dBi}] - 8 [\text{dBi}] + 122.522 [\text{dB}] + 0 [\text{dB}]$$

$$P_t = 20.522 [\text{dBm}]$$

$$P_t(\text{W}) = 10^{\frac{P_t(\text{dBm})}{10}} \times 10^{-3} [\text{W}]$$

$$P_t(\text{W}) = 10^{\frac{14.67}{10}} \times 10^{-3}$$

$$P_t(\text{mW}) = 112.778 [\text{mW}]$$

3.5.6 Enlace entre las comunidades Vencedores a Tsanimp en Sucumbios

DATOS			
Escala:		Distancia T	
Altura	1cm -	50 m	23600 Km
Distancia	2cm -	2950 m	
			Frecuencia
K	0.9	2400	Mhz

	1	2	3	4	5	6	7
d1	2950	5900	8850	11800	14750	17700	20650
d2	20650	17700	14750	11800	8850	5900	2950
ho	17.963	23.519	26.295	27.157	26.295	23.519	17.963
ho(cm)	0.359	0.470	0.526	0.543	0.526	0.470	0.359
0,6ho	10.778	14.111	15.777	16.294	15.777	14.111	10.778
0,6ho(cm)	0.216	0.282	0.316	0.326	0.316	0.282	0.216

Punto de mayor altura del perfil

	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4	Punto 5
d1	13890	11500	7170	5680	4410
d2	9710	12100	16430	17920	19190
ho	26.728	27.148	24.979	23.219	21.172
0,6ho	16.037	16.289	14.987	13.931	12.703
hk=	5.3949	5.566	4.712	4.07142	3.385
C=	-11.68	-9.384	-9.117	-9.05447	-7.714
Altura de las antenas					
ha=hb(m)=	27.717				

En la figura 3.15 se encuentra realizado el enlace con línea de vista y sin obstrucción en la zona de freznel

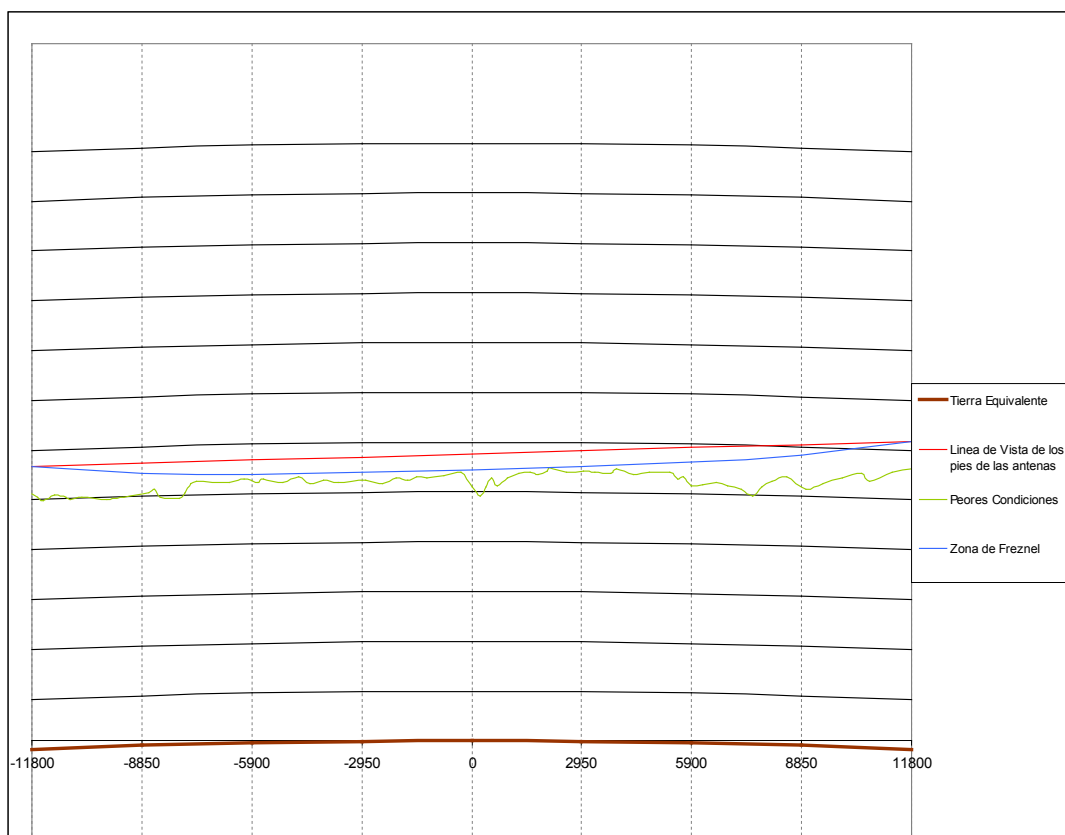


Figura. 3.15. Enlace con línea de vista Vencedores a Tsanimp

El enlace tiene obstrucción en la zona de freznel, así que las antenas deben estar a una altura de 27 m para que la zona de freznel se encuentre libre, como indica la figura 3.14; este enlace se debe revisar si es factible con el análisis de costos.

➤ **Cálculo de la potencia de transmisión de los equipos**

Los parámetros para el cálculo de potencia son:

Datos

$$G_R = G_T = 8\text{dBi}$$

$$P_r = -86\text{dBm}$$

$$L_g = 0 \frac{\text{dB}}{\text{m}}$$

$$f = 2.4\text{Ghz}$$

$$d_A = 23.6\text{Km}$$

$$h_R = h_T = 30\text{m}$$

Con la ecuación 3.15 se calcula las perdidas en el espacio libre

$$L_{el} = 32.5 + 20 \log f(\text{MHz}) + 20 \log d(\text{Km}) \quad [\text{dB}]$$

$$L_{el} = 32.5 + 20 \log 2400 + 20 \log 23.6 \quad [\text{dB}]$$

$$L_{el} = 32.5 + 67.6 + 27.458$$

$$L_{el} = 127.562[\text{dB}]$$

Con la ecuación 3.14 se calcula la potencia de transmisión con que va a llegar a la comunidad.

$$P_t = P_r - G_T - G_R + A_{el} + A_{ALIM}$$

$$P_t = -86[\text{dBm}] - 8[\text{dBi}] - 8[\text{dBi}] + 127.562[\text{dB}] + 0[\text{dB}]$$

$$P_t = 25.562[\text{dBm}]$$

$$P_t(\text{W}) = 10^{\frac{P_t(\text{dBm})}{10}} \times 10^{-3} [\text{W}]$$

$$P_t(\text{W}) = 10^{\frac{14.67}{10}} \times 10^{-3}$$

$$P_t(\text{mW}) = 359.953[\text{mW}]$$

3.6 Seguridad de redes inalámbrica

Como se mencionó en temas anteriores no se puede acceder a un enlace canopy porque la forma de la transmisión OFDM es propia de los equipos canopy, además para mayor seguridad de la información se tiene tres tipos de encriptación que son: BRAID, AES y DES; de estos tres tipos de seguridades la encriptación BRAID es propia de Canopy.

3.6.1 Seguridad en la transmisión OFDM

Los equipos Canopy manejan una modulación OFDM para la transmisión punto a punto, utilizando 1024 sub portadoras, haciendo de esta forma más robusto el enlace inalámbrico y dependiendo de la señal que recibe se adapta la modulación de la potencia de salida, con esto se tiene calidad en el nivel de la señal.

3.6.2 Encriptación AES

AES es una forma opcional y altamente segura de encriptación utilizando un código de 128 bits, cuyo algoritmo brinda una seguridad mucho más robusta que otras en el mercado que requieren “encriptación fuerte” para transmisiones a través de aire.

Los productos AES de Canopy ahora están certificados en conformidad con la Norma de Encriptación Avanzada 197 de los Estándares de Procesamiento de Información Federal (FIPS), emitida por el Instituto Nacional de Normas y Tecnología. El uso de AES requiere un AP separado, un SM y una clave de activación de software.

3.6.3 Encriptación DES

Es un código de 56 bits que provee seguridad a través del aire para datos transmitidos y se activa seleccionando las opciones de configuración apropiadas en la página de Configuración de cada módulo Canopy.

La encriptación y desencriptación es manejada fuera del paquete normal, por lo tanto no agrega latencia o transparencia al sistema. Los BH de 30, 60, 150 y 300 Mbps utilizan una encriptación propietaria.

CAPITULO 4

DISEÑO DEL SISTEMA ELÉCTRICO

4 SISTEMA DE ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA

Para realizar un diseño de un sistema fotovoltaico, se debe entender el funcionamiento de cada uno de los elementos que compone un sistema de energía renovable; además se debe conocer los parámetros y características que los fabricantes de cada componente emiten, los cuales son de utilidad para el diseño.

El diseño del sistema eléctrico está dividido en dos partes, una para los equipos de telecomunicaciones y otra etapa para los electrodomésticos, se dividió así por el tiempo de consumo diario que van a funcionar los equipo.

4.1 Componentes

Un sistema de energía fotovoltaica está formado por varios elementos, los cuales cada uno aporta con características que el fabricante proporciona para realizar el diseño

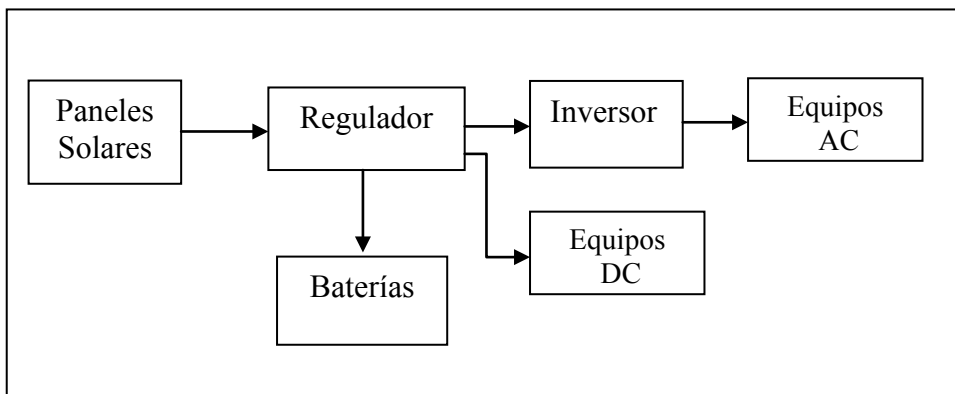


Figura. 4.1. Elementos del sistema fotovoltaico

El sistema de energía fotovoltaico está compuesto de paneles solares, un regulador de voltaje, un banco de baterías y un inversor de DC/AC, como se muestra en la figura 4.1.

4.1.1 Paneles solares

Los paneles están formados de un conjunto de células solares que transforman la energía solar en energía eléctrica, los voltajes que proporcionan son en corriente continua.

Según la cantidad de células solares y de la radiación solar se determina la cantidad de corriente, los paneles vienen con voltajes típicos de 12V, 24V y 48V, este voltaje no determina el voltaje del sistema.

Los principales parámetros que el fabricante de los paneles solares proporciona, para tomar en cuenta en el diseño son:

- Tensión máxima de potencia (V_{Pmax})
- Intensidad máxima de potencia (I_{Pmax})
- Corriente de cortocircuito (I_{SC})
- Tensión de circuito abierto (V_{OC})
- Factor de forma FF

Los valores de V_{Pmax} y I_{Pmax} son menores que V_{OC} y I_{SC}

4.1.2 Baterías

Las baterías están formadas de un conjunto de vasos, los cuales constan de electrodos de plomo con una disolución electrolítica, las baterías más utilizadas tienen voltajes de 12 o 24 voltios.

El voltaje de las baterías determina la tensión de trabajo del sistema fotovoltaico. La función de las baterías es acumular la energía para entregar la carga cuando los paneles solares no proporcionan el voltaje necesario, esto se puede dar por varios factores que afectan a los paneles solares, entre ellos está la falta de incidencia solar; para que el sistema fotovoltaico tenga autonomía depende de la cantidad de baterías en serie y en paralelo que se tengan conectadas.

Los principales parámetros que el fabricante de baterías proporciona para realizar el diseño del sistema fotovoltaico son:

- Tensión nominal V_{NBata}
- Capacidad nominal C_{NBat}
- Profundidad máxima de descarga P_{Dmax}
- Capacidad disponible $CUBat$

- **Tipo de baterías**

En este tiempo, que la tecnología inalámbrica ha llegado al usuario como son: las computadoras portátiles, los celulares y otros dispositivos electrónicos que requieren de una etapa de fuente de energía, la cual mantenga el equipo funcionando por periodos de tiempo prolongado.

Es así que se ha mejorado el sistema de baterías y dependiendo del equipo, se han hecho cambios ya sea en el tamaño, por ejemplo para los celulares; o en el sistema de producción de corriente, por ejemplo las baterías de computadoras portátiles que necesitan una corriente elevada para el encendido.

Para los sistemas de energía eléctrica fotovoltaicos se deben utilizar baterías del tipo estacionarias, estas baterías tienen una producción de corriente constante desde el encendido hasta el punto de descarga de la batería, el punto de descarga de las baterías estacionarias son profundas.

Las baterías estacionarias elevan el costo del sistema fotovoltaico, es así que otra solución que se encontró es adaptar las baterías de automóvil, no es muy recomendable ya que la vida útil de la batería baja pero con un mantenimiento adecuado, que funcionen a una temperatura constante de 25°C , y manteniendo la solución en una densidad de 1.2 y aplicando agua destilada en la solución, esto hace que disminuya la corrosión del ánodo de la batería.

4.1.3 Regulador

El regulador cumple algunas funciones en el sistema fotovoltaico, las funciones son: estabilizar y mantener el voltaje que entregan las celdas fotovoltaicas; hace la función de cargador de baterías y realiza el swicheo aislando las baterías de los paneles solares.

Los principales parámetros del regulador que el fabricante proporciona para realizar el diseño son:

- Corriente Máxima $I_{\max\text{Reg}}$
- Tensión de trabajo V_{NReg}

4.1.4 Inversores

Los inversores son la última etapa del sistema fotovoltaico, en esta etapa el voltaje que viene de las baterías se transforma de corriente continua en corriente alterna (DC/AC).

Existen dos tipos de inversores de DC/AC, los que generan ondas sinusoidales y los que generan ondas cuadradas.

Por razones de costo los más utilizados son los de onda cuadrada, esto se debe a que no tiene etapas de filtrado para que se forme la onda sinusoidal.

Los parámetros del inversor que el fabricante proporciona son:

- Tensión de trabajo V_{Nconv}
- Potencia instantánea P_{Iconv}
- Eficiencia del inversor, el fabricante entrega el rendimiento al 70%

4.2 Análisis de los requerimientos técnicos de energía eléctrica

Para realizar el diseño del sistema de energía renovable se debe realizar primero un análisis previo, para conocer que carga se alimentará a través del sistema de energía eléctrica renovable, para esto se detalla todos los equipos que se aplica en este proyecto, en la tabla 4.1

Tabla. 4.1. Equipos que se conectarán en el sistema fotovoltaico

Equipos de telecomunicaciones	Electrodomésticos
5 computadores portátiles	4 focos fluorescentes
1 switch de datos de 8 puertos	1 Potabilizador de agua
1 router	1 refrigerador
1 ATA	
1 teléfono	
1 equipo de enlace WiFi	
1 MODEM Vsat	

Al sistema fotovoltaico se debe poner un límite de tiempo de funcionamiento, ya que para generar electricidad depende de la luz solar y como solo se tiene doce horas diarias en el mejor de los casos, el sistema tiene que ser limitado en tiempo.

Como se detalla en la lista anterior se tiene equipos de telecomunicaciones a los que se les puede limitar el funcionamiento diario, y se tiene equipos electrodomésticos, en particular un refrigerador que no se puede limitar, ya que siempre tiene que estar en funcionamiento para mantener en buen estado las medicinas y las vacunas.

Es por esto que el diseño se lo realiza en dos partes: una para los equipos de telecomunicaciones y otra para los electrodomésticos.

4.2.1 Cálculo de la carga eléctrica

Para este proyecto se propone que funcionen solo 8 horas diarias los equipos de telecomunicaciones, ya que es un tiempo en el cual la comunidad podrá sacar provecho de los servicios que se les entregará.

En cada equipo viene detallado la potencia de consumo, la cual está determinada por el fabricante; en la tabla 4.2 se presenta los equipos de

telecomunicaciones y electrodomésticos que se utilizará, con su respectiva potencia

Tabla. 4.2. Equipos son la potencia de consumo

Cantidad	Equipo	Potencia (W)	Horas diarias de uso
5	PC de consumo bajo	50W	8
1	switch de 8 puertos	6 - 8	8
1	Router	6 - 8	8
1	Enlace inalámbrico WiFi	8.2	8
1	ATA	1	8
1	MODEM Vsat	15 - 30	8
4	Focos fluorescentes	6 - 10	5
1	Potabilizados de agua		12
1	Refrigerador		24

En la Tabla 4.2 también se encuentra el tiempo que va a funcionar cada equipo, este dato es necesario para determinar los Wh/día que van a funcionar los equipos.

Para realizar el cálculo de la carga de consumo se tiene que multiplicar la cantidad de equipos por la potencia y las horas diarias de consumo, este resultado se da en Wh/día.

Tabla. 4.3. Cálculo de la energía consumida de equipos de telecomunicaciones

Equipo	Cantidad	Potencia (W)	Horas diarias de consumo (h)	Energía consumida Wh/día
computador	5	50	8	2000
Switch 8 puertos	1	8	8	64
Router	1	8	8	64
Enlace inalámbrico WiFi	1	9	8	72
ATA	1	1	8	8
MODEM Vsat	1	30	8	240
Energía total consumida (Wh/día)				2448

Tabla. 4.4. Cálculo de la energía consumida de electrodomésticos

Equipo	Cantidad	Potencia (W)	Horas diarias de consumo (h)	Energía consumida Wh/día
Focos fluorescentes	4	15	5	75
Potabilizador de agua	1	-	5	0
Refrigerador	1	60	24	1440
Energía total consumida (Wh/día)				1515

En la tabla 4.3 y 4.4 se encuentra calculado la carga total de consumo diario de los equipos, con este cálculo ya se puede realizar el diseño del sistema fotovoltaico.

4.3 Diseño del sistema de energía renovable para equipos de telecomunicaciones

Con los datos obtenidos de la carga que presentan los equipos de telecomunicaciones, se debe realizar un diseño en el cual se dimensione los componentes del sistema de energía fotovoltaico, para que el sistema llegue a ser autónomo entregando energía en el tiempo estimado de uso por día a los equipos de telecomunicaciones.

4.3.1 Determinación de la carga en Ah/día

La carga requerida se la debe obtener en Amper-hora por cada día (Ah/día) ya que las baterías de sistema fotovoltaico van a estar variando en el transcurso del día, es así que mejor es tener la carga en Ah/día, con esto se evita el error por la variación de voltaje.

Para determinar la carga AC en (Ah/día), se utiliza la ecuación 4.1 que expresa la división de la energía consumida diariamente para la tensión nominal del sistema

$$Lac = \frac{E}{Vn} \quad [\text{Ec. 4.1}]$$

Donde:

Lac: Carga diaria en Ah/día

E: Energía requerida diariamente en Wh/día

Vn: Tensión nominal del sistema

Datos:

E=2448 Wh/día

Vn=24 Vdc

$$Lac = \frac{2448(Wh / dia)}{24V} = 102Ah / dia$$

Cuando se tiene equipos que trabajen en corriente continua también se debe realizar el cálculo para la corriente Ah diaria que consumen los equipos en DC.

La corriente consumida real depende de la eficiencia que tenga el convertidor DC/AC, ya que la eficiencia de convertidor depende de la potencia consumida, la mayoría de fabricantes suministra la eficiencia al 70% de su potencia nominal.

Utilizando la ecuación 4.2 se calcula la carga real diaria, la cual es la suma de la carga en DC y la carga en AC dependiendo de la eficiencia del convertidor.

$$L = Ldc + \frac{Lac}{\eta} \quad [\text{Ec. 4.2}]$$

Donde:

Ldc: Carga en DC

lac: Carga en AC

η : Eficiencia del inversor

$$L = 0 + \frac{102Ah / dia}{0.7} = 145.71Ah / dia$$

4.3.2 Cálculo de la radiación solar en el peor mes

El siguiente paso para el diseño es determinar cómo y cuantos paneles solares se requieren, para esto es necesario conocer un dato importante que es la incidencia solar diaria.

La incidencia solar es la cantidad de luz solar que irradia en la superficie terrestre, esta cantidad es un valor medio de la irradiación global que incide todos los días, dividido por el número de días del mes, su unidad de medida es (Gdm (0), en kWh/m²×día). Este dato es proporcionado por el instituto nacional de hidrología y meteorología (INAMI).

Un estudio realizado para el CONELEC por la Corporación para la Investigación Energética (CIE) desarrolló un Atlas solar con fines de generación eléctrica, este atlas contiene mapas del Ecuador de la insolación difusa, directa y global promedio de cada mes del año 2008 este valor esta dado en Wh/m²×día.

Tabla. 4.5. Radiación solar de los doce meses del año 2008

MES	Dogolita Arriba	Piedrita Afuera	El Colorado	Precoperativa Bolivarense	La Primavera	Sumak Kichwa	Tsanimp	Kuri
Enero	3305.55	3966.88	3698.31	3951.86	3913.79	4859.20	4981.32	4439.40
Febrero	3683.42	4339.43	3992.45	4287.69	4223.23	4834.55	4865.60	4430.42
Marzo	4297.09	4725.92	4510.74	4734.02	4722.69	5144.44	4901.38	4570.17
Abril	4007.90	4438.18	4325.47	4436.06	44.27.10	4661.72	4677.87	4447.27
Mayo	3767.00	4165.90	4021.72	4162.63	41.53.01	4574.13	4513.24	4324.45
Junio	3596.69	3942.53	3849.48	3995.62	3998.32	4312.78	4262.92	4056.31
Julio	3944.64	4330.23	4177.65	4353.82	4333.85	4340.28	4287.70	4114.69
Agosto	4088.56	4520.29	4400.74	4525.12	4524.71	4781.18	4805.72	4511.32
Septiembre	4193.75	4524.85	4367.79	4627.47	4667.76	5254.11	5196.59	5051.74
Octubre	4076.50	4581.38	4391.44	4604.10	4602.06	5231.95	5211.27	5112.20
Noviembre	4271.09	4765.66	4543.89	4754.18	4729.48	5108.28	4995.28	5134.66
Diciembre	3863.77	4475.08	4142.68	4418.82	4357.23	5192.84	5324.61	4729.95

En la tabla 4.5 se encuentran los datos de radiación solar de los doce meses del año 2008 de las 8 comunidades, de esta tabla se extrae el dato de radiación solar en el peor mes

Tabla. 4.6. Radiación solar en el peor mes de las 8 comunidades

Comunidad	Mes	Valor (Wh/m ² ×día)
Dogolita Arriba	Junio	3596.69
Piedrita Afuera	Junio	3942.53
El Colorado	Enero	3698.31
Precooperativa Bolivarense	Enero	3951.86
La Primavera	Enero	3913.79
Sumak Kichwa	Junio	4312.78
Tsanimp	Junio	4262.92
Kuri	Junio	4056.31

De los datos extraídos de la comunidad de Dogolita Arriba no se ha tomado el dato de incidencia solar del mes de enero de 3305.55, porque se observa que es un valor aislado en comparación con los otros 11 meses del año.

Para el diseño se tomará el dato de la tabla 4.6 que refleje el peor de todas las 8 comunidades, con eso se logrará realizar el diseño general del sistema fotovoltaico.

$$G_{dm}(\beta) = 3596.69 \text{ Wh/m}^2 \times \text{día}$$

$$G_{dm}(\beta) = 3.596 \text{ KWh/m}^2 \times \text{día} \quad \textit{Dato tomado de la comunidad Dogolita Arriba}$$

4.3.3 Cálculo de los paneles solares

Los paneles solares se les puede combinar en serie o en paralelo, o se le puede hacer una combinación mixta esto se lo realiza para obtener el voltaje y la corriente que satisfaga el funcionamiento del sistema fotovoltaico.

El cálculo de los paneles solares en serie se hace con la ecuación 4.3 que es igual a la tensión nominal del sistema dividido para la tensión máxima de potencia del panel.

$$N_{ps} = \frac{V_n}{V_{P_{max}}} \quad [\text{Ec. 4.3}]$$

El número de paneles solares en paralelo se calcula con la ecuación 4.4 que es igual a:

$$N_{pp} = \frac{L}{I_m * G_{dm}(\beta) * \eta_g * \eta_b} \quad [\text{Ec. 4.4}]$$

Donde:

I_m : Valor medio que toma la intensidad en el rango de trabajo desde el punto de máxima potencia al de corto circuito.

$G_{dm}(\beta)$: Media de la irradiación global (peor mes).

η_g : Rendimiento global del generador fotovoltaico igual a 90% según las normas internacionales

η_b : Rendimiento faradaico de la batería

L : carga diaria en Ah/día

El total de paneles se calcula con la ecuación 4.5, que es la multiplicación de los paneles en serie por los paneles en paralelo

$$N_p = N_{ps} * N_{pp} \quad [\text{Ec. 4.5}]$$

Datos tomados del anexo B:

$$V_n = 24V_{dc}$$

$$V_{np} = 30.3V_{dc}$$

$$L = 145.71Ah/día$$

$$I_{m_{pp}} = 8.45 A$$

$$I_{sc} = 7.94A$$

$$G_{dm}(\beta) = 3.596 \text{ Kwh/m}^2 \times \text{día}$$

$$\eta_g = 0.9 \quad \eta_b = 0.8$$

Cálculos:

$$N_{ps} = \frac{V_n}{V_{P_{max}}}$$

$$N_{ps} = \frac{24V_{dc}}{30.3V_{dc}} = 0.79 \approx 1$$

$$I_m = \frac{(I_{m\ pp} + I_{sc})}{2}$$

$$I_m = \frac{(8,45 + 7,94)}{2} = 8,195$$

$$N_{pp} = \frac{L}{I_m * G_{dm}(\beta) * \eta_g * \eta_b}$$

$$N_{pp} = \frac{145.71(Ah/dia)}{8,195(A) * 3,596(KWh/m^2 * dia) * 0,9 * 0,8}$$

$$N_{pp} = 6,86 \approx 7$$

$$N_p = N_{ps} * N_{pp}$$

$$N_p = 1 * 7 = 7 \text{ paneles}$$

4.3.4 Cálculo de las Baterías

El sistema tiene que suministrar energía todo el tiempo aún cuando no exista luz solar, es así que todo el sistema fotovoltaico debe tener autonomía, esto se refiere al número de días que va a funcionar sin luz solar, este número de días depende de los equipos que se va a conectar y de la irradiación solar en el sector, por lo general se toma 4 días de autonomía del sistema cuando va a funcionar con equipos de telecomunicaciones.

Para obtener esta autonomía en energía se debe realizar el cálculo de cuantas baterías se utilizarán para poder acumular energía que suministre a los equipos.

Con la ecuación 4.6 se calcula la capacidad que tiene la batería, en (Ah).

$$C = \frac{L * d}{P_d} \quad [\text{Ec. 4.6}]$$

Donde:

- C: capacidad total del sistema de acumulación
- L: carga real de consumo
- d: días de autonomía
- Pd: profundidad de descarga máxima de trabajo.

La profundidad de descarga varía dependiendo del tipo de batería, en este proyecto se utilizan las baterías que tienen una profundidad de descarga de 0.5, se utiliza este tipo de baterías por sus condiciones de desempeño de trabajo.

Para calcular el número de baterías en serie y en paralelo se utilizan las ecuaciones 4.7 y 4.8

$$N_{bs} = \frac{V_{ns}}{V_{nb}} \quad [\text{Ec. 4.7}]$$

$$N_{bp} = \frac{C}{C_n} \quad [\text{Ec. 4.8}]$$

Con la ecuación 4.9 se calcula el número total de batería.

$$N_b = N_{bp} * N_{bs} \quad [\text{Ec. 4.9}]$$

Donde:

N_{bs}: Número de baterías en serie

N_{bp}: Número de baterías en paralelo

V_{ns}: Voltaje nominal del sistema

V_{nb}: Voltaje nominal de la batería

C_n: capacidad nominal de la batería en (Ah)

Datos:

L = 145.71Ah/día

d = 4 días

P_d = 0.5

V_{ns} = 24 Vdc

V_{nb} = 12 Vdc

C_n = 204 Ah

Capacidad que tiene la batería

$$C = \frac{L * d}{P_d}$$

$$C = \frac{145.71Ah / dias * 4dias}{0.5}$$

$$C = 1165.68Ah$$

Número de baterías en serie

$$Nbs = \frac{Vns}{Vnb}$$

$$Nbs = \frac{24Vcd}{12Vcd} = 2$$

Número de baterías en paralelo

$$Nbp = \frac{C}{Cn}$$

$$Nbp = \frac{1165.68Ah}{204Ah} = 5.73$$

$$Nbp = 5.73 \approx 6$$

$$Nb = 6 * 2 = 12$$

4.3.5 Cálculo del regulador

Se realiza el cálculo de la corriente máxima que debe soportar el regulador, dependiendo de esta corriente se tiene el tipo de regulador.

Para encontrar la corriente máxima del regulador se utiliza la ecuación 4.10

$$I_{\max_{reg}} = Npp * Icc \quad [\text{Ec. 4.10}]$$

Donde:

Npp = número de paneles en paralelo

Icc = intensidad de cortocircuito de los paneles.

Datos:

$$N_{pp} = 7$$

$$I_{cc} = 8.45A$$

$$I_{\max_{reg}} = N_{pp} * I_{cc}$$

$$I_{\max_{reg}} = 7 * 8.45$$

$$I_{\max_{reg}} = 59.15A$$

4.3.6 Cálculo del inversor

Para determinar las características del inversor se tiene que hacer un análisis de la potencia de los equipos que van a funcionar a 110V.

En este análisis se tiene que ver que equipos son los que van a funcionar simultáneamente.

Tabla. 4.7. Potencia total de los equipos

Equipo	Cantidad	Potencia (W)	Potencia total (W)
Computador portátil	5	50	250
Switch de 8 puertos	1	8	8
Router	1	8	8
Enlace inalámbrico WiFi	1	9	9
ATA	1	1	1
MODEM Vsat	1	30	30
Total		106	306

En la tabla 4.7 se encuentran los valores de potencia de los equipos de telecomunicaciones, la potencia total que se tiene es de 306 W, el inversor más cercano que se encuentra en el mercado es de 700W, con voltaje nominal de 24V de energía continua de salida y energía de cresta de 1000W.

4.4 Diseño del sistema de energía renovable para electrodomésticos

La carga que presenta los equipos electrodomésticos, es de 1515 Wh/día, con este dato se debe realizar el diseño para dimensionar los componentes del

sistema de energía fotovoltaico y tener un sistema autónomo que entregue la energía a los electrodomésticos en el tiempo estimado de uso por día.

4.4.1 Determinación de la carga en Ah/día

Para determinar la carga AC en (Ah/día), se utiliza la ecuación 4.1

Datos:

$$E = 1515 \text{Wh/día}$$

$$V_n = 24 \text{ Vdc}$$

$$L_{ac} = \frac{E}{V_n}$$

$$L_{ac} = \frac{1515(\text{Wh} / \text{día})}{24\text{V}} = 63.125 \text{ Ah} / \text{día}$$

Utilizando la Ecuación 4.2 se calcula la carga real diaria

$$L = L_{dc} + \frac{L_{ac}}{\eta}$$

$$L = 0 + \frac{126.25 \text{ Ah} / \text{día}}{0.7} = 90.17 \text{ Ah} / \text{día}$$

4.4.2 Cálculo de los paneles solares

El número de paneles solares en serie se calcula con la ecuación 4.3.

$$N_{ps} = \frac{V_n}{V_{p_{\max}}}$$

El número de paneles solares en paralelo se calcula con la ecuación 4.4.

$$N_{pp} = \frac{L}{I_m * G_{dm}(\beta) * \eta_g * \eta_b}$$

El total de paneles se calcula con la ecuación 4.5

$$N_p = N_{ps} * N_{pp}$$

Datos:

$$V_n = 24 \text{Vdc}$$

$$V_{np} = 30.3 \text{Vdc}$$

$$L = 90.17 \text{Ah/día}$$

$$I_m = 8.195 \text{ A}$$

$$G_{dm}(\beta) = 3.596 \text{ kWh/m}^2 \times \text{día}$$

$$\eta_g = 0.9 \quad \eta_b = 0.8$$

Cálculos:

$$N_{ps} = \frac{V_n}{V_{p_{\max}}}$$

$$N_{ps} = \frac{12 \text{Vdc}}{17.5 \text{Vdc}} = 0.68 \approx 1$$

$$N_{pp} = \frac{L}{I_m * G_{dm}(\beta) * \eta_g * \eta_b}$$

$$N_{pp} = \frac{90.17 (\text{Ah} / \text{dia})}{8.195 (\text{A}) * 3.596 (\text{KWh} / \text{m}^2 \times \text{dia}) * 0.9 * 0.8}$$

$$N_{pp} = 4.2 \approx 4$$

$$N_p = N_{ps} * N_{pp}$$

$$N_p = 1 * 4 = 4 \text{ paneles}$$

4.4.3 Cálculo de las Baterías

Con la ecuación 4.6 se calcula la capacidad que tiene la batería, esta capacidad se da en (Ah).

$$C = \frac{L * d}{P_d}$$

Para calcular el número de baterías en serie y en paralelo se utilizan las ecuaciones 4.7 y 4.8

$$N_{bs} = \frac{V_{ns}}{V_{nb}}$$

$$N_{bp} = \frac{C}{C_n}$$

Con la ecuación 4.9 se calcula el número total de batería.

$$N_b = N_{bp} * N_{bs}$$

Datos:

$$L = 90.17 \text{ Ah/día}$$

$$d = 4 \text{ días}$$

$$P_d = 0.5$$

$$V_{ns} = 24 \text{ Vdc}$$

$$V_{nb} = 12 \text{ Vdc}$$

$$C_n = 204 \text{ Ah}$$

Capacidad que tiene la batería

$$C = \frac{L * d}{P_d}$$

$$C = \frac{90.17 \text{ Ah / dias} * 4 \text{ dias}}{0.5}$$

$$C = 721.33 \text{ Ah}$$

Número de baterías en serie

$$N_{bs} = \frac{V_{ns}}{V_{nb}}$$

$$N_{bs} = \frac{24 \text{ Vcd}}{12 \text{ Vcd}} = 2$$

Número de baterías en paralelo

$$N_{bp} = \frac{C}{C_n}$$

$$N_{bp} = \frac{721.36 \text{ Ah}}{204 \text{ Ah}} = 3.5$$

$$N_{bp} = 4 \text{ Baterias}$$

$$N_b = N_{bs} * N_{bp}$$

$$N_b = 4 * 2 = 8$$

4.4.4 Cálculo del regulador

Para encontrar la corriente máxima del regulador se utiliza la ecuación 4.10

$$I_{\max reg} = N_{pp} * I_{cc}$$

Datos:

$$N_{pp} = 4$$

$$I_{cc} = 8.45A$$

$$I_{\max reg} = N_{pp} * I_{cc}$$

$$I_{\max reg} = 4 * 8.45$$

$$I_{\max reg} = 33.8A$$

4.4.5 Cálculo del inversor

En este análisis se tiene que ver que equipos son los que van a funcionar simultáneamente.

Tabla. 4.8. Potencia total de los electrodomésticos

Equipo	Cantidad	Potencia (W)	Potencia total (W)
Focos fluorescentes	4	15	60
Refrigerador	1	60	60
Potencia total		75	120

En la tabla 4.8 se encuentra los valores de potencia de los electrodomésticos, la potencia total se tiene que es 120W, el inversor más cercano que se encuentra en el mercado es de 700W de energía continua de salida y energía de cresta de 1000W.

4.5 Conclusiones del diseño del sistema fotovoltaico

En la tabla 4.9 se encuentra un resumen de los requerimientos del sistema de energía fotovoltaico para la implementación de este proyecto.

Tabla. 4.9. Resumen de los requerimientos de sistema eléctrico

Equipos del sistema fotovoltaico	Características	Cantidad carga equipos
Carga eléctrica Wh/día	3963Wh/día	-
Paneles solares	$V_{np} = 30.3Vdc$ $I_m = 8.159 A$ $I_{cc} = 8.45A$	11
Baterías	$V_{nb} = 12Vdc$ $C_n = 204 Ah$ $P_d = 0.5$	20
Regulador	$I_{max\ reg} = 59.15A$ $I_{max\ reg} = 33.8A$ $V_{nReg} = 24Vdc$	1
Inversor	Energía continua de 700W y 24Vdc salida Energía de cresta de 1000W	2

CAPITULO 5

ANÁLISIS DE COSTOS

5 INTRODUCCIÓN

El análisis de costos es el complemento de todo el diseño de la red de telecomunicaciones, ya que con esto se realiza una estimación de la inversión que se debe efectuar para la implementación del proyecto, en el cual se entregara Internet, telefonía IP y se dotara de energía eléctrica a través de un sistema fotovoltaico.

De los equipos que se detallo en el capítulo 4 se estima un valor para la compra de equipos, instalación, calibración y puesta en marcha; con los valores obtenidos se realiza un análisis de todo el proyecto y su factibilidad.

En el análisis también se presenta un flujo de fondos, que es el costo implícito en el sistema eléctrico y de telecomunicaciones, con esto se encuentra el costo y la eficiencia del proyecto.

El Fodetel que es el responsable del proyecto a puesto un tiempo de 5 años, en el cual va a estar a cargo para asumir el costo que implica el mantenimiento y la operación del sistema, luego de este tiempo se debe entregar a la comunidad estos servicios, para lo cual deben saber cómo sustentar los costos para que pueda seguir funcionando el sistema.

5.1 Análisis de costos de equipos y materiales

Los costos son los valores obtenidos después de un análisis de precios unitarios, en los cuales se encuentra varias cantidades que se suman al costo del producto cotizado por el proveedor de los equipos y materiales.

En este proyecto se da a conocer el valor al que el proveedor cotiza los materiales y los equipos, con estos valores se realiza un análisis del costo unitario del proyecto, obteniendo así un costo total del proyecto, con este análisis de costos la FODETEL podrá tomar una decisión real en caso de una licitación del proyecto. Aparte se tendrá el costo de mantenimiento y operación de todo el proyecto que se deberá tomar en cuenta para la sostenibilidad del sistema.

5.1.1 Costos de los equipos y materiales

En la tabla se encuentra detallada las cantidades, los precios unitarios y el precio total de los equipos y materiales para el proyecto.

Tabla. 5.1. Equipos de telecomunicaciones

Cantidad	Unidad	Descripción	Precio unitario	Precio total
1	u	Paquete de 2 Backhuls ptp100 de 2.4 GHz y 10 Mbps con RJ45	1900	1900
2	u	Antena reflectoras parabólica polarizad dual de 3 pies de 2.4 Ghz	120	240
2	u	Fuentes de alimentación BH	25	50
2	u	Soporte de Montaje Universal	60	120
1	u	Router cisco 1600	300	300
1	u	switch de 8 puertos	50	50
5	u	Computadora portátil	900	4500
1	u	ATA dlink ds-6004 4 puertos	350	350
1	u	Teléfono analógico	200	200
1	u	MODEM vsat	900	900
1	u	Antena satelital	1200	1200
1	u	LNB	10	10
1	u	FEED	80	80

Tabla. 5.2. Materiales de telecomunicaciones

Cantidad	Unidad	Descripción	Precio unitario	Precio total
305	m	Cable UTP Cat 6	0.51	155.55
3	u	Face plate	1.5	4.5
6	u	Jack	6.24	37.44
1	u	Gabinete	400	400

Tabla. 5.3. Equipos del sistema eléctrico

Cantidad	Unidad	Descripción	Precio unitario	Precio total
11	u	Panel solar	425.6	4681.05
1	u	regulador	86.6	86.6297
2	u	Inversor 700W	382.2	764.3
20	u	baterías	661.9	13238
1	u	Soporte para paneles	1200	1200

Tabla. 5.4. Puesta a tierra

Cantidad	Unidad	Descripción	Precio unitario	Precio total
3	u	Barras Copperwelt	10	30
3	u	Suelda exotérmica	50	150
15	m	Cable de cobre	10	150
1	u	Para rayos	1400	1400

Tabla.5.5. Mano de obra

Cantidad	Descripción	Precio unitario	Precio total
1	Instalación del enlace inalámbrico	1200	1200
1	Instalación del enlace satelital	1200	1200
1	Instalación de la red de datos	100	100
1	Instalación de la red eléctrico	2500	2500
1	Instalación de la tierra	300	300

En el anexo C se encuentran las cotizaciones de las empresas proveedoras de los equipos y materiales, los costos de las tablas anteriores son valores referenciales obtenidos de proveedores de estos equipos y materiales. Con estas tablas de costos se arma las propuestas para el proyecto y se analiza su factibilidad.

5.1.2 Propuestas para el proyecto

Se tiene dos tipos de propuestas que se describen a continuación:

- Se toma la señal desde las comunidades utilizando el radio enlace que se describe en el capítulo 3 con los equipos conopy.
- Se realiza directamente un enlace satelital en cada comunidad del proyecto.

En la tabla 5.6 se detalla los costos totales de los equipos y materiales para una comunidad, esta propuesta está realizada para la implementación de un enlace inalámbrico, utilizando la generación de energía solar.

- **Propuesta para los enlaces inalámbricos**

Tabla.5.6. costos de equipos y materiales con enlace inalámbrico

Cantidad	unidad	Descripción	Precio unitario	Precio total
ITEM1	RADIO ENLACE			
1	u	Paquete de 2 Backhuls ptp100 de 2.4 GHz y 10Mbps con conector RJ45	1900	1900
2	u	Antena reflectoras parabólica polarizada dual de 3 pies de 2.4 Ghz	120	240
2	u	Fuentes de alimentación BH	25	50
2	u	Soporte de Montaje Universal	60	120
2	u	torre de 20 m y cimentacion	2139,6	4279,2
1	u	Instalación de la torre y el enlace inalambrico	1200	1200
SUBTOTAL 1				7789.2

ITEM 2	EQUIPOS DE REDES			
1	u	Router cisco 1600	300	300
1	u	Switch de 8 puertos	520	520
5	u	Computadora portatil	900	4500
1	u	ATA dlink ds-6004 4 puertos	350	350
1	u	Teléfono analógico	200	200
SUBTOTAL 2				5870
ITEM 3	RED DE ULTIMA MILLA			
305	m	Cable UTP Cat 6	0,51	155,55
3	u	Face plate	1,5	4,5
6	u	Jack	6,24	37,44
1	u	Gabinete	400	400
1	u	Instalación de la red de datos	100	100
SUBTOTAL 3				697,49
ITEM 5	PUESTA TIERRA			
3	u	Barras Copperwelt	10	30
3	u	Suelda exotérmica	50	150
15	m	Cable desnudo de cobre # 8	10	150
1	u	Para rayos	1400	1400
1	u	Instalación de la tierra	300	300
SUBTOTAL 4				2030
ITEM 6	SISTEMA ELECTRICO			
11	u	Panel solar	425,6	4681,05
1	u	regulador	86,6	86,6297
2	u	Inversor 700W	382,2	764,3
20	u	baterías	661,9	13238
1	u	Soporte para paneles	1200	1200
1	u	Instalación del sistema eléctrico	2500	2500
SUBTOTAL 5				22.469,98
SUBTOTAL				38.856,67
12% IVA				4.662,8
TOTAL				43.519,47

La inversión inicial que se debe realizar en la implementación del sistema es el total obtenido en la tabla 5.6 a este valor se debe multiplicar por 5, ya que son las comunidades que van a recibir este sistema.

*Inversion 5 comunidades = \$43.519,47 * 5comunidade*

Inversion 5 comunidades = 217.597,35 dolares

En la tabla 5.7 se detalla los costos totales de los equipos y materiales para la implementación de un enlace satelital en las tres comunidades donde no se logra realizar el enlace inalámbrico, con esto se tomará directamente del satélite la señal para entregarle internet y telefonía VoIP.

- **Propuesta para enlaces satelitales**

Tabla.5.7. costos de equipos y materiales con enlace satelital

Cantidad	unidad	Descripción	Precio unitario	Precio total
ITEM1	RADIO ENLACE			
1	u	MODEM satelital	900	900
1	u	Antena parabólica	1200	1200
1	u	LNB	10	10
1	u	FEED	80	80
1	u	Instalación del enlace satelital	1200	1200
SUBTOTAL 1				3390
ITEM 2	EQUIPOS DE REDES			
1	u	Router cisco 1600	300	300
1	u	switch de 8 puertos	520	520
5	u	Computadora portatil	900	4.500
1	u	ATA dlink ds-6004 4 puertos	350	350
1	u	Teléfono analógico	200	200
SUBTOTAL 2				5.870
ITEM 3	RED DE ULTIMA MILLA			
305	m	Cable UTP Cat 6	0,51	155,55
3	u	Face plate	1,5	4,5
6	u	Jack	6,24	37,44
1	u	Gabinete	400	400
1	u	Instalación de la red de datos	100	100
SUBTOTAL 3				697.49
ITEM 5	PUESTA TIERRA			
3	u	Barras Copperwelt	10	30
3	u	Suelda exotérmica	50	150
15	m	Cable desnudo de cobre #0	10	150
1	u	Para rayos	1400	1.400
1	u	Instalación de la tierra	300	300
SUBTOTAL 4				2.030

ITEM 6	SISTEMA ELECTRICO			
11	u	Panel solar	425,6	4.681,05
1	u	regulador	86,6	86,63
1	u	Inversor 700W	382,2	382,15
20	u	baterías	661,9	13238
1	u	Soporte para paneles	1200	1200
1	u	Instalación del sist eléctrico	2500	2500
SUBTOTAL 5				22.087,83
SUBTOTAL				34.075,32
12% IVA				4.089,04
TOTAL				38.164,36

La inversión inicial que se debe realizar en la implementación del sistema es el total obtenido en la tabla 5.6 a este valor se debe multiplicar por 3, ya que son las comunidades que van a recibir este sistema.

$$\text{Inversión 3 comunidades} = 38.164,36\$ * 3 \text{comunidades}$$

$$\text{Inversión 3 comunidades} = 114.493,10 \text{ dolares}$$

El total de la inversión para la implementación de la infraestructura de telecomunicaciones en este proyecto es el siguiente

$$\text{Inversión total para la implementación} = 217.597,35 + 114.493,10$$

$$\text{Inversión total para la implementación} = 332.090,43 \text{ dolares}$$

5.1.3 Análisis de las propuestas planteadas en el proyecto

Revisando el costo total de cada una de las propuestas se determina que el enlace satelital tiene un menor costo, aunque la diferencia no es significativa, por eso se debe revisar el costo de operación y el costo de alquiler de la banda de cada uno de las propuestas, así de esta forma se va a determinar qué tipo de enlace se debe realizar con la factibilidad de que el funcionamiento va a ser optimo.

5.2 Análisis de costos de operación y mantenimiento

Los costos de operación están directamente relacionados con el diagnóstico, funcionamiento y gestión de la red, los costos de mantenimiento deben incluir mantenimiento preventivo que se debe realizar periódicamente y mantenimiento

correctivo que consiste en la reparación de fallas y daños, lo que involucra el suministro de repuestos y equipos en caso de ser necesario, con el fin de mantener el sistema operando y en óptimas condiciones.

El costo de operación y mantenimiento debe asumir el Fodetel, esto implica un aumento en la cotización del proyecto porque el FODETEL tiene que sustentar este valor durante los 5 años, luego de esto se debe auto financiar, para que el sistema pueda seguir funcionando.

5.2.1 Costos de operación del enlace

Los costos de operación son: el costo para contratar la instalación y mantención del servicio de Internet y la tarifa anual por utilización del espectro radio eléctrico.

- **Tarifa de Internet**

En el proyecto Eurosolar se tiene pensado contratar un ancho de banda de 512 Kbps para entregar vía satélite a las 91 comunidades, y de ahí se tomará la señal con los enlaces punto a punto para llevar a las comunidades de este proyecto, en este caso el costo de servicio se dividiría para las dos comunidades involucradas, en la tabla 5.8 se encuentran tarifas referenciales de un proveedor de servicios satelitales de la ciudad de Quito.

Tabla. 5.8. Tarifas del servicio²²

Velocidad (Kbps)	TARIFA Satelitales Banda C	TARIFA Satelitales Banda KU
128/64	\$150	\$100
256/128	\$280	\$180
512/128	\$ 520	\$330

Como se muestra en la ecuación 5.1 la velocidad que se va a contratar es de 512 Kbps que tiene una tarifa de 520 dólares mensuales, el Fodetel asumirá su

²² Costos referenciales del servicio de internet satelital

costo del servicio durante cinco años, luego de esto la comunidad tiene que seguir aportando para que puedan tener el servicio.

➤ **Tarifa del servicio para un enlace inalámbrico**

$$\begin{aligned} \text{Tarifa anual de Internet} &= \$280 * 12 \text{ años} \\ \text{Tarifa anual de Internet} &= 3.360 \text{ dolares} \\ \text{Tarifa anual de Internet} &= 3.360 * 5 \text{ comunidades} \\ \text{Tarifa anual de Internet} &= 16.800 \text{ dolares} \end{aligned} \quad \text{Ec. 5.1}$$

➤ **Tarifa del servicio para un enlace satelital**

$$\begin{aligned} \text{Tarifa anual de Internet} &= \$520 * 12 \text{ años} \\ \text{Tarifa anual de Internet} &= 6.240 \text{ dolares} \\ \text{Tarifa anual de Internet} &= 6.240 * 3 \text{ comunidades} \\ \text{Tarifa anual de Internet} &= 18.720 \text{ dolares} \end{aligned}$$

➤ **Tarifa del servicio total**

$$\begin{aligned} \text{Tarifa total de Internet} &= 16.800 * 18.720 \\ \text{Tarifa total de Internet} &= 35.520 \text{ dolares/año} \end{aligned}$$

• **Tarifa por el uso de espectro Radioeléctrico enlace inalámbrico**

Para determinar la tarifa anual por utilización del espectro radioeléctrico se debe hacer uso de la ecuación que se encuentran en el marco regulatorio de la CONATEL, en el cual está el reglamento de tarifas por el uso del espectro radioeléctrico con enlaces punto - punto o punto - multipunto.

Para encontrar la tarifa anual a pagar por el uso del espectro radioeléctrico de un enlace Punto a Punto se tiene la ecuación 5.2²³

$$\begin{aligned} TA(\$) &= Ka * \alpha_6 * \beta_6 * B * NTE \\ \text{Tarifa del sistema PoP} &= TA(\$) * \# \text{enlaces} * \text{tiempo(años)} \end{aligned} \quad \text{Ec. 5.2}$$

²³ Artículo 19 del reglamento de tarifas de frecuencia del marco regulatorio

Donde:

$$Ka = \beta6 = 1$$

$$B = 12$$

$$\alpha6 = 0.533$$

$$NTE = 2$$

$$TA(\$) = Ka * \alpha6 * \beta6 * B * NTE$$

$$TA(\$) = 1 * 0,533 * 1 * 12 * 2$$

$$TA(\$) = 12.8 \text{ dolares / año}$$

$$\text{Tarifa del sistema PoP} = TA(\$) * \# \text{enlaces} * \text{tiempo(años)}$$

$$\text{Tarifa del sistema PoP} = 12,8 * 5 * 1$$

$$\text{Tarifa del sistema PoP} = 64 \text{ dolares}$$

Para encontrar la tarifa anual a pagar por el uso del espectro radioeléctrico de un enlace Punto a multipunto se tiene las ecuaciones 5.3²⁴

$$\text{Tarifa del sistema PoM} = TA(\$) + TC(\$) * \text{tiempo(meses)} \quad \text{Ec.5.3}$$

Para calcular las tarifas anuales A y C se tiene la ecuaciones 5.4 y 5.5

$$TA(\$) = Ka * \alpha4 * \beta4 * A * (D)^2$$

Donde :

$$Ka = \beta4 = 1 \quad \text{Ec.5.4}$$

$$\alpha4 = 0.00156$$

D = distancia del enlace

A = 125 para frecuencias 5.725 GHz a 5.850 GHz

A = 85 para frecuencias 2.4 GHz a 2.485 GHz

$$TC(\$) = Ka * \alpha5 * Fd$$

Donde :

$$Ka = \alpha5 = 1 \quad \text{Ec.5.5}$$

Fd = factor de capacidad

El factor de capacidad (Fd) depende del número de nodos que se tenga en el enlace, en la tabla 5.1 se detalla el Factor de capacidad

²⁴ Artículo 13 del reglamento de tarifas de frecuencia del marco regulatorio

Tabla. 5.9. Factor de capacidad

# de Nodos(N)	Fd
$3 < N \leq 10$	3
$10 < N \leq 20$	7
$20 < N \leq 30$	10
$30 < N \leq 40$	15
$40 < N \leq 50$	19
$N > 50$	25

No se realiza el cálculo de enlace punto - multipunto ya que en el proyecto solo se tiene enlaces punto a punto.

- **Tarifa de utilización de espectro Radioeléctrico enlace satelital**

Para encontrar la tarifa anual a pagar por el uso del espectro radioeléctrico de un enlace satelital se tiene la ecuación 5.6²⁵

$$T(\$) = Ka * \alpha7 * \beta7 * A * Fs$$

$$\text{Tarifa enlace satelital} = T(\$) * \# \text{enlaces satelital} * \text{tiempo(años)}$$

Ec. 5.6

Donde:

$$Ka = \beta7 = 1$$

$$A = 6GHz$$

$$\alpha6 = 0.0259740$$

$$Fs = 3.50$$

$$TA(\$) = Ka * \alpha7 * \beta7 * A * Fs$$

$$TA(\$) = 1 * 0.0259740 * 1 * 6 * 3.5$$

$$TA(\$) = 0,54 \text{dolares / año}$$

²⁵ Artículo 22 del reglamento de tarifas de frecuencia del marco regulatorio

5.2.2 Costos de mantenimiento

El Fodetel se ha comprometido a realizar el mantenimiento de todo el sistema de telecomunicaciones durante 5 años, para lo cual se tiene que aumentar un porcentaje al costo total de la inversión.

Para obtener el rubro que se utilizará para el mantenimiento del sistema se debe sacar el 1% de toda la inversión realizada en equipos e instalación y esto multiplicar por cinco años que se realizará el mantenimiento.

➤ Costo de mantenimiento enlace inalámbrico

$$CM = (inversion * 0.01)$$

$$CM = 43.519,47 * 0.01$$

$$CM = 435,19 \text{ dolares/año}$$

$$CM = \$435,19 * 5 \text{comunidades}$$

$$CM = 2.175,97 \text{ dolares/año}$$

➤ Costo de mantenimiento enlace satelital

$$CM = (inversion * 0.01)$$

$$CM = 38.164,36 * 0.01$$

$$CM = 381,64 \text{ dolares/año}$$

$$CM = \$381,64 * 3 \text{comunidades}$$

$$CM = 1.144,93 \text{ dolares/año}$$

➤ Costo total de mantenimiento

$$CTM = 2.175,97 + 1.144,93$$

$$CTM = 3.320,90 \text{ dolares/año}$$

5.2.3 Costo total de operación y mantenimiento

Realizando la suma de la tarifa de Internet, uso del espectro radioeléctrico y el mantenimiento se tiene un rubro total que se suma al total de la inversión de los equipos y materiales.

$$COM = TI + TER + CTM$$

$$COM = 35.520 + 64 + 3.320.90$$

$$COM = 38.904,90 \text{ dolares}$$

5.3 Costos anuales a partir del segundo año

A partir del segundo año se debe realizar el pago del servicio y tener en cuenta el mantenimiento del sistema, y esto debe ser por los siguientes 4 años que va a ser cubierto por el Fodetel, así que el costo de operación y mantenimiento será el siguiente

$$COM * 4 = 38.847,30 \text{ dolares} * 4 \text{ años}$$

$$COM * 4 = 155.389,22 \text{ dolares}$$

5.4 Costo del proyecto

El costo del proyecto va a ser la suma de los costos totales para la implementación, operación, mantenimiento y los costos que se va a tener luego del segundo año

$$COSTOS \ DEL \ PROYECTO = CI + COM + (COM * 4)$$

$$COSTOS \ DEL \ PROYECTO = 332.090,43 + 38.847,30 + 155.389,22$$

$$COSTOS \ DEL \ PROYECTO = 526.326,95 \text{ DOLARES}$$

El costo total del proyecto es quinientos veinte y seis mil trescientos veinte y seis dólares con noventa y cinco centavos

5.5 Plan de sostenibilidad del proyecto

Las comunidades beneficiarias de este proyecto deben realizar un plan para obtener recursos que serán asignados para seguir manteniendo el sistema en funcionamiento y para que puedan pagar por el servicio de Internet a partir del

sexto año desde la instalación que van a ser financiado por las entidades públicas involucradas en el proyecto.

Las cinco comunidades que tienen los enlaces inalámbricos deben obtener 3800 dólares anuales, cada una, para que puedan mantener en funcionamiento el sistema.

Las tres comunidades que tiene el sistema satelital deben obtener 6680 dólares anuales, cada una, para poder mantener funcionando el sistema y que puedan tener los servicios

Se propone algunas alternativas para que las comunidades obtengan los recursos necesarios.

Una forma de obtener los recursos es alquilando el servicio de internet a las personas de la comunidad, si se pone una tarifa de 1 dólar la hora del alquiler de la máquina con internet, se puede obtener al mes 562 dólares promedio. Con los siguientes cálculos se demuestra su factibilidad

Datos

Número de máquinas = 5

Tiempo de funcionamiento = 5 horas diarias

Capacidad de funcionamiento = 75%

Total al día=5 horas * 5 maquinas * 1dólar = 25 dólares

Total al mes 25 dólares * 30 días = 750 dólares

Total obtenido = 750 dólares * 0.75 = 562,5 dólares

CAPITULO 6

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

- Son 91 comunidades las que contempla el Proyecto Eurosolar y son 8 comunidades las que se presentan como complemento de dicho Sistema. Pero existen aún varias comunidades, las cuales en lo posterior se pueden considerar para que obtengan los servicios tecnológicos.
- Las comunidades: Precooperativa Bolivarenses, La Primavera, Sumak Kichwa, Tsanimp y Kuri, reciben los servicios tomando la señal de las comunidades del proyecto Eurosolar, ya que es posible realizar enlaces inalámbricos entre comunidades. Las comunidades: Dogolita Arriba, Piedrita Afuera y El Colorado reciben los servicios por medio de un enlace satelital, este diseño se adoptó debido a su situación geográfica.
- El análisis de los enlaces del proyecto, se realiza utilizando el software Radio Mobile, de donde se obtuvo que no existe línea de vista para tres comunidades, por lo que se debe colocar la antena con torres superiores a los 70m; lo que conlleva un elevado costo en la compra y en la instalación de la torre, por lo que se optó por una alternativa de comunicación satelital en estas comunidades.
- En el diseño inalámbrico para las 5 comunidades, se tiene que las alturas de las antenas varían de 6 metros a 27 metros, esto es lo que diferencia la infraestructura de telecomunicaciones entre las comunidades.

- De acuerdo al análisis del tráfico realizado, se determinó que el ancho de banda que debe ser contratado para la transmisión de los servicios de Internet y telefonía es de 256/128 up/down, como mínima capacidad para cada una de las comunidades. Las comunidades del proyecto Eurosolar van a tener un ancho de banda de 512/256 up/down, por lo que no afectaría el compartir su ancho de banda, manteniendo la calidad de servicio en los niveles aceptables, de acuerdo al análisis realizado.
- Para la telefonía se va a utilizar un transeiver (ATA), que hace que la señal VoIP cambie a señal análoga para que pueda recibir un teléfono convencional, esta transformación se realiza por motivos de preservación del equipo ya que un teléfono VoIP es económicamente más costoso y colocando un ATA con un teléfono análogo es una buena solución para este tipo de aplicaciones.
- Las potencias de transmisión de los equipos están en los valores aceptables según las regulaciones de la Senatel, ya que los mismos se encuentran con valores menores a 1W de potencia.
- En el diseño del sistema eléctrico se tiene algunos puntos en los cuales el diseñador debe analizar y llegar a un equilibrio, estos puntos son espacio físico y costo. Con respecto al espacio se puede tener mayor cantidad de paneles fotovoltaicos y menos baterías o se puede tener menos paneles fotovoltaicos pero aumentando el voltaje nominal del sistema, esto implica mayor cantidad de baterías; revisando el análisis de costos se tiene que al aumentar el voltaje nominal baja un 5% el costo total del proyecto así que se toma el diseño con un voltaje nominal de 24V.
- En este proyecto no se realiza un análisis económico más específico como son los valores del VAN y el TIR, ya que aquí no existe valores de retorno, por cuanto las comunidades beneficiadas no obtienen una ganancia del proyecto ya que su beneficio es netamente social.

- En el sistema de telecomunicaciones se está presentando un sistema híbrido, el cual consta de enlaces satelitales y enlaces inalámbricos, en los enlaces inalámbricos se diseña con los equipos marca “Canopy de Motorola”, luego del análisis y comparación tecnológica y en virtud que este equipo tiene algunas ventajas para este tipo de aplicaciones, que lo hace robusto en la red de telecomunicaciones; estas características: confiabilidad en el manejo de la señal, la baja pérdida de señal cuando se tiene obstruida la zona de fresnel y el soporte técnico, permitieron seleccionar este producto.
- En el análisis de selección de tecnologías para este proyecto, se consideró para el acceso: Internet por medio de enlaces satelitales (como es el proyecto eurosolar) y un sistema inalámbrico; pero al efectuar el análisis de los costos de implementación, los dos sistemas son semejantes, con una pequeña variación del 5% como costo referencial, sin embargo, al realizar el análisis de operación y mantenimiento, en los enlaces satelitales a mediano plazo se incrementa el costo considerablemente, debido al costo por arrendamiento del espacio satelital, el valor del internet es 3 veces superior al que resultaría en un enlace inalámbrico.
- Una ventaja del enlace satelital es la instalación de las antenas ya que se lo realiza a nivel de tierra, en caso de un enlace inalámbrico se debe hacer en una torre a su altura determinada.
- Una ventaja de los enlaces inalámbricos es que cuando ya se tiene enganchados los radios, el enlace es permanente; en cambio en un enlace satelital se debe cambiar las coordenadas que apuntan las antenas, ya que los satélites se desplazan ligeramente.
- Con los diseños presentados se entrega para su implementación en cada comunidad un sistema de comunicaciones que brinda los servicios de: telefonía VoIP e Internet en un centro de cómputo ubicado en la escuela de la comunidad, además se entrega un diseño del sistema fotovoltaico para la generación de energía eléctrica, la cual será utilizada en la alimentación

de los equipos del centro de computo, dotar de alumbrado a la escuela y a un centro médico que tiene un refrigerador de vacunas.

6.2 Recomendaciones

- El presente proyecto es un complemento al proyecto Eurosolar, una vez que se haya realizado la implementación de dicho proyecto, debe realizarse la implementación de este sistema de telecomunicaciones, por cuanto el proyecto Eurosolar acopla los servicios de las otras 8 comunidades que no fueron incluidas en el proyecto original.
- Con el análisis de costos realizado se obtiene un valor de referencia del costo que tendría la implementación del proyecto, estos valores referenciales sirven como base para una licitación pública.
- El proyecto se debe enfocar en tres partes para su instalación, las cuales son: el sistema eléctrico, el sistema de telecomunicaciones y por último la sala de cómputo.
- Se recomienda realizar la instalación del sistema eléctrico con celdas fotovoltaicas, de acuerdo a los diseños realizados en este documento con las cantidades determinadas ya que está dimensionado para abastecer a los equipos eléctricos y electrónicos.
- De acuerdo a los diseños realizados en el sistema de telecomunicaciones se recomienda para los enlaces inalámbricos colocar las antenas a las alturas establecidas y al radio transmisor a la potencia calculada para que puedan tener un enlace estable con línea de vista
- Con las características de los equipos de cómputo que se tiene en este proyecto, se recomienda se utilice con estas características, de manera particular en lo referente al consumo eléctrico, debido a que si se incrementan estos valores, se debe modificar las características del sistema fotovoltaico para su correcta operación.

-
- Para que el sistema de telecomunicaciones pueda seguir operando, luego del período de gratuidad que entrega el Ministerio de telecomunicaciones, vía el Fondo para el Desarrollo de las Telecomunicaciones, se recomienda aplicar el análisis de sostenibilidad realizado en el último capítulo, este análisis esta realizado de tal manera que las comunidades puedan obtener un beneficio de las aplicaciones que brinda el proyecto, así de esa manera puedan mantener funcionando el sistema con sus aplicaciones.
 - A todo sistema electrónico se debe dar un mantenimiento preventivo para que pueda tener un funcionamiento adecuado y pueda alcanzar su vida útil de trabajo sin ningún problema, es así que se recomienda un mantenimiento preventivo para cada uno de los sistemas que conforman este proyecto.
 - Para el sistema eléctrico se debe realizar un mantenimiento mensual; el cual consiste en la limpieza de las celdas fotovoltaicas y mediciones del equipo inversor para verificar que esté entregando el voltaje adecuado.
 - Para el sistema de la red de telecomunicaciones, el mantenimiento se da directamente a los equipos de cómputo, a los cuales se tiene que dar una limpieza hardware y actualización en software, así como sistemas de protección anti-virus.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- INTELSAT, *HANDBOOK EARTH STATION TECHNOLOGY*, Revision 5, June 1999.
- WWF, Fundación Natura. Texto de Consulta, “*ENERGÍAS RENOVABLES CONCEPTOS Y APLICACIONES*”, Segunda edición, Quito, Abril, 2004.
- Arribas Luis, “Electrificación rural con aerogeneradores de pequeña potencia en América Latina, *XVII Simposio Peruano de Energía Solar*, Cusco, Noviembre de 2010.
- Grupo de Telecomunicaciones Rurales, Pontificia Universidad Católica del Perú, *REDES INALÁMBRICAS PARA ZONAS RURALES*, primera edición, Publicado en Perú Enero del 2008
- Tomasi, Wayne, *Sistemas de Comunicaciones Electrónicas*, Tomo 1, 2da Edición, Practice Hall Hispanoamericana S.A. Impreso en Mexico en 1996.
- Junca, Marco Aguilar, Riaño Castellano, Paola Andrea, *Teléfono software IP Basado en SIP e implementado en PESQ*, Pontificia Universidad Javeriana, Bogota Mayo del 2005.
- Bravo, Carlos Polo, EXPERIENCIA DE INTALACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS AISLADOS EN LA ZONA ALTOANDINA DE LA REGIÓN TACNA, *XVI Simposio Peruano de Energía Solar*, Arequipa, Noviembre de 2009.
- TRICALCAR, Tecnologías Inalámbricas para el desarrollo de América Latina y el Caribe, http://www.wilac.net/index_pdf.html, Primera versión. Julio 2007, consultado en Mayo del 2009.
- López Soriano, Juan José, *Sistemas Vsat*, http://www.upv.es/satelite/trabajos/pract_4/vsat_hpg.htm, marzo del 2010.

- Sergio Peredo Álvarez, Software para Análisis del presupuesto de enlace para comunicaciones vía satélite
http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lem/peredo_a_s/capitulo3.pdf, México 2004, octubre 2009
- MOTOROLA WIRELESS BROADBAND, Especificaciones Técnicas del Motorola PTP 100 Wireless Ethernet Bridges,
www.motorola.com/wirelessbroadband, Consultado en abril 2010

FECHA DE ENTREGA

El presente proyecto de grado fue entregado al Departamento de Eléctrica y Electrónica, reposando en la Escuela Politécnica del Ejército desde:

Sangolquí, a _____ del 2011.

ELABORADO POR:

Daniel Eduardo Paredes Gaibor

AUTORIDADES:

Ing. Gonzalo F. Olmedo C.
Director de la Carrera de Ingeniería en Electrónica y
Telecomunicaciones