

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR**



**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**MAESTRÍA EN REDES DE COMUNICACIÓN**

**INFORME FINAL CASO DE ESTUDIO PARA UNIDAD DE TITULACIÓN ESPECIAL**

**TEMA:**

**“DISEÑO DE LA INFRAESTRUCTURA DE COMUNICACIÓN DE DATOS PARA LOS CENTROS Y SUB-CENTROS DE SALUD EN EL CANTÓN LATACUNGA”**

**ROSA ANGÉLICA GRANIZO LÓPEZ**

**Quito – 2015**

## Contenido

1.	INTRODUCCIÓN.....	7
2.	JUSTIFICACIÓN .....	9
3.	ANTECEDENTES .....	11
4.	OBJETIVOS.....	14
5.	DESARROLLO CASO DE ESTUDIO.....	15
5.1	DISEÑO DE LA INFRAESTRUCTURA DE COMUNICACIÓN DE DATOS PARA LOS CENTROS Y SUB-CENTROS DE SALUD EN EL CANTÓN LATACUNGA” .....	15
5.1.1	Introducción.....	15
5.1.2	Levantamiento de Información de los centros y subcentros de salud del cantón Latacunga .....	17
5.1.2.1	Requerimientos de Infraestructura de Comunicaciones.....	20
5.1.2.2	Selección de la Tecnología de Comunicaciones .....	21
5.2	MARCO REGULATORIO EN EL ECUADOR.....	27
5.2.1	ORGANISMOS DE CONTROL Y REGULACIÓN DE TELECOMUNICACIONES EN EL ECUADOR.....	27
5.2.1.1	Ministerio de Telecomunicaciones y de la Sociedad de la Información (MINTEL) 27	
5.2.1.2	Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones (ARCOTEL).....	27
5.2.2	NORMA PARA LA IMPLEMENTACIÓN Y OPERACIÓN DE SISTEMAS DE MODULACIÓN DIGITAL DE BANDA ANCHA .....	28
5.2.2.1	DISPOSICIONES GENERALES Y NORMA TÉCNICA .....	28
5.2.2.2	SISTEMAS DE EXPLOTACIÓN Y SISTEMAS PRIVADOS .....	30
5.2.2.3	CONTROL .....	31
5.2.2.4	DE LOS DERECHOS DE CONCESIÓN .....	31
5.3	CÁLCULO DE LA CAPACIDAD REQUERIDA POR LA RED DE TELEMEDICINA.....	32
5.3.1	Cálculo de la velocidad de transmisión para datos.....	32
5.3.1.1	Navegación Web.....	35
5.3.1.2	Correo electrónico.....	36
5.3.1.3	Descarga de documentos .....	37
5.3.1.4	Transferencia de archivos.....	37
5.3.1.5	<i>Streaming</i> de video.....	39
5.3.2	Cálculo de velocidad en IP para Voz ( VoIP).....	40
5.3.3	Velocidad de transmisión para videoconferencia .....	44
5.3.4	Velocidad de transmisión total requerida .....	47
5.3.5	Cálculo de enlace .....	50

5.4	RED DE ACCESO .....	58
5.4.1	Enlace de acceso Lasso – Repetidor Lasso .....	59
5.4.2	Enlace de acceso Mulaló – Repetidor Lasso .....	59
5.4.3	Enlace de acceso Toacaso – Repetidor Toacaso .....	60
5.4.4	Enlace de acceso RepToacaso – Repetidor12 .....	60
5.4.5	Enlace de acceso José Guango Bajo – Repetidor12 .....	61
5.4.6	Enlace de acceso José Guango Alto – Repetidor12 .....	62
5.4.7	Enlace de acceso Aláquez – Repetidora 12 .....	62
5.4.8	Enlace de acceso Patután – Repetidora Patután .....	63
5.4.9	Enlace de acceso Poaló – Repetidora Patuán .....	64
5.4.10	Enlace de acceso 11 de Noviembre – Repetidora Patután .....	64
5.4.11	Enlace de acceso HG – Colatoa .....	65
5.4.12	Enlace de acceso HG – Rep-SanBuena .....	66
5.4.13	Enlace de acceso San Buenaventura – RepSanbuena .....	66
5.4.14	Enlace de acceso HG – CS_Latacunga .....	67
5.4.15	Enlace de acceso Belisario Quevedo – Rep14 .....	68
5.4.16	Enlace de acceso Palopo – Rep13 .....	68
5.4.17	Enlace de acceso HG– Rep13 .....	69
5.4.18	Enlace de acceso Loma Grande – Rep14 .....	70
5.5	RED TRONCAL .....	70
5.5.1	Enlace troncal HG – Rep_Patután .....	71
5.5.2	Enlace troncal HG – Rep_ 12 .....	71
5.5.3	Enlace troncal Rep_ 12 y Rep_Patután .....	72
5.6	PRESUPUESTO REFERENCIAL .....	73
5.6.1	Equipos de la red troncal y acceso .....	73
5.6.1.1	Presupuesto Torre .....	73
5.6.1.2	Presupuesto de Enlaces de la red de acceso y troncal .....	74
6.	CONCLUSIONES .....	77
7.	RECOMENDACIONES .....	78
	BIBLIOGRAFÍA: .....	79

## Tablas

Tabla 5. 1 .Planificación del Distrito Administrativo de la Zona 3 .....	15
--	----

Tabla 5. 2 .Tipos de Centros de Salud de acuerdo a la capacidad de respuesta.....	16
Tabla 5. 3 .Funcionamiento de los Centros y Subcentros de Salud del Cantón Latacunga.....	17
Tabla 5. 4. Distribución de usuarios por centro y pacientes atendidos por año. ....	19
Tabla 5. 5. Análisis comparativo entre redes cableadas e inalámbricas.....	23
Tabla 5. 6. Comparación entre tecnologías Inalámbricas .....	25
Tabla 5. 7. Comparación del Estándar IEEE 802.11 a/b/g/n.....	26
Tabla 5. 8. Bandas de Frecuencia .....	28
Tabla 5. 9. Características Técnicas de los Sistemas De Modulación Digital de Banda Ancha ...	29
Tabla 5. 10. Coeficiente de valoración del espectro $\alpha_6$ para sistemas que operen en bandas de Modulación Digital de Banda Ancha .....	31
Tabla 5. 11. Valor de la constante B para los sistemas que operen en bandas de Modulación Digital de Banda Ancha .....	31
Tabla 5. 12. Requerimiento mínimo de velocidad para servicios de Telemedicina.....	33
Tabla 5. 13. Distribución del tiempo del uso de Internet.....	35
Tabla 5. 14. Resolución y bit rate de YouTube .....	39
Tabla 5. 15. Velocidad requerido por un usuario en una hora pico.....	40
Tabla 5. 16. Cantidad de extensiones Telefónica IP en los Centros de Salud y Hospital General de Latacunga .....	41
Tabla 5. 17. Datos para cálculo de velocidad de transmisión de video .....	45
Tabla 5. 18. Grado de simultaneidad por tiempo de trabajo de personal médico y admirativo	47
Tabla 5. 19. Posicionamiento de los diferentes Centros y subcentros de salud de la Provincia de Cotopaxi .....	50
Tabla 5. 20. Datos de Posicionamiento del enlace Hospital General y Repetidora 14 .....	51
Tabla 5. 21. Comparación entre el cálculo teórico y el modelo de cálculo con Radio Mobile ..	56
Tabla 5. 22. Resumen de las redes de acceso con sus respectivas distancias .....	58
Tabla 5. 23. Resumen de la red troncal con sus respectivas distancias.....	70
Tabla 5. 24. Costo de torres galvanizadas para redes inalámbricas .....	73
Tabla 5. 25. Comparación de los equipos punto a punto .....	74

Tabla 5. 26. Comparación de los equipos punto multipunto.....	75
Tabla 5. 27. Comparación de las antenas punto a punto.....	75
Tabla 5. 28. Comparación de las antenas punto a multipunto .....	76
Tabla 5. 29. Presupuesto referencial de enlaces.....	76

## Figuras

Figura 5. 1. Modelo Integral de Salud .....	16
Figura 5. 2. Servicios Actuales de los diferentes Centros y Subcentros de Salud del Cantón Latacunga. ....	18
Figura 5. 3. Cantidad de usuarios por centro. ....	19
Figura 5. 4. Cantidad de pacientes atendidos por año.....	20
Figura 5. 5. Razones de uso de internet por área. ....	34
Figura 5. 6. Tráfico Erlang B.....	44
Figura 5. 7. Encapsulado de video sobre una red Ethernet .....	45
Figura 5. 8. Trama de video sobre una red Ethernet .....	45
Figura 5. 9. Perfil Topográfico del Terreno.....	51
Figura 5. 10. Despeje de la primera zona de Fresnel. ....	52
Figura 5. 11. Enlaces establecidos en Radio Mobile .....	57
Figura 5. 12. Perfil y resultados del radioenlace Lasso – Repetidor Lasso.....	59
Figura 5. 13. Perfil y resultados del enlace Mulaló .....	60
Figura 5. 14. Perfil y resultados del enlace Toacaso – Repetidor Toacaso.....	60
Figura 5. 15. Perfil y resultados del enlace Repetidor Toacaso – Repetidor 12.....	61
Figura 5. 16. Perfil y resultados del enlace José Guango Bajo – Repetidor 12.....	61
Figura 5. 17. Perfil y resultados del enlace José Guango Alto – Repetidor 12 .....	62
Figura 5. 18. Perfil y resultados del enlace Aláquez – Repetidor 12 .....	63
Figura 5. 19. Perfil y resultados del enlace Patután – Repetidor Patután .....	63
Figura 5. 20. Perfil y resultados del enlace Poaló – Repetidor Patután .....	64
Figura 5. 21. Perfil y resultados del enlace 11 de Noviembre–Repetidor Patután .....	65
Figura 5. 22. Perfil y resultados del enlace Hospital General – Colatoa.....	65
Figura 5. 23. Perfil y resultados del enlace Hospital General–Repetidor San Buenaventura ....	66
Figura 5. 24. Perfil y resultados del enlace San Buenaventura–Repetidor San Buenaventura..	67
Figura 5. 25. Perfil y resultados del enlace Hospital General–Centro de Salud Latacunga.....	67
Figura 5. 26. Perfil y resultados del enlace Belisario Quevedo – Repetidor 14.....	68

Figura 5. 27. Perfil y resultados del enlace Palopo – Repetidor 13.....	69
Figura 5. 28. Perfil y resultados del enlace Hospital General – Repetidor 13.....	69
Figura 5. 29. Perfil y resultados del enlace Loma Grande – Repetidor 14 .....	70
Figura 5. 30. Perfil y resultados del enlace troncal entre el Hospital General–Repetidor Patután .....	71
Figura 5. 31. Perfil y resultados del enlace troncal entre el Hospital General–Repetidor 12... ..	72
Figura 5. 32. Perfil y resultados del enlace troncal entre el Repetidor 12 y el Repetidor Patután .....	72

## 1. INTRODUCCIÓN

Actualmente en el Ecuador existe un programa enmarcado en el plan Nacional del Buen Vivir cuya meta fundamental es fortalecer la atención primaria, sin costo, a toda la población ecuatoriana, mediante consultas clínicas y de especialidad a distancia [1].

Una de las tecnologías innovadoras en dar solución a esta problemática es la telemedicina, que se define como “La transmisión de servicios de salud, donde la distancia es un factor crítico, por todos los profesionales sanitarios, utilizando tecnologías de la información y de las comunicaciones con el objetivo de ofrecer información para diagnóstico, tratamiento, prevención de enfermedades, lesiones; investigación, evaluación, y educación continua de los sanitarios, todos a favor del avance de la salud de los individuos y sus comunidades [2].

El sistema de salud de la Provincia de Cotopaxi, a fin de garantizar el derecho a la salud conforme a los principios de equidad, solidaridad, etc., ha implementado planes para reducir las tasa de morbilidad y mortalidad e incrementar las atenciones de prevención; sin embargo la oferta de estos servicios es limitada, siendo una de las causas la falta de talento humano especializado en los Hospitales Básicos y de Segundo Nivel, además la difícil accesibilidad en el plano geográfico [3]

El presente trabajo propone diseñar una infraestructura de comunicaciones que permita proveer de conectividad a redes de voz, datos y video de los centros y sub-centros de salud ubicados en la provincia de Cotopaxi, cantón Latacunga, para facilitar el tele-diagnóstico y la comunicación directa entre médicos y especialistas, evitando costos de tiempo y desplazamientos de profesionales.

Para lograr este objetivo, se realizará un levantamiento de información de los recursos con que cuentan los centros y sub-centros de salud del cantón Latacunga, sus requerimientos de comunicaciones, y se seleccionará la tecnología de comunicación a utilizar, con el propósito de garantizar el acceso integral y solucionar las necesidades en el servicio de atención pública.

## 2. JUSTIFICACIÓN

En América Latina y el Caribe existen grandes desequilibrios con respecto a la distribución de ingresos lo que conlleva a dificultades para satisfacer las necesidades de salud de la población.

[4]

La telemedicina se muestra como un sistema de apoyo para las actividades médicas mediante la implementación de servicios especializados a distancia con calidad y eficiencia, facilitando el acceso a la información, optimizando servicios y ahorrando tiempo y dinero en zonas cuya ubicación geográfica es de difícil acceso [5]

El derecho a la información en salud permite prever riesgos de salud conocidos por telemedicina preventiva, pero aún existen barreras de infraestructura que sugieren costos de inicio altos, que deben ser tomados en cuenta. [6]&[7]

En el Ecuador se han realizado una serie de esfuerzos en el área de Tele salud que llegan a varias zonas en el Oriente, sin embargo quedan muchos lugares por atender en zonas urbanas marginales, en donde los centros de salud se encuentran abarrotados de personas que se podría beneficiar del servicio de la telemedicina. [8]

La importancia de este proyecto radica en la utilización de la tecnología en el desarrollo de una infraestructura de comunicaciones de voz, datos y video que serviría para:

- Llevar a cabo interconsultas entre médicos especialistas y los médicos de los centros de salud ofreciéndose así un servicio más completo y fiable a los pacientes.
- Control de referencia de pacientes a fin de evitar el traslado innecesario de los mismos, facilitar la efectividad de la atención especializada y mejorar el proceso de seguimiento de los pacientes.
- Envío de información de control de los centros de salud hacia los entes pertinentes para así evitar la ausencia innecesaria de los médicos.

- Contar con una herramienta útil en la formación continua del personal de salud.

Todo esto va a permitir mejorar la calidad del servicio de salud ofrecido a la población y además posibilitará disminuir la sensación de aislamientos que experimentan las personas que laboran en los centros que se encuentran ubicados en zonas rurales o de difícil acceso.

### 3. ANTECEDENTES

El primer uso de telemedicina fue en la década de 1950 en Montreal (Canadá) por el Dr. Albert Jutras, quien realizó la primera tele radiología cuyos resultados se enviaban por medio de la línea telefónica; más adelante, en 1967, se estableció la primera estación tele médica entre el Hospital General de Massachusetts y el aeropuerto Logan de Boston, a través de la cual se brindaba atención a los pasajeros y personal del aeropuerto por medio de un sistema de microondas, a principios de 2000, un médico en Nueva York llevó a cabo un procedimiento quirúrgico en la vejiga de un paciente con problemas en Estrasburgo con la ayuda de un brazo robotizado [9].

Proyectos de telemedicina se han desarrollado alrededor de todo el mundo con el fin de interconectar centros de salud aislados con hospitales de referencia o de especialidades. En América Latina se han desplegado distintas redes de telemedicina, donde se han utilizado tecnologías de comunicaciones diferentes, tal como se describen en los siguientes párrafos.

México tiene algunos datos, en 1978 la Coordinación General del Plan Nacional de Zonas Deprimidas y Grupos Marginados (coplamar) daba apoyo médico a consultorios rurales por radio - enlaces. En 1986 se inició el sistema de Tele-enseñanza médica en el Hospital Infantil de México, uno de los mayores alcances se presentó en 1995 mediante una prueba piloto al enlazar el Centro Médico Nacional 20 de Noviembre de la Ciudad de México con el Hospital Gutiérrez mediante enlaces satélites que permitió realizar videoconferencias y enviar datos e imágenes de rayos X. [10]

En Colombia se han realizado actividades de telemedicina desde 1998 por parte de la Universidad Nacional de Colombia, en el 2001 se estableció la primera red de telemedicina Bogotá – San Andrés y Providencia, hoy en día el centro de investigación de la universidad asociado con el Ministerio de Protección Social y Bioingenium quienes han realizado más de

22.000 tele interconsultas en todo el país en más de 50 hospitales.[6]

Brasil ha iniciado proyectos pilotos de telecirugía entre enero y junio del 2008, La Universidad Pontificia Católica de Río Grande en el 2009 dio la oportunidad a los estudiantes de cirugía de presenciar procedimientos quirúrgicos en tiempo real así como clases virtuales de alta calidad (Russomano Et Al., 2009). La Red Universitaria de Telemedicina (RUTE), en el 2013 conectó un total de 80 hospitales universitarios a lo largo de todos los estados, también poseen un Programa Nacional de Atención Primaria de Salud Tele salud, que integra 11 estados y 1100 municipalidades [11]

En Buenos Aires- Argentina, se ha iniciado un programa piloto para el desarrollo de una red de telemedicina para ofrecer servicios de diagnóstico a hospitales remotos, un ejemplo de ello Neuquén una región del norte de la Patagonia conecta su centros de salud con el hospital de referencia [6]

Venezuela, al igual que otros países de América Latina, participa en programas Telemedicina, en colaboración con el Gobierno francés, en el campo de aplicaciones telemáticas para la salud; un ejemplo de ello es el análisis de una red inalámbrica de telemedicina que comunica los centros de atención primaria ubicados en los Municipios Baruta y El Hatillo del Estado Miranda con un centro de salud especializado[12]

En el caso de Ecuador se dieron los primeros pasos con respecto a la Telemedicina y Telesalud en el año 2001, es importante destacar que las iniciativas realizadas por parte de las universidades nacionales han sido apoyadas por entidades internacionales o privadas. Estos proyectos pilotos han estado principalmente enfocados a cubrir necesidades de las regiones rurales y marginales del Ecuador. Algunas de estas iniciativas son: [13]

- Telemedicina para Cirugías Móviles.- Proyecto Fundación Cinterandes. Universidad del Azuay. Cuenca. A cargo del Doctor Edgar Rodas

- Proyecto Piloto de Telemedicina para la Península de Santa Elena-Proyecto que fue desarrollado por la Escuela Superior Politécnica del Litoral ( ESPOL) en la Provincia de Santa Elena
- Uso de la Telemedicina en Atención Médica, Redes Virtuales de Bibliotecas en Salud.- Conjunto de proyectos desarrollados por la Facultad de Ciencias Médicas de la Universidad de Cuenca UC).
- Tele salud Rural TUTUPALY.- Proyecto en desarrollo por la Universidad Técnica Particular de Loja (UTPL), que atiende la provincia de Zamora Chinchipe en la región oriental ecuatoriana, Experiencia de Centro de Tele trauma de la FAE y apoyos en conectividad satelital y otras para proyectos nacionales.
- Es necesario mencionar los proyectos entre varias instituciones nacionales y apoyo internacional que incluyen a FUNDAMYF como líder local, TELESALUD VENEZUELA como asesor, con financiamiento de la CAF, apoyo académico del Instituto de Telemedicina y E-salud de la Universidad San Francisco de Quito (USFQ) y que cubre la provincia de Chimborazo, entre otras.

Con fines estructurales y administrativos, el Ministerio de Salud del Ecuador realizó la sectorización por Áreas de Salud en cada Provincia, tal es así que Cotopaxi cuenta con 6 áreas y cada una de ellas con sus respectivos centros y subcentros de salud en su mayoría se encuentran ubicados en esta zona de difícil acceso; esto conlleva a una serie de dificultades al momento de prevenir enfermedades, realizar diagnósticos y aplicar tratamientos adecuados en las emergencias médicas.

El presente trabajo, diseña una infraestructura de comunicaciones que permita proveer de conectividad a redes de voz, datos y video a los centros y subcentros de salud del cantón Latacunga para mejorar el servicio de los mismos.

## 4. OBJETIVOS

### ***Objetivo General:***

Diseñar la infraestructura de comunicaciones de una red multiservicios de telemedicina para los centros y sub-centros de salud de la Provincia de Cotopaxi, Cantón Latacunga.

### ***Objetivos Específicos:***

1. Efectuar el levantamiento de información referente a la infraestructura de comunicaciones de los centros y subcentros de salud ubicados en la zona; e identificar sus necesidades de comunicación.
2. Seleccionar la tecnología de red a ser aplicada en el diseño de infraestructura de comunicaciones.
3. Diseñar la red multiservicio, que conecte los diferentes centros y subcentros del Cantón Latacunga.
4. Realizar un artículo referente al diseño de la Infraestructura de red.

## 5. DESARROLLO CASO DE ESTUDIO

### 5.1 DISEÑO DE LA INFRAESTRUCTURA DE COMUNICACIÓN DE DATOS PARA LOS CENTROS Y SUB-CENTROS DE SALUD EN EL CANTÓN LATACUNGA”

#### 5.1.1 Introducción

Enfocados en el Plan Nacional del Buen Vivir, el gobierno nacional realizó la descentralización y la desconcentración del estado, para llevar servicios eficientes a la ciudadanía por lo tanto SENPLADES estableció niveles de planificación, los mismos que están conformados por provincias vecinas divididas a nivel nacional en 9 zonas, es así que la Zona 3 corresponde a las Provincias de: Cotopaxi, Tungurahua, Chimborazo y Pastaza, cada zona está constituida por distritos que es una unidad básica de planificación y prestación de servicios públicos, éstos coinciden con un cantón o unión de cantones, dentro de ellos se encuentran los circuitos que es una unidad más pequeña donde se prestan servicios públicos correspondiente a una parroquia o un conjunto de parroquias [14]. En este sentido, a continuación se presenta la planificación del distrito administrativo de la zona 3.

Zonas Administración de Planificación	Provincia	Código Distrital	Descripción del Distrito
Zona 3	Cotopaxi	05D01	Latacunga
		05D02	La Maná
		05D03	Pangua
		05D04	Pujilí – Saquisilí
		05D05	Sigchos
		05D06	Salcedo

Tabla 5. 1 .Planificación del Distrito Administrativo de la Zona 3 [14].

Dentro de este mismo marco, la salud es un eje fundamental para el desarrollo y bienestar de las personas, es así que Ministerio de Salud Pública (MSP) diseñó e implementó el Modelo de Atención Integral de Salud (MAIS) que se orienta a garantizar el derecho a la salud para toda la población basado en la estrategia de Atención Primaria de Salud (APS) renovada en tres niveles

de atención: Primer nivel: Centros, subcentros y puestos de salud. Segundo nivel: Hospitales básicos y generales Tercer nivel: Hospitales de Referencia Nacional [15]

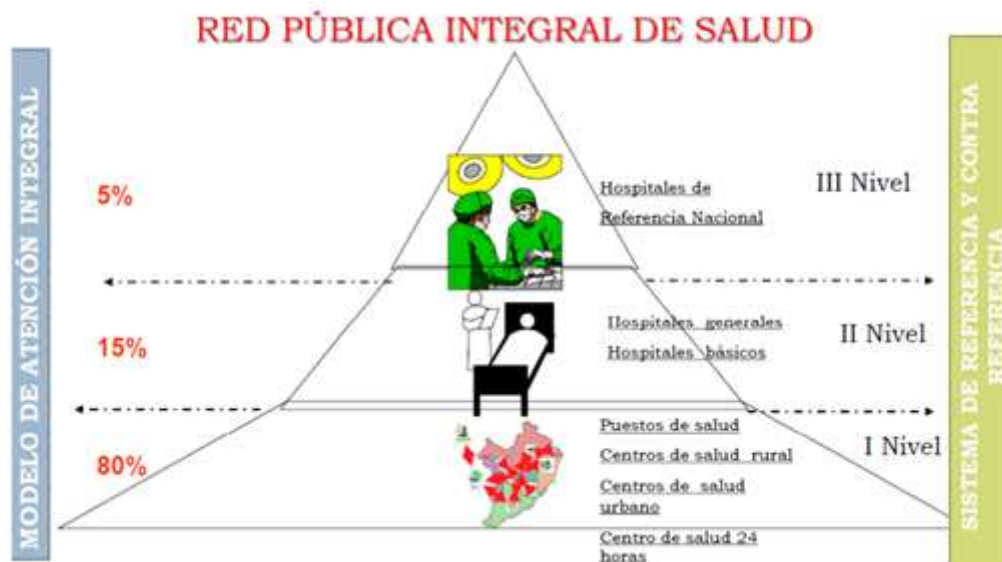


Figura 5. 1. Modelo Integral de Salud [16]

Los criterios para definir la planificación territorial de salud se basan en características geográficas y demográficas, perfil epidemiológico, análisis de oferta y demanda; es así que se precisaron centros de salud tipo de acuerdo a la complejidad y capacidad de respuesta, entre ellos tenemos: [16]

Centro de Salud	Tipo A	Tipo B	Tipo C
<b>Atención</b>	2001 a 10000 habitantes	10001 a 25000 habitantes	25000 a 50000 habitantes
<b>Cartera de Servicios</b>	Atención Integral de medicina familiar Promoción de salud y prevención de enfermedades Laboratorio toma de muestras Botiquín	Atención Integral de medicina familiar, Promoción de salud y prevención de enfermedades Salud oral , Salud mental, Pediatría, Ginecología Odontología Farmacia Laboratorio	Atención Integral de medicina familiar, Promoción de salud y prevención de enfermedades, Salud oral, Salud mental, Pediatría, Ginecología, Imagen rayos x y ecografía, Odontología, Rehabilitación, Atención de Partos, Urgencias, Farmacia, Laboratorio
<b>Equipo</b>	Médica/o, Enfermera/u Ontóloga/o Asistentes Administrativos	Médica/o, Enfermera/o, Odontóloga/o, Ginecóloga/o, Psicóloga/o, Asistentes Administrativos	Médica/o, Enfermera/o, Odontóloga/o, Ginecóloga/o, Psicóloga/o, Otros profesionales de salud, Asistentes Administrativos

Tabla 5. 2 .Tipos de Centros de Salud de acuerdo a la capacidad de respuesta [16]

## 5.1.2 Levantamiento de Información de los centros y subcentros de salud del cantón Latacunga

En el levantamiento de información se conoció las características topográficas de cada centro y subcentro de salud del cantón Latacunga, el entorno que lo rodea, su estado actual también permitió recolectar información sobre la infraestructura tecnológica y de comunicaciones con que cuenta cada centro de salud.

El cantón Latacunga cuenta con un Hospital General, distintos centros y sub centros de salud que se encargan del diagnóstico y tratamiento de enfermedades que aquejan a la población, a continuación en la tabla 5.3 se detalla el funcionamiento y el tipo de los mismos.

TIPO	NIVEL	NOMBRE	FUNCIONAMIENTO	TIPO
HOSPITAL GENERAL	II	H.G. LATACUNGA	SI	HG
CENTRO DE SALUD	I	C.S. LATACUNGA	SI	B
CENTRO DE SALUD RURAL	I	PICHUL	NO	N/A
SUB CENTRO DE SALUD	I	COLATOA	SI	A
CENTRO DE SALUD	I	PATUTÁN	SI	B
SUB CENTRO DE SALUD	I	PALOPO	SI	A
CENTRO DE SALUD	I	SAN BUENAVENTURA	SI	B
SUB CENTRO DE SALUD	I	BELISARIO QUEVEDO	SI	A
SUBCENTRO DE SALUD	I	ALAUQUEZ	SI	A
CENTRO DE SALUD	I	LASO	SI	C
SUBCENTRO DE SALUD	I	JOSÉ GUANGO ALTO	SI	A
SUBCENTRO DE SALUD	I	MULALÓ	SI	A
SUBCENTRO DE SALUD	I	JOSÉ GUANGO BAJO	SI	A
SUBCENTRO DE SALUD	I	SAN JUAN DE PASTOCALLE	NO	N/A
SUBCENTRO DE SALUD	I	TOACASO	SI	A
CENTRO DE SALUD	I	TANICUCHI	NO	N/A
CENTRO DE SALUD	I	POALO	SI	A
SUBCENTRO DE SALUD	I	GUAYTACAMA	NO	N/A
SUBCENTRO DE SALUD	I	11 DE NOVIEMBRE	SI	A
CENTRO DE SALUD	I	LOMA GRANDE	SI	A

Tabla 5.3 .Funcionamiento de los Centros y Subcentros de Salud del Cantón Latacunga.

Elaborado por: Rosa Granizo L.

Como se puede observar en la Tabla 5.3 los subcentros de San Juan de Pastocalle, Guaytacama Tanicuchi no se encuentran en funcionamiento, los moradores de estas parroquias se trasladan a Lasso; en el caso del subcentro de Pichul, también se encuentra cerrado, los habitantes deben ir a Loma Grande.

En el cantón Latacunga existe un Hospital General de Segundo Nivel y como Unidades de Atención Médica de Primer Nivel se tiene a 15 centros y sub centros de Salud; de acuerdo a su capacidad de respuesta son considerados de tipo C el Centro de salud de Lasso, los centros de salud Patután, San Buenaventura y Latacunga de tipo B, el resto son considerados como tipo A.

La infraestructura tecnológica de los centros de salud son similares en cuanto a la topología implementada y el equipamiento utilizado, el servicio de internet es proporcionado a través de un modem ADSL, el control de acceso es por medio de un Firewall que se encuentra en un servidor Linux, la conexión cableada utiliza el estándar IEEE 802.3 con par trenzado UTP 100baseT, las conexiones inalámbricas cumplen con el estándar IEEE 802.11 y se diferencia de entre ellos por la ubicación geográfica y la cantidad de pacientes.

Los servicios que poseen en general son los siguientes: telefonía fija e Internet en todos los centros y subcentros de salud; donde la empresa encargada de brindar estos servicios es la Corporación Nacional de Telecomunicaciones (CNT), con una velocidad de 2Mbps con una compartición de 2 a 1 para el área de salud independientemente de la ubicación geográfica; con relación a la información de los pacientes, el 100% poseen historias clínicas, sin embargo el registro de la misma se lo realiza a mano siempre y cuando el paciente tenga su cédula; sobre los equipos médicos que podrían generar data transmisible mediante la infraestructura de comunicaciones, solo el 31% de los centros asistenciales poseen electrocardiógrafos y ecosonógrafos, y el 25% equipo para rayos X.

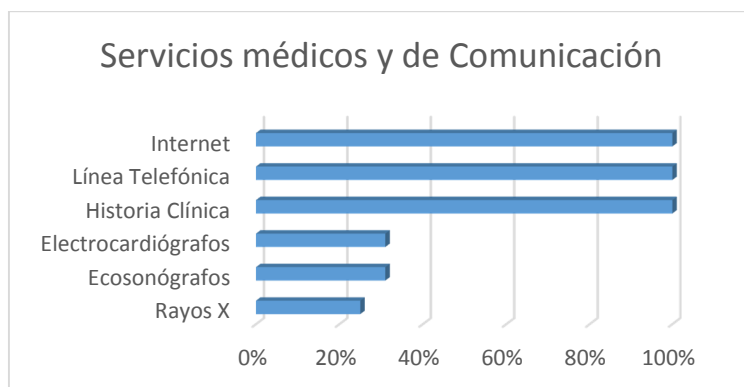


Figura 5. 2. Servicios Actuales de los diferentes Centros y Subcentros de Salud del Cantón Latacunga.

Con respecto al personal médico y administrativo que labora en los centros y subcentros de salud tenemos: para un tipo A 7 usuarios, en un tipo B 23 usuarios, un tipo C 30 usuarios, y en el Hospital General de Latacunga 99 usuarios dando un total de 275 usuarios, además de atender a 329208 pacientes por año según [17], siendo éstos los beneficiarios directos del presente proyecto, para el sistema de salud pública del cantón Latacunga, como se muestra en la tabla 5.4.

NOMBRE	TIPO	CANTIDAD DE USUARIOS POR CENTRO	CANTIDAD DE PACIENTES ATENDIDOS POR AÑO
H.G. LATACUNGA	HG	99	32550
C.S. LATACUNGA	B	23	94613
COLATOA	A	7	12130
PATUTÁN	B	23	18076
PALOPO	A	7	13635
SAN BUENAVENTURA	B	23	10077
BELISARIO QUEVEDO	A	7	9425
ALAUQUEZ	A	7	10532
LASSO	C	30	39425
JOSE GUANGO ALTO	A	7	8849
MULALO	A	7	13694
JOSE GUANGO BAJO	A	7	9461
TOACASO	A	7	8269
POALO	A	7	16575
11 DE NOVIEMBRE	A	7	5080
LOMA GRANDE	A	7	26817
<b>Total</b>		<b>275</b>	<b>329208</b>

Tabla 5. 4. Distribución de usuarios por centro y pacientes atendidos por año.  
Elaborado por Rosa Granizo

Para tener una mejor visualización se presenta las gráficas estadísticas correspondientes a la cantidad de usuarios por centro y la cantidad de pacientes por año.

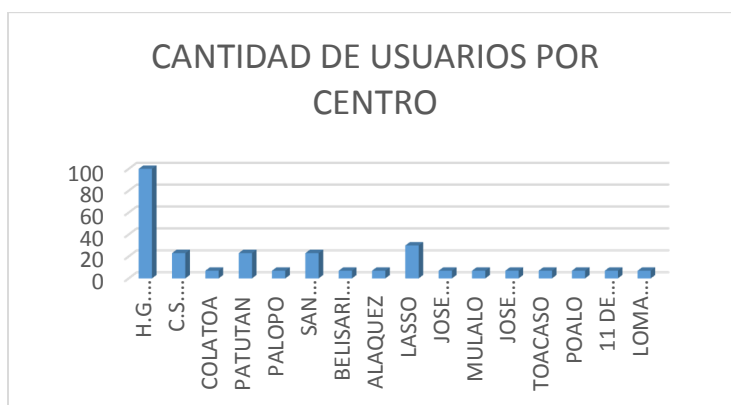


Figura 5. 3. Cantidad de usuarios por centro. Elaborado por Rosa Granizo



Figura 5. 4. Cantidad de pacientes atendidos por año. Elaborado por Rosa Granizo

En relación a las características del entorno, se observó que en el cantón Latacunga, el subcentro de salud de José Guango Alto está formado principalmente por un territorio montañoso, el 60% de los centros de salud presentan una sola vía de acceso, estando la mayoría ubicados en zonas rurales.

#### 5.1.2.1 Requerimientos de Infraestructura de Comunicaciones

Al llevar cabo un análisis de los datos obtenidos en la etapa de levantamiento de información se estableció una serie de requerimientos que deberá cumplir la infraestructura de comunicaciones de los centros y subcentros de salud del cantón Latacunga, los cuales son:

- Proveer de conectividad a los 16 centros y subcentros de salud mediante el uso de herramientas telemáticas de manera universal de bajo costo, robusta y sencilla de usar para consultas clínicas y de especialidad a distancia, de carácter emergente, o consultas diagnósticas.
- Permitir el envío de tráfico de datos, audio y video, para promover programas de gestión, prevención, capacitación, consulta bibliográfica y garantizar los principios de universalidad, equidad, calidad y eficiencia.
- Los servicios de Telemedicina que se van a incluir en la propuesta, están detallados en el Programa Nacional de Telemedicina – Tele salud- Ecuador, que son las

recomendaciones estandarizadas por parte del Ministerio de Salud Pública como son:  
Sistema Web - Historiales Clínicos Digitales, Servicio de Imagenología, Videoconferencia

### 5.1.2.2 Selección de la Tecnología de Comunicaciones

En telemedicina la información que se transmitirá debe ser rápida y segura, por esta razón la tecnología a ser seleccionada debe poseer alta velocidad de transmisión y una capacidad considerable [18]. Actualmente en el mercado de las telecomunicaciones tenemos distintos tipos de tecnologías tanto cableadas como inalámbricas.

Para el sistema de comunicación entre los centros y subcentros de salud del cantón Latacunga, si bien las tecnologías cableadas proporcionan una mayor confiabilidad, menor pérdida de la señal y mayor calidad de servicio, sin embargo su tiempo de instalación es lento y resultan más costosas; su movilidad es limitada al depender de conexiones a switches aunque maneja velocidades de 10/100/1000 Mbps en redes de área local; además de ello hay que agregar que en las zonas rurales el ofrecimiento de las empresas portadoras de servicio de Internet es limitado con una velocidad baja o simplemente en algunos casos no cuentan con el servicio de Internet [19], por el ejemplo en nuestro país uno de los mejores servicios de tecnología cableada cuya cobertura abarca gran parte de las zonas urbanas y rurales, es brindada por la empresa pública CNT (Corporación Nacional de Telecomunicaciones) mediante el uso de ADSL, cuyas velocidades máximas alcanzan hasta los 15Mbps [20], sin embargo en la ciudad de Latacunga existe subcentros que no poseen ni servicio de telefonía fija debido a factibilidad técnica, por lo cual se desecha esta posibilidad para el presente diseño. Por otra parte, las tecnologías inalámbricas se muestran como la solución más apropiada para dar acceso a la salud a poblaciones apartadas, debido a sus características de universalidad, menor costo, movilidad al tener libertad en reubicación de sus nodos o terminales, menor tiempo de instalación y con la necesidad de mantener el servicio en cualquier lugar, en cualquier momento y la evolución con respecto al acceso seguro de los usuarios a la red. Hoy en día existe la inclinación a usar

tecnologías inalámbricas, la cual ha sido creada para almacenar, transmitir y recibir datos a través de redes a muy altas velocidades. Ahora los usuarios pueden almacenar información detallada a un muy bajo costo. En el futuro, la velocidad de las redes aumentará, el costo de las redes seguirá disminuyendo y el uso de una red será esencial para todas las organizaciones [21]. En la siguiente tabla se realiza una comparación entre las tecnologías inalámbricas y las cableadas.

N°	Característica	Redes cableadas	Redes Inalámbricas
1	Instalación	Difícil a moderado (porque más no. De componentes se utilizan durante la instalación y requieren cables para conectar a todas y todos los equipos.	De fácil instalación (limpio y ordenado, sin cables )
2	Visibilidad	Un nodo a otro en una misma red. Todos los nodos de una red cableada pueden escuchar a todos los demás nodos.	Muchos nodos en una red inalámbrica no puede escuchar a todos los otros nodos inalámbricos en la misma red.
3	Visibilidad de red para otra red	Las redes son invisibles a otras redes cableadas. La presencia de una red cableada no tiene ningún efecto sobre el rendimiento de otra red por cable.	Las redes inalámbricas son a menudo visibles a otras redes inalámbricas. Una red inalámbrica puede afectar el rendimiento de otras redes inalámbricas.
4	Tiempo de instalación	Mayor (debido a la conexión de cada equipo en la red)	Menor (sin uniones de cables desordenados involucra en esto)
5	Costo	Con Ethernet, cables, interruptores no son caros, pero con otros como Fibra óptica podrían incrementarse los costos drásticamente.	Adaptadores inalámbricos y puntos de acceso abarcan mayores distancias y pueden reducir los costos.
6	Conectividad usuario	Conectividad posible sólo hacia o desde los lugares físicos donde el cableado de la red existe.	La conectividad es posible más allá de los límites de la red de cableado físico.
7	Movilidad	Limitada (porque funciona sólo en computadoras conectadas y vinculadas con la red)	Sobresaliente (habilitar usuario inalámbrico para conectarse a la red y comunicarse con otros usuarios en cualquier momento y en cualquier lugar)
8	Confiabilidad	Alta	Razonablemente alta
9	Velocidad	De 10/100/1000 Mbps	De 54 Mbps hasta 600Mbps (depende de los estándares 802.11)
10	Medio de trasmisión	Ethernet, cobre y fibras ópticas	Funciona en las ondas de radio y microondas
11	Switches	Necesita switches para conexiones	No hay necesidad de switches
12	Seguridad	Mediante el uso de algún tipo de software de protección.	Debido a que las señales de comunicaciones inalámbricas viajan por el aire, pueden ser interceptadas pero se puede mejorar mediante técnicas de encriptación.
13	Tipos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Red de área local (LAN).</li> <li>• Red de Área Metropolitana (MAN).</li> <li>• Red de Área Amplia (WAN).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Red inalámbrica de área local Red (WLAN)</li> <li>• Red de área metropolitana inalámbrica (WMAN)</li> <li>• Wireless Wide Área Network (WWAN)</li> <li>• Red inalámbrica de área personal (WPAN)</li> <li>• Red GSM TDMA</li> <li>• Redes Satelitales</li> <li>• WiFi (802.11)</li> <li>• Redes Bluetooth</li> <li>• Infrarrojo</li> </ul>
14	Estándares	802.3	802.11a, 802.11b, 802.11g, 802.11n, 802.11ac.

15	Pérdida de la señal y desvanecimiento	Menos (porque en la interferencia conexiones cableadas será menor)	Más (debido a una mayor injerencia, absorción, refracción y reflexión, etc.)
16	Interferencia	Las redes no son accesibles a otras redes cableadas. La presencia de una red cableada no tiene ningún efecto sobre el rendimiento de otra red cableada.	Existe la posibilidad de interferencia de radio debido al clima, otros dispositivos inalámbricos, e incluso obstrucciones de paredes.
17	Tiempo de configuración de la conexión	Menor tiempo	Mayor tiempo
18	Calidad de servicio	Mayor	Menor (debido a una mayor fluctuación y retrasos en la conexión)

**Tabla 5. 5. Análisis comparativo entre redes cableadas e inalámbricas [21].**

Al investigar las diversas tecnologías inalámbricas se realiza una comparación de acuerdo a sus principales características:

WiFi es una tecnología de área local que alcanza tasas de transmisión teóricas desde 54 Kbps hasta 600 Mbps dependiendo el estándar usado, en un canal de 20 MHz a 40 MHz en la banda de 2.4 GHz (banda no licenciada) y opera con modulaciones PSK, QPSK y OFDM, es una plataforma bastante escalable y de fácil instalación, emplea mecanismos de autenticación como uso de llave compartida o servidor Radius, emplea WEP (*Wired Equivalent Privacy*) los datos reciben un tratamiento criptográfico con códigos de 128 bits y solo los usuarios con contraseña pueden acceder a la red en la actualidad, utiliza un esquema más robusto llamado WPA (*WiFi Protected Access*). El costo de los equipos no es elevado comparado con otras tecnologías y permite reconfiguraciones de la red en forma sencilla [22]

WiMAX es una tecnología inalámbrica diseñada para una red de área metropolitana con tasas de transmisión de hasta 70 Mbps, en un canal de hasta 10MHz, en la banda de 2.3 a 3.5 GHz utiliza modulación OFDM puede abarcar grandes áreas geográficas de hasta 50 Km, con calidad de servicio suficientes para transmitir aplicaciones de video que son muy importante en la telemedicina, sin embargo, el hecho de transmitir en una banda licenciada, condiciona su uso a un Proveedor de Servicios de Internet así como el tráfico de información médica viaja por Internet, esto la hace más insegura y menos confiable.[19]

GPRS (*General Packet Radio Service*) es una nueva tecnología inalámbrica que comparte el rango de frecuencias de la red celular GSM (*Global System for Mobile*), utilizando una transmisión de datos por medio de paquetes. La conmutación de paquetes es un procedimiento más adecuado tanto para transmitir datos como para la transmisión de voz sería una la solución perfecta para la transmisión de información entre unidades médicas por la cobertura de una red celular abarca gran parte de la superficie, pero el hecho de transmitirse a través de Internet, implica que el envío de información no tenga ningún tipo de calidad de servicio, factor que podría afectar el diagnóstico médico.[19]

Las WiMesh, redes inalámbricas Mesh o redes inalámbricas en malla, constan de una topología punto a punto que transmiten la información a través de múltiples saltos, donde los nodos participantes se comunican a través de conexiones redundantes, los usuarios finales acceden a ésta por medio de conexiones locales en la banda de 2.4 GHz conectándose a uno de los nodos Mesh, que a su vez se conectan con otros nodos Mesh en la banda de 5 GHz [19], sería una buena opción pero es una banda licenciada por lo tanto condicionada a un portador de servicio.

Con respecto a 3G es un servicio de comunicaciones inalámbricas que permite estar conectado permanentemente a Internet a través del teléfono móvil, el ordenador de bolsillo, el Tablet PC o el ordenador portátil. La tecnología 3G teóricamente debería manejar velocidades de transmisión de datos y una capacidad superior al del estándar de 10Mbps, pero en la realidad su funcionamiento en la práctica rodea los 2Mbps [23], lo que no es muy confiable para aplicaciones de telemedicina.

4G es una tecnología basada completamente en el protocolo IP, siendo un sistema de sistemas y una red de redes, que se alcanza gracias a la convergencia entre las redes de cables e inalámbricas. Esta tecnología puede ser usada por módems inalámbricos, *smartphones* y otros dispositivos móviles. Su principal diferencia con las generaciones anteriores es la velocidad de acceso siendo de 100 Mbps en movimiento y 1 Gbps en reposo, manteniendo calidad de servicio

(QoS) de punta a punta de alta seguridad, ofrece servicios móviles de todo tipo, con el mínimo coste posible [24], una vez establecida sus características esta tecnología sería la idónea para interconexiones inalámbricas, pero en la ciudad de Latacunga Provincia de Cotopaxi no tienen una cobertura adecuada para centros de salud que se encuentran en la zona rural de la ciudad.

Tecnología	WiFi	WiMAX	GPRS	3G	4G	WiMesh
Estándares	802,11	802,16	GPRS	IMT200	GSM, GPRS, EGPRS, UMTS, HSPA	802.11s
Frecuencia	2.4 GHz, 5 GHz	2.3 GHz - 3.5 GHz	800 MHz, 1800 MHz, 1900 MHz.	1900 MHz, 2100 MHz	2 - 8 GHz	2.4 GHz 5 GHz
BW del canal	20 MHz	5, 8.75, 10 MHz	200 MHz	5 MHz	1.25 - 20 MHz	20 MHz
Tasa de transmisión	54 Mbps, 600 Mbps	100 Mbps	114 Kbps	5 - 10 Mbps	200 Mbps	54 Mbps
Throughput	36 Mbps	75 Mbps	22 Kbps	0.5 - 1.5 Mbps	2 -12 Mbps	36 Mbps
Encriptación	WPA, WEP	x.509 con DES en modo CBC	GEA	KASUMI	SNOW 3G	AES
Modulación	PSK, QPSK, OFDM	OFDM	GMSK	QPSK - 16QAM	OFDM, QPSK, 16QAM, 64QAM	PSK
Tecnología de acceso	CSMA/CA	DAMA, TDMA	FDM - FDD	WCDMA/CDMA 2000	OFDM, SC-FDMA	QDMA
Calidad de servicio	No	Si	No	Si	Si	Si
Licenciada	No	Si	Si	Si	Si	Si

**Tabla 5. 6. Comparación entre tecnologías Inalámbricas. [25] Elaborado por Rosa Granizo.**

Dentro de este marco, al realizar una comparación técnica WiFi se presenta como una solución muy flexible, escalable y que provee la capacidad necesaria para realizar el presente diseño [26], está regido por la IEEE802.11n, el cual requiere línea de vista entre las antenas, es una tecnología con un estándar ampliamente conocido y fácil de configurar, tiene costos de instalación reducidos y trabaja en la banda no licenciada de los 2.4GHz. En virtud de lo cual para el presente diseño se escoge a WiFi como la tecnología inalámbrica a utilizar.

Dado que el sector de Latacunga es montañoso, se utilizarán repetidoras para establecer las respectivas conexiones, actualmente se venden equipos WiFi con potencias de hasta medio watio que permiten hacer comunicaciones de más de 50Km con antenas parabólicas, lo que le abre camino a servicios con aplicaciones en tiempo real, tornándose en una opción atractiva para entornos rurales y para lugares donde no se cuenta con recursos económicos.[12]& [22].

En la siguiente tabla se recalca las características de la tecnología IEEE802.11.

Estándar	Velocidad (teórica)	Velocidad (práctica)	Banda de Frecuencia	Ancho de Banda	Detalles	Año
<b>802.11</b>	2 Mbps	1 Mbps				1997
<b>802.11 a</b>	54 Mbps	22 Mbps	5,4 Ghz			1999
<b>802.11b</b>	11 Mbps	6 Mbps	2,4 Ghz			1999
<b>802.11g</b>	54 Mbps	22 Mbps	2,4 Ghz	20 MHz		2003
<b>802.11n</b>	600 Mbps	100 Mbps	2,4 Ghz y 5,4 Ghz	40 MHz	Disponible en la mayoría de los dispositivos modernos. Puede configurarse para usar solo 20 MHz de ancho y así prevenir interferencias en una zona congestionada.	2009
<b>802.11ac</b>	6.93 Gbps	100 Mbps	5,4 Ghz	80 o hasta 160 MHz	Nuevo estándar sin interferencia pero con menos alcance, aunque hay tecnologías que lo amplían. Más rendimiento y otras ventajas.	2012

**Tabla 5. 7. Comparación del Estándar IEEE 802.11 a/b/g/n [27]**

Se excluyó al estándar IEEE 802.11a por no ser compatible con los otros estándares, mientras que en el estándar 802.11b la tasa de bits es demasiado baja para muchas aplicaciones, finalmente en un estudio comparativo el estándar 802.11n tiene mejor rendimiento respecto a la cobertura incluso con presencia de interferencia en comparación con el estándar 802.11g [27, 28]. El estándar 802.11n utiliza la tecnología MIMO (*Multiple-Input Multiple-Output*) que usa múltiples antenas transmisoras y receptoras para mejorar el desempeño del sistema [28] y se ha demostrado obtener prestaciones superiores al estándar 802.11a en redes de larga distancia [29].

## **5.2 MARCO REGULATORIO EN EL ECUADOR**

### **5.2.1 ORGANISMOS DE CONTROL Y REGULACIÓN DE TELECOMUNICACIONES EN EL ECUADOR**

La regulación de los servicios de telecomunicaciones en el Ecuador se lo realiza considerando aspectos técnicos, políticos, económicos y sociales; sean estos aplicados en sectores públicos o privados, tal regulación tiene como objetivo de que estos servicios sean brindados a los usuarios con calidad y en apego a las normas establecidas.

Antes de continuar es necesario conocer aquellas instituciones existentes en el Ecuador encargadas de elaborar y hacer respetar dichas normas, las cuales se procede a mencionar a continuación.

#### **5.2.1.1 Ministerio de Telecomunicaciones y de la Sociedad de la Información (MINTEL)**

Órgano rector del Desarrollo de las Tecnologías de la Información y Comunicación en el Ecuador, que incluyen las telecomunicaciones y el espectro radioeléctrico, que emite políticas, planes generales, realiza el seguimiento y evaluación de su implementación; coordina acciones de asesoría y de apoyo para garantizar el acceso igualitario a los servicios, promover su uso efectivo, eficiente y eficaz, que asegure el desarrollo hacia la sociedad de la información para el buen vivir de la población ecuatoriana [30].

#### **5.2.1.2 Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones (ARCOTEL)**

En el registro Oficial de la Ley Orgánica de Telecomunicaciones 18 de febrero de 2015 se publicó en el “Art. 142.- Se crea la Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones, como entidad encargada de la administración, regulación, gestión y control de las telecomunicaciones y el espectro radioeléctrico; así como los aspectos técnicos de la gestión de medios de

comunicación social que usen frecuencias del espectro radioeléctrico que instalen y operen redes”

Está adscrita al Ministerio rector de las Telecomunicaciones y de la Sociedad de la Información, y garantiza la continuidad de las actividades de regulación, administración y control así como los de carácter administrativo y legal que se encontraban a cargo de la Ex SUPERTEL , Ex SENATEL y del Ex CONATEL [31].

## 5.2.2 NORMA PARA LA IMPLEMENTACIÓN Y OPERACIÓN DE SISTEMAS DE MODULACIÓN DIGITAL DE BANDA ANCHA

“El CONATEL resuelve expedir: NORMA PARA LA IMPLEMENTACIÓN Y OPERACIÓN DE SISTEMAS DE MODULACIÓN DIGITAL (Resolución- 560 -18 - CONATEL -2010)”. A continuación se hace un resumen de los artículos más importantes.

### 5.2.2.1 DISPOSICIONES GENERALES Y NORMA TÉCNICA

**Art. 4.-** Todos los equipos que utilicen Modulación Digital de Banda Ancha deberán ser homologados por la Superintendencia de Comunicaciones de acuerdo con lo establecido en el Reglamento para Homologación de Equipos de Telecomunicaciones.

**Art. 6.- Bandas de Frecuencias.-** Se aprobará la operación de sistemas de radiocomunicaciones que utilicen técnicas de modulación digital de banda ancha en las siguientes bandas de frecuencias:

BANDA (MHz)
902 – 928
2400 - 2483.5
5150 – 5250
5250 – 5350
5470 – 5725
5725 – 5850

**Tabla 5. 8. Bandas de Frecuencia [32].**

“El CONATEL aprobará y establecerá las características técnicas de operación de sistemas de Modulación Digital de Banda Ancha en bandas distintas a las indicadas en la presente norma, previo estudio sustentado y emitido por la Secretaría Nacional de Telecomunicaciones”.

**Art.7.-Configuración de Sistemas que emplean Modulación Digital de Banda**

**Ancha.-** La operación de los sistemas con técnicas de modulación digital de banda ancha se aprobará en las siguientes configuraciones:

- Sistemas punto – punto.
- Sistemas punto – multipunto.
- Sistemas móviles.

**Art. 8.- Características Técnicas de los Sistemas de Modulación Digital de Banda Ancha.-** Se

establecen los límites de Potencia para cada una de las bandas de acuerdo a la Tabla 5.9.

Tipos de Configuración	Bandas de operación (MHz)	Potencia Pico Máxima del Transmisor (mW)	P.I.R.E (mW)	Densidad de P.I.R.E (mW/MHz)
Punto – Punto	902-928	500	--	--
Punto - Multipunto				
Móviles				
Punto – Punto	2400-2483.5	1000	--	--
Punto - Multipunto				
Móviles				
Punto – Punto	5150 – 5250	50	200	10
Punto – Multipunto				
Móviles				
Punto – Punto	5250 - 5350	--	200	10
Punto – Multipunto		250	1000	50
Móviles				
Punto – Punto	5470 - 5725	250	1000	50
Punto – Multipunto				
Móviles				
Punto – Punto	5725 - 5850	1000	--	--
Punto – Multipunto				
Móviles				

**Tabla 5. 9. Características Técnicas de los Sistemas De Modulación Digital de Banda Ancha [32].**

### 5.2.2.2 SISTEMAS DE EXPLOTACIÓN Y SISTEMAS PRIVADOS

**Art. 9.- Competencia.-** El Secretario Nacional de Telecomunicaciones, por delegación del CONATEL, aprobará la operación de Sistemas de Modulación Digital de Banda Ancha mediante la emisión de un Certificado de Registro.

**Art. 10.- Solicitud de Registro.-** La SENATEL llevará un Registro de los Sistemas de Modulación Digital de Banda Ancha, los interesados deberán presentar una solicitud con todos los requisitos para su aprobación dirigida al SENATEL cumpliendo todos los datos consignados en el formulario técnico.

**Art. 11.- Certificado de Registro.-** Al presentar la documentación y luego del análisis la SENATEL procederá con la emisión del Certificado de Registro al interesado, previo el pago de valores establecidos.

**Art. 12.- Vigencia del Registro.-** El certificado tendrá una duración de cinco años y podrá ser renovado dentro de los 30 días antes del vencimiento, de lo contrario el certificado quedará anulado de manera automática.

El CONATEL resuelve expedir: NORMA PARA LA IMPLEMENTACIÓN Y OPERACIÓN DE SISTEMAS DE MODULACIÓN DIGITAL (Resolución- 561 -18 - CONATEL -2010)

**Art. 19.-** Los sistemas de Modulación digital de Banda Ancha que opere en configuración punto – punto, en las bandas del CONATEL determine pagará una tarifa mensual por uso de frecuencia [33], según la ecuación tomada de [34].

$$TA(US\$) = K_a * \alpha_b * \beta_b * B * NTE$$

Donde:

TA (US\$) = Tarifa anual en dólares de los Estados Unidos de América.

$K_a$  = Factor de ajuste por inflación (1.0269 según [35]).

$\alpha_6$  = Coeficiente de valoración del espectro, para los Sistemas de Modulación Digital de Banda Ancha (De acuerdo a la Tabla 5. 10.).

$\beta_6$  = Coeficiente de corrección para los Sistemas de Modulación Digital de Banda Ancha.

B = Constante de servicio para los Sistemas de Modulación Digital de Banda Ancha (De acuerdo a la Tabla 5. 11.).

NTE = Es el número total de Estaciones Fijas, de Base, Móviles y estaciones receptoras de triangulación de acuerdo al sistema.

El valor del coeficiente  $\alpha_6$  se detalla en la Tabla 5. 10., y el valor de la constante B para los Sistemas de Modulación Digital de Banda Ancha se detalla en la Tabla 5. 11.

Valor de $\alpha_6$	Sistema
0.533333	Modulación Digital de Banda Ancha

Tabla 5. 10. Coeficiente de valoración del espectro  $\alpha_6$  para sistemas que operen en bandas de Modulación Digital de Banda Ancha [34].

Valor de B	Sistema
12	Sistema punto - punto y punto - multipunto y sistemas móviles

Tabla 5. 11. Valor de la constante B para los sistemas que operen en bandas de Modulación Digital de Banda Ancha [34].

Por lo tanto la tarifa anual del sistema de modulación de banda ancha, para el presente diseño es aproximadamente:  $TA(US\$) = 90.56$

### 5.2.2.3 CONTROL

**Art. 25.- Control.-** La SUPTEL realizará el control de los sistemas que utilicen Modulación Digital de Banda Ancha y vigilará que éstos cumplan con lo dispuesto en la presente Norma y las disposiciones Reglamentarias pertinentes.

### 5.2.2.4 DE LOS DERECHOS DE CONCESIÓN

**Art. 30.-** Los Derechos de Concesión de frecuencias del espectro radioeléctrico serán los aprobados por CONATEL en base de los estudios respectivos elaborados por la Secretaría Nacional de Telecomunicaciones, para cada servicio, banda de frecuencias y sistema a operar.

**Art. 31.-** Los Derechos de Concesión para los Servicios y Sistemas contemplados en el presente Reglamento, y que requieran del respectivo título habilitante, a excepción de aquellos que se

autoricen mediante Registro, deberán pagar por una sola vez por el tiempo de duración de la concesión, los valores que resulten de aplicar la ecuación tomada de [34]:

$$D_c = T(\text{US\$}) * T_c * F_{cf}$$

Donde:

T (US\$) = Tarifa mensual por uso de frecuencias del espectro radioeléctrico en dólares de los Estados Unidos de América correspondiente al Servicio y al Sistema en consideración.

Tc = Tiempo de concesión. Valor en meses de la concesión a otorgarse al respectivo servicio y sistema.

Fcf = Factor de concesión de frecuencias que es 0.0477714 según [34]

Dc =Derecho de concesión.

El valor total calculado para a concesión del espectro radioeléctrico para un tiempo referencial de 5 años es: Dc = \$21.63 (pagado por una sola vez por el tiempo que dure la concesión)

### 5.3 CÁLCULO DE LA CAPACIDAD REQUERIDA POR LA RED DE TELEMEDICINA

#### 5.3.1 Cálculo de la velocidad de trasmisión para datos

A continuación se especifica los valores de algunos servicios médicos, así como de los recursos necesarios en el sector de la salud, indicando la velocidad recomendada para cada servicio de telemedicina según [36].

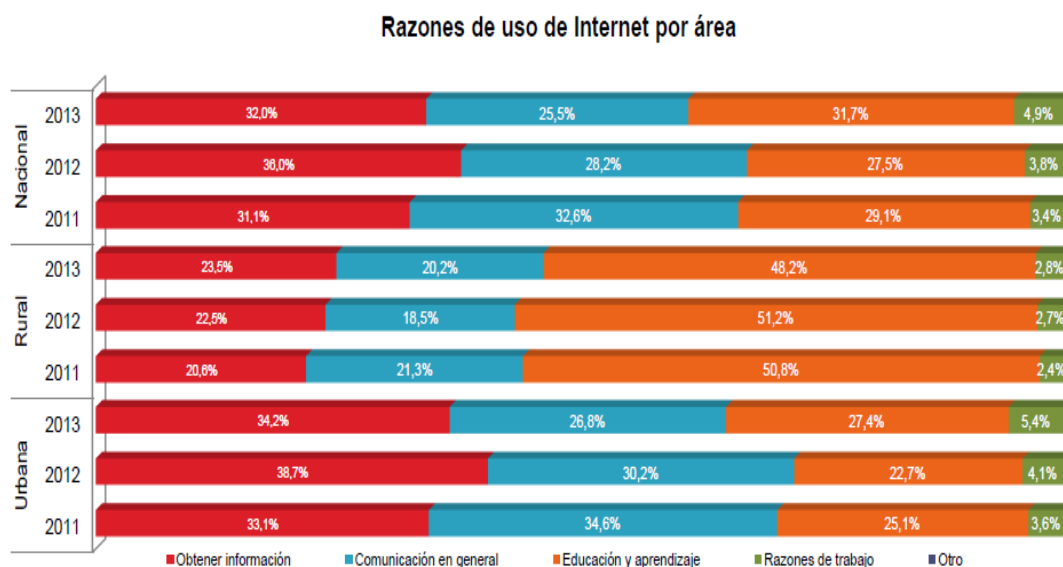
Los servicios de Tomografía Axial Computarizada, Resonancia Magnética Nuclear, Gammagrafía y Cartografía, Angiografía digital por sustracción no serán contempladas para el presente diseño, puesto que estos servicios son competencia de hospitales de III nivel, y como se había explicado anteriormente en el cantón de Latacunga poseen un hospital de II Nivel y Centros, Subcentros de salud de I nivel.

Servicio de Telemedicina		Tipo de	Tamaño	Velocidad
		<b>Información</b>	<b>en (Bytes)</b>	<b>(KBps)</b>
<b>RT</b>	<b>Audio conferencia</b>	<b>Audio</b>		<b>N-64</b>
	seguimiento de pacientes	Analógico	8KB	64
	líneas fijas de emergencias	Digital	8KB	128

	teleconsultas remota, tele diagnóstico	digital comprimido	4KB	32
	<b>Monitorización de Pacientes</b>	<b>Biomédica</b>		<b>N-64</b>
	Presión sanguínea	BP/PsO2	400B	3.2
	Electrocardiografía	ECG	250B	24
	Electroencefalografía	EEG	2B	80
	Electrografía	ECO	8B	384
	<b>Acceso a bases de datos médicas</b>	<b>Web-Datos</b>		<b>N-128</b>
	Gestión/actualización de HCE	HTTP	10kB	13
	Información médica online	FTP	800kB	80
	<b>Transmisión de imágenes médicas</b>	<b>Imagen fija</b>		<b>N-256</b>
	Tele radiología	B/N	1MB	46
	Tele patología	Color	9MB	285
	<b>Vídeo Conferencia</b>	<b>Vídeo</b>		<b>N-512</b>
	Tele psiquiatría	Analógico	800kB	128 a
	Tele dermatología	dig-H.263	140kB	512 en
	Emergencias, urgencias, UVI móvil	dig-compr	253kB	General
	Teleeducación	dig-compr		
<b>SR</b>	<b>Información relativa al paciente</b>	<b>Texto-Datos</b>		
	Historial Clínico	Word	800kB	64(*)
	Electrónico (HCE)	PDF	80kB	
	<b>Señales biomédicas pre adquiridas</b>	<b>Bio-Datos</b>		
	Electrocardiografía (ECG)	ECG	40MB	
	Test Holter (ECG continuo)	Holter	692MB	256(*)
	Electroencefalograma (EEG)	EEG	664MB	
	Electro ecografía (ECO)	ECO	384MB	
	Imágenes fijas pre adquiridas	Imagen-Datos		
	Radiografía conmutada (CR)	RADIO	96MB	
	Mamografía (rayos X)	MAMO	267MB	
	Tomografía Axial Computarizada	TAC	14MB	
	Resonancia Magnética Nuclear	RNM	28MB	512(*)
	Gammagrafía y cartografía	GAMMA	28MB	
	Angiografía digital por sustracción	DIVAS	3.5MB	
	Imagen digitalizada	Digital	0.7MB	
	(*) Velocidad requerida para aplicaciones de Telemedicina			

**Tabla 5. 12. Requerimiento mínimo de velocidad para servicios de Telemedicina [36].**

Para el cálculo de velocidad de datos se tomará como referencia el Reporte Anual de Estadísticas Sobre Tecnología de Información y Comunicación INEC 2013, para estimar el tiempo de uso y las razones para utilizar internet como se indica en la figura 5.5.



**Figura 5. 5. Razones de uso de internet por área. [37]**

Se observa que en el año 2013 la estadística del uso de Internet se detalla de la siguiente manera: el 32.0 % de su tiempo un usuario lo dedica para obtener información, el 25.5% para comunicación en general, el 31.7 % por motivos de educación y aprendizaje; y el 4.9% por razones de trabajo. Se puede concluir que las personas utilizan el 68.6% de su tiempo en Internet para obtener información, por motivos de capacitación y sistemas orientados a la Web o por razones de trabajo.

Se asume que el usuario por aérea de salud utilizará el Internet mínimo una hora diaria para realizar todas las actividades mencionadas anteriormente, entonces para calcular el tiempo para cada tipo de tráfico se debe multiplicar el porcentaje de las razones de uso de Internet por una hora (60 minutos), en la tabla 5.13 se resume los diferentes tipos de tráfico y el tiempo que una persona destina para navegar por la web, descargar documentos o información, revisar su correo electrónico y transferir archivos, estos datos serán utilizados para estimar la velocidad de transmisión de los diferentes tipos de tráfico.

RAZONES DE USO INTERNET	TIPO DE TRÁFICO	PORCENTAJE (%)	TIEMPO DE USO (min)
Capacitación y Sistema Web	Navegación Web	31.7	19
Obtener información	Descarga de documentos	32.0	19
Comunicación en general	Correo electrónico	25.5	15
Por trabajo y otros	Transferencia de archivos	10.8	6

Tabla 5. 13. Distribución del tiempo del uso de Internet. Elaborado por Rosa Granizo

La diferencia entre el perfil de un médico y el personal administrativo, va a radicar en la cantidad de información que recibe, comparte y baja del Internet; es decir un médico tendrá acceso a páginas con contenido de *streaming* de video y genera mayor tráfico de datos que un administrativo.

A continuación se procede a calcular la velocidad de transmisión que requiere un médico y/o personal administrativo.

### 5.3.1.1 Navegación Web

El comportamiento cambiante del tráfico HTTP requieren un ajuste de los modelos de tráfico web conocidos, teniendo en cuenta que las página web de hoy en día se crean en forma dinámica, los nuevos servicios que brindan debido al desarrollo de las redes sociales, las características y configuraciones de los navegadores web, dependiendo de la preferencia del usuario, al realizar un análisis estadístico tenemos que considerar aquellos objetos principales y en línea como se lo presenta en [38] obteniendo de esta manera un promedio de 55,47 KB de tamaño. Además es necesario considerar el tiempo de carga de las páginas web en un ambiente corporativo con enlace dedicado lo cual no permite manejar un tiempo de carga ágil de aproximadamente de 3 segundos según [39].

Por lo tanto para calcular la velocidad de transmisión para navegar por la web, ya sea de un médico o personal administrativo, necesita cargar una página web con un tamaño promedio de 55,47 Kbyte en 3 segundos, por lo tanto:

$$Velocidad Transmisión_{Web} = \frac{55,47KByte}{3 seg} * \frac{8bits}{1Byte} = 147,92 Kbps$$

Entonces, si un médico o administrativo necesita abrir una página web, requiere una velocidad de transmisión de 147,92 Kbps.

### 5.3.1.2 Correo electrónico

En la tabla 5.13 se observa que un médico o administrativo, necesita 15 minutos en promedio para revisar su correo electrónico, se asume que un administrativo recibe en promedio 5 correos en un día, mientras que un médico especialista por sus funciones se estima que recibirá el doble de correos que un administrativo.

El tamaño promedio de un correo electrónico es de 100 Kbits [40] sin datos adjuntos, con 100 Kbits (12500 bytes) se puede escribir 12500 caracteres Unicode, estos 12500 caracteres son la peor condición, porque generalmente un correo electrónico es corto, si se desea enviar mayor información se utiliza archivos adjuntos. El tamaño de un archivo adjunto según las métricas web de Google, para un documento es de aproximadamente de 477 KBytes [41]

El tamaño total para los 5 correos electrónicos con documentos adjuntos es:

$$Tamaño_{Correo} = 5 * (100Kb + 477KByte * \frac{8 \text{ bites}}{1Byte}) = 19580 Kb$$

La velocidad de transmisión necesaria para que un administrativo revise 5 correos electrónicos con documentos adjuntos en un promedio de 15 minutos es:

$$Velocidad \ Transmisión_{Correo \ administrativo} = \frac{19580Kb}{15min} * \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ seg}} = 21.75 Kbps$$

Mientras que la velocidad de transmisión necesaria para que un médico revise 10 correos electrónicos o éstos se descarguen en el buzón de correo del computador, en un promedio de 15 minutos, será:

$$Tamaño_{Correo} = 10 * (100Kb + 477KByte * \frac{8 \text{ bites}}{1Byte}) = 39160 Kb$$

$$Velocidad\ Transmisión_{Correo\ médico} = \frac{39160Kb}{15min} * \frac{1\ min}{60\ seg} = 43.51\ Kbps$$

### 5.3.1.3 Descarga de documentos

En la tabla 5.13 se tiene que un médico o administrativo, utiliza 19 minutos para obtener información, como por ejemplo documentos en formato PDF (*Portable Document Format*), un documento en formato PDF en promedio tiene un tamaño de 3 MB [42].

Se estima que un administrativo bajará del Internet un documento en formato PDF para realizar su trabajo, mientras que un médico por su constante estudio, diagnóstico y tratamiento de la enfermedad de un paciente, se estima que bajará tres documentos en formato PDF; por lo tanto se tiene:

$$Velocidad\ de\ Transmisión_{Download\ admin} = \frac{3MB}{19\ min} * \frac{1min}{60seg} * \frac{10KByte}{1MB} * \frac{8bits}{1Byte}$$

$$Velocidad\ de\ Transmisión_{Download\ admin} = 21,55\ Kbps$$

En conclusión para que un administrativo baje un documento en formato PDF en 19 minutos, necesita una velocidad de transmisión de 21,55 Kbps. Mientras que un médico necesitará tres veces la velocidad que necesita un administrativo, esto es:

$$Velocidad\ de\ Transmisión_{Download\ médico} = 64,65\ Kbps$$

### 5.3.1.4 Transferencia de archivos

Para transferir información, como por ejemplo un archivo comprimido, según las métricas web de Google el tamaño promedio de un archivo comprimido es de 287 KB [41]

Se asume que un administrativo compartirá un archivo, ya que la mayor parte de su tiempo ingresa a Internet para obtener información, y compartirá esta información en un archivo comprimido. Mientras que un médico por sus funciones compartirá cinco archivos.

A continuación se calcula la velocidad de transmisión de transferencia de archivos para un administrativo.

$$Velocidad\ de\ Transmisión_{Transferencia\ archivos\ admin} = \frac{287KB}{6\ min} * \frac{1\ min}{60\ seg} * \frac{8\ bits}{1\ Byte}$$

$$Velocidad\ de\ Transmisión_{Transferencia\ archivos\ admin} = 6,37\ Kbps$$

Por consiguiente si un administrativo comparte un archivo comprimido en 6 minutos, necesita una velocidad de transmisión de 6,37 Kbps. Mientras que un médico necesita 5 veces la velocidad de un administrativo, porque comparte 5 archivos en el mismo lapso de tiempo, entonces se tiene:

$$Velocidad\ de\ Transmisión_{Transferencia\ archivos\ médico} = 31,85\ Kbps$$

En lo que respecta al servicio médico de información relativa al paciente, específicamente el historial clínico, la velocidad recomendada es de 64KBps equivalente a 512 Kbps y el tamaño es de 800KB equivalente a 6400 Kbits; para realizar el respectivo cálculo se toma en cuenta el número total pacientes atendidos al año según las estadísticas más recientes correspondientes al 2013 que son 329208 [43], con un horario de trabajo de 8 horas diarias [44], se inicia el cálculo estableciendo la cantidad de pacientes atendidos en un mes, una semana, un día, una hora, un minuto, un segundo, así:

$$Cantidad_{H. Clínicas} = \frac{\#pacientes}{1\ año} * \frac{1\ año}{12\ meses} * \frac{1\ mes}{4\ semanas} * \frac{1\ semana}{5\ días} * \frac{1\ día}{8\ h} * \frac{1\ h}{60\ min} * \frac{1\ min}{60\ seg}$$

$$Cantidad_{H. Clínicas} = \frac{329208}{1\ año} * \frac{1\ año}{12\ meses} * \frac{1\ mes}{4\ semanas} * \frac{1\ semana}{5\ días} * \frac{1\ día}{8\ h} * \frac{1\ h}{60\ min} * \frac{1\ min}{60\ seg}$$

$$Cantidad_{H. Clínicas} = \frac{0,04}{1\ seg}$$

$$Tamaño_{Historias\ Clínicas} = 800\ KB * \frac{8\ bits}{1\ Byte}$$

$$Tamaño_{Historias\ Clínicas} = 6400\ Kbits$$

$$Vtx_{Historias\ Clínicas} = Cantidad_{H. Clínicas} * Tamaño_{Historias\ Clínicas}$$

$$Vtx_{Historias\ Clínicas} = \frac{0,04}{1\ seg} * 6400\ Kbits$$

$$Vtx_{Historias\ Clínicas} = 256\ Kbps$$

Por lo tanto la velocidad calculada es de 256Kbps, menor a la velocidad para historias clínicas que es de 512 kbps según [36], considerándose adecuada.

### 5.3.1.5 Streaming de video

En el perfil de un médico es necesario el acceso a páginas de video *streaming*, por contener señales biomédicas preadquiridas existentes en video. Usaremos la página de YouTube como referencia, ya que es el sitio web más usado a nivel mundial en *streaming* de video. En YouTube existen 5 tipos de resoluciones de video [45]. Para estimar la velocidad de transmisión requerida, en la tabla 5.14 se resumen las velocidades de transmisión presentadas por YouTube según cada resolución de video.

Resolución	Bit rate (Kbps)	Calidad
426 x 240 (240p)	300	Baja
640x360 (360p)	500	Baja
854x480 (480p)	800	Media
1280x720 (720p)	1800	Alta
1920x1080 (1080p)	2400	Alta

Tabla 5. 14. Resolución y bit rate de YouTube [46].

Se observa las diferentes resoluciones de video para Youtube, al ser un diseño orientado a telemedicina, es necesario resoluciones 720p y 1080p, por ser videos de alta calidad, requieren altas velocidades de transmisión de 1800 y 2400 Kbps respectivamente; para el diseño se considerará una velocidad de 2400 Kbps.

En la tabla 5.15 se presenta un resumen de las velocidades de transmisión que necesita el personal administrativo y médicos para acceder a Internet.

SERVICIO	VELOCIDAD DE TRANSMISIÓN POR PERSONAL ADMINISTRATIVO	VELOCIDAD DE TRANSMISIÓN POR MÉDICO
	(Kbps)	(Kbps)
Navegación web	209.84	209.84
Correo electrónico	21.75	43.51
Descarga de documentos	21.55	64.65
Transferencia de archivos	6.37	31.85
Streaming de video	0	2400
<b>Total</b>	<b>259.51</b>	<b>2749.85</b>

Tabla 5. 15. Velocidad requerido por un usuario en una hora pico. Elaborado por Rosa Granizo

Por lo tanto la velocidad requerida para transmitir datos, tanto para un médico como para un administrativo es:

$$\text{Velocidad de Transmisión}_{\text{DATOS POR ADMIN}} \approx 260 \text{ Kbps}$$

$$\text{Velocidad de Transmisión}_{\text{DATOS POR MÉDICO}} \approx 2,80 \text{ Mbps}$$

### 5.3.2 Cálculo de velocidad en IP para Voz ( VoIP)

Al tratar con el envío de voz en una red de datos es importante mencionar que es necesario armar “paquetes”, por lo tanto la velocidad que se requiere dependerá de la “sobrecarga” (*overhead*) que generado por dichos paquetes, para el envío de voz sobre redes de paquetes se utiliza el estándar RTP. Éste protocolo trabaja sobre UDP, el que a su vez se superpone a IP, en Ethernet. Esta suma de protocolos hace que la capacidad requerida para el tráfico de voz sobre Ethernet sea bastante mayor a la capacidad del audio. A continuación se presenta un ejemplo, para el códec G.729 utilizado para VoIP ya que según pruebas realizadas se encontró un mejor rendimiento según [47].

El cálculo de la velocidad de transmisión se realiza aplicando la siguiente formula [48] :

$$V_{tx_{VoIP(bps)}} = \text{Tamaño total del paquete[bits]} \times \text{Tasa paquete[pps]}$$

Al usar la siguiente fórmula se pretende calcular la cantidad de paquetes transmitidos por segundo [48]:

$$Tasa\ paquete[pps] = \frac{tasa\ de\ bit}{tamaño\ payload}$$

Para el cálculo usaremos el códec G.729 cuyo tamaño de carga útil es de 20 bytes (160 bits) además se considera una tasa de bits de 8 Kbps, lo que nos da como resultado lo siguiente:

$$Tasa\ paquete[pps] = \frac{8\ Kbps}{160\ bits} = 50\ pps$$

Al realizar una llamada utilizando el códec G.729 la dimensión total del paquete es 78 Bytes (624 bits), cuya tasa por paquete es de 50 pps a una velocidad de transmisión de 31,2 Kbps, demostrado en los siguientes cálculos:

$$Vtx_{VoIP(bps)} = 624[bits] \times 50[pps] = 31200\ bps$$

$$Vtx_{VoIP(kbps)} = 31,2\ Kbps$$

La cantidad de extensiones telefónicas se detallan en la tabla 5.16, justificando su uso por cada dependencia que necesita comunicación con los centros y subcentros de salud, considerando esto independiente del servicio de Internet.

Tipo de Centro de Salud	Cantidad de Centros – HG	Cantidad de extensiones	Subtotal de extensiones
Tipo A	11	1	11
Tipo B	3	3	9
Tipo C	1	6	6
Hospital General	1	35	35
<b>Total de extensiones</b>			<b>61</b>

Tabla 5. 16. Cantidad de extensiones Telefónica IP en los Centros de Salud y Hospital General de Latacunga. Elaborado por Rosa Granizo L.

Para calcular la velocidad de transmisión de VoIP se tomó en cuenta un total de 61 extensiones para el Hospital General y los centros de Salud:

$$Velocidad\ Transmisión_{VoIP\ TOTAL} = 31,2\ Kbps * 61 = 1903,2\ Kbps$$

$$Velocidad\ Transmisión_{VoIP\ TOTAL} = 1,9\ Mbps$$

Es importante mencionar que también es posible que los usuarios se conecten a la PSTN (red pública de telefonía conmutada, *Public Switched Telephone Network*) esto se lo realiza mediante líneas telefónicas.

Al tratarse de una central telefónica nueva, se tomará datos de otra central telefónica de una empresa privada, para simular el comportamiento de la central que funcionará en la institución de salud.

Seguidamente se listan los datos de la central telefónica que se ha tomado como ejemplo para permitir dimensionar los enlaces troncales que se necesita para conectarse a la PSTN:

- Número de BHCA (promedio de intentos de llamadas en hora de mayor actividad del día, *Busy Call Attempts*), es de 6.
- Tiempo medio de uso es de 3 minutos.
- Tráfico interno es de 75%.
- Tráfico que sale a la PSTN es de 25%.
- Tráfico que entra de la PSTN, igual al tráfico que sale.
- Probabilidad de bloqueo desde y hacia la PSTN del 1%.

Aplicamos los datos obtenidos en la siguiente ecuación, para calcular el tráfico en la central telefónica.[41]

$$A = \frac{n * BHCA * t}{1 \text{ hora}} \quad [Erlang]$$

Dónde:

A: Intensidad de tráfico.

n: Número de extensiones.

BHCA: El número de intento de llamada que se genera en una hora cargada.

t: tiempo medio de ocupación.

Por lo tanto el tráfico de la central telefónica es:

$$A = \frac{61 * 6 * 3 \text{ min}}{1 \text{ hora}} * \frac{1 \text{ hora}}{60 \text{ min}} = 18,3 [Erlang]$$

El tráfico interno es del 75% del tráfico total, por lo tanto se tiene:

$$\text{Tráfico interno} = 0,75 * 18,3 [\text{Erlang}] = 13,72 \text{ Erlang}$$

El tráfico saliente hacia la PSTN es del 25 % del tráfico total, por lo tanto se tiene:

$$\text{Tráfico saliente hacia la PSTN} = 0,25 * 18,3 [\text{Erlang}] = 4,575 \text{ Erlang}$$

El tráfico entrante desde la PSTN es igual al tráfico de salida hacia la PSTN, por lo tanto:

$$\text{Tráfico entrante desde la PSTN} = 4,575 \text{ Erlang}$$

El tráfico total para la PSTN, es la suma del tráfico de entrada y salida.

$$\text{Tráfico total PSTN} = \text{Tráfico entrada} + \text{Tráfico de salida}$$

$$\text{Tráfico total PSTN} = 4,575 \text{ Erlang} + 4,575 \text{ Erlang} = 9,15 \text{ Erlang}$$

$$\text{Tráfico total PSTN} = \mathbf{9,15 \text{ Erlang}}$$

El sistema que se utiliza es de tráfico con pérdida, es decir que cuando todos los recursos estén ocupados en la PSTN y un usuario desea realizar una llamada, dicha llamada se pierde, para calcular el tráfico en este tipo de sistemas se lo hace a través de Erlang – B, de la siguiente manera:

El diseño de la PSTN consta de una probabilidad de bloqueo del 1% y 9,15 Erlang de tráfico, en la figura 5.6 se presenta la tabla de Erlang-B, y se ubica el valor de 9,15 para conocer la cantidad troncales.

## Erlang B Traffic Table

N/B	Maximum Offered Load Versus B and N											
	B is in %											
	0.01	0.05	0.1	0.5	1.0	2	5	10	15	20	30	40
1	.0001	.0005	.0010	.0050	.0101	.0204	.0526	.1111	.1765	.2500	.4286	.6667
2	.0142	.0321	.0458	.1054	.1526	.2235	.3813	.5954	.7962	1.000	1.449	2.000
3	.0868	.1517	.1938	.3490	.4555	.6022	.8994	1.271	1.603	1.930	2.633	3.480
4	.2347	.3624	.4393	.7012	.8694	1.092	1.525	2.045	2.501	2.945	3.891	5.021
5	.4520	.6486	.7621	1.132	1.361	1.657	2.219	2.881	3.454	4.010	5.189	6.596
6	.7282	.9957	1.146	1.622	1.909	2.276	2.960	3.758	4.445	5.109	6.514	8.191
7	1.054	1.392	1.579	2.158	2.501	2.935	3.738	4.666	5.461	6.230	7.856	9.800
8	1.422	1.830	2.051	2.730	3.128	3.627	4.543	5.597	6.498	7.369	9.213	11.42
9	1.826	2.302	2.558	3.333	3.783	4.345	5.370	6.546	7.551	8.522	10.58	13.05
10	2.260	2.803	3.092	3.961	4.461	5.084	6.216	7.511	8.616	9.685	11.95	14.68
11	2.722	3.329	3.651	4.610	5.160	5.842	7.076	8.487	9.691	10.86	13.33	16.31
12	3.207	3.878	4.231	5.279	5.876	6.615	7.950	9.474	10.78	12.04	14.72	17.95
13	3.713	4.447	4.831	5.964	6.607	7.402	8.835	10.47	11.87	13.22	16.11	19.60
14	4.239	5.032	5.446	6.663	7.352	8.200	9.730	11.47	12.97	14.41	17.50	21.24
15	4.781	5.634	6.077	7.376	8.108	9.010	10.63	12.48	14.07	15.61	18.90	22.89
16	5.339	6.250	6.722	8.100	8.875	9.828	11.54	13.50	15.18	16.81	20.30	24.54
17	5.911	6.878	7.378	8.834	9.652	10.66	12.46	14.52	16.29	18.01	21.70	26.19
18	6.496	7.519	8.046	9.578	10.44	11.49	13.39	15.55	17.41	19.22	23.10	27.84
19	7.093	8.170	8.724	10.33	11.23	12.33	14.32	16.58	18.53	20.42	24.51	29.50
20	7.701	8.831	9.412	11.09	12.03	13.18	15.25	17.61	19.65	21.64	25.92	31.15
21	8.319	9.501	10.11	11.86	12.84	14.04	16.19	18.65	20.77	22.85	27.33	32.81
22	8.946	10.18	10.81	12.64	13.65	14.90	17.13	19.69	21.90	24.06	28.74	34.46
23	9.583	10.87	11.52	13.42	14.47	15.76	18.08	20.74	23.03	25.28	30.15	36.12
24	10.23	11.56	12.24	14.20	15.30	16.63	19.03	21.78	24.16	26.50	31.56	37.78

**Figura 5. 6. Tráfico Erlang B. [49]**

En la figura 5.6 se observa que para una probabilidad de bloqueo del 1%, se ubica el valor el valor de 9,15, al no existir este valor se toma el valor superior. Por lo tanto para un valor de 9.652 Erlang se requiere 17 troncales. La central telefónica necesita 17 líneas telefónicas para conectar 61 extensiones con la PSTN.

### 5.3.3 Velocidad de transmisión para videoconferencia

Hay que considerar que para realizar una videoconferencia se debe determinar el códec de video a utilizar, además de la resolución y los fotogramas por segundo (FPS). El seleccionado es H.264 por tener buen nivel de compresión y una buena calidad, la resolución será de 1280 X 720 a 25 imágenes por segundo ideal para telemedicina por ser de alta resolución.

El códec H.264 con resolución de 1280X720 posee un tamaño de trama igual a 18 Kbyte, en la tabla 5.17 se resumen los parámetros para el cálculo de la velocidad de transmisión de video.

FORMATO	RESOLUCIÓN	TAMAÑO FRAME (Kbyte)	FOTOGRAMAS POR SEGUNDO (fps)
H. 264	1280 X 720	18	25

Tabla 5. 17. Datos para cálculo de velocidad de transmisión de video [50]

Para transmitir un fotograma, es necesario considerar que éste se divide en paquetes de 188 bytes conocidos también como flujo elemental por paquetes (PES, *Packetized Elementary Stream*), encapsulado en una trama IP, la trama IP tiene una carga útil de hasta 1500 bytes, es por esto que sólo 7 PES pueden contenerse en una trama IP, el resultado de la trama IP es 1316 bytes sin incluir los encabezados [50].

Lo siguiente que se debe tener en cuenta son las cabeceras que se añade en cada una de las capas de la red Ethernet, para calcular la velocidad de transmisión de video, figura 5.7 [51].

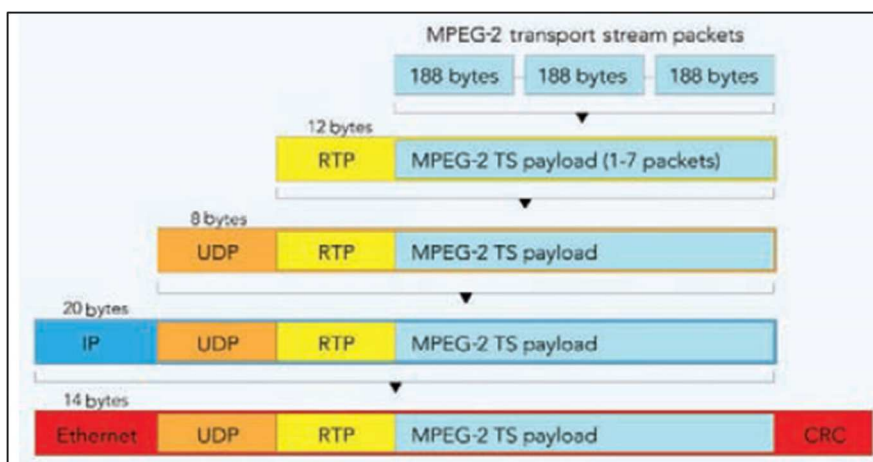


Figura 5. 7. Encapsulado de video sobre una red Ethernet [51]

En transmisión en tiempo real como lo es las teleconferencias, es usado el protocolo UDP. Los protocolos UDP y RTP cada uno proporcionan un método para multiplexar canales juntos como audio y vídeo.

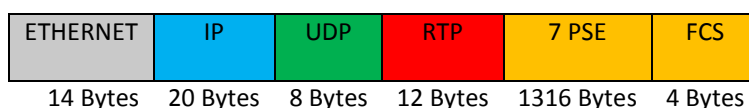


Figura 5. 8. Trama de video sobre una red Ethernet [51]

La sobrecarga por trama al transmitir video es de 58 bytes, como se puede ver en la figura 5.8.

A continuación se calcula el número de tramas absolutas, para transferir un fotograma de 18

Kbyte en una red Ethernet con una carga de 1316 bytes [52].

$$\text{Cantidad Tramas} = \frac{\text{tamaño del fotograma}}{\text{datos útiles de la trama Ethernet}}$$

$$\text{Cantidad Tramas} = \frac{18\text{KBytes}}{1316\text{Bytes}}$$

$$\text{Cantidad Tramas} = 13,67 \approx 14$$

La sobrecarga total es igual a la cantidad de tramas que se multiplica por los 58 bytes de cabecera correspondiente a los protocolos RTP, UDP, IP y Ethernet.

$$\text{Sobrecarga Total} = \# \text{Tramas} * \text{cabecera}$$

$$\text{Sobrecarga Total} = 14 * 58 \text{ Bytes} = 812 \text{ Bytes}$$

Para transmitir un fotograma es necesario añadir 812 Bytes por sobrecarga, es por esto que los datos transmitidos son:

$$\text{Datos transmitidos} = \text{Datos de 1 fotograma} + \text{sobrecarga}$$

$$\text{Datos transmitidos} = 18\text{Kbytes} + 812\text{Bytes}$$

$$\text{Datos transmitidos} = 18812 \text{ Bytes}$$

$$\text{Datos transmitidos} = 150496 \text{ bits}$$

La velocidad de transmisión se calcula según [52], para realizar video conferencia es igual a:

$$V_{tx} \text{ videoconferencia} = \frac{\text{total de datos transmitidos}}{1 \text{ fotograma}} * \text{FPS}$$

$$V_{tx} \text{ videoconferencia} = \frac{150496 \text{ bits}}{1 \text{ fotograma}} * \frac{25 \text{ fotogramas}}{\text{segundo}} = 3726400 \text{ bps}$$

$$\mathbf{V_{tx} \text{ videoconferencia} \approx 3,73 \text{ Mbps}}$$

El servicio de videoconferencia estará disponible en cada una de los centros y subcentros de salud y en el Hospital General de Latacunga, lo que permite dimensionar este servicio en un total de 16 salas de videoconferencia. Por lo tanto, la velocidad de transmisión resultante es igual a:

$$V_{tx} \text{ videoconferencia total} = 16 * 3,73 \text{ Mbps} = 59,68 \text{ Mbps}$$

$$V_{tx} \text{ videoconferencia total} = 59,68 \text{ Mbps}$$

A continuación es necesario calcular la velocidad de transmisión para servicios propios de telemedicina, es importante definir la velocidad necesaria para los servicios, y es por esto que para Test Holter (ECG continuo), Electroencefalograma (EEG), Electrocardiografía (ECG), Electroecografía (ECO) es necesario 256 Kbps [36], lo que equivale a 2048Kbps.

$$V_{tx} \text{ Serv. de Telemedicina} = \text{Cant. de Centros} * V_{tx} \text{ para Serv}$$

$$V_{tx} \text{ Total Servicios de Telemedicina} = 16 * 2048 \text{ Kbps} = 32768 \text{ Kbps}$$

$$V_{tx} \text{ Total Servicios de Telemedicina} \approx 32 \text{ Mbps}$$

#### 5.3.4 Velocidad de transmisión total requerida

La velocidad total de transmisión para la red en el presente diseño, resulta de la suma de las velocidades de datos (Internet), historia clínica, voz sobre IP, videoconferencias y servicios de telemedicina.

El factor de compartición de Internet otorgado por CNT en el área de salud, como fue especificado anteriormente es de 1 a 2, por otra parte, para obtener la velocidad de transmisión de datos, es necesario considerar el índice de simultaneidad, tomándose en cuenta el horario de trabajo del personal administrativo y médico, el mismo que se encuentra detallado en la tabla 5.18.

Tipo de Personal	Horas trabajadas			
	8 horas	6 horas	4 horas	2 horas
Médico	109	11	8	46
Administrativo	84	10	2	5
Índice de Simultaneidad	100%	75%	50%	25%

Tabla 5. 18. Grado de simultaneidad por tiempo de trabajo de personal médico y administrativo. [53]

Se calcula la velocidad de transmisión para el personal administrativo dependiendo de su jornada de trabajo:

$$\text{Velocidad Transmisión}_{\text{DATOS ADMINISTRATIVOS 8H}} = \frac{260 \text{ Kbps} * 84}{2} * 100\%$$

$$\text{Velocidad Transmisión}_{\text{DATOS ADMINISTRATIVOS 8H}} = 10920 \text{ Kbps}$$

$$\text{Velocidad Transmisión}_{\text{DATOS ADMINISTRATIVOS 8H}} \approx 10,6 \text{ Mbps}$$

$$\text{Velocidad Transmisión}_{\text{DATOS ADMINISTRATIVOS 6H}} = \frac{260 \text{ Kbps} * 10}{2} * 75\%$$

$$\text{Velocidad Transmisión}_{\text{DATOS ADMINISTRATIVOS 6H}} = 975 \text{ Kbps}$$

$$\text{Velocidad Transmisión}_{\text{DATOS ADMINISTRATIVOS 6H}} \approx 1 \text{ Mbps}$$

$$\text{Velocidad Transmisión}_{\text{DATOS ADMINISTRATIVOS 4H}} = \frac{260 \text{ Kbps} * 2}{2} * 50\%$$

$$\text{Velocidad Transmisión}_{\text{DATOS ADMINISTRATIVOS 4H}} = 130 \text{ Kbps}$$

$$\text{Velocidad Transmisión}_{\text{DATOS ADMINISTRATIVOS 4H}} \approx 0.1 \text{ Mbps}$$

$$\text{Velocidad Transmisión}_{\text{DATOS ADMINISTRATIVOS 2H}} = \frac{260 \text{ Kbps} * 5}{2} * 25\%$$

$$\text{Velocidad Transmisión}_{\text{DATOS ADMINISTRATIVOS 2H}} = 162.5 \text{ Kbps}$$

$$\text{Velocidad Transmisión}_{\text{DATOS ADMINISTRATIVOS 2H}} \approx 0.2 \text{ Mbps}$$

Ahora se calcula la velocidad de transmisión para el médico según su horario de trabajo

$$\text{Velocidad Transmisión}_{\text{DATOS MEDICO 8H}} = \frac{2,8 \text{ Mbps} * 109}{2} * 100\%$$

$$\text{Velocidad Transmisión}_{\text{DATOS MEDICO 8H}} = 152,6 \text{ Mbps}$$

$$\text{Velocidad Transmisión}_{\text{DATOS MEDICO 6H}} = \frac{2,8 \text{ Mbps} * 11}{2} * 75\%$$

$$\text{Velocidad Transmisión}_{\text{DATOS MEDICO 6H}} = 11,55 \text{ Mbps}$$

$$\text{Velocidad Transmisión}_{\text{DATOS MEDICO 4H}} = \frac{2,8 \text{ Mbps} * 8}{2} * 50\%$$

$$\text{Velocidad Transmisión}_{\text{DATOS MEDICO 4H}} = 5,6 \text{ Mbps}$$

$$\text{Velocidad Transmisión}_{\text{DATOS MEDICO 2H}} = \frac{2,8 \text{ Mbps} * 46}{2} * 25\%$$

$$\text{Velocidad Transmisión}_{\text{DATOS MEDICO 2H}} = 16,1 \text{ Mbps}$$

$$\text{Velocidad Transmisión}_{\text{DATOS TOTAL}} = 197,75 \text{ Mbps}$$

Al usar el servicio de VoIP el comportamiento es similar al de una central telefónica convencional es por esta razón que se tomará el dato de la central telefónica de ejemplo respecto al tráfico interno, para obtener el índice de simultaneidad para la velocidad requerida para VoIP, situando el índice en 75% por lo tanto:

$$\begin{aligned} \text{Velocidad Transmisión}_{\text{VoIPTotal\_Sim}} &= \text{Velocidad Transmisión}_{\text{VoIPTotal}} * \text{índice sim} \\ \text{Velocidad Transmisión}_{\text{VoIPTotal\_Sim}} &= 1,9 \text{ Mbps} * 0,75 = 1,425 \text{ Mbps} \end{aligned}$$

En el cálculo de la velocidad de videoconferencia, es importante mencionar que para la realización de capacitaciones y o consultas por videoconferencias, por cuestión de logística se lo divide en dos grupos lo que nos permite obtener un índice de simultaneidad del 50%.

$$\begin{aligned} \text{Vtx videoconf}_{\text{simu}} &= \text{Vtxvideototal} * \text{índice\_sim} \\ \text{Vtx videoconf}_{\text{sim}} &= 59,68 \text{ Mbps} * 50\% \\ \text{Vtx videoconf}_{\text{sim}} &= 29,84 \text{ Mbps} \end{aligned}$$

El cálculo total de la velocidad requerida se obtiene de acuerdo a la siguiente formula:

$$\begin{aligned} \text{Vtx total} &= \text{Velocidad Transmisión}_{\text{DATOS TOTAL}} + \text{Vtx videoconf}_{\text{sim}} \\ &+ \text{Velocidad de HC} + \text{Velocidad Transmisión}_{\text{VoIP TOTAL\_Sim}} \\ &+ \text{Vtx Total Servicios de Telemedicina} \\ \text{Vtx total} &= 187,15 \text{ Mbps} + 29,84 \text{ Mbps} + 0,25 \text{ Mbps} + 1,425 \text{ Mbps} + 32 \text{ Mbps} \\ \text{Vtx total} &= 250,66 \text{ Mbps} \end{aligned}$$

Luego de haber analizado el tráfico requerido para cada servicio se concluye que la velocidad requerida es de 250,66 Mbps aproximadamente, el cual se encuentra dentro de la tasa de

transmisión que ofrece WiFi bajo su estándar IEEE 802.11n el cual permite obtener velocidades de hasta 300Mbps en la práctica.

### 5.3.5 Cálculo de enlace

Antes de realizar el cálculo del enlace es necesario ubicar las coordenadas de los diferentes centros y subcentros de salud del cantón Latacunga, mediante un Sistema de Posicionamiento Global (GPS), que se lo realizó mediante visitas insitu, las cuales se presentan en la Tabla 5.19.

TIPO	NOMBRE	COORDENADAS	
		LATITUD	LONGITUD
HOSPITAL GENERAL	H.G. LATACUNGA	0° 56'12.7"S	78°37'1.2"W
CENTRO DE SALUD	C.S. LATACUNGA	0° 56'10.1"S	78° 36' 57.8"W
SUB CENTRO DE SALUD	COLATOA	0° 53'37.1"S	78° 35' 49.4"W
CENTRO DE SALUD	PATUTÁN	0° 52'47.9"S	78° 38' 27.9"W
PUESTO DE SALUD	PALOPO	0° 57'19.8"S	78° 32' 48.1"W
CENTRO DE SALUD	SAN BUENAVENTURA	0° 53'43.8"S	78° 36' 46.1"W
SUB CENTRO DE SALUD	BELISARIO QUEVEDO	0° 59'10.8"S	78° 35' 19.5"W
SUBCENTRO DE SALUD	ALAUQUEZ	0° 51'49.6"S	78° 35' 47.1"W
CENTRO DE SALUD	LASSO	0° 45'22.3"S	78° 36' 41.2"W
SUBCENTRO DE SALUD	JOSE GUANGO ALTO	0° 49'09.8"S	78° 35' 04.2"W
SUBCENTRO DE SALUD	MULALO	0° 46'47.5"S	78° 34'31.7"W
SUBCENTRO DE SALUD	JOSE GUANGO BAJO	0° 49'07.2"S	78° 35' 39.6"W
SUBCENTRO DE SALUD	TOACASO	0° 45'30.5"S	78° 41' 11.6"W
CENTRO DE SALUD	POALO	0° 53'04.8"S	78° 40' 20.2"W
SUBCENTRO DE SALUD	11 DE NOVIEMBRE	0° 54'29.02"S	78° 40' 21.1"W
CENTRO DE SALUD	LOMA GRANDE	0° 56'17.9"S	78° 37' 45.8"W

Tabla 5. 19. Posicionamiento de los diferentes Centros y subcentros de salud de la Provincia de Cotopaxi. Elaborado: Rosa Granizo.

Para calcular la distancia máxima se debe establecer la magnitud de la potencia de recepción mínima que puede recibir el equipo, y ésta depende de la sensibilidad mínima de recepción, es importante destacar un margen de desvanecimiento mínimo de 10 dBm por si existen pérdidas adicionales en el enlace debido a las características del entorno [41].

Se calcula las pérdidas de propagación en espacio libre considerando 2 dB por pérdidas de transmisión y pérdidas por cable. Para asegurar el diseño de la red se toma una distancia límite de 10 Km. A continuación se detalla un ejemplo para el cálculo del desempeño de un radioenlace

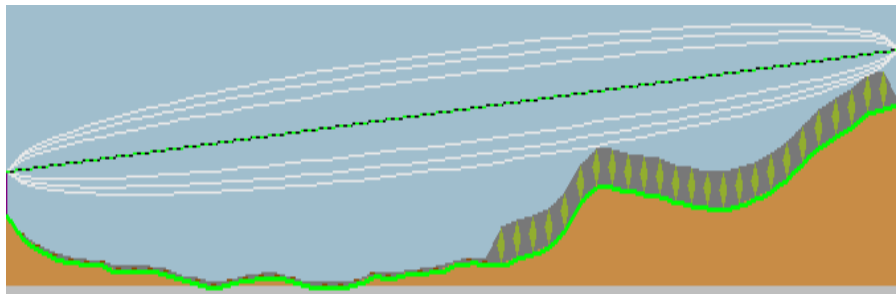
entre el Hospital General Latacunga y el repetidor 14, hay que recalcar que las fórmulas para el respectivo ejemplo es según [41].

### Ejemplo del cálculo radio enlace Hospital General de Latacunga – Repetidor 14

- Paso 1. Determinar las respectivas coordenadas de los puntos a enlazar y luego realizar el perfil topográfico con la ayuda de mapas digitales.

PARÁMETRO	Hospital General Latacunga	Rep 14
Latitud	0°56'12.7''S	0°57'37,5''S
Longitud	78°37'1.2''O	78°36'29,7''O
Elevación	2939 [m]	2886[m]

Tabla 5. 20. Datos de Posicionamiento del enlace Hospital General y Repetidora 14. Elaborado por Rosa Granizo



HG Figura 5. 9. Perfil Topográfico del Terreno. Elaborado por Rosa Granizo Rep14

- Paso 2. Determinar la distancia existente entre el transmisor y el receptor, mediante la siguiente ecuación:

$$D_{(Km)} = \sqrt{(\Delta longitud * 111)^2 + (\Delta latitud * 111)^2 + (\Delta h)^2} \quad (\text{Ecuación 5.1})$$

Donde:

D= distancia entre los enlaces

$\Delta longitud$  = Diferencia entre longitudes de las dos coordenadas [grados]

$\Delta latitud$  = Diferencia entre latitudes de las dos coordenadas [grados]

$\Delta h$  = Diferencia entre elevaciones de la estación de transmisión y recepción [km]

111= factor para transformar grados a km (1° equivale aproximadamente 111 km).

- Paso 3. Para el cálculo se transforma las coordenadas geográficas a grados decimales

$$Latitud Hospital = 0^\circ + \frac{56}{60} + \frac{12.7}{3600} = 0.9369^\circ$$

$$Latitud Rep14 = 0^\circ + \frac{57}{60} + \frac{37.5}{3600} = 0,9604^\circ$$

$$Longitud Hospital = 78^\circ + \frac{37}{60} + \frac{1.2}{3600} = 78.6170^\circ$$

$$\begin{aligned} \text{Longitud Rep14} &= 78^\circ + \frac{36}{60} + \frac{29,7}{3600} = 78.6083^\circ \\ \Delta \text{longitud} &= 78.6170^\circ - 78.6083^\circ \\ \Delta \text{longitud} &= -0.0236^\circ \\ \Delta \text{latitud} &= 0.9369^\circ - 0,9604^\circ \\ \Delta \text{latitud} &= -0,0087^\circ \\ \Delta h &= 2762,3 - 2792,6 \\ \Delta h &= -0.0303[\text{km}] \end{aligned}$$

- Paso 4. Aplicar la ecuación 5.1 y determinar la distancia

$$\begin{aligned} D_{(Km)} &= \sqrt{(-0.0217 * 111)^2 + (-0,0504 * 111)^2 + (-0.053)^2} \\ D_{(Km)} &= 2,79 \end{aligned}$$

- Paso 5. Al encontrar la distancia del radioenlace, se escoge la altura del obstáculo más alto y se determina si la primera zona de Fresnel está despejada

$$h_{desp} = h_1 + \frac{d_1}{d} (h_2 - h_1) - \left( h_c + 0,0785 \frac{d_1 d_2}{k} \right) \quad (\text{Ecuación 5.2})$$

$$r_{F1} = 547,72 * \sqrt{\frac{d_1(\text{km}) * d_2(\text{km})}{f(\text{MHz}) * d(\text{km})}} \quad (\text{Ecuación 5.3})$$

$$h_1 = H_1 + h_a \quad (\text{Ecuación 5.4})$$

$$h_2 = H_2 + h_b \quad (\text{Ecuación 5.5})$$

Donde:

$d_1$  = distancia desde el punto de transmisor al punto más alto del perfil [km]

$d_2$  = distancia desde el punto de recepción al punto más alto del perfil [km]

$d$  = distancia total [km]

$h_c$  = altura sobre el nivel del mar del obstáculo [m]

$H_1$  = altura sobre el nivel del mar del punto de Tx [m]

$h_a$  = altura de la antena Tx [m]

$h_1$  = altura total de Tx [m]

$H_2$  = altura sobre el nivel del mar de Rx [m]

$h_b$  = altura de la antena de Rx [m]

$h_2$  = altura total de Rx [m]

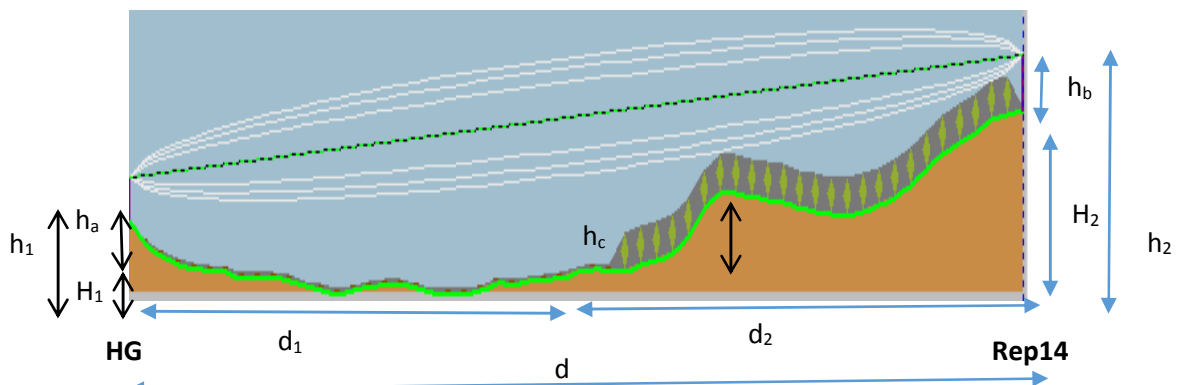


Figura 5. 10. Despeje de la primera zona de Fresnel. Elaborado por Rosa Granizo

De la figura 5.10 se observa el perfil del terreno y se tiene las diferentes distancias:

$$d_1 = 1,85 \text{ [km]}$$

$$d_2 = 0,94 \text{ [km]}$$

$$h_c = 2770,3 \text{ [m]}$$

Se observa que existe una pequeña obstrucción, la diferencia entre transmisor y la cumbre es 8 metros por esta razón se asume un valor inicial de 12 metros para la altura de las antenas.

$$h_1 = 2.939 + 12$$

$$h_2 = 2.886 + 12$$

$$h_{des} = 23,99 \text{ [m]}$$

- Paso 6. Luego de calcular la primera Zona de Fresnel, se calcula el margen de despeje

$$r_{F1} = 547,72 * \sqrt{\frac{1,85 * 0,94}{2400 * 2,79}}$$

$$r_{F1} = 8,33$$

$$M_D \% = \left(\frac{23,99}{8,33}\right)$$

$$M_D \% = 2,71$$

- Paso 7. Se calcula las pérdidas de propagación en espacio libre

$$L_f(\text{dB}) = 32,45 + 20 \log_{10}(d)_{\text{Km}} + 20 \log_{10}(f)_{\text{MHz}} \quad (\text{Ecuación 5.6})$$

$$L_f = 32,45 + 20 \log(6,09) + 20 \log(2400)$$

$$L_f = 115,74 \text{ [dB]}$$

- Paso 8. Se calcula la potencia de recepción a partir de la ecuación de balance de potencia

$$P_{RX} = P_{TX} + G_{TX} - L_{TX} - L_f - L_M + G_{RX} - L_{RX} \quad (\text{Ecuación 5.7})$$

Donde:

$P_{RX}$  = Potencia de recepción (dBm)

$P_{TX}$  = Potencia de transmisión (dBm)

$G_{TX}$  = Ganancia de la antena de transmisión (dBi)

$L_{TX}$  = Pérdida de la línea de transmisión (dB)

$L_f$  = Pérdida en espacio libre (dB)

$L_M$  = Pérdidas misceláneas (dB)

$G_{RX}$  = Ganancia de la antena de recepción (dBi)

$L_{RX}$  = Pérdida de la línea en el receptor (dB)

$$P_{RX} = 15 + 24 - 2 - 115,75 - 0 + 24 - 2$$

$$P_{RX} = -54,94 \text{ [dBm]}$$

Para la conexión se utiliza un cable coaxial LMR-1700 y 2 conectores tipo N, la pérdida en el cable coaxial a la frecuencia de 2.4Ghz es de 5.51dBm/100m.

- Paso 9. Encontrar el margen de desvanecimiento

$$MD = P_{RX} - U_{RX} \quad (\text{Ecuación 5.8})$$

$$MD = -54,74 - (-74)$$

$$MD = 19,04 \text{ [dB]}$$

Sabemos que el cantón de Latacunga se caracteriza por tener un terreo promedio, con una región montañosa y seca por lo tanto los factores geográficos y climáticos son:

a = 1 sobre un terreno promedio

b = 0,125 región montañosa y muy seca

- Paso 10. Se determina la indisponibilidad y confiabilidad del radioenlace

$$Undp = 2,5 * a * b * 10^{-6} * f * D^3 * 10^{-MD/10} \quad (\text{Ecuación 5.9})$$

$$C = (1 - Undp) * 100 \quad (\text{Ecuación 5.10})$$

Donde:

Undp = tiempo de indisponibilidad del sistema en un año

C = confiabilidad del sistema, expresada en porcentaje

f = frecuencia de la portadora [GHz]

D= distancia entre transmisor y receptor [millas]

MD = margen de desvanecimiento [dB]

a = factor geográfico [adimensional]

$$a = \left\{ \begin{array}{ll} 4 & \text{sobre agua o sobre un terreno muy liso} \\ 1 & \text{sobre un terreno promedio} \\ 0,25 & \text{sobre un terreno muy áspero y montañoso} \end{array} \right\}$$

b = factor climático [adimensional]

$$b = \left\{ \begin{array}{ll} 0,5 & \text{región costera, calido, áreas húmedas} \\ 0,25 & \text{región interior, temperatura moderada} \\ 0,125 & \text{región montañosa o muy seca} \end{array} \right\}$$

$$Undp = 2,5 * 1 * 0,125 * 10^{-6} * 2,4 * \left( \frac{2,79}{1,609} \right)^3 * 10^{-19,04/10}$$

$$Undp = 4,8794 * 10^{-6} \text{ [Año]}$$

$$Undp = 4,8794 * 10^{-6} * 365 * 24 * 60 * 60 \text{ [segundos]}$$

$$Undp = 153,83 \text{ [segundos]}$$

Por lo tanto el enlace no estará disponible 242 segundos en un año de funcionamiento

$$C = (1 - 4,8794 * 10^{-6}) * 100$$

$$C = 99,9992 \%$$

- Paso 11. Se determina la EIRP, el nivel de voltaje recibido por el receptor y la intensidad de campo eléctrico, así:

$$EIRP_{(W)} = P_{ent(W)} * A_t \quad (\text{Ecuación 5.11})$$

$$EIRP_{(W)} = 0,020 * 251,18 = 5,02$$

$$P_{ent(dBm)} = P_{TX(dBm)} - L_{TX(dB)} \quad (\text{Ecuación 5.12})$$

$$P_{ent(dBm)} = 15 - 2 = 13$$

$$P_{ent(W)} = 0,001 * \text{antilog} \left( \frac{P_{ent(dBm)}}{10} \right) \quad (\text{Ecuación 5.13})$$

$$P_{ent(W)} = 0,020$$

$$A_t = \text{antilog} \left( \frac{A_t(dBi)}{10} \right) \quad (\text{Ecuación 5.14})$$

$$A_t = 251,18$$

Paso 12. Calcular el Nivel de voltaje recibido por el receptor y la intensidad de campo eléctrico por lo tanto:

$$P_{RX(W)} = 0,001 * \text{antilog} \left( \frac{P_{RX(dBm)}}{10} \right) \quad (\text{Ecuación 5.15})$$

$$P_{RX(W)} = 3,1882 * 10^{-9}$$

$$V_{RX} = \sqrt{P_{RX(W)} * R_{(\Omega)}} \quad (\text{Ecuación 5.16})$$

$$V_{R(\mu V)} = 399,297$$

$$E_{dB(\mu V/m)} = 10 \log(EIRP_{(W)}) - 20 \log(d)_{km} + 74,8$$

$$E_{dB(\mu V/m)} = 79,90$$

Paso 13. Al final se alinean las antenas de transmisión y recepción, para ello se determina el ángulo de elevación, apuntamiento y azimut :

**Ángulo de elevación:**

$$\alpha = \tan^{-1} \frac{\Delta H}{D} \quad (\text{Ecuación 5.17})$$

$$\alpha = -0,62^\circ$$

Donde:

$\Delta H$  = Diferencia de alturas

$D$  = Distancia total

**Ángulo de apuntamiento:**

$$\theta = \arctan \left( \frac{\Delta \text{latitud}}{\Delta \text{longitud}} \right) \quad (\text{Ecuación 5.18})$$

$$\theta = -20,83^\circ$$

**Azimut:**

$$Azimut_{Hospital} = 180^\circ + |\theta|$$

$$Azimut_{Hospital} = 159,62^\circ$$

Para este diseño se utilizó el programa de simulación Radio Mobile, el cual emplea el modelo de propagación de terreno irregular Longly Rice que opera en el rango de frecuencias entre 20Mhz y 20 GHz, este programa permite conocer la potencia mínima de transmisión requerida en cada enlace, la distancia, etc. [12]. En la tabla 5.21 se presenta un cuadro comparativo de los resultados calculados con los obtenidos en la simulación de Radio Mobile con respecto al ejemplo planteado.

PARÁMETRO	CÁLCULO TEÓRICO	SOFTWARE RADIO MOBILE	ERROR %
Distancia de enlace "D" [Km]	2,79	2,79	0,0
Ángulo de elevación HG – Rep14[°]	0,62	0,66	0,04
Azimut Rep12 [°]	159,62	159,65	0
Margen de despeje "Hdes/RF1"	2,71	2,8	0,09
Pérdidas en espacio libre "Lf" [dB]	115,74	115,2	0,54
Pérdidas por obstrucción "LD(v)" [dB]	0	0	0,00
Potencia de recepción "P <sub>RX</sub> " [dBm]	-54,94	-54,5	0,44
Margen de desvanecimiento "MD" [dB]	19,04	19,5	0,46
Potencia isotrópica efectiva irradiada "EIRP" [w]	5,02	5,01	0,01
Intensidad de campo eléctrico "E" [dB(μV/m)]	72,89	66,8	6,08

Tabla 5. 21. Comparación entre el cálculo teórico y el modelo de cálculo con Radio Mobile. Elaborado Rosa G.

Como se observa en la tabla 5.21 los errores entre el cálculo teórico y los resultados de Radio Mobile no superan el 1% excepto en la intensidad de campo eléctrico, esto se debe a que el software trabaja con una cifra decimal, si se redondea el valor teórico el error será del 0 %, por lo tanto se valida los resultados del software Radio Mobile y se procede a simular el resto de radioenlaces del diseño.

Se definieron 15 estaciones correspondientes a cada Centro y Subcentro de salud y una por el Hospital General de Latacunga, también se establecieron 6 repetidores situados de tal manera que se lograron los enlaces necesarios con línea de vista garantizada, los mismos que fueron ubicados en el programa Google Earth para comprobar los respectivos sitios, a continuación se muestra los enlaces establecidos en Radio Mobile.

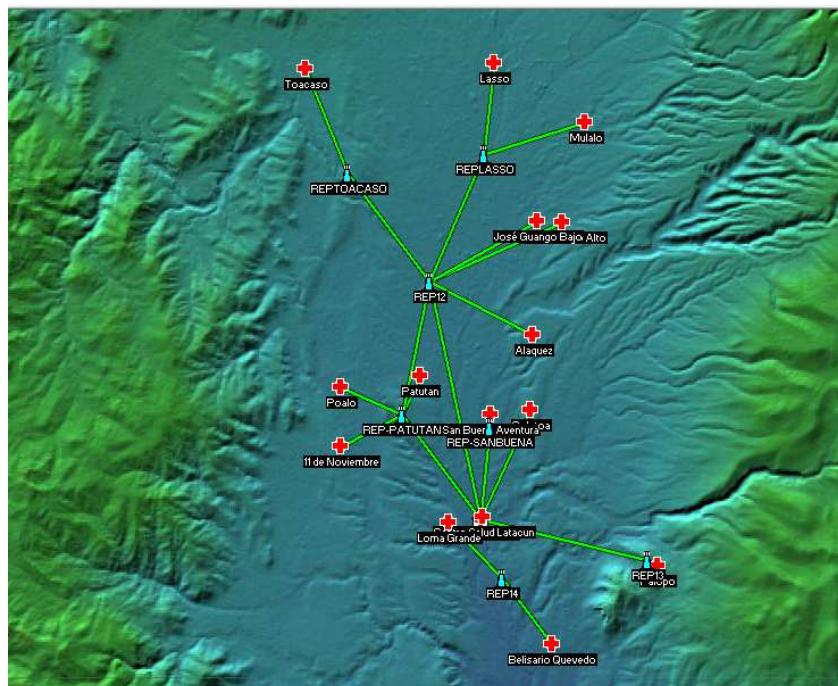


Figura 5. 11. Enlaces establecidos en Radio Mobile elaborado por Rosa Granizo

El diseño de la infraestructura de comunicaciones de los diferentes centros y subcentros de salud se realizó en forma jerárquica y se dividió en una red troncal y una red de acceso.

## 5.4 RED DE ACCESO

La red de acceso constituye cada uno de los enlaces que llega al centro o subcentro de salud, con su respectiva repetidora si es el caso, con un radio no mayor a 10Km, cuyo propósito es brindar servicio de conexión al usuario final. A continuación en la tabla 5.22 se presenta un resumen de las diferentes redes de acceso con sus respectivas distancias.

Redes de Acceso	Nivel de Recepción (dBm)	Despeje primera Zona de Fresnel	Distancia (Km)	Azimut (°)	Intensidad de campo eléctrico "E" (dB(μV/m))
RepToacaso – Toacaso	-60.2	1.9	4.99	158.23	61.2
RepLasso-Lasso	-63.4	1.4	4.06	186.94	62.3
RepLasso-Mulaló	-60.6	1.5	4.7	252.6	62.4
Rep12-José Guango Bajo	-62.6	0.7	5.5	240.63	60.4
Rep12-José Guango Alto	-63.3	1.4	6.44	245.01	59.6
Rep12- Rep Toacaso	-68	2	5.97	142.85	56.9
Rep12 – Aláquez	-62.1	1.6	5.12	296.89	60.9
Rep12-RepLasso	-61.3	0.5	6.1	23.21	59.7
RepPatután-Patután	-50.6	2.4	1.88	204.54	70.9
RepPatután-Poaló	-53	2.3	2.93	113.91	68.5
RepPatután-11 de Noviembre	-57	5.3	3.06	62.45	64.5
Rep San Buenaventura- San Buenaventura	-38.6	4.6	0.54	185.84	82.8
Rep13 – Palopo	-43.6	7.9	0.55	300.58	79.4
Rep 14 - Belisario Quevedo	-58.3	1.4	3.6	323.02	63.2
Rep 14 - Loma Grande	-57.9	3.7	3.4	136.29	53.6
Hospital General - Rep San Buenaventura	-59	0.8	4.08	5.8	62.5
Hospital General – Colatoa	-54.8	2.2	5.29	24.76	66.7
Hospital General - Rep13	-63.5	5.1	7.55	103.72	59.4
Hospital General- Rep 14	-52.8	2.9	2.79	159.65	68.7
Hospital General - CS. Latacunga	27.8	5.9	0.13	51.86	93.6

Tabla 5. 22. Resumen de las redes de acceso con sus respectivas distancias. Elaborado por Rosa Granizo

Se presenta los resultados obtenidos en el simulador de Radio Mobile para cada una de las redes de acceso.

### 5.4.1 Enlace de acceso Lasso – Repetidor Lasso

Se observa el enlace con una distancia de 4,06 km entre Lasso y el Repetidor de Lasso, donde existe línea de vista sin obstáculos, el nivel de señal recibida es de  $-63,4\text{dBm}$ , es un enlace estable ya que su margen de desvanecimiento es  $10,6\text{dB}$  y el despeje de la primera zona de Fresnel de  $1,4F1$ , esto aseguran una conexión confiable.

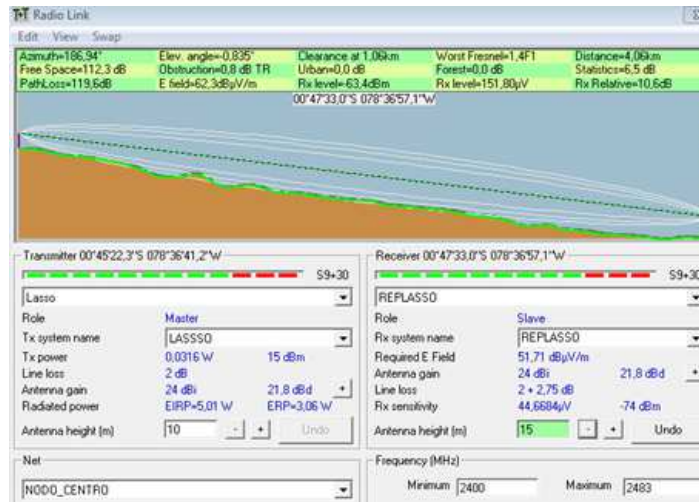


Figura 5. 12. Perfil y resultados del radioenlace Lasso – Repetidor Lasso. Elaborado por Rosa Granizo

### 5.4.2 Enlace de acceso Mulaló – Repetidor Lasso

Se observa el enlace con una distancia de 4,70 km entre Mulaló y el Repetidor de Lasso, donde existe línea de vista sin obstáculos, el nivel de señal recibida es de  $-60,6\text{ dBm}$ , es un enlace estable porque su margen de desvanecimiento es de  $13,4\text{ dB}$  y despeje de la primera zona de Fresnel de  $1,5F1$ , esto aseguran una conexión confiable.

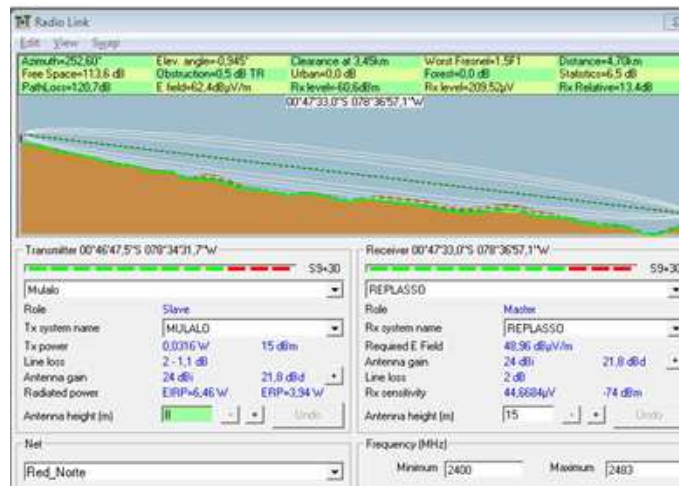


Figura 5. 13. Perfil y resultados del enlace Mulaló – Repetidor Lasso. Elaborado por Rosa Granizo

### 5.4.3 Enlace de acceso Toacaso – Repetidor Toacaso

Se observa el enlace con una distancia de 4,99 km entre Toacaso y el Repetidor de Toacaso, donde existe línea de vista sin obstáculos, el nivel de señal recibida es de  $-60,2$  dBm, es un enlace estable porque su margen de desvanecimiento es de 13,8 dB y despeje de la primera zona de Fresnel de 1,9F1, esto aseguran una conexión confiable.

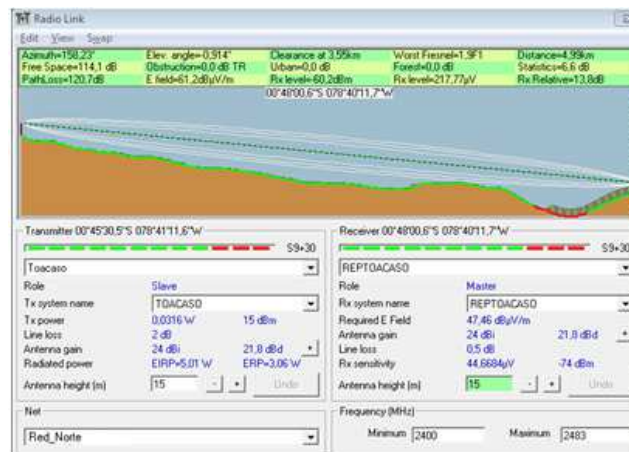


Figura 5. 14. Perfil y resultados del enlace Toacaso – Repetidor Toacaso. Elaborado por Rosa Granizo

### 5.4.4 Enlace de acceso RepToacaso – Repetidor12

Se observa el enlace con una distancia de 5,97 km entre Repetidor de RepToacaso y el Rep12, donde existe línea de vista sin obstáculos, el nivel de señal recibida es de  $-63,6$  dBm, es un

enlace estable porque su margen de desvanecimiento es de 10,4 dB y despeje de la primera zona de Fresnel de 2,0F1, esto aseguran una conexión confiable.

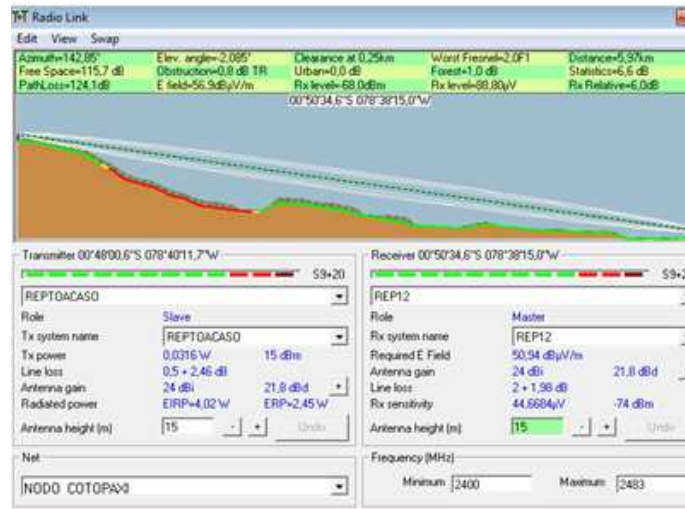


Figura 5. 15. Perfil y resultados del enlace Repetidor Toacaso – Repetidor 12. Elaborado por Rosa Granizo

#### 5.4.5 Enlace de acceso José Guango Bajo – Repetidor12

Se observa el enlace con una distancia de 5,50 km entre José Guango Bajo y el Rep12, donde existe línea de vista sin obstáculos, el nivel de señal recibida es de -62,6 dBm, es un enlace estable porque su margen de desvanecimiento es de 11,4 dB y despeje de la primera zona de Fresnel de 0,7F1, esto aseguran un conexión confiable.

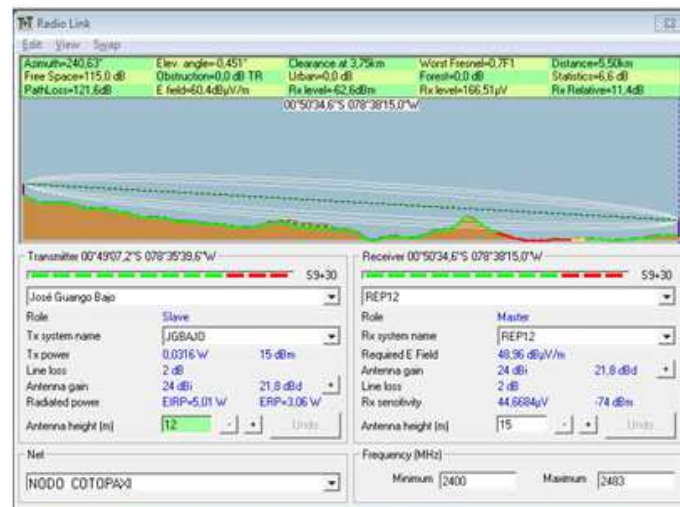


Figura 5. 16. Perfil y resultados del enlace José Guango Bajo – Repetidor 12. Elaborado por Rosa Granizo

#### 5.4.6 Enlace de acceso José Guango Alto – Repetidor12

Se observa el enlace con una distancia de 6,44 km entre José Guango Alto y el Rep12, donde existe línea de vista sin obstáculos, el nivel de señal recibida es de  $-63,3$  dBm, es un enlace estable porque su margen de desvanecimiento es de  $10,7$  dB y despeje de la primera zona de Fresnel de  $1,4F1$ , esto aseguran un conexión confiable.

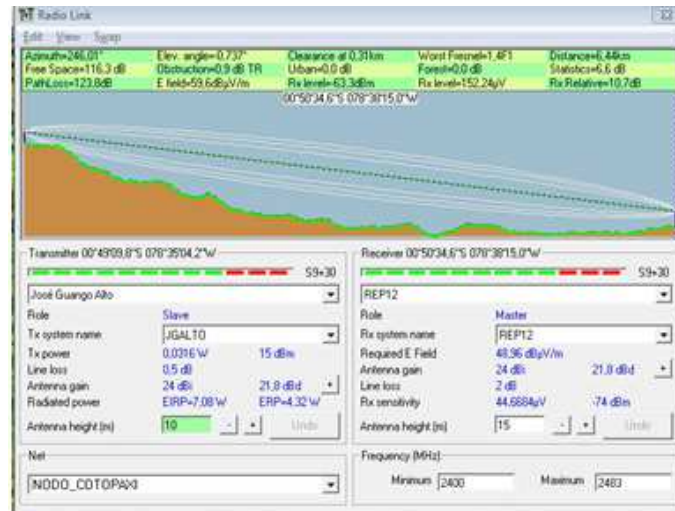


Figura 5. 17. Perfil y resultados del enlace José Guango Alto – Repetidor 12. Elaborado por Rosa Granizo

#### 5.4.7 Enlace de acceso Aláquez – Repetidora 12

Se observa el enlace con una distancia de 5,12 km entre Aláquez y el Rep12, donde existe línea de vista sin obstáculos, el nivel de señal recibida es de  $-62,1$  dBm, es un enlace estable porque su margen de desvanecimiento es de  $11,9$  dB y despeje de la primera zona de Fresnel de  $1,6F1$ , esto aseguran un conexión confiable.

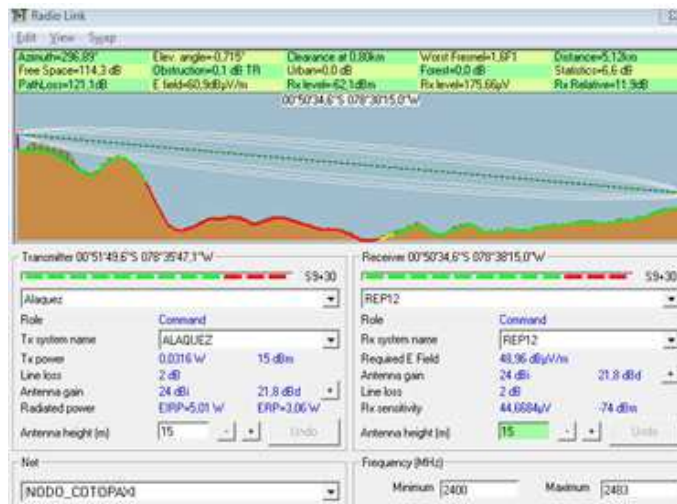


Figura 5. 18. Perfil y resultados del enlace Aláquez – Repetidor 12. Elaborado por Rosa Granizo

#### 5.4.8 Enlace de acceso Patután – Repetidora Patután

Se observa el enlace con una distancia de 1,88 km entre Patután y el Rep-Patután, donde existe línea de vista sin obstáculos, el nivel de señal recibida es de  $-50,6$  dBm, e es un enlace estable porque su margen de desvanecimiento es de 23,4 dB y despeje de la primera zona de Fresnel de  $2,4F1$ , esto aseguran una conexión confiable.

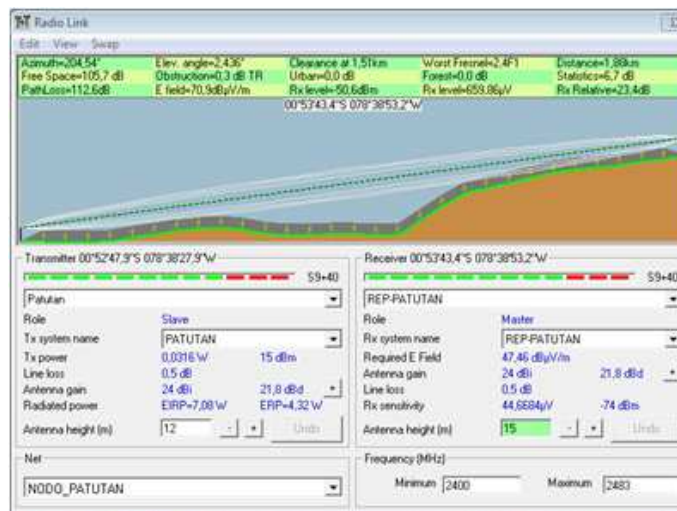


Figura 5. 19. Perfil y resultados del enlace Patután – Repetidor Patután. Elaborado por Rosa Granizo

#### 5.4.9 Enlace de acceso Poaló – Repetidora Patuán

Se observa el enlace con una distancia de 2,93 km entre Poalo y el Rep-Patuán, donde existe línea de vista sin obstáculos, el nivel de señal recibida es de  $-53,0$  dBm, es un enlace estable porque su margen de desvanecimiento es de  $21,0$  dB y despeje de la primera zona de Fresnel de  $2,3F1$ , esto aseguran un conexión confiable.

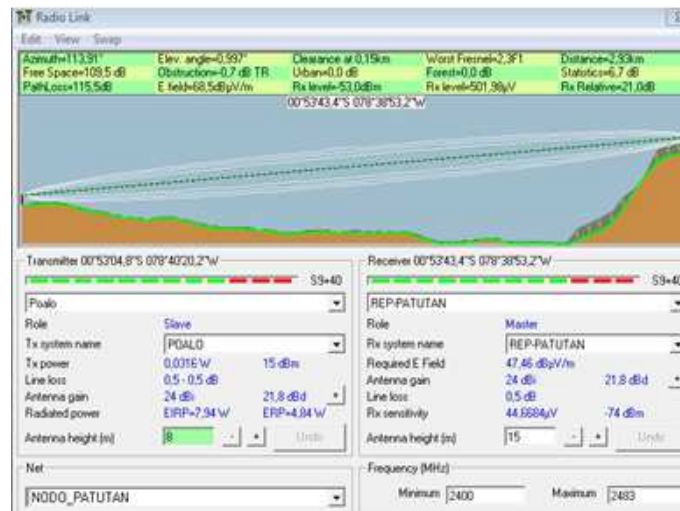


Figura 5. 20. Perfil y resultados del enlace Poaló – Repetidor Patuán. Elaborado por Rosa Granizo

#### 5.4.10 Enlace de acceso 11 de Noviembre – Repetidora Patuán

Se observa el enlace con una distancia de 3,06 km entre la 11 de Noviembre y el Rep-Patuán, donde existe línea de vista sin obstáculos, el nivel de señal recibida es de  $-57$  dBm, es un enlace estable porque su margen de desvanecimiento es de  $17,0$  dB y despeje de la primera zona de Fresnel de  $5,3F1$ , esto aseguran una conexión confiable.

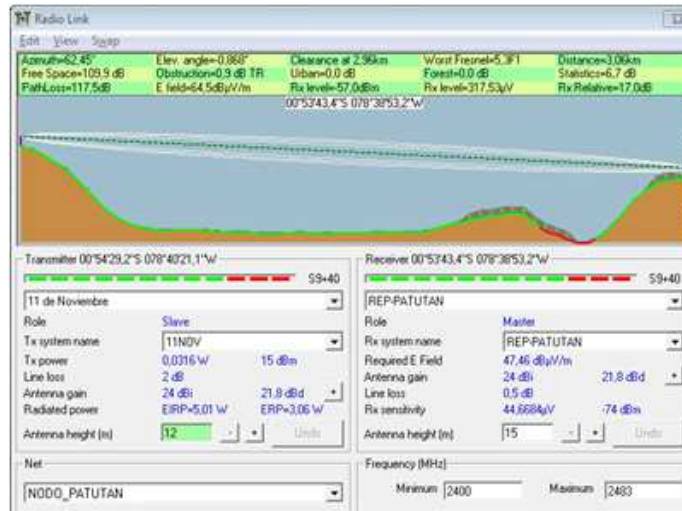


Figura 5. 21. Perfil y resultados del enlace 11 de Noviembre–Repetidor Patután. Elaborado por Rosa Granizo

#### 5.4.11 Enlace de acceso HG – Colatooa

Se observa el enlace con una distancia de 5,29 km entre el HG y Colatooa, donde existe línea de vista sin obstáculos, el nivel de señal recibida es de  $-54,8$  dBm, es un enlace estable porque su margen de desvanecimiento es de 19,2 dB y despeje de la primera zona de Fresnel de  $2,2F_1$ , esto aseguran una conexión confiable.

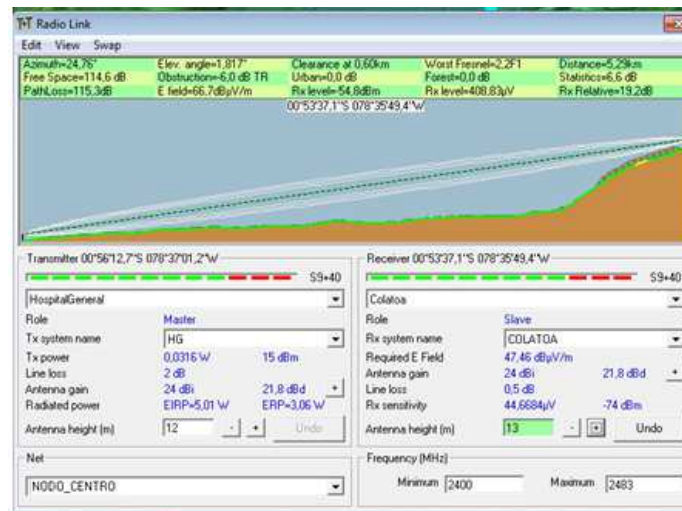


Figura 5. 22. Perfil y resultados del enlace Hospital General – Colatooa. Elaborado por Rosa Granizo

#### 5.4.12 Enlace de acceso HG – Rep-SanBuena

Se observa el enlace con una distancia de 4,08 km entre el HG y Rep-SanBuena, donde existe línea de vista sin obstáculos, el nivel de señal recibida es de -59 dBm, es un enlace estable porque su margen de desvanecimiento es de 15 dB y despeje de la primera zona de Fresnel de 0,8F1, esto aseguran un conexión confiable.

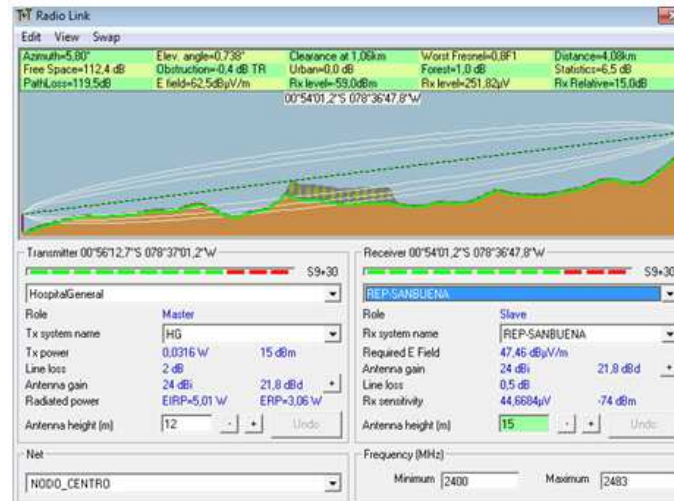


Figura 5. 23. Perfil y resultados del enlace Hospital General–Repetidor San Buenaventura.

Elaborado por Rosa Granizo

#### 5.4.13 Enlace de acceso San Buenaventura – RepSanbuena

Se observa el enlace con una distancia de 0,54km entre San Buenaventura y el Rep San Buena, donde existe línea de vista sin obstáculos, el nivel de señal recibida es de -38,6dBm, es un enlace estable porque su margen de desvanecimiento es de 35,4dB y despeje de la primera zona de Fresnel de 4,6F1, esto aseguran una conexión confiable.

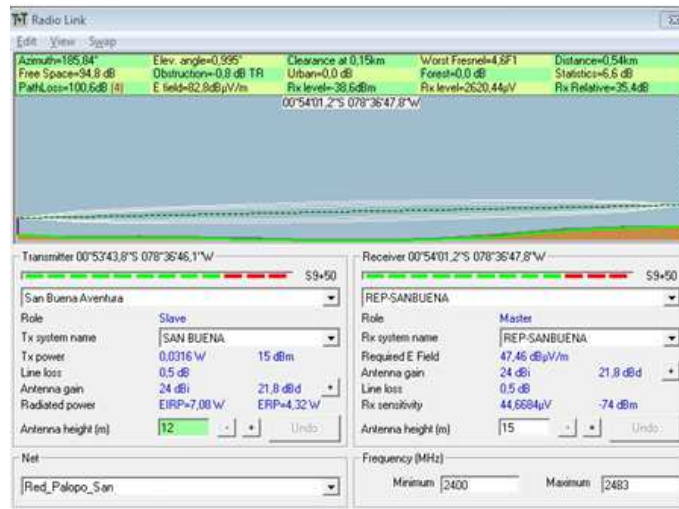


Figura 5. 24. Perfil y resultados del enlace San Buenaventura – Repetidor San Buenaventura.

Elaborado por Rosa Granizo

#### 5.4.14 Enlace de acceso HG – CS\_Latacunga

Se observa el enlace con una distancia de 0,13km entre San Buenaventura y el Rep San Buena, donde existe línea de vista sin obstáculos, el nivel de señal recibida es de -27,8dBm, es un enlace estable porque su margen de desvanecimiento es de 46,2dB y despeje de la primera zona de Fresnel de 5,9F1, esto aseguran una conexión confiable.

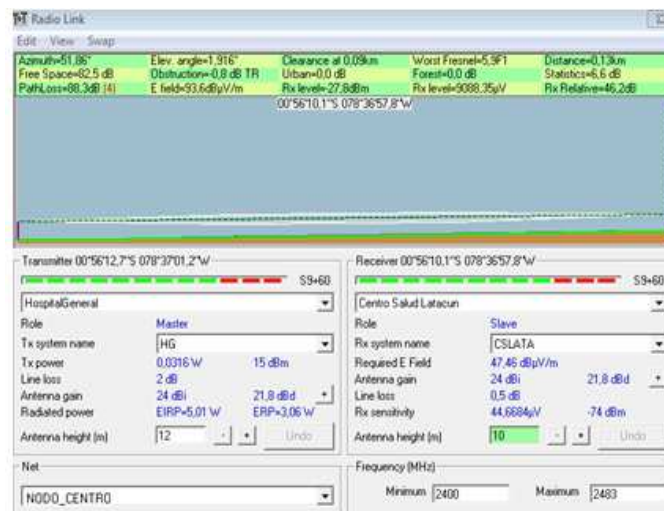


Figura 5. 25. Perfil y resultados del enlace Hospital General–Centro de Salud Latacunga.

Elaborado por Rosa Granizo

#### 5.4.15 Enlace de acceso Belisario Quevedo – Rep14

Se observa el enlace con una distancia de 3,6km entre San Buenaventura y el Rep San Buena, donde existe línea de vista sin obstáculos, el nivel de señal recibida es de  $-58,3\text{dBm}$ , es un enlace estable porque su margen de desvanecimiento es de  $15,7\text{ dB}$  y despeje de la primera zona de Fresnel de  $1,4F1$ , esto aseguran una conexión confiable.

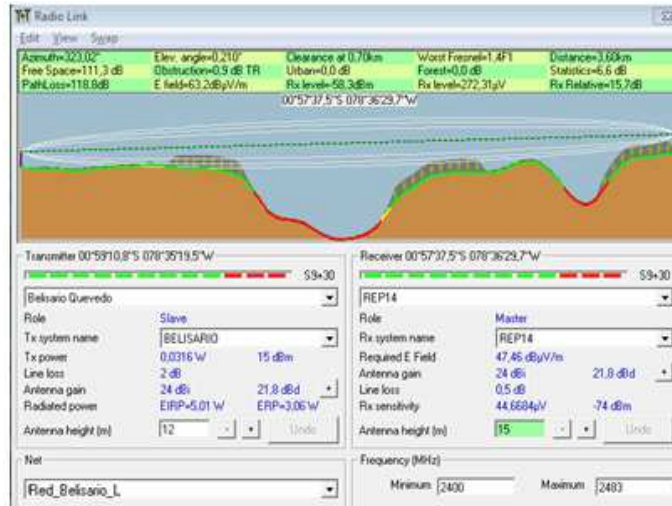


Figura 5. 26. Perfil y resultados del enlace Belisario Quevedo – Repetidor 14. Elaborado por Rosa Granizo

#### 5.4.16 Enlace de acceso Palopo – Rep13

Se observa el enlace con una distancia de 0,55km entre San Buenaventura y el Rep San Buena, donde existe línea de vista sin obstáculos, el nivel de señal recibida es de  $-43,6\text{dBm}$ , es un enlace estable porque su margen de desvanecimiento es de  $63,4\text{ dB}$  y despeje de la primera zona de Fresnel de  $7,9F1$ , esto aseguran una conexión confiable.

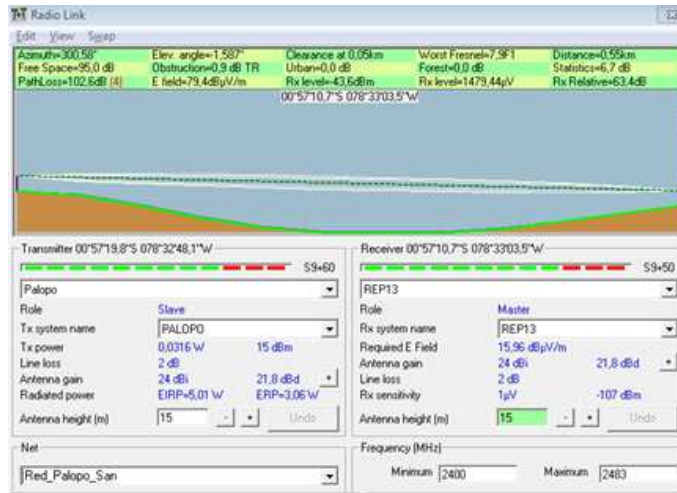


Figura 5. 27. Perfil y resultados del enlace Palopo – Repetidor 13. Elaborado por Rosa Granizo

#### 5.4.17 Enlace de acceso HG– Rep13

Se observa el enlace con una distancia de 7,55km entre HG y el Rep13, donde existe línea de vista sin obstáculos, el nivel de señal recibida es de  $-63,5\text{dBm}$ , es un enlace estable porque su margen de desvanecimiento es de  $43,5\text{ dB}$  y despeje de la primera zona de Fresnel de  $5,1F1$ , esto aseguran una conexión confiable.

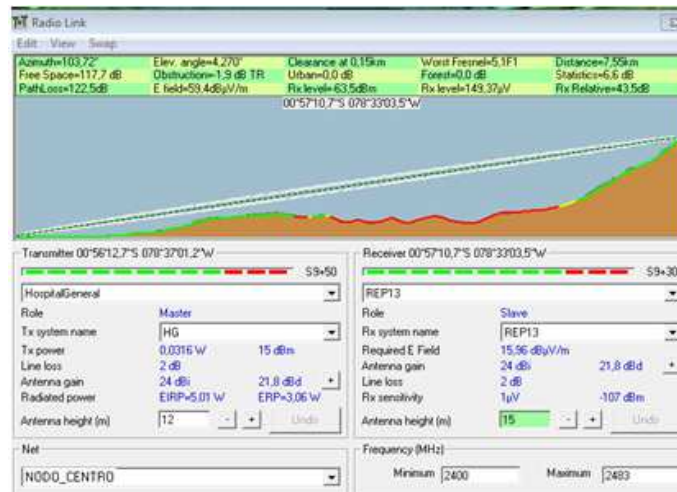


Figura 5. 28. Perfil y resultados del enlace Hospital General – Repetidor 13. Elaborado por Rosa Granizo

#### 5.4.18 Enlace de acceso Loma Grande – Rep14

Se observa el enlace con una distancia de 3,40km entre Loma Grande y el Rep14, donde existe línea de vista sin obstáculos, el nivel de señal recibida es de  $-57,9\text{dBm}$ , es un enlace estable porque su margen de desvanecimiento es de  $16,1\text{ dB}$  y despeje de la primera zona de Fresnel de  $3,7F1$ , esto aseguran una conexión confiable.

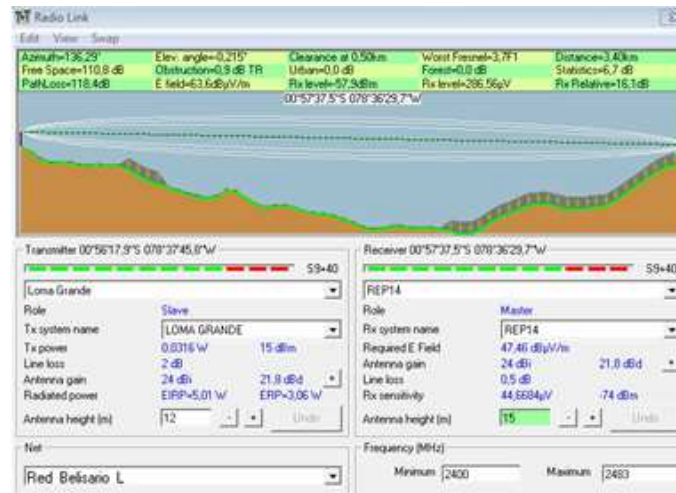


Figura 5. 29. Perfil y resultados del enlace Loma Grande – Repetidor 14. Elaborado por Rosa Granizo

### 5.5 RED TRONCAL

El objetivo de una red troncal es llevar todo el tráfico de la red de acceso hacia el Centro de Control de Red (NOC) que se encuentra en el Hospital General de Latacunga, la misma que está compuesta por enlaces punto a punto. A continuación en la tabla 5.23 se presenta el resumen de la red troncal, los enlaces y la distancia correspondiente

Troncales	Enlaces	Nivel de Recepción (dBm)	Despeje primera Zona de Fresnel	Distancia (Km)
Nodo Cotopaxi	Rep12-RepPatután	-59,8	1,9	5,94
Nodo Patután	Hospital General - Rep Patután	-62	3,1	5,76
Nodo Centro	Hospital General - Rep 12	-65,1	0,8	10,68

Tabla 5. 23. Resumen de la red troncal con sus respectivas distancias. Elaborado por Rosa Granizo

Seguidamente se presenta los resultados obtenidos en el Simulador de Radio Mobile.

### 5.5.1 Enlace troncal HG – Rep\_Patután

Se observa el enlace entre el Hospital General y el Repetidor de Patután con una distancia de 5,76km donde existe línea de vista sin obstáculos, el nivel de señal recibida es de  $-62,0\text{dBm}$ , es un enlace estable porque su margen de desvanecimiento es de  $12,0\text{ dB}$  y despeje de la primera zona de Fresnel de  $3,1F1$ , esto aseguran una conexión confiable.



Figura 5. 30. Perfil y resultados del enlace troncal entre el Hospital General – Repetidor Patután. Elaborado por Rosa Granizo

### 5.5.2 Enlace troncal HG – Rep\_12

Se observa el enlace entre el Hospital General y el Repetidor\_12 con una distancia de 10,68km donde existe línea de vista sin obstáculos, el nivel de señal recibida es de  $-65,1\text{dBm}$ , es un enlace estable porque su margen de desvanecimiento es de  $8,9\text{ dB}$  y despeje de la primera zona de Fresnel de  $0,8F1$ , esto aseguran una conexión confiable.

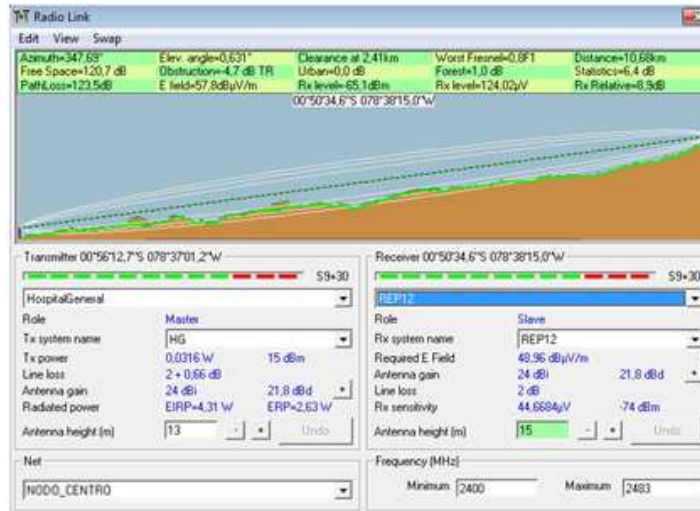


Figura 5. 31. Perfil y resultados del enlace troncal entre el Hospital General – Repetidor 12. Elaborado por Rosa Granizo

### 5.5.3 Enlace troncal Rep\_12 y Rep\_Patután

Se observa el enlace entre el Repetidor 12 y la Rep\_Patután con una distancia de 5,94km donde existe línea de vista sin obstáculos, el nivel de señal recibida es de -59,8 dBm, es un enlace estable porque su margen de desvanecimiento es de 14,2 dB y despeje de la primera zona de Fresnel de 1,9F1, esto aseguran una conexión confiable.



Figura 5. 32. Perfil y resultados del enlace troncal entre el Repetidor 12 y el Repetidor Patután. Elaborado por Rosa Granizo

## 5.6 PRESUPUESTO REFERENCIAL

Se presenta un presupuesto considerando fabricantes o modelos diferentes, los cuales deben cumplir con los requerimientos técnicos necesarios para el presente diseño, en los cuales se detallan los precios de los equipos para finalmente obtener un costo aproximado.

### 5.6.1 Equipos de la red troncal y acceso

Los elementos a utilizar tanto en la red troncal como la de acceso son:

- Torre
- Antenas
- Módulo de Radio WiFi

Para la selección de equipos se debe tomar en consideración algunos factores que abarque la capacidad de funcionar con otros equipos, costo, soporte, requerimientos técnicos que incluyan nivel de potencia de las antenas, ganancia, potencia de radiación ,etc. A continuación se presentan los equipos seleccionados.

#### 5.6.1.1 Presupuesto Torre

La torre para la instalación de redes inalámbricas se ha considerado una de 15 m, además se debe un sistema pararrayos y puesta a tierra, para la protección de los equipos, como se detalla en tabla 5.24. Cuyos costos se obtuvieron de [54] [55] [56].

Descripción	Cant.	P.unitario	P.Total
Torre soportada galvanizado al caliente de 15m,base de placa de ¼" y niples de ¾",abrazaderas (perritos) para cable de 3/16",Cuellos para cable de 3/16",etc	1	\$ 163.35	\$ 163.35
Bases de hormigón para suelo normal	4	\$ 55.00	\$ 220.00
Luces balizas tipo Led	1	\$ 300.00	\$ 300.00
Sistemas de pararrayos tipo Franklin	1	\$ 400.00	\$ 400.00
Sistemas de puesta a tierra de la torre	1	\$ 380.00	\$ 380.00
<b>Total</b>			\$ 1,463.35

Tabla 5. 24. Costo de torres galvanizadas para redes inalámbricas [57].

### 5.6.1.2 Presupuesto de Enlaces de la red de acceso y troncal

A continuación se presentan cuadros comparativos de los equipos con los requerimientos mínimos para el diseño de la red de acceso y la troncal.

En la tabla 5.25 se realizó un análisis comparativo de los diferentes parámetros necesarios para radios punto a punto de la cual se puede evidenciar que el equipo de marca Ubiquiti modelo R2M2-Ti cumple con todos los parámetros necesarios.

RADIO PUNTO A PUNTO		
CARACTERÍSTICAS	MARCA	
	UBIQUITI	UBIQUITI
Modelo	ROKET M2	RM2-Ti
Equipo outdoor	CUMPLE	CUMPLE
Frecuencia de operación: 2.4GHz	CUMPLE	CUMPLE
Potencia mínima de transmisión: 22 dBm	CUMPLE	CUMPLE
Antena: conector tipo N	CUMPLE	CUMPLE
Sensibilidad: -75 dBm	CUMPLE	CUMPLE
Velocidad de transmisión mínima: 50 Mbps	CUMPLE	CUMPLE
Soporta SNMP	CUMPLE	CUMPLE
Calidad de servicio (802.1p)	NO CUMPLE	CUMPLE
VLAN (802.1Q)	CUMPLE	CUMPLE
Encriptación	CUMPLE	CUMPLE
Interfaz Ethernet	CUMPLE	CUMPLE
Temperatura (-40°C a 60°C)	CUMPLE	CUMPLE
Precio	\$ 182.99 [58]	\$ 204.00 [59]

Tabla 5. 25. Comparación de los equipos punto a punto [60].

Seguidamente se tiene el cuadro comparativo de los radios punto a multipunto, tabla 5.26, donde al igual que el anterior se verifica el cumplimiento de parámetros mínimos necesario para el diseño, por lo cual se elige el equipo Ubiquiti BM2-Ti.

RADIO PUNTO A MULTIPUNTO		
CARACTERÍSTICAS	MARCA	
	UBIQUITI	UBIQUITI
Modelo	BM2HP	BM2-TI
Equipo outdoor	CUMPLE	CUMPLE
Frecuencia de operación: 2.4GHz	CUMPLE	CUMPLE
Potencia mínima de transmisión: 22 dBm	CUMPLE	CUMPLE
Antena: conector tipo N	CUMPLE	CUMPLE
Sensibilidad: -75 dBm	CUMPLE	CUMPLE
Velocidad de transmisión mínima: 50 Mbps	CUMPLE	CUMPLE
Soporta SNMP	CUMPLE	CUMPLE
Calidad de servicio (802.1p)	NO CUMPLE	CUMPLE
Vlan (802.1Q)	NO CUMPLE	CUMPLE
Encriptación	NO CUMPLE	CUMPLE
Interfaz Ethernet	CUMPLE	CUMPLE
Temperatura (-40°C a 60°C)	CUMPLE	CUMPLE
Precio	\$ 133.99 [61]	\$ 279.99 [62]

Tabla 5. 26. Comparación de los equipos punto multipunto [63] [64].

Es necesario considerar al igual que los radios, también las antenas correspondientes donde sea posible contrastar sus características, es por esto que en la tabla 5.27 se realiza la comparativa de las antenas punto a punto, cuyo resultado de selección es el equipo Hyperlink modelo HG2427G.

ANTENAS PUNTO A PUNTO		
CARACTERÍSTICAS	MARCA	
	TP-LINK	HyperLink
Modelo	TL-ANT2424B	HG2427G
Frecuencia de operación: 2.4 GHz	CUMPLE	CUMPLE
Ganancia mínima de antena: 26 dBi	NO CUMPLE	CUMPLE
Polarización Vertical u Horizontal	CUMPLE	CUMPLE
Polarización Dual	CUMPLE	CUMPLE
Precio	\$ 95.79 [65]	\$ 260.00 [66]

Tabla 5. 27. Comparación de las antenas punto a punto [67] [67, 68].

Por otra parte se tiene las antenas adecuadas para punto a multipunto descritas en la tabla 5.28, tomando en cuenta características mínimas necesarias, a pesar de que los dos equipos cumplen con requerimientos, se escoge el equipo de marca Ubiquiti modelo AM-W2G-Ti, por compatibilidad y precio.

ANTENAS SECTORIALES		
CARACTERÍSTICAS	MARCA	
	Ubiquiti	HyperLink
Modelo	AM-W2G-Ti	HG2417P-120
Frecuencia de operación: 2.4 GHz	CUMPLE	CUMPLE
Ganancia mínima de antena: 15 dBi	CUMPLE	CUMPLE
Soporta 120°	CUMPLE	CUMPLE
Impedancia de 50 Ω	CUMPLE	CUMPLE
Conector tipo N	CUMPLE	CUMPLE
VSWR	1.5:1	< 1.3:1
Precio	\$ 286[69]	\$ 309 [70]

Tabla 5. 28. Comparación de las antenas punto a multipunto [71] [67].

Luego del análisis comparativo se ha seleccionado los equipos y antenas más adecuados para el enlace, enfocados en el mejor costo benéfico para el presente proyecto, además se incluye los costos de torres y accesorios necesarios para la instalación, en conclusión se tendría un costo aproximado de \$ 56,000.00 de acuerdo a la tabla 5.29.

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	SUBTOTAL
TORRES Y ACCESORIOS	22	\$ 1,463.35	\$ 32,193.7
RADIO PUNTO A PUNTO	28	\$ 204.00	\$ 5,712
RADIO PUNTO A MULTIPUNTO	18	\$ 279.99	\$ 5,039.82
ANTENAS PUNTO A PUNTO	28	\$ 260.00	\$ 7,280
ANTENAS SECTORIALES	18	\$ 286	\$ 5,148
PRESUPUESTO REFERENCIAL DE ENLACES			\$ 55,643.52

Tabla 5. 29. Presupuesto referencial de enlaces. Elaborado por Rosa Granizo.

## 6. CONCLUSIONES

- Se diseñó una infraestructura de comunicaciones de telemedicina, que permitirá mejorar las características de funcionamiento de los centros y subcentros de salud del cantón Latacunga.
- Se identificó las debilidades y fortalezas de cada uno de los centros y subcentros de salud del cantón Latacunga, mediante la recopilación de información, utilizando estos datos al momento del diseño de la red inalámbrica.
- Se realizó el levantamiento de información tecnológica y de la infraestructura de comunicaciones, y en base a esto se estableció los requerimientos que debía cumplir la red.
- Se eligió la tecnología inalámbrica IEEE 802.11n a una frecuencia de 2,4GHz, porque trabaja bajo una frecuencia no licenciada y es ideal para zonas rurales, debido a las características topográficas y elevación del terreno, fue necesario ubicar repetidores para realizar los enlaces, con el fin de tener línea de vista entre los nodos y así lograr la interconexión de los centros y subcentros de salud con el Hospital General de Latacunga.
- La velocidad de transmisión para video conferencia depende del códec a utilizar además de la resolución y de los fotogramas por segundo es así que se escogió el códec H.264 porque tiene una buena calidad y alto nivel de compresión.
- Para conectar los centros médicos hacia la PSTN se lo realizará con una probabilidad de bloqueo del 1% y se requerirá 17 líneas telefónicas.
- Para obtener la velocidad de transmisión de datos fue necesario considerar el índice de simultaneidad tomando en cuenta el horario de trabajo del personal administrativo y de los médicos.
- Se procedió a la simulación con Radio Mobile de los enlaces entre centros y subcentros de salud con el Hospital de referencia el cual nos muestra resultados

importantes como el despeje de la primera zona de Fresnel, la potencia irradiada, etc., estos datos tienen un margen de error mínimo con respecto a los calculados.

- Se contempló que el diseño tenga todos los parámetros que exige la regulación, además se deberá cancelar mensualmente una tarifa por uso del espectro con valores diferenciados si son enlaces punto a punto o punto multipunto como establece la Norma para la Implementación y Operación de Sistemas de Modulación Digital.
- En el diseño se tomó en cuenta los Derechos de Concesión para los Servicios y Sistemas, según el artículo 31 del reglamento de las Comunicaciones.

## 7. RECOMENDACIONES

- La altura mínima sobre el nivel del suelo recomendable a la que debe colocarse una antena es de 15 metros, siempre y cuando se tenga la certeza de contar con línea de vista, sin embargo la altura máxima de una torre dependerá del costo/beneficio mientras más alta mayor es su costo.
- La calidad de servicio es un factor fundamental para las aplicaciones de voz datos, y video por esta razón todos los equipos cuentan con QoS.
- Es posible aplicar criterios de encriptación y mecanismos para autenticación de usuarios, mediante el estándar WPA2 que permite encriptar la información con el algoritmo AES.
- Se podría crear un centro de capacitación en telemedicina e informática médica con las universidades de nuestro medio, realizando cursos o congresos en beneficio de la población.
- Se podría llevar a cabo la instalación de la red de telemedicina que permitirá mejorar el funcionamiento de los diferentes centros y subcentros de salud del cantón Latacunga.

## BIBLIOGRAFÍA:

- [1] R. L. Doctor, "Ministerio de Salud Pública. Programa Nacional de Telemedicina/Telesalud Logros, Planes y Retos Pendientes," ed, 2010.
- [2] A. d. F. dos Santos, A. Fernández, H. J. Alves, C. de Souza, M. d. C. B. de Melo, and L. A. Messina, "Desarrollo de la telesalud en América Latina," 2013.
- [3] A. M. Elena, "Análisis de la Situación Integral de Salud ", ed, 2013.
- [4] L. Ary Messina, "Desarrollo de la telesalud en América Latina: aspectos conceptuales y estado actual," 2013.
- [5] P. L. M. R. Monje, "Telemedicina: Medicina especializada al alcance de todos," *Revista Ciencias Básicas Bolivarianas Universidad Simón Bolívar*, pp. 45-62, 2012.
- [6] E. Cáceres-Méndez, S. Castro-Díaz, C. Gómez-Restrepo, and J. Puyana, "Telemedicina: historia, aplicaciones y nuevas herramientas en el aprendizaje," *Universitas Médica*, vol. 1, pp. 11-35, 2011.
- [7] M. G. de Ortúzar, "Hacia la Telemedicina en el MERCOSUR," *Revista Salud. com*, vol. 8, pp. 11-17, 2012.
- [8] D. M. Bolaños, "Telemedicina en el Ecuador: un mundo de desafíos y oportunidades," *La Granja*, vol. 12, pp. 32-5, 2010.
- [9] E. G. Jordá, "Telemedicine: shortening distances," *Clinical and Translational Oncology*, vol. 12, pp. 650-651, 2010.
- [10] J. M. Avilés, J. R. Gil-García, and F. Ramirez-Hernández, "e-Salud en México: antecedentes, objetivos, logros y retos," *Espacios Públicos*, vol. 15, pp. 65-94, 2012.
- [11] O. P. B. Marquínez, E. M. Londoño, and J. N. Á. Carvajal, "Estado del arte de la educación virtual en Risaralda: Preliminares conceptuales que orientan el proceso investigativo," *TEXTOS & SENTIDOS*, 2013.
- [12] A. Zambrano, M. Huerta, C. Andrade, and T. Vivas, "Diseño de una red de Telemedicina para zonas urbanas de difícil acceso: caso Baruta—el Hatillo," in *IV Latin American Congress on Biomedical Engineering 2007, Bioengineering Solutions for Latin America Health*, 2008, pp. 966-970.
- [13] M. T. M. Pisano, "Advances in Telemedicine and Telehealth in Ecuador," *VITAE Academia Biomédica Digital*, 2012.
- [14] S. N. d. P. y. D. SENPLADES, "¿Qué son las zonas distritos y circuitos?," ed, 2012.
- [15] M. Malo, "La Salud en el Ecuador Modelo de Atención Integral de Salud con Enfoque Familiar, Comunitario e Intercultural," ed, Perú, Agosto 2013.
- [16] M. d. S. Pública, "Sistema de Salud Ecuador," ed, 2012.
- [17] M. d. S. Pública, "Mejorando tu Calidad de Vida - Producción Estadística," R. P. I. d. Salud, Ed., ed, 2006-2013.
- [18] S. Tigre and D. Santiago, "Estudio técnico económico para la implementación de un sistema de telemedicina para el Hospital" Homero Castanier Crespo" en el cantón Azogues," 2011.
- [19] C. Viloría Núñez, J. Cardona Peña, and C. Lozano Garzón, "Análisis comparativo de tecnologías inalámbricas para una solución de servicios de telemedicina," *Ingeniería y Desarrollo*, pp. 200-217, 2009.
- [20] Q. R. Asencio Michelle, "Diseño de Red para Abonado utilizando tecnología ADSL," ed, 2014.
- [21] S. M. Navpreet Kaur, "COMPARISONS OF WIRED AND WIRELESS NETWORKS: A REVIEW," *International Journal of Advanced Engineering Technology*, vol. 5 pp. 34-35, 2014.
- [22] G. d. T. Rurales, *Redes Inalámbricas para Zonas Rurales* vol. Primera Edición, Lima Enero , 2008.

- [23] J.-P. Méndez, Sandra, "Diseño de un Sistema de Interconexión Inalámbrica para proveer servicios de telemedicina en centros y puestos de salud en una zona rural de Cundinamarca," ed, 2009.
- [24] K. D. Suspens, "Evolución de la 3G y 4G en Redes Inalámbricas," vol. 11, ed, 2012, pp. 1-10.
- [25] J. Molina Gil, P. Caballero Gil, and A. Fúster Sabater, "Análisis e implementación del generador SNOW 3G utilizado en las comunicaciones 4G," 2014.
- [26] B. López Rodríguez, "Desarrollo de una red telemática para servicios de telemedicina móviles," 2015.
- [27] R. Khanduri and S. Rattan, "Performance Comparison Analysis between IEEE 802.11 a/b/g/n Standards," *International Journal of Computer Applications*, vol. 78, pp. 13-20, 2013.
- [28] S. I. Fadilah, A. S. Shibghatullah, Z. Abal Abas, A. Wahab, M. Helmy, and W. N. W. Hashim, "Performance Analysis For Wireless G (IEEE 802.11 G) And Wireless N (IEEE 802.11 N) In Outdoor Environment," 2014.
- [29] P. Ludeña González, "Estudio de aplicabilidad del estándar 802.11 n para redes de larga distancia para entornos rurales en América Latina," Madrid: Universidad Rey Juan Carlos. Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Telecomunicación, 2011.
- [30] M.-M. d. T. y. S. d. I. Información. (2015, 02/06/2015). *Valores, Misión, Visión*. Available: <http://www.telecomunicaciones.gob.ec/valores-mision-vision/>
- [31] *Resolucion N° ARCOTEL 2015 00067*, 2015.
- [32] C. C. N. d. Telecomunicaciones, "Resolución-TEL-560-18-CONATEL-2010," ed, 2010.
- [33] C. C. N. d. Telecomunicaciones, "Resolución-TEL-561-18-CONATEL-2010," ed, 2010.
- [34] C. C. N. d. Telecomunicaciones, "Reglamento de Derechos por Concesión y Tarifas por uso de Frecuencias del Espectro Radioeléctrico. RESOLUCION N° 485 - 20 - CONATEL - 2003 ", ed, 2003.
- [35] C. C. N. d. Telecomunicaciones, " RESOLUCIÓN N° TEL-073-03-CONATEL-2014 ", ed, 2014.
- [36] C. E. A. G. y. M. J. L. Osorio, "Diseño de un Enlace de Telemedicina para el Hospital Universitario San Juan de Dios del Quindío," 2010.
- [37] INEC, "Tecnologías de la Información y Comunicaciones (TIC'S) - 2013," ed, 2013.
- [38] R. Pries, Z. Magyari, and P. Tran-Gia, "An HTTP web traffic model based on the top one million visited web pages," in *Next Generation Internet (NGI), 2012 8th EURO-NGI Conference on*, 2012, pp. 133-139.
- [39] J. S. V. Mas and M. L. G. Hernández, "La web corporativa en las empresas biotecnológicas de los Parques Tecnológicos de Andalucía (2013). Una propuesta de análisis de prácticas de comunicación a través de plataformas online," *Historia y Comunicación Social*, vol. 18, pp. 61-73, 2014.
- [40] xatakamovil, "¿Cuántos MB son suficientes para un smartphone? Ahorra más ajustando la tarifa de datos a tus necesidades," ed, 2012.
- [41] R. A. V. Alberto, "Estudio y Diseño de una Red Inalámbrica para dotar servicios de Telecomunicaciones a 55 centros educativos del cantón Shushufindi aplicando criterios de calidad de servicio y seguridad de red," Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, Escuela Politécnica Nacional, Marzo 2014.
- [42] L. Daly, "How big is the average ePub book?," ed, 2009.
- [43] M. d. S. Pública, "Producción por Niveles de Atención y Complemento," ed, 2013.
- [44] M. d. S. Pública, "Oferta de Planificación de Salud. GeoSalud," ed, 2013.
- [45] YouTube, "Configuración avanzada de la codificación," ed, 2015.
- [46] A. D. Connection, "Recommended bit rates for live streaming," ed, 2008.
- [47] H. Sathu and M. A. Shah, "Performance comparison of VoIP codecs on multiple operating systems using IPv4 and IPv6," *International Journal of e-Education, e-Business, e-Management and e-Learning*, vol. 2, pp. 122-125, 2012.

- [48] C. S. Community, "Voice Over IP - Per Call Bandwidth Consumption," ed, 2006.
- [49] Windstream.net, "Erlang B Traffic Table," ed, 2013.
- [50] Cisco, "Fundamentals of Digital Video," ed.
- [51] S. Vermulm, "Monitoring MPEG in an IP network," ed, 2011.
- [52] JVSG, "CCTV Bandwidth and Storage Space Calculation," ed, 2015.
- [53] INEC, "Estadísticas de Recursos y Actividades de Salud," ed, 2013.
- [54] COMATPERU, "TORRES GALVANIZADAS PARA REDES INALAMBRICAS," ed, 2014.
- [55] AQA204, "Balizas Led Solar," ed, 2015.
- [56] NORMALIEVANO, "Fabricacion Venta, Instalacion Y Mantenimientos De Pararrayo," ed, 2015.
- [57] I. S.A, "Estructuras Metálicas," ed, 2014.
- [58] TECNIT, "Ubiquiti Rocket M2 Radio Base Nodo Airmax 630mw 2.4ghz Mimo," ed, 2015.
- [59] sureensysltd, "Ubiquiti Rocket M2 Titanium rm2-ti," ed, 2015.
- [60] n. Ubiquiti, "Datasheet RocketM\_DS," ed, 2015.
- [61] surveillance\_depot, "Nuevo Ubiquiti Bullet Bulletm2-hp IEEE 802.11 n 100 Mbps de puente inalámbrico (BM2HP)," ed, 2015.
- [62] ezlinxnet, "Ubiquiti Networks BM2-TI 2.4GHz Bullet Titanium BulletM2TI-US," ed, 2015.
- [63] n. Ubiquiti, "Datasheet BulletM," ed, 2015.
- [64] n. Ubiquiti, "Datasheet Bullet TITANIUM," ed, 2015.
- [65] mdgsales, "TP-LINK TL-ANT2424B 2.4GHZ 24DBi DIRECTIONAL GRID PARABOLIC ANTENNA ROD NEW," ed, 2015.
- [66] Flytec-Computers, "**HG2427G 2.4GHz 27dBi Grid Antenna N-Female Connector** ", ed, 2014.
- [67] EmpreteH, "Distribuidor Mayorista Nacional," ed.
- [68] T. R. C. Tp-link, "2.4GHz 24dBi Antena rejilla parabólica TL-ANT2424B," ed, 2014.
- [69] Tecnit-Redes, "Antena Ubiquiti Airmax Mimo 2x2 Sectorial 120º 15db 2.4 Ghz," ed, 2014.
- [70] Tecnit-Redes, "Antena Hyperlink HG2417P-120 Sectorial 120 grados 17Dbi 2.4GHz ", ed, 2014.
- [71] N. Ubiquiti, "Datasheet airMAX Titanium Sector," ed, 2012.