

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ**  
**FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA**



PONTIFICIA  
**UNIVERSIDAD**  
**CATÓLICA**  
DEL PERÚ

**ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD Y DISEÑO DE LA RED DE  
TELECOMUNICACIONES PARA  
EL POBLADO DE SOL SOL EN PIURA**

Tesis para optar el Título de Ingeniero de las Telecomunicaciones, que  
presenta la bachiller:

**DAMARIS MIRIAM ANCÍ PAREDES**

**ASESOR: ING. ANTONIO OCAMPO ZÚÑIGA**

**Lima, julio de 2012**

## **Resumen**

Este proyecto presenta el estudio y diseño de ingeniería para las necesidades de telecomunicaciones de la comunidad Sol Sol en Piura. El objetivo principal es contribuir con el desarrollo de Sol Sol en el ámbito de las telecomunicaciones. Para este fin, se desea ofrecer los principales servicios de telecomunicaciones como son el de voz y datos, de esta manera, incrementar el número de personas con acceso a la información en las zonas rurales de nuestro país.

El primer capítulo brinda un panorama general sobre la importancia de las telecomunicaciones, identificando las necesidades de la zona. Para esto se describen las condiciones geográficas, demográficas y económicas de la comunidad a intervenir. Además, se analizan los servicios de telecomunicaciones con los que cuenta Chulucanas, el distrito más cercano a Sol Sol, para comparar el desarrollo de ambas zonas y comprender el impacto que produce el acceso a la tecnología en la sociedad.

El segundo capítulo dimensiona las necesidades de la comunidad encontradas en el primer capítulo. Para ello se describen brevemente todos los servicios posibles que podrían implementarse en la zona. Seguidamente, se definen el alcance y la demanda de la zona para determinar la proyección de estos servicios en el tiempo.

El tercer capítulo presenta el diseño de la red en base a la oferta y la demanda, además de esto se toman en cuenta el análisis de otros aspectos relacionados como la geografía de la zona, mediante el empleo de mapas y software especializado.

Finalmente, se presentan las conclusiones y recomendaciones del presente trabajo, la implementación de parte o de todo el proyecto dependerá de las autoridades pertinentes.

## Índice

Resumen.....	2
Índice.....	3
Lista de Figuras luego de la lista de tablas .....	5
lista Tablas .....	7
Introducción .....	8
Capítulo 1 Identificación de Necesidades básicas .....	9
1.1 Análisis de los problemas y objetivos para el proyecto.....	9
1.1.1 Árbol de Problemas.....	9
1.1.2 Árbol de Objetivos.....	11
1.2 Telecomunicaciones: Necesidad básica para el desarrollo del país.....	12
1.3 Descripción de la zona de estudio.....	12
1.3.1 Descripción geográfica .....	13
1.3.2 Descripción demográfica .....	13
1.3.3 Descripción económica.....	14
1.4 Servicios de telecomunicaciones en zonas aledañas.....	14
Capítulo 2 Dimensionamiento de las necesidades de telecomunicaciones.....	17
2.1 Características de los servicios de telecomunicaciones .....	17
2.2 Tecnología de transmisión .....	18
2.2.1 Tecnología WiFi (Wide Fidelity).....	19
2.2.2 Tecnología VHF (Very High Frequency).....	20
2.2.3 Tecnología HF (High Frequency).....	20
2.2.4 Tecnología WIMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access) .....	20
2.2.5 Tecnología VSAT (Very Small Aperture Terminal) .....	21
2.3 Modelo de propuesta.....	21
2.4 Alcances.....	22
2.4.1 Alcances de la solución técnica: .....	22
2.4.2 Alcances de los servicios de telecomunicaciones.....	23
2.5 Análisis de los requerimientos para los servicios de telecomunicaciones.....	23
2.6 Proyección de las necesidades de los servicios de telecomunicaciones en el tiempo .....	24

Capítulo 3 Propuesta de la solución.....	25
3.1 Estudio de tecnologías aplicables para la solución.....	25
3.2 Diseño de la solución.....	26
3.2.1 Primera Solución.....	27
3.2.1.1 Dimensionamiento de la red.....	27
3.2.1.2 Arquitectura de la red.....	30
3.2.1.3 Infraestructura y equipos para la solución.....	40
3.2.2 Segunda Solución.....	50
3.2.2.1 Dimensionamiento de la red.....	50
3.2.2.2 Arquitectura de la red.....	51
3.2.2.3 Infraestructura y equipos para la solución.....	60
Capítulo 4.....	63
Análisis económico.....	63
4.1 Costos de equipos e infraestructura (CAPEX).....	63
4.2 Operación y mantenimiento (OPEX).....	68
4.3 Ingresos.....	70
4.4 Flujo de caja.....	71
Conclusiones y recomendaciones finales.....	74
1. Conclusiones.....	74
2. Recomendaciones.....	75

## **Lista de Figuras**

Figura 1-1: Árbol de problemas para el poblado de Sol Sol.....	10
Figura 1-2: Árbol de objetivos para el poblado de Sol Sol.....	11
Figura 1-3: Mapa de Sol Sol .....	13
Figura 1-5: Fotografía de la visita al poblado Sol Sol. Cerro Ñañañique.....	15
Figura 1-5: Cerro Ñañañique. Arreglo de torres y antenas.....	16
Figura 2-1: Diagrama resumen de los servicios de telecomunicaciones .....	18
Figura 2-2: Esquema de solución de servicios de telecomunicaciones para Sol Sol ..	21
Figura 3-1A: Fotografía satelital de Chulucanas .....	31
Figura 3-1B: Fotografía satelital de Sol Sol .....	31
Figura 3-1C: Fotografía satelital de la red troncal Sol Sol- Cerro Ñañañique- municipalidad de Chulucanas .....	32
Figura 3-1D: Fotografía satelital de la red troncal Sol Sol- Cerro Ñañañique- municipalidad de Chulucanas .....	32
Figura 3-2: Arquitectura de la red.....	33
Figura 3-3A: Mapa de la simulación del primer enlace (troncal municipalidad-cerro Ñañañique) en Radio Mobile .....	34
Figura 3-3B: Mapa de la simulación del segundo enlace (troncal Cerro Ñañañique-Sol Sol) en Radio Mobile .....	35
Figura 3-3C: Mapa de la simulación del enlace de acceso en Sol Sol.....	35
Figura 3-3D: Mapa de la simulación de todos los enlaces.....	36
Figura 3-4A: Simulación del primer radio enlace en Radio Mobile.....	36
Figura 3-4B: Simulación del segundo radio enlace en Radio Mobile .....	37
Figura 3-4C: Simulación del radio enlace de la estación base con casa 1 .....	38
Figura 3-4D: Simulación del radio enlace de la estación base con casa 2.....	38
Figura 3-4E: Simulación del radio enlace de la estación base con casa 3 .....	39
Figura 3-4F: Simulación del radio enlace de la estación base con casa 4 .....	39
Figura 3-4G: Simulación del radio enlace de la estación base con casa 5.....	40
Figura 3-5: Diagrama de la red, primera solución .....	42
Figura 3-6: Esquema del subsistema de telecomunicaciones en una estación repetidora .....	43
Figura 3-7: Antena grilla.....	45

Figura 3-8: Ejemplo de estación base .....	46
Figura 3-9: Ejemplo de caja protectora.....	47
Figura 3-10: Ejemplo de elementos del sistema de energía.....	47
Figura 3-11: Ejemplo de elementos del pozo a tierra .....	48
Figura 3-12: Ejemplo de distribución de elementos y dispositivos en la torre ventada .....	49
Figura 3-13A: Fotografía satelital de Chulucanas .....	52
Figura 3-13B: Fotografía satelital de Sol Sol .....	52
Figura 3-13c: Fotografía satelital de la red troncal Sol Sol-Cerro Ñañañique- municipalidad de Chulucanas .....	53
Figura 3-13D: Fotografía satelital de la red troncal Sol Sol- Cerro Ñañañique- municipalidad de Chulucanas .....	53
Figura 3-14: Arquitectura de la red.....	54
Figura 3-15A: Mapa de la simulación del primer enlace en Radio Mobile.....	55
Figura 3-16A: Simulación del enlace troncal .....	57
Figura 3-16b: Radio enlace entre el Cerro Ñañañique y la casa del teniente gobernador .....	57
Figura 3-16C: Radio enlace entre el cerro Ñañañique y la posta .....	58
Figura 3-16D: Radio enlace cerro Ñañañique y el centro educativo 1 .....	59
Figura 3-18E: Radio enlace cerro Ñañañique y el centro educativo 2 .....	59
Figura 3-16F: Radio enlace cerro Ñañañique y el centro educativo 3.....	60
Figura 3-17: Arquitectura de la segunda solución .....	61

## Tablas

TABLA 2-1: Cuadro de estándares 802.11.....	19
TABLA 3-1: Cuadro comparativo de tecnologías de transmisión inalámbrica.....	26
TABLA 3-2: Cuadro del crecimiento poblacional de Sol Sol durante 10 años.....	27
TABLA 3-3: Cuadro del Códecs existentes.....	29
TABLA 3-4: Parámetros de configuración.....	33
TABLA 3-5: Parámetros de configuración.....	54



## ***Introducción***

A través de la historia, los hombres han desarrollado diferentes técnicas para transmitir mensajes cuando desean comunicarse con entidades que se encuentran en puntos alejados. Desde los primeros carteros en la época de los Incas, los chasquis, pasando por la técnica del telégrafo, hasta la amplia tecnología desarrollada actualmente. Esta tecnología sirve a las personas o usuarios mediante los servicios de telecomunicaciones que son aplicaciones de las diferentes técnicas que se usan en la actualidad para la transmisión de voz y datos. Existen servicios de telefonía, Internet, televisión y radio; cada una en sus diferentes versiones.

En la actualidad, el acceso a las tecnologías y a los servicios de telecomunicaciones, es un factor importante para medir el nivel de progreso de una sociedad, que se reconoce como desarrollada si su nivel de acceso a estos servicios es considerable con respecto a otras sociedades. El promedio de velocidad de banda ancha en nuestro país para el 2011 es de 1.52Mbps en comparación a los 61Mbps [OEC2012] con los que cuenta Japón, esta diferencia pone de manifiesto que la velocidad de banda ancha del Perú es casi 40 veces menor que la de Japón, lo cual indica el largo camino que nos falta por recorrer en cuestión de tecnología de telecomunicaciones.

La razón principal para que las telecomunicaciones hayan pasado de ser una comodidad para pocos, a ser una necesidad básica para todos, es que gracias a ella lugares apartados pueden comunicarse entre sí, además de ser el mejor medio de circulación de una gran cantidad de información de origen variado a nivel mundial. Provocando que de manera inmediata las comunidades aisladas se integren a la economía global, permitiendo que sus pequeñas empresas accedan a la información de empresas grandes, cuyas experiencias sirvan de referencia para ser aplicadas en su propio desarrollo. Además, impulsa el incremento a grandes escalas de la productividad, eficiencia y crecimiento de localidades pobres ya que la tecnología se encuentra cercana para poder hacer uso de ella; y también, mejora la intervención de servicios básicos como educación, salud y seguridad debido al oportuno contacto con estas entidades de parte de los pobladores [NOT2010].

## **Capítulo 1**

### ***Identificación de Necesidades básicas***

#### **1.1 Análisis de los problemas y objetivos para el proyecto**

Para la planificación de proyectos es importante que inicialmente se realice un análisis general sobre los problemas a los que nos enfrentamos y los objetivos planteados de acuerdo a las posibles soluciones que se desean aplicar. Para la comunidad de Sol Sol, este primer apartado presenta un árbol de problemas y uno de objetivos que nos ayudan a comprender el contexto sobre el cual se realiza el proyecto.

##### **1.1.1 Árbol de Problemas**

Como se puede observar en el árbol de la figura 1-1, el principal problema es que la población se encuentra privada del acceso a los servicios de telecomunicaciones, cuyo motivo principal es la falta de infraestructura de telecomunicaciones e inversión para proyectos. Asimismo, se observan las consecuencias que se desencadenan por esta situación.

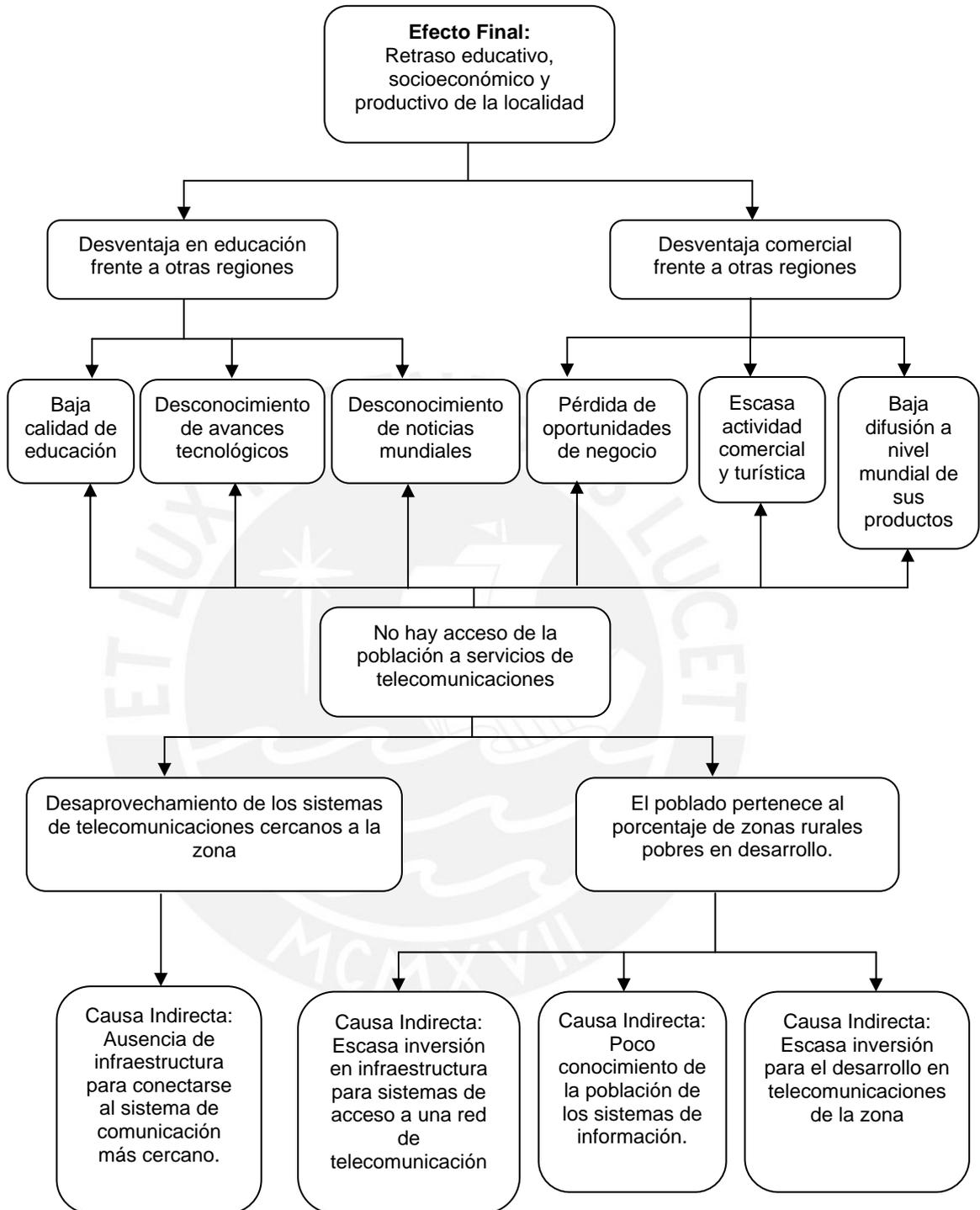


Figura 1-1: Árbol de problemas para el poblado de Sol Sol

Fuente: Elaboración propia

Tomando en consideración el árbol de problemas se tiene el árbol de objetivos, el cual presenta los beneficios de resolver el problema del acceso a los servicios de telecomunicaciones donde el fin último es contribuir al desarrollo de Sol Sol.

### 1.1.2 Árbol de Objetivos

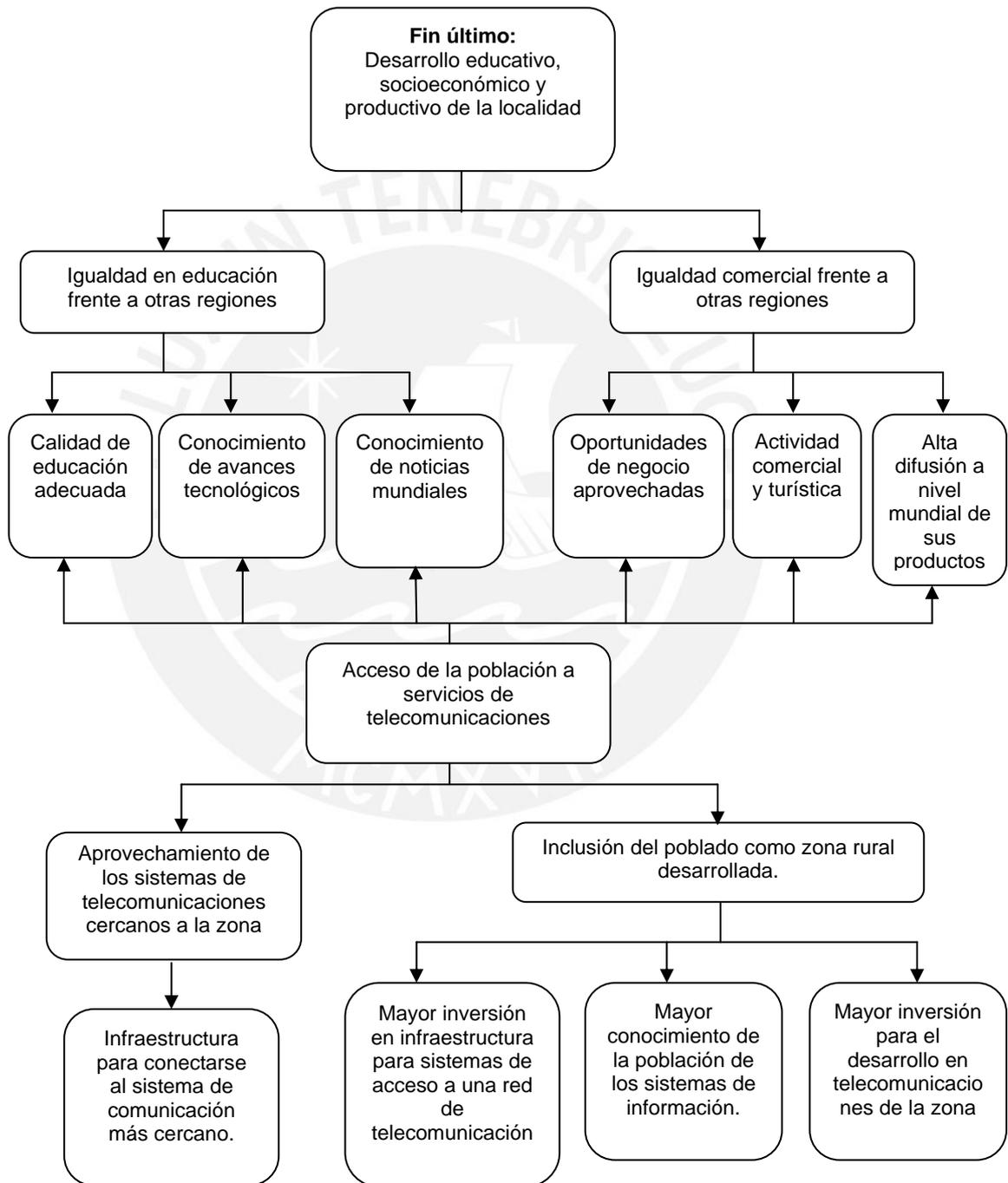


Figura 1-2: Árbol de objetivos para el poblado de Sol Sol

Fuente: Elaboración propia

## **1.2 Telecomunicaciones: Necesidad básica para el desarrollo del país**

Las zonas rurales, en un país en desarrollo como el nuestro, son un blanco importante para la inversión en telecomunicaciones, porque así se incentiva el desarrollo de proyectos rurales que contribuyan en cubrir de manera homogénea las necesidades de comunicación a lo largo de nuestro país, contribuyendo a que el Perú alcance el título de un país desarrollado. En la mayoría de casos, la carencia de los servicios eléctricos ha sido la razón principal para que exista una diferencia sustancial en la utilización de medios electrónicos que permitan el acceso a la información de cualquier tipo a las comunidades rurales.

El explosivo avance de la tecnología particularmente en las áreas de computación, comunicaciones y electrónica en general, hace que la brecha digital sea cada vez más grande. Este proyecto busca aportar al desarrollo del país, porque se tiene la plena convicción que los aportes a menor escala generan los grandes cambios a mayores escalas.

## **1.3 Descripción de la zona de estudio**

Los métodos de acceso de las telecomunicaciones a determinada zona son diversos y su elección de aplicación depende directamente de las características geográficas, demográficas y económicas de dicha zona. Es por eso que a continuación se describe a la comunidad de Sol Sol, protagonista principal de estudio en este proyecto.

El poblado de Sol Sol en Piura aloja a la empresa agropecuaria Saturno S.A. que explota los recursos de la zona, su presencia en este poblado promueve el desarrollo del lugar, ya que como empresa requiere de servicios básicos para su desenvolvimiento. El presente proyecto se desea llevar a cabo en conjunto con la municipalidad de Chulucanas y tiene como finalidad la implementación de servicios de telecomunicaciones de voz para las viviendas; y de voz y datos para las entidades estatales y los tres colegios que existen en dicha zona, los cuales ya cuentan con computadoras.

### 1.3.1 Descripción geográfica

Sol Sol es una comunidad ubicada a 11Km por carretera afirmada del distrito de Chulucanas, capital de la provincia de Morropón en el departamento norteño de Piura (ver figura 1-3). Sus coordenadas geográficas son  $-5^{\circ}1'56.874''$  y  $-80^{\circ}9'26.9496''$ , latitud y longitud, respectivamente.

El clima es cálido y húmedo durante todo el año con presencia de lluvias de diciembre a marzo. Las temperaturas se hallan entre  $18^{\circ}\text{C}$  y  $32^{\circ}\text{C}$ . El relieve de la zona en su mayoría es plano. [INEI2007].

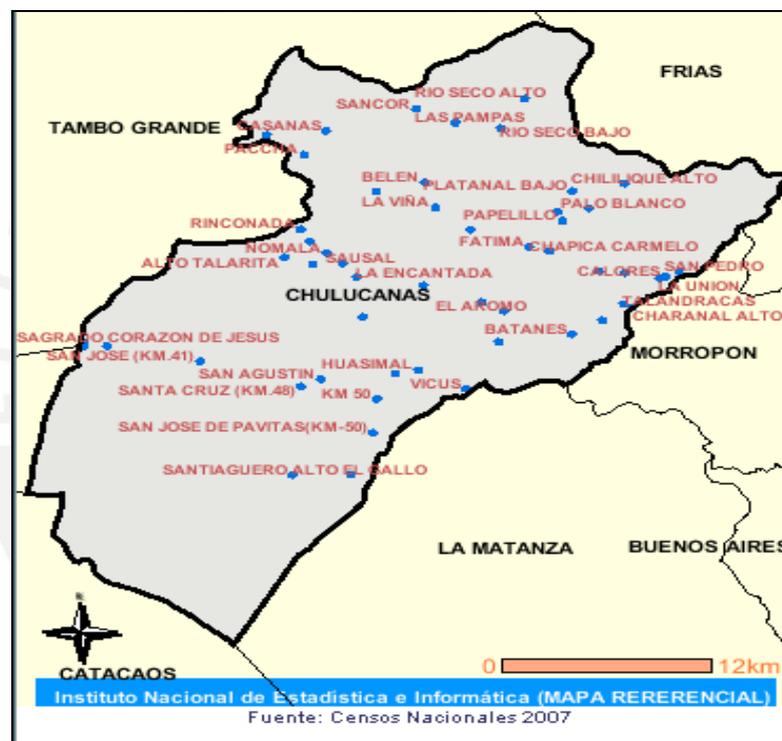


Figura 1-3: Mapa de Sol Sol

Fuente: "Instituto Nacional de Estadística e Información" [INEI2007]

### 1.3.2 Descripción demográfica

Según las cifras del Censo 2007 realizado por el INEI, la comunidad de Sol Sol tiene las siguientes características [INEI2007]:

- Pertenece al 75.1% de centros poblados urbanos pobres del Perú, de los cuales sólo el 11.9%, porcentaje al cual también pertenece Sol Sol, están en proceso de desarrollo a medida que cubren sus necesidades básicas.
- Tiene 2059 habitantes distribuidos en 511 viviendas.

- Tiene tres centros educativos que cubren la educación inicial, primaria y secundaria con un total de 971 estudiantes.- Cuenta con los servicios básicos de agua potable y luz eléctrica.

La cantidad de habitantes en el poblado de Sol Sol hace totalmente viable este proyecto ya que incluso por el instituto nacional de estadística e información ya no es considerado como una zona rural sino como un poblado urbano. [INEI2007]

### **1.3.3 Descripción económica**

La máxima autoridad en el poblado es el teniente gobernador, cuya función es transmitir las necesidades de sus pobladores al gobierno distrital de Chulucanas quien vela por su bienestar, además de tener un presupuesto destinado para cubrirlos.

Otro aspecto importante e influyente en el aspecto económico de la comunidad, es que en la zona existe una empresa agropecuaria de nombre “Saturno S.A.” que se dedica al cultivo de mangos, paltas, pimientos, piquillos, páprikas y uvas, de manera industrial para exportación. Aparte del aporte anual como retribución que tiene esta empresa hacia el poblado, el 80% de los empleados son pobladores de Sol Sol, convirtiendo a la agricultura en la principal actividad económica de la zona.

### **1.4 Servicios de telecomunicaciones en zonas aledañas**

Los servicios de telecomunicaciones, como se mencionó anteriormente, son aplicaciones en forma de productos que se desarrollan con las distintas formas de utilizar las redes de telecomunicaciones, estas últimas crecen a medida que las necesidades y la demanda lo requieran.

De parte de los proveedores de servicios de telecomunicaciones o ISP's (Internet Service Provider), la factibilidad de llegar a un determinado punto del país, sobre todo si es una comunidad rural, está estrechamente relacionada con la infraestructura de telecomunicaciones que se tenga en ese momento en poblados aledaños a la zona a intervenir. Si la comunidad está ubicada en medio de varios poblados que también carecen de servicios de telecomunicaciones y además no existe ningún motivo específico como la contratación de servicios de telecomunicaciones por parte de alguna empresa en la zona, el ISP preferirá invertir

primero en poblados cercanos a lugares donde ya se cuentan con servicios de telecomunicaciones para aprovechar la infraestructura existente. Por este motivo para contribuir con la realización del proyecto se describen los servicios de zonas aledañas, en este caso se describe a los servicios de telecomunicaciones del distrito de Chulucanas, siendo este el más cercano a Sol Sol.

Chulucanas es un distrito en desarrollo, en los últimos años se ha modernizado de manera importante en cuanto a infraestructura de viviendas, calles, monumentos, entre otros. Además de contar con todos los servicios básicos de agua potable, luz eléctrica y desagüe, cuenta con servicios de telecomunicaciones como radio, televisión, telefonía pública, telefonía fija, telefonía celular, servicio de transmisión de datos e Internet.

Las antenas y torres correspondientes a algunos de estos servicios se encuentran distribuidas en un pequeño cerro llamado Ñañañique, ubicado detrás de la Plaza de Armas de Chulucanas, como se puede observar en la figura 1-4 y figura 1-5 que son fotografías tomadas en la visita que se hizo al poblado.



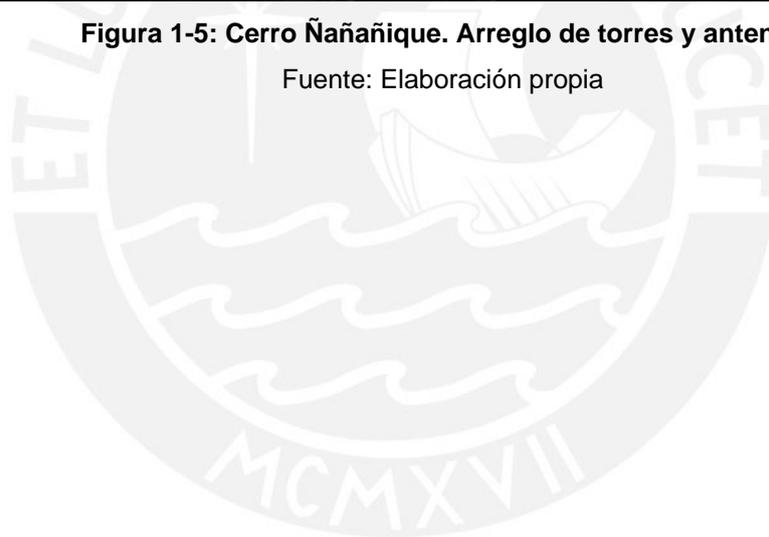
**Figura 1-5: Fotografía de la visita al poblado Sol Sol. Cerro Ñañañique.**

**Fuente: Elaboración propia**



**Figura 1-5: Cerro Ñañañique. Arreglo de torres y antenas**

Fuente: Elaboración propia





## **Capítulo 2**

### ***Dimensionamiento de las necesidades de telecomunicaciones***

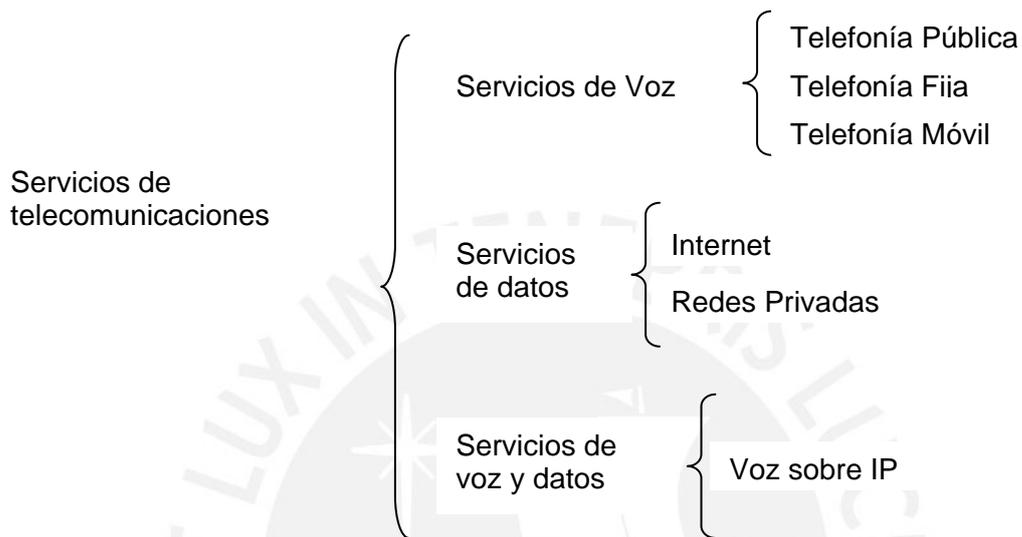
De acuerdo a los factores presentados en el capítulo 1, podemos tener una idea general de las necesidades de telecomunicaciones del caserío de Sol Sol. Sin embargo, es necesario hacer el análisis en detalle de todos los factores del problema y encontrar una propuesta de solución. Este proyecto propone la instalación los servicios de telecomunicaciones básicos como son los de telefonía fija e Internet.

#### **2.1 Características de los servicios de telecomunicaciones**

Los servicios de telecomunicaciones se brindan bajo la responsabilidad de una determinada empresa de telecomunicaciones. Su clasificación se puede observar en la figura 2-1.

La voz sobre IP (VoIP), al asociar dos servicios, de voz y datos en uno solo, permite la transmisión de voz a través de redes de datos; tiene beneficios importantes para los usuarios, quizás el más importante sea el costo, ya que es bastante reducido en

comparación con los servicios analógicos. Otros beneficios son la mejor calidad de transmisión, el aumento de eficiencia en la utilización de los medios de comunicación, su implementación no compleja y la inversión rentable de los equipos a largo plazo [EAL2009].



**Figura 2-1: Diagrama resumen de los servicios de telecomunicaciones**

Fuente: Elaboración propia

Con respecto a la tecnología que se usará para la transmisión de información, se describen las existentes y la más adecuada para este escenario.

## 2.2 Tecnología de transmisión

Para este tipo de soluciones en centros poblados se busca utilizar tecnologías que sean sostenibles y adecuadas para un país en desarrollo como el nuestro, es decir, que sean robustas y sencillas de usar por el hecho de encontrarse alejados de los lugares donde se encuentran especialistas que puedan acudir si ocurre algún problema o cambio de configuración. Además estas soluciones deberán requerir poco o ningún mantenimiento por el mismo motivo anterior; deben ser de bajo consumo de electricidad ya que el costo para mantenerlas en buen estado debe ser mínimo, por la situación económica del centro poblado, así mismo la instalación y equipos a utilizar deben ser elegidos pensando en bajos costos sin descuidar la calidad para asegurar la confiabilidad de los mismos.

Uno de los impedimentos más importante para la llegada de servicios de telecomunicaciones a los poblados es la ausencia de infraestructura, que en muchos casos se debe al dificultoso acceso o también al reducido presupuesto con el que se cuenta para este tipo de proyectos, una buena solución para estos problemas es el uso de redes inalámbricas, las cuales reemplazan a las redes cableadas para economizar lo que significa el tendido de cables a través de zonas extensas y de difícil acceso. Sin embargo, las redes inalámbricas se enfrentan a otro tipo de problema, que tiene que ver con las interferencias en los medios de transmisión. A pesar de encontrarnos frente a dos opciones (red cableada o red inalámbrica) donde cada una presenta alguna dificultad en su implementación, por razones de costo se prefieren las redes inalámbricas debido a que los problemas de atenuación pueden ser contrarrestados con otros métodos de transmisión de radio.

Existen diferentes tecnologías para la transmisión por ondas de radio que básicamente dependen de la aplicación que se le desee dar. Las más aplicadas e importantes son el WiFi, el VHF, el HF, el WiMAX, VSAT, entre otras.

### 2.2.1 Tecnología WiFi (Wide Fidelity)

La tecnología WiFi hace referencia a la familia de estándares IEEE 802.11 (802.11a, 802.11b y 802.11g), las cuales siguen determinadas normas para conseguir realizar una red con enlaces inalámbricos utilizando enlaces de radio y usando la tecnología CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance) para el control de acceso al medio.

TABLA 2-1: Cuadro de estándares 802.11

Fuente: Elaboración propia

Estándar	Frecuencia	Velocidades
802.11 <sup>a</sup>	5GHz	6Mbps a 54Mbps
802.11b	2.4GHz	11Mbps
802.11g	2.4GHz	54Mbps

Como puede verse, se cuenta con distintas opciones de transmisión en cuanto a frecuencia y velocidad, esto a un bajo costo de implementación por ser una tecnología ampliamente conocida y además que requiere de poca potencia de transmisión, menor a 10W por transmisor. Es por esto que el WiFi representa una de

las mejores opciones para la transmisión de datos y telefonía empleando VoIP (voz sobre IP).

### **2.2.2 Tecnología VHF (Very High Frequency)**

La tecnología VHF utiliza la banda de frecuencias de 30-300MHz y los enlaces necesitan línea de vista salvando obstáculos como flora natural, etc., sus frecuencias pueden ser reutilizables y puede adecuarse, a pesar de haber sido diseñada para la transmisión de voz, para la transmisión de datos con velocidades bajas, sin embargo hay limitaciones de altura de las torres y de licencia para el uso del espectro, es decir, utilización de las frecuencias, además requieren de mayores potencias de hasta 100W, lo cual hace a comparación de otras tecnologías, que el costo sea mayor en cuanto al consumo energético se refiere.

### **2.2.3 Tecnología HF (High Frequency)**

La tecnología HF como su nombre lo dice trabaja en frecuencias altas pero estas a su vez son menores con respecto a las frecuencias con las que trabaja VHF. Estas son 3MHz a 30MHz. Se caracteriza principalmente porque su distancia de propagación no es limitante ya que es factible realizar un enlace de miles de kilómetros, su propagación se realiza por la ionósfera y sus variaciones influyen directamente a las frecuencias en funcionamiento, se necesita hacer un estudio eficiente para contrarrestar los efectos del medio ambiente en el enlace y su diseño inicial fue enfocado en la transmisión de voz lo cual no lo hace una buena opción para la transmisión de datos.

### **2.2.4 Tecnología WIMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access)**

Otra tecnología tentativa para este tipo de soluciones es WiMAX. Se realizó con la visión de las nuevas propuestas de banda ancha, es decir, poder transmitir por el medio inalámbrico, sin línea de vista, señales con calidad de servicio (QoS) que puedan ser parte de grandes redes a nivel de ciudades utilizando antenas inteligentes que optimicen su patrón de radiación, y una característica muy útil, el poder asignar diferentes anchos de banda a cada canal mejorando la planificación y gestión del envío de información según las prioridades de las aplicaciones que se deseen utilizar. Todo esto suena muy conveniente para cualquier implementación de

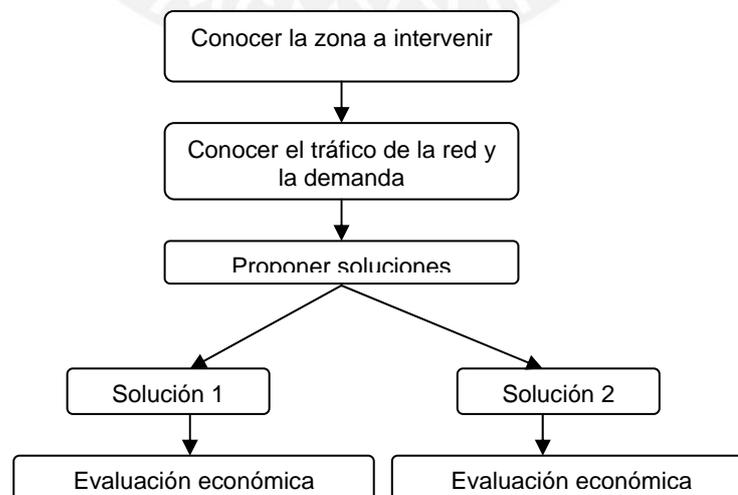
servicios de telecomunicaciones pero la principal desventaja en comparación con las demás tecnologías antes mencionadas y teniendo en cuenta el ambiente rural, es que demanda una gran inversión de dinero la adquisición de equipos, las instalaciones y principalmente el sistema de energía eléctrica.

### 2.2.5 Tecnología VSAT (Very Small Aperture Terminal)

Por último, en este grupo de descripciones, tenemos a la tecnología VSAT o comunicación satelital, la cual está centrada en un dispositivo llamado hub en tierra, la señal desde el satélite se conecta con este punto y este reparte a otros terminales VSAT en tierra donde se desee realizar el enlace, esto es muy beneficioso porque hace que estos terminales sean de costos reducidos, además de poder alquilar un enlace desde un hub ya existente o del otro lado, en caso se trate de ser propietario del hub, poder alquilar enlaces a otros interesados; gracias a su naturaleza es posible que la recepción de datos desde el satélite funcione desde cualquier punto en tierra sin importar la dificultad de acceso correspondiente al relieve, asimismo garantiza escalabilidad, las principales desventajas de esta tecnología son las inversiones iniciales que serían justificables en casos de instituciones grandes con altos presupuestos, además el envío o recepción de información por el enlace significan costos elevados por minuto dependiendo del operador.

### 2.3 Modelo de propuesta

El modelo de propuesta es el que se muestra en el esquema a seguir a continuación:



**Figura 2-2: Esquema de solución de servicios de telecomunicaciones para Sol Sol**

Fuente: Elaboración propia

El esquema de la figura 2-3 describe los pasos a seguir en la realización de este proyecto, la red de comunicación que se plantea diseñar es una red de voz sobre IP (VoIP), cuya principal característica es el envío de voz y datos a través de una misma infraestructura entre los terminales ubicados en las viviendas y entidades públicas. Se utilizará un servidor Asterisk, el cual funcionará como una central telefónica para la red. Se podrá realizar llamadas y navegación por Internet y con un bajo costo el cual será asumido mensualmente por la municipalidad de Chulucanas, es decir, los pobladores podrían comunicarse de manera gratuita dentro de la red y si lo desean, con costos prepago hacia fuera de esta.

Chulucanas, es el distrito más cercano al poblado a intervenir, además como se vio anteriormente, cuenta con servicios de telecomunicaciones y su infraestructura es la indicada para ser utilizada como la red de acceso de la red de telecomunicaciones de Sol Sol. Por otro lado, el acceso al servicio de Internet será restringido por ser de uso únicamente educativo, lo cual no ocupará un gran ancho de banda.

Además, como se observa en el esquema, el proyecto presentará dos propuestas de solución del diseño de la red. Una de las soluciones propuestas tendrá como fin llevar comunicación de voz a las 511 viviendas, a los 3 colegios y a las 3 entidades públicas, asimismo, llevar comunicación de datos a las 3 entidades públicas y a los 3 colegios. La otra propuesta solo llevaría comunicación de voz y datos solamente a las 3 entidades públicas y a los 3 colegios. La elección de cualquiera de las anteriores, queda a criterio de la municipalidad de acuerdo al presupuesto asignado.

## **2.4 Alcances**

### **2.4.1 Alcances de la solución técnica:**

- Análisis de las tecnologías de distribución de líneas telefónicas usadas en proyectos anteriores para zonas rurales.
- Análisis de la telefonía IP usada en proyectos rurales anteriores.
- Comparar las tecnologías para este contexto.
- Análisis para la tecnología de acceso a la red.
- Elección de las tecnologías a utilizar.
- Se proporcionará la topología y el diagrama de la red de comunicaciones de acuerdo a los servicios de telecomunicaciones que se proponen.
- Se especificará el tipo de equipos según la tecnología y la distribución de estos dentro de la red.

- Se proporcionará el tipo de tecnologías que se deberán implementar en la solución final.
- Se mostrarán los requerimientos mínimos que los equipos deberán cumplir y su configuración para garantizar el correcto desempeño de estos, y la confiabilidad y operatividad de la red.

#### **2.4.2 Alcances de los servicios de telecomunicaciones**

- La solución brindará los servicios de telefonía e Internet a la comunidad de Sol Sol.
- Se presentarán dos enfoques para la solución del servicio de telefonía. En el primero se propondrá la solución técnica para brindar telefonía a las entidades públicas y a todas las viviendas del poblado. En el segundo enfoque, la propuesta será brindar telefonía solamente a las entidades públicas.
- El servicio de Internet será de implementación exclusiva en las entidades públicas como comisaría, centro médico y escuela primaria de la comunidad.
- Además se diseñará una red privada para el intercambio de información interna entre las entidades estatales.
- Finalmente se mostrarán los costos de implementación para ambas soluciones.

### **2.5 Análisis de los requerimientos para los servicios de telecomunicaciones**

Según lo descrito anteriormente en el inciso 1.3 y 2.2, es posible analizar los requerimientos necesarios para la implementación de los servicios de telecomunicaciones ofrecidos a brindarse en este proyecto.

Se conoce la problemática de desarrollo de una comunidad sin acceso a la información y en este caso, para Sol Sol, un centro poblado con tres centros educativos, este estudio significa un aporte importante para su desarrollo.

Sol Sol cuenta con el servicio básico de electrificación, lo cual es un factor importante para comenzar un estudio de este tipo debido a que toda instalación y funcionamiento requiere de una fuente de energía que pueda alimentar los equipos.

La primera solución plantea brindar telefonía a todas las viviendas, lo cual justifica significativamente la llegada de la telefonía IP hasta este punto puesto que se tratan de 511 casas las que se beneficiarían con esta tecnología, sin embargo la inversión

en los teléfonos, que podrían ser analógicos con un dispositivo ATA o teléfonos IP, puede resultar elevada con relación al número de llamadas que realizarían los pobladores, cabe mencionar que estas llamadas son gratuitas dentro de la red de Chulucanas pero tienen costo cuando se tratan de llamadas locales a Piura, nacionales e internacionales. Es por esto que se propone un segundo enfoque del estudio con referencia a brindar telefonía solamente a las entidades públicas, es decir, que el servicio esté orientado a emergencias o asuntos públicos.

El motivo principal de que la solución se enfoque en brindar Internet solamente a las entidades públicas, es que se necesita, como requisito importante, tener una computadora para el uso de este servicio. Las familias aún no cuentan con esta tecnología en sus viviendas, lo cual hace improductivo la llegada de Internet a cada casa. Las entidades públicas cuentan actualmente con al menos una computadora en sus sedes y en particular el colegio primario cuenta con 20 computadoras que fueron donadas por el estado recientemente, lo cual justifica completamente el requerimiento de Internet para estos lugares.

## **2.6 Proyección de las necesidades de los servicios de telecomunicaciones en el tiempo**

Según las cifras del INEI [INEI2007], se tiene un crecimiento poblacional anual de 1.6%, lo cual no significa ningún problema en la implementación de este proyecto debido a que la velocidad de transmisión que se desea aplicar está sobredimensionada para la topología actual, por lo tanto es suficiente en cuanto a escalabilidad se refiere (el detalle de la elección de la velocidad se encuentra en el apartado 3.2.1.1 y 3.2.2.1). Incluso en el momento en el que la velocidad resulte insuficiente, se pueden adquirir mayores tasas al proveedor para seguir brindando los servicios a la mayor cantidad de usuarios que se requiera. Esto quiere decir que con el paso de los años si las familias adquieren computadoras o se desean mayor cantidad de teléfonos, estos podrán ser añadidos a la red sin afectar la velocidad de los demás usuarios.



## **Capítulo 3**

### ***Propuesta de la solución***

#### **3.1 Estudio de tecnologías aplicables para la solución**

Como se vio en el apartado 2.2, en la descripción de cada una de las tecnologías, si nos enfocamos en el funcionamiento, todas podrían ser aplicables para esta solución, sin embargo, debemos apuntar a los factores propios de la realidad de los centros poblados. El factor más importante es que se requiere contar con el menor costo de implementación, equipos y mantenimiento en el tiempo, lo cual hace que descartemos la opción de utilizar la tecnología WiMAX y VSAT ya que al mismo tiempo no se trata de una zona de difícil acceso. Por otro lado, se desea transmitir Internet, implementar telefonía IP y configurar una red privada virtual (VPN), para lo cual es muy necesario un enlace robusto que haya sido creado pensando en la transmisión de datos. De la misma forma, con esto, podemos descartar también la utilización de las tecnologías VHF y HF.

De esta manera, la tecnología 802.11 (WiFi) representa la mejor opción en cuanto a los requerimientos de costo, transmisión de datos, bandas de frecuencias y

velocidades diversas usando bandas de frecuencias libres (IMS dedicadas a la investigación, a la medicina y a las ciencias).

Es por este motivo que para este proyecto se utilizará un enlace de microondas utilizando la tecnología 802.11 (WiFi).

TABLA 3-1: Cuadro comparativo de tecnologías de transmisión inalámbrica

Fuente: Elaboración propia

Característica	WIFI	VHF	HF	WiMAX	VSAT
Velocidad de transmisión	6-54Mbps	16Kbps	2.4-4.8Kbps	70Mbps	19Kbps-2Mbps
Frecuencia	2.4 – 5GHz	30 – 300MHz	3 – 30MHz	2.3 – 3.5GHz	3.625, 5.925, 10.7 y 14.4GHz
Línea de vista requerida	Si	Si	No	No	Si
Limitaciones	Distancia de propagación	Altura y uso del espectro	Ninguna en cuanto a distancia de propagación	Costo elevado de los equipos	Costo elevado de los equipos
Potencia Requerida	10W	100W	100W	100W	200W

### 3.2 Diseño de la solución

Este proyecto como se viene mencionando, tiene dos propuestas de solución, la elección de una u otra finalmente dependerá de las autoridades encargadas de administrar los proyectos a implementar en la zona, de acuerdo a los alcances que proyecten tener y el presupuesto asignado para ello. La primera solución comprende un enlace de radio punto a punto que une el distrito de Chulucanas con Sol Sol y de la torre de este último se da acceso a la red a todas las viviendas de la comunidad, distribuyendo los servicios a todo el pueblo. La segunda solución presenta la posibilidad de utilizar un equipo suficientemente potente para transmitir la señal que transmite los servicios de telecomunicaciones desde Chulucanas hasta Sol Sol donde únicamente las entidades públicas la recepcionen, cada una, con un equipo transmisor/receptor (access point) utilizando enlaces a modo de red de acceso y de

esta manera abaratar los gastos de enlaces de transporte (enlace punto a punto de Chulucanas a Sol Sol ), además del sustancial ahorro en la compra de equipos de cada vivienda de la primera solución.

A continuación describiremos para cada una de las soluciones, su dimensionamiento y arquitectura de la red.

### 3.2.1 Primera Solución

#### 3.2.1.1 Dimensionamiento de la red

Actualmente, un proyecto es considerado sostenible en el tiempo si su dimensionamiento tiene un horizonte de por lo menos 5 años (de acuerdo a normas de la SUNAT, a partir de este tiempo, los activos de telecomunicaciones se deprecian).

Con este fin, en la tabla 3-2 se calcula el crecimiento poblacional hasta el año 2016. Se sabe que el porcentaje de crecimiento anual de la población es en promedio 1.6% [INEI2007].

TABLA 3-2: Cuadro del crecimiento poblacional de Sol Sol durante 10 años  
Fuente: Instituto Nacional de Estadística e Informática [INEI2007]

Año	Población	Viviendas
2007	2059	511
2008	2092	520
2009	2126	528
2010	2161	537
2011	2196	546
2012	2232	554
2013	2268	563
2014	2305	573
2015	2342	582
2016	2380	591

#### A) Servicio de telefonía:

- Se consideran un total de 197 terminales (asumiendo que cada 3 casas compartirían un access point de recepción, los equipos seleccionados deben tener una cobertura de 10m a la redonda).

- Para hallar el nivel de tráfico en la red cuando las llamadas son locales a Piura, nacionales o internacionales, proyectamos que en hora punta, 25 personas realizan una llamada de cinco minutos al mismo tiempo hacia fuera de la subred de Chulucanas, (es decir, la llamada usa la troncal del proveedor):

Sabemos que:

$$\text{Tráfico} = \frac{\# \text{llamadas} \times \text{duración}(\text{segundos})}{60 \text{seg} \times 60 \text{min}} \dots (1)$$

Reemplazando los datos:

$$\text{Tráfico}(\text{Erl}) = \frac{25 \times 5 \times 60}{60 \text{seg} \times 60 \text{min}} = 2.0833 \text{Erl} \Rightarrow \text{Tráfico} - \text{GOS} = 2.04167 \text{Erl} \dots (2)$$

El GOS (grade of service), como su nombre lo dice, mide el nivel de servicio en una comunicación, es decir la probabilidad que una llamada sea bloqueada en un intervalo de tiempo. Este dato es importante debido a que no todas las llamadas serán exitosas.

Utilizando el valor de la ecuación 2 y considerando que por cada 1000 llamadas se pierden 4 (GOS=0.004), de la tabla de Erlang B en el anexo 1, obtenemos que son necesarios 7 canales de voz de 64Kbps cada uno.

- Ahora, para hallar el nivel de tráfico en la red cuando las llamadas son realizadas dentro de la red de Chulucanas, suponemos que en hora punta, 250 personas realizan una llamada de ocho minutos al mismo tiempo (es decir, sin usar la troncal del proveedor):

$$\text{Tráfico}(\text{Erl}) = \frac{250 \times 8 \times 60}{60 \text{seg} \times 60 \text{min}} = 33.33 \text{Erl} \Rightarrow \text{Tráfico} - \text{GOS} = 32.67 \text{Erl} \dots (3)$$

Utilizando este valor y considerando que por cada 100 llamadas se pierden 5, de la tabla de Erlang B en el anexo 1, obtenemos que son necesarios 38 canales de voz de 64Kbps cada uno.

En ambos casos (llamadas dentro de la subred y llamadas hacia fuera de la misma), se realiza el análisis con códecs G.711 (especificado por la ITU-T) de 64Kbps porque son libres y no presentan ningún mecanismo de compresión y codificación; sin embargo, los equipos que se usan en estas soluciones (ATA's, teléfonos IPs) vienen con mecanismos de compresión y codificación más avanzados como por ejemplo G.721, G.723, G.728 y G.729, con lo que se logrará optimizar el consumo de ancho de banda de una llamada, es decir, tener el mismo ancho de banda para mayor número de usuarios, lo cual tiene un efecto positivo para el futuro del poblado y su escalabilidad. [ITUT2007]

TABLA 3-3: Cuadro del Códecs existentes

Fuente: Unión Internacional de las Telecomunicaciones [ITUT2007]

CÓDEC	BIT RATE (Kbps)
G.711	64
G.721	32
G.723	24
G.728	16
G.729	8

#### B) Servicio de Internet

- Número de computadoras en el centro educativo: 20
- Número de computadoras de las entidades públicas: 5
- Si tenemos que en hora pico cada computadora descarga a una velocidad de 100 Kbps, tenemos un tráfico de 2500Kbps.

#### C) Servicio de red privada virtual:

- Se considera que de las 5 computadoras que se comunican mediante la VPN, 3 realizan envío de información al mismo tiempo.
- Se considera que se realiza una llamada a la vez entre los cinco puntos.

$$VPN_{BW} = 3 \times 100 \text{Kbps} + 1 \times 64 \text{Kbps} = 364 \text{Kbps} \dots (4)$$

De acuerdo a la configuración, el ancho de banda dedicado para este fin sería de 512Kbps (256Kbps sería insuficiente).

Para obtener el dimensionamiento del ancho de banda total necesario para esta primera solución, se suma el tráfico de todos los servicios, tenemos:

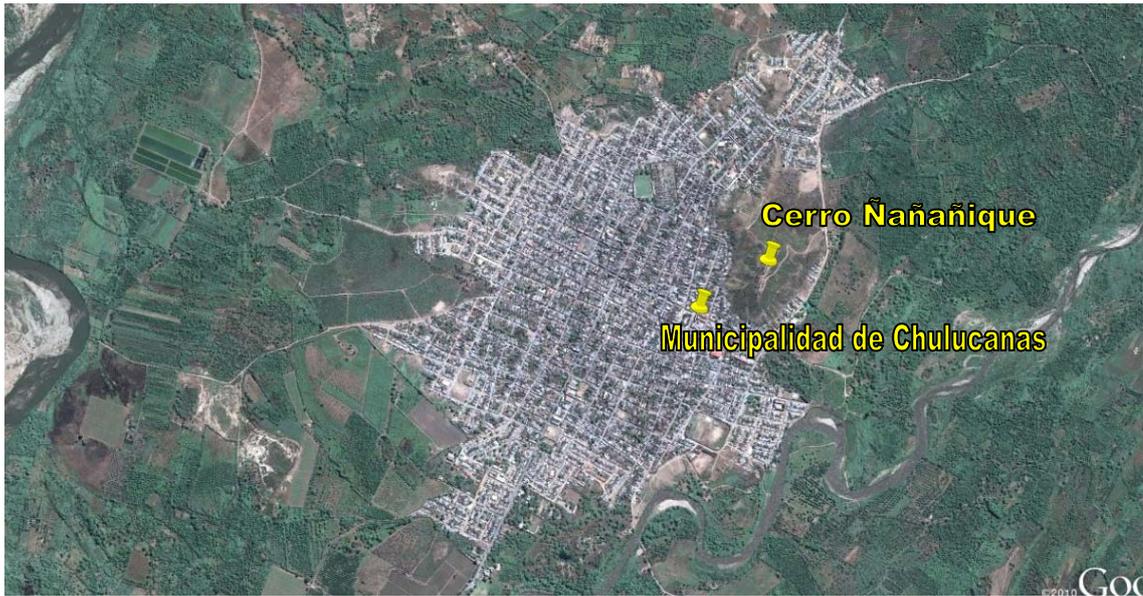
$$\text{TráficoTotal} = \underbrace{7 \times 64}_{\substack{\text{Ancho de banda} \\ \text{llamadas dentro} \\ \text{de la red}}} + \underbrace{38 \times 64}_{\substack{\text{Ancho de banda} \\ \text{llamadas hacia fuera} \\ \text{de la red}}} + \underbrace{2500}_{\substack{\text{Ancho de banda} \\ \text{de los datos}}} + \underbrace{512}_{\substack{\text{Ancho de banda} \\ \text{VPN}}} = 5892 \text{Kbps} = 5.892 \text{Mbps} \dots (5)$$

### 3.2.1.2 Arquitectura de la red

Para el mantenimiento, consumo de energía, protección y administración de la red, se considera que el sistema de transmisión principal (torre, transmisor, antena y servidores) se encuentra en la Municipalidad de Chulucanas. De esta, se establece un primer enlace troncal punto a punto hacia la repetidora ubicada en el cerro Ñañañique y de la cual se establece el segundo enlace troncal punto a punto hacia una torre en el centro educativo primario de Sol Sol, con esta última se consigue llegar a cada punto del poblado donde se requiera brindar el servicio mediante una estación base.

Se puede observar en la figura 3-1A una fotografía satelital del distrito de Chulucanas donde se detalla la ubicación del local municipal y del cerro Ñañañique. En la figura 3-1B, se observa una fotografía Satelital del poblado de Sol Sol, donde se detalla el espacio del centro educativo donde se considera la ubicación la torre además de cinco puntos de muestra.

Y en las figuras 3-1C y 3-1D se tienen dos fotografías satelitales de los lugares que intervienen en el nuevo sistema de comunicación (Chulucanas y Sol Sol), se puede observar con facilidad que el terreno es plano contribuyendo en la existencia de línea de vista entre los puntos marcados.



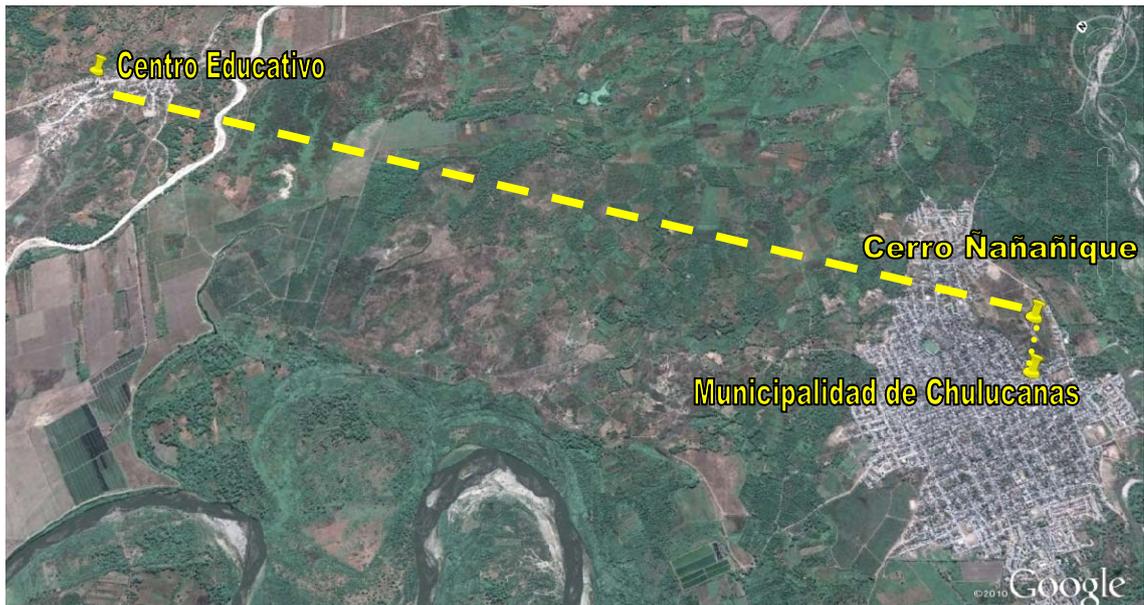
**Figura 3-1A: Fotografía satelital de Chulucanas**

Fuente: "Vista satelital de GOOGLE EARTH" [GOEA2010]



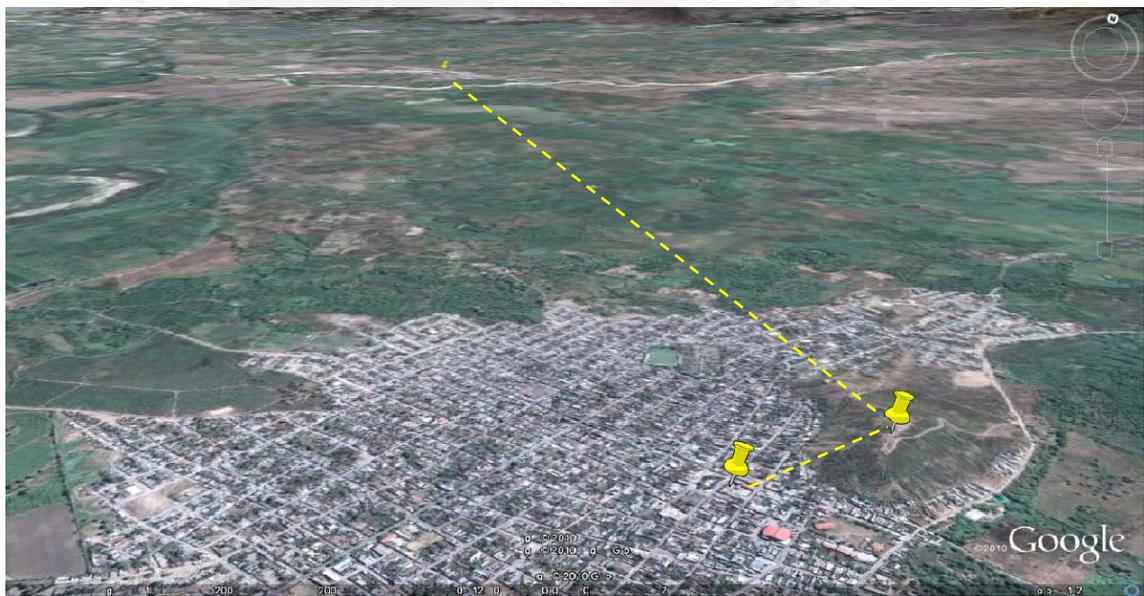
**Figura 3-1B: Fotografía satelital de Sol Sol**

Fuente: "Vista satelital de GOOGLE EARTH" [GOEA2010]



**Figura 3-1C: Fotografía satelital de la red troncal Sol Sol- Cerro Ñañañique-  
municipalidad de Chulucanas**

Fuente: "Vista satelital de GOOGLE EARTH" [GOEA2010]

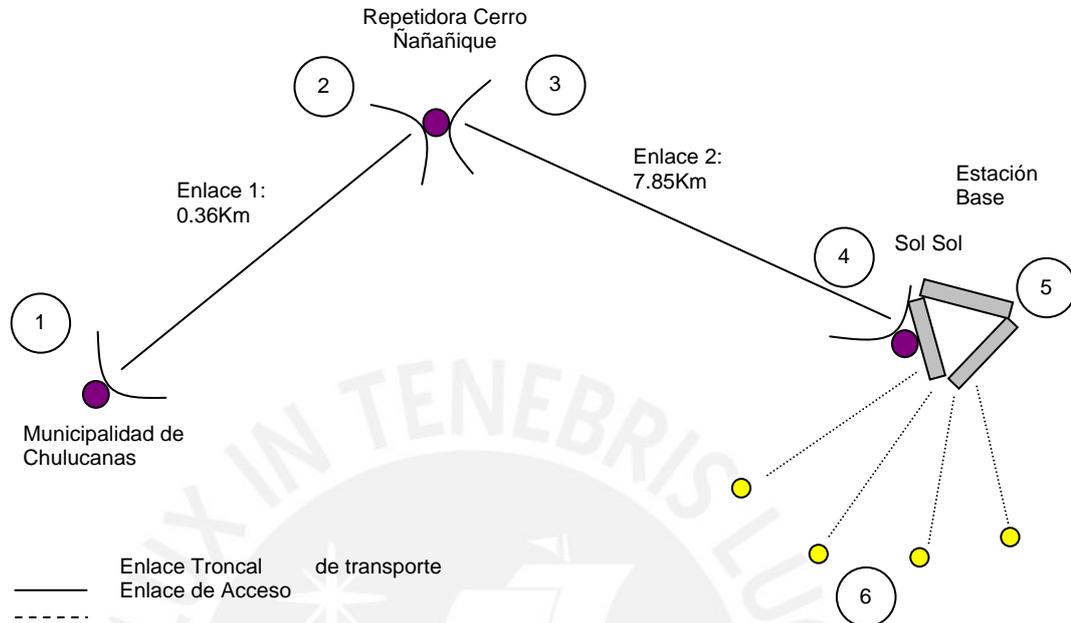


**Figura 3-1D: Fotografía satelital de la red troncal Sol Sol- Cerro Ñañañique-  
municipalidad de Chulucanas**

Fuente: "Vista satelital de GOOGLE EARTH" [GOEA2010]

Se tiene que las distancias entre las torres son para el enlace 1 (municipalidad-cerro Ñañañique) de 0.36Km y para el enlace 2 (cerro Ñañañique-Sol Sol) de 7.85Km.

Según la distribución del esquema de la figura 3-2, en la tabla 3-4 se describen para cada punto de la red, los parámetros recomendados en la tabla 3-1.



**Figura 3-2: Arquitectura de la red**

Fuente: Elaboración Propia

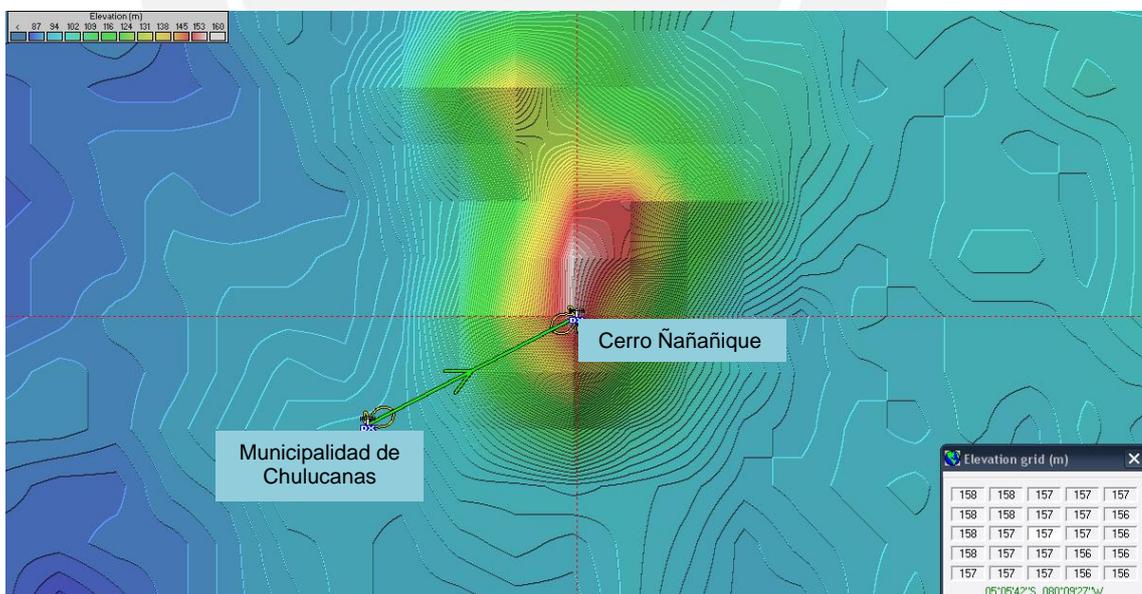
**TABLA 3-4: Parámetros de configuración**

Fuente: Elaboración Propia

Parámetro	Nodo 1	Nodo 2	Nodo 3	Nodo 4	Nodo 5	Nodo 6
Frecuencia de transmisión (GHz)	5	5	5	5	2.4	2.4
Potencia de transmisión (dBm)	22	22	24	24	34.5	15
Pérdida por cable (dB/m)	1	1	1	1	1	1
Ganancia de la antena (dBi)	24	24	24	24	19	8
Sensibilidad de recepción (dBm).	-74	-74	-94	-94	-99	-72

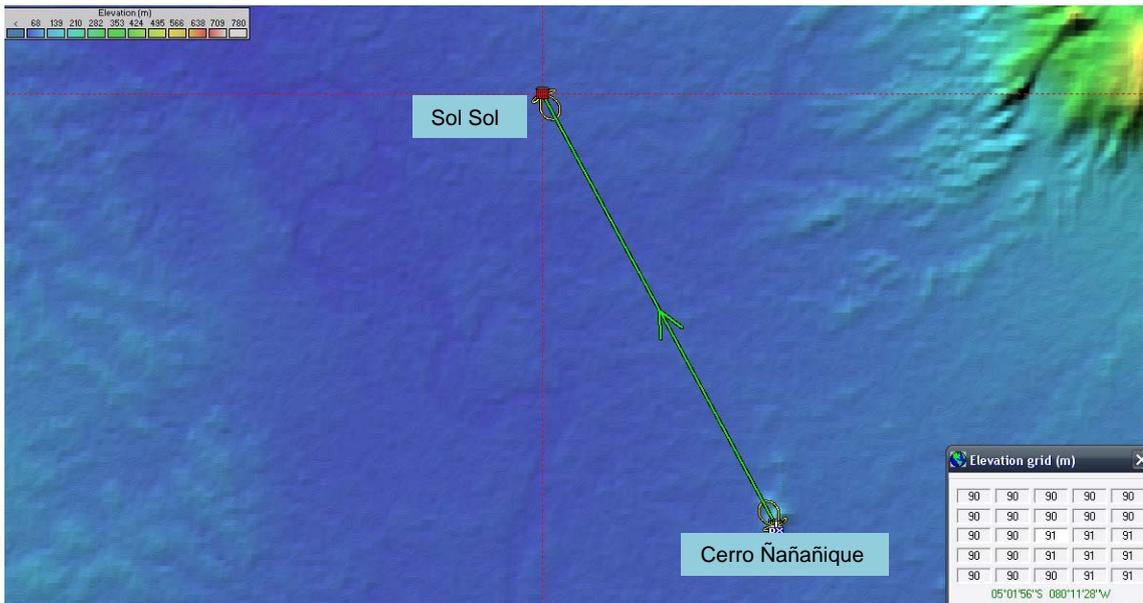
A continuación, se analiza mediante el software especializado Radio Mobile [RDM2010] la calidad de los enlaces según los parámetros descritos anteriormente y con la ubicación exacta (coordenadas geográficas) de los puntos a comunicar. Permite simular la zona de Fresnel [ZOF2010] y el comportamiento del enlace de acuerdo a la geografía, clima, etc.; para esto último utiliza mapas reales de bases de datos de coordenadas y relieve, esto hace posible la veracidad de sus resultados, además para la atenuación del medio inalámbrico, contiene registrados tipos de climas, los cuales pueden ser configurados al momento de establecer los parámetros del enlace.

En las figuras 3-3A vemos el mapa de la simulación del primer enlace troncal punto a punto entre la municipalidad de Chulucanas y el cerro Ñañañique; en la figura 3-3B el mapa de la simulación del segundo enlace troncal punto a punto entre el cerro Ñañañique y el centro educativo de Sol Sol; además en la figura 3-3C tenemos el mapa de la simulación de cinco enlaces de acceso punto multipunto (figura 3-1B) desde la estación base hasta cinco diferentes lugares en Sol Sol ubicados estratégicamente para evaluar el peor de los casos. Por último en la figura 3-3D se tiene la vista completa de todos los enlaces.



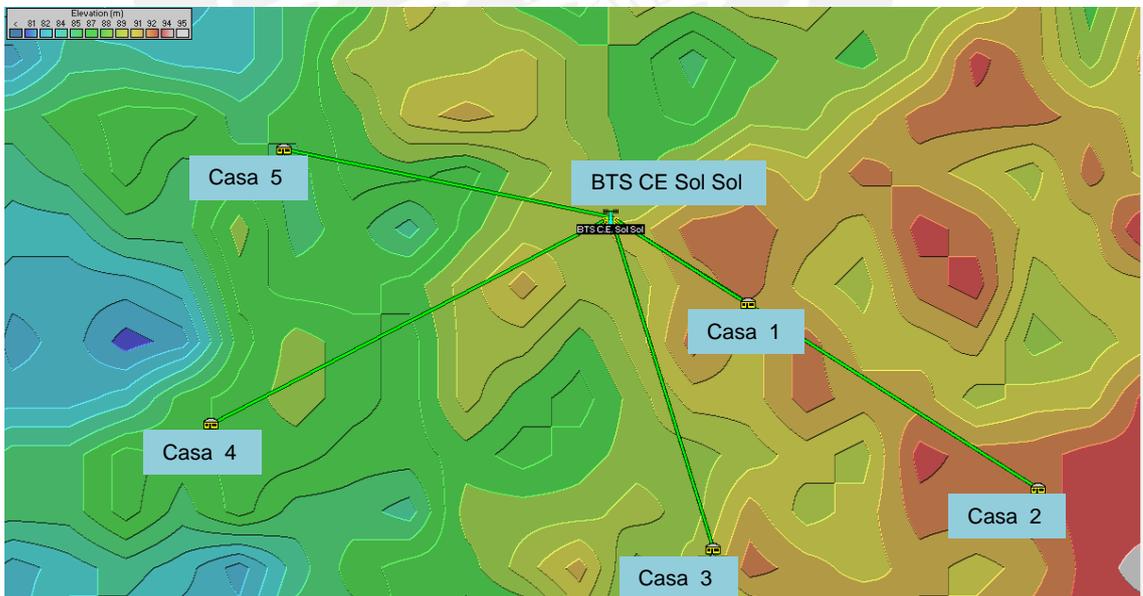
**Figura 3-3A: Mapa de la simulación del primer enlace (troncal municipalidad-cerro Ñañañique) en Radio Mobile**

Fuente: Elaboración Propia con software Radio Mobile



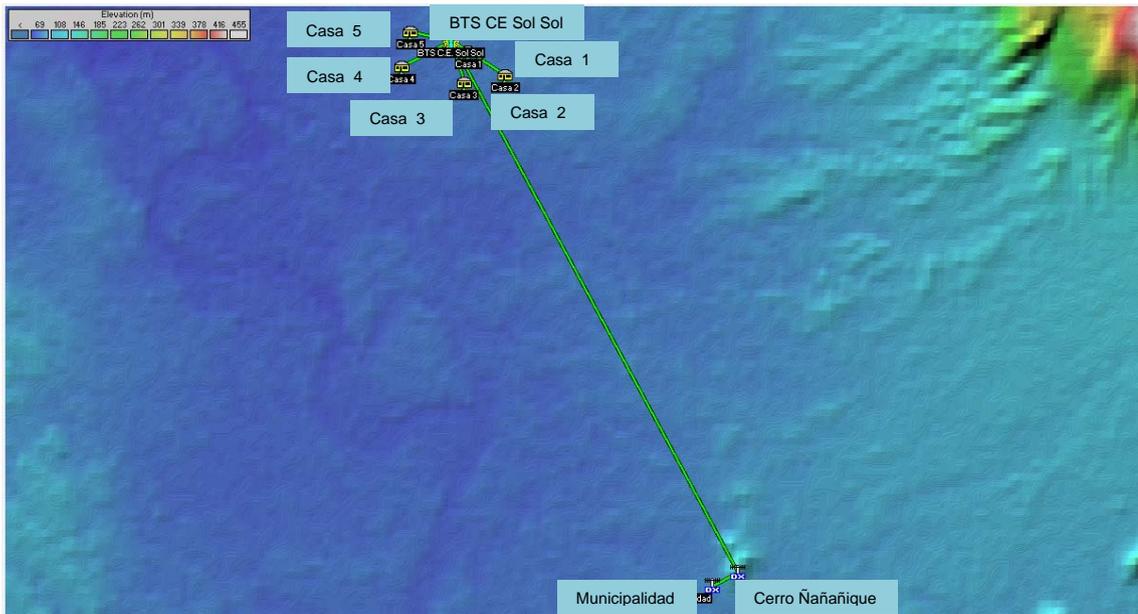
**Figura 3-3B: Mapa de la simulación del segundo enlace (troncal Cerro Ñañañique-Sol Sol) en Radio Mobile**

Fuente: Elaboración Propia con software Radio Mobile



**Figura 3-3C: Mapa de la simulación del enlace de acceso en Sol Sol**

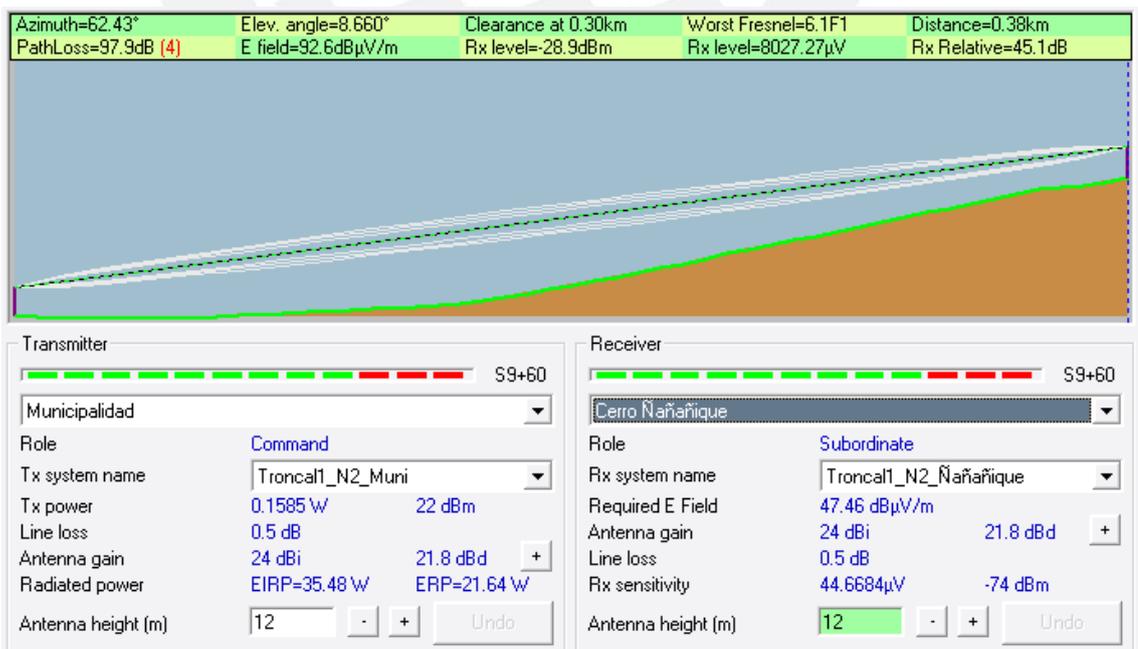
Fuente: Elaboración Propia con software Radio Mobile



**Figura 3-3D: Mapa de la simulación de todos los enlaces**

Fuente: Elaboración Propia con software Radio Mobile

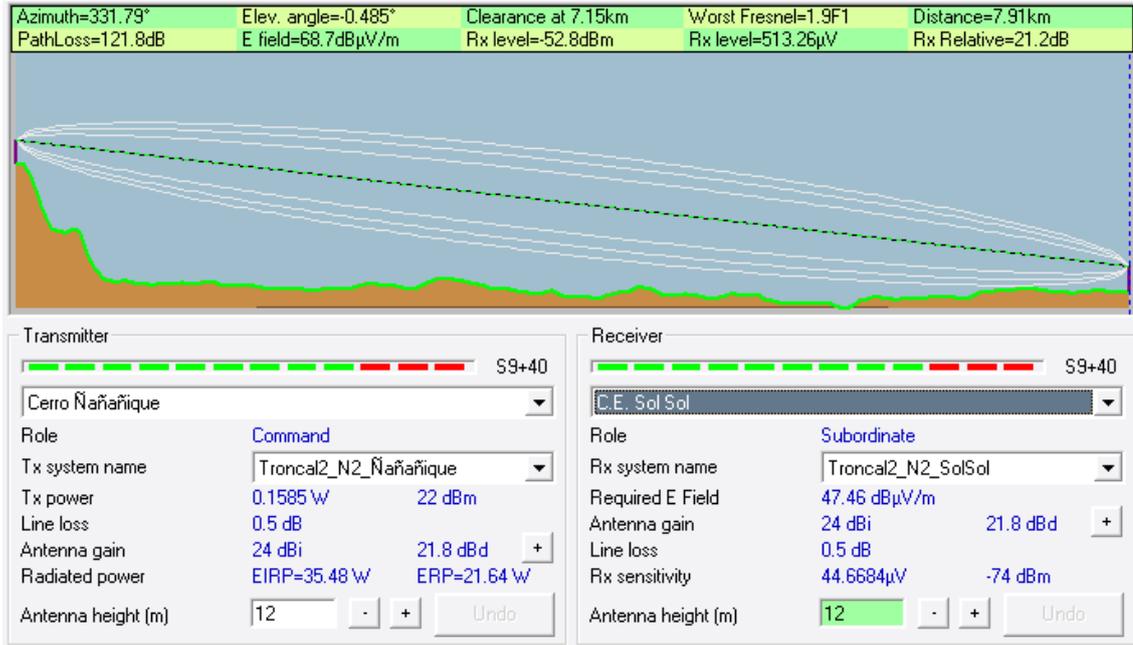
En la figura 3-4A se observa la simulación del primer enlace troncal punto a punto que comprende la transmisión desde la torre que mide 6 metros (se consideran 12m en el software debido a que el local municipal tiene de tres pisos que consideramos son 6m de altura, es decir, la torre se encontraría en el techo de la Municipalidad) ubicada en la Municipalidad de Chulucanas hacia la repetidora en el cerro Ñañañique, la cual es una torre con 12m de altura.



**Figura 3-4A: Simulación del primer radio enlace en Radio Mobile**

Fuente: Elaboración Propia con software Radio Mobile

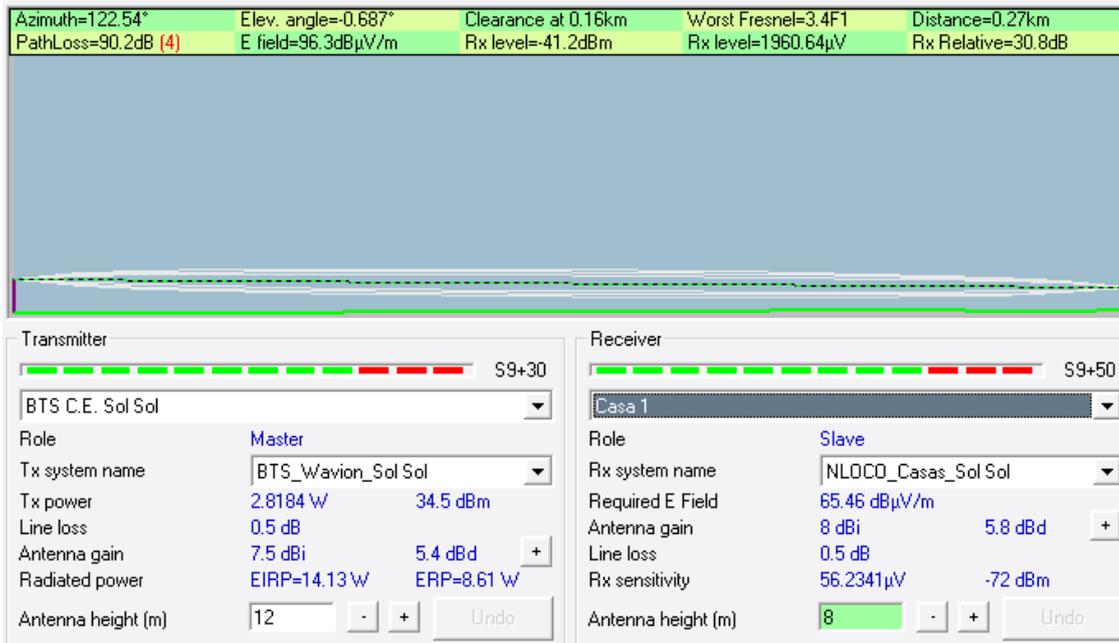
En la figura 3-4B se observa la simulación del segundo radio enlace que comprende la transmisión desde la torre repetidora del cerro Ñañañique (12m) hasta la torre ubicada en el centro educativo en el poblado de Sol Sol que mide 12m de altura. Como podemos apreciar, se tiene la primera zona de Fresnel totalmente despejada de obstáculos y la segunda tan solo un poco obstaculizada cerca de la zona de recepción. Lo cual hace posible el establecimiento del enlace.



**Figura 3-4B: Simulación del segundo radio enlace en Radio Mobile**

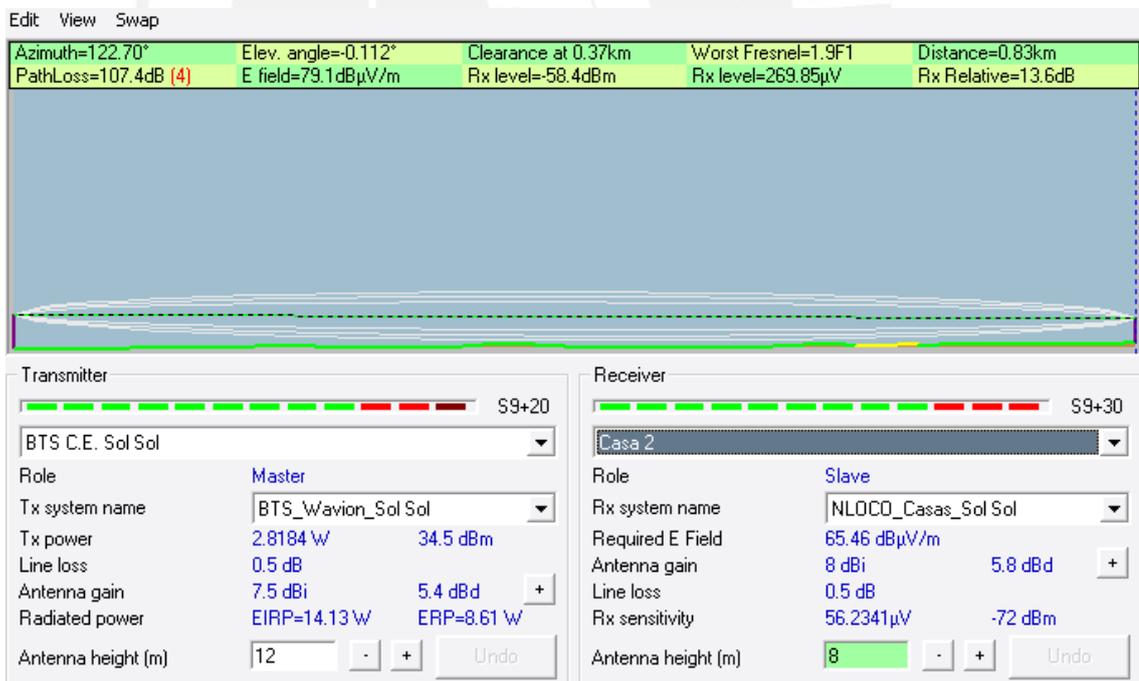
Fuente: Elaboración propia con software Radio Mobile

A continuación se presentan las simulaciones del enlace punto multipunto desde la estación base ubicada en el centro educativo de Sol Sol hacia los cinco puntos mas alejados de la estación base hacia el norte, sur, este, oeste y sureste de la misma, las figuras 3-4C, 3-4D, 3-4E, 3-4F y 3-4G:



**Figura 3-4C: Simulación del radio enlace de la estación base con casa 1**

Fuente: Elaboración propia con software Radio Mobile



**Figura 3-4D: Simulación del radio enlace de la estación base con casa 2**

Fuente: Elaboración propia con software Radio Mobile

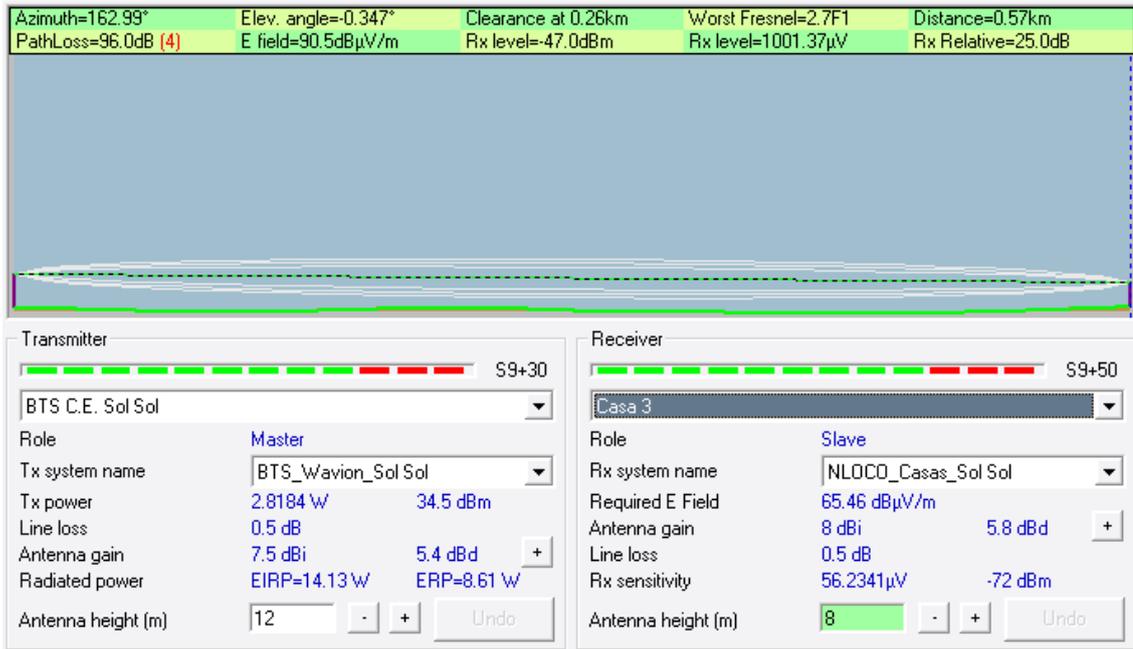


Figura 3-4E: Simulación del radio enlace de la estación base con casa 3

Fuente: Elaboración propia con software Radio Mobile

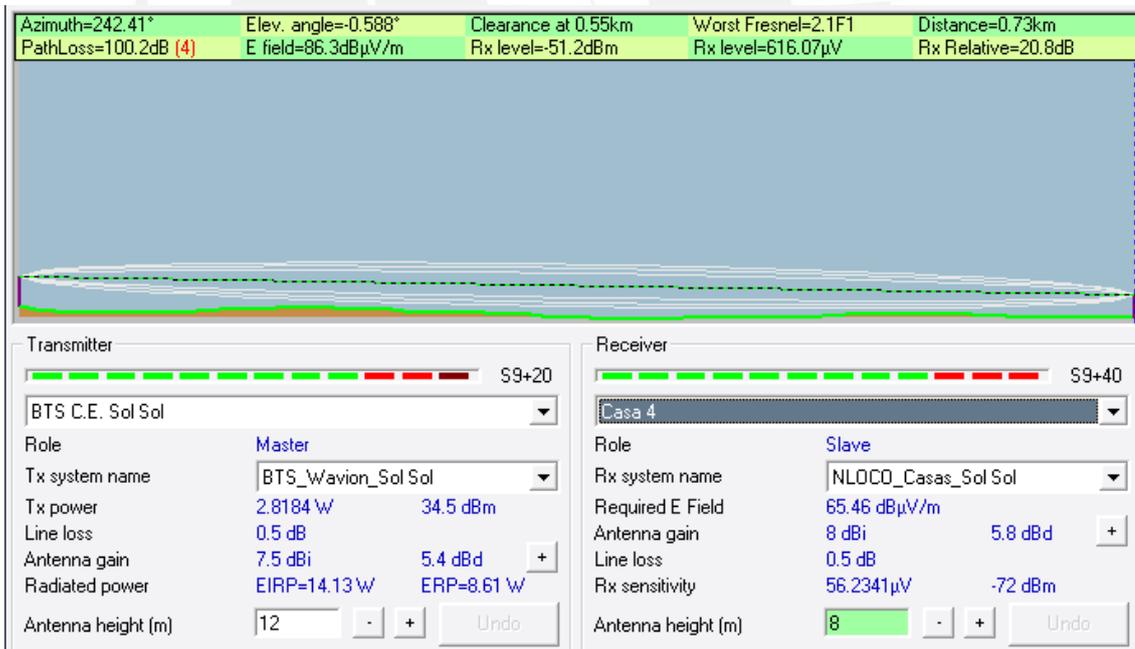
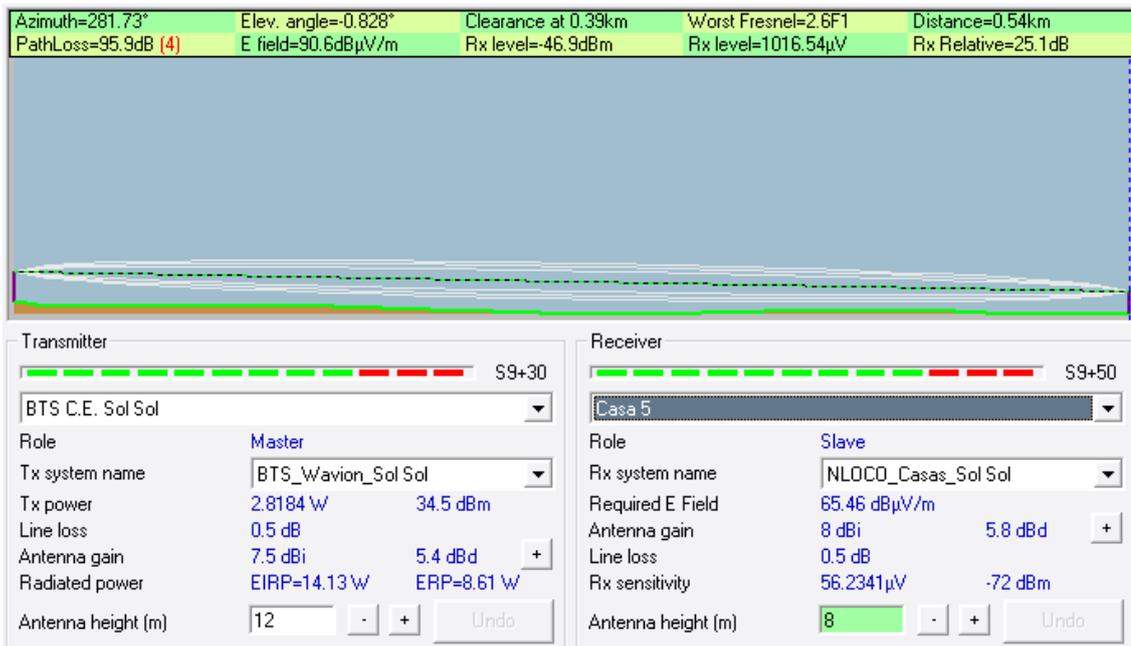


Figura 3-4F: Simulación del radio enlace de la estación base con casa 4

Fuente: Elaboración propia con software Radio Mobile



**Figura 3-4G: Simulación del radio enlace de la estación base con casa 5**

Fuente: Elaboración propia con software Radio Mobile

### 3.2.1.3 Infraestructura y equipos para la solución

Una vez que se conocen las ubicaciones de nuestros sistemas de transmisión y recepción, además de la potencia a la que necesitan trabajar, el siguiente paso es encontrar los equipos que puedan realizar lo que se requiere. El evaluar marcas y modelos de equipos escapa del objetivo de este proyecto, sin embargo se deben dejar en claro las características mínimas que deben tener los equipos para que los enlaces funcionen acuerdo a lo propuesto anteriormente. En la parte de costos se darán nombres de marcas que se aconsejan de acuerdo a los parámetros requeridos.

En la figura 3-5, se presenta el diagrama de la red considerando los equipos, dispositivos y elementos necesarios detallando su ubicación en cada torre.

Como se concluyó en el apartado 3.1, trabajaremos con la tecnología 802.11 (WiFi). Para los enlaces troncales se utilizará el estándar 802.11a, el cual trabaja en la frecuencia 5GHz, esto representa una ventaja debido a que en comparación a los demás estándares, es una banda que presenta menor posibilidad de interferencias. La banda de 2.4GHz tiene gran uso (pues es la misma banda usada por los teléfonos inalámbricos, hornos microondas, entre otros artefactos) y está más

propensa a sufrir interferencias en enlaces punto a punto de largas distancias (mayores a 2Km).

Para los enlaces de acceso punto multipunto se utilizará el estándar 802.11g, el cual trabaja en la banda de 2.4GHz, debido a que la distancia de los enlaces es corta (menos a 1Km), presenta línea de vista y los equipos que reciben la señal pueden ser más sencillos.

En el apartado 3.2.1.1 se especifica el ancho de banda necesario para la transmisión de todos los servicios en la red que es 5.892Mbps, y además se necesita rentar de un proveedor de servicios la cantidad de 7 canales de voz y como mínimo 2.5Mbps para Internet.



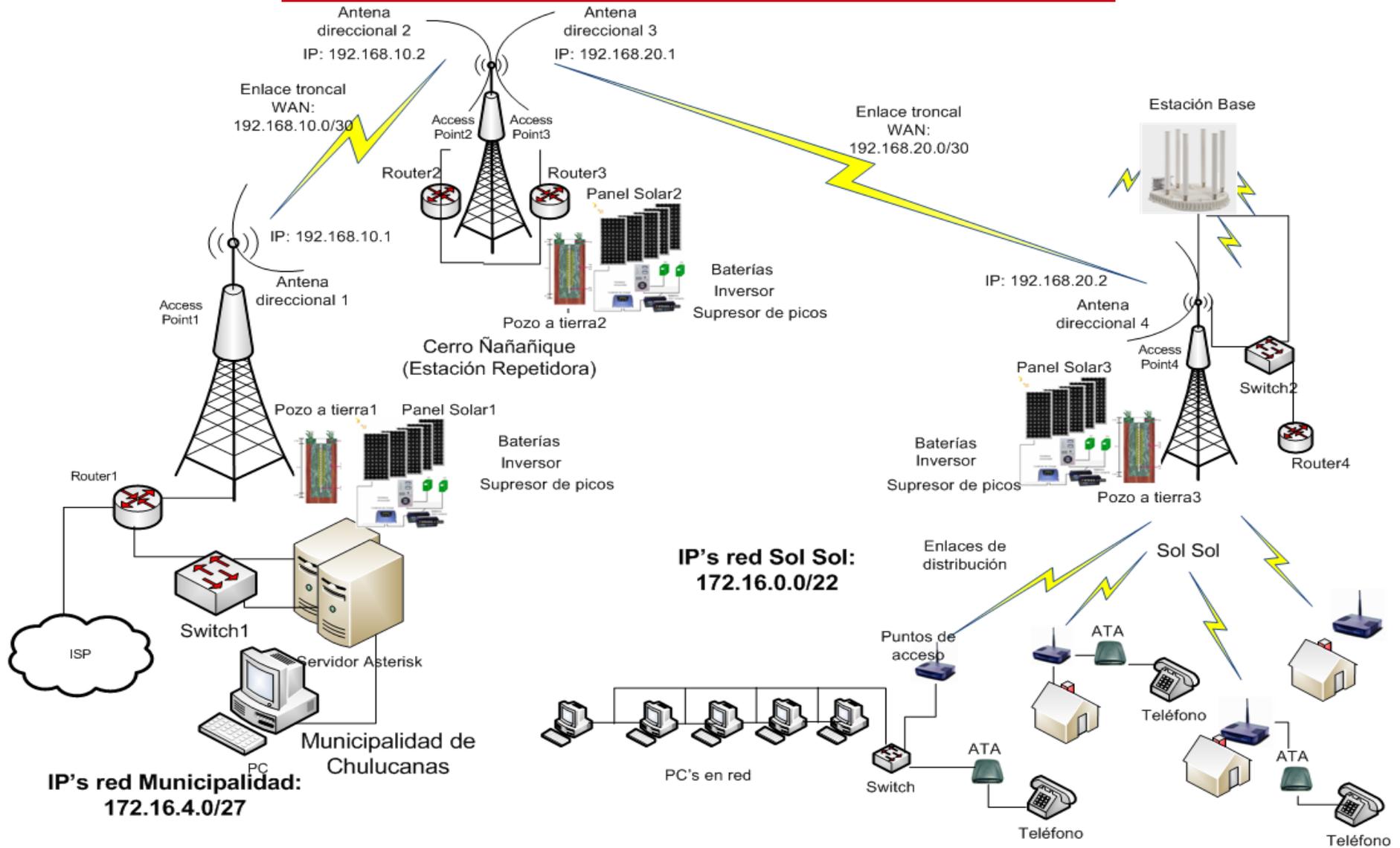


Figura 3-5: Diagrama de la red, primera solución

Fuente: Elaboración propia

Con ayuda del diagrama de la figura 3-5, se describen a continuación en detalle las características de cada uno de los elementos que conforman este sistema de comunicación.

Los equipos que se requieren utilizar para este proyecto son:

A) Torres ventadas:

- Son necesarias 2 torres ventadas de 12 metros cada una (de 4 cuerpos) y una de 6 metros para el techo de la municipalidad de Chulucanas.
- La torre ubicada en Sol Sol soportará además de la troncal a la estación base.
- Los equipos en las torres para las repetidoras tienen la siguiente distribución:

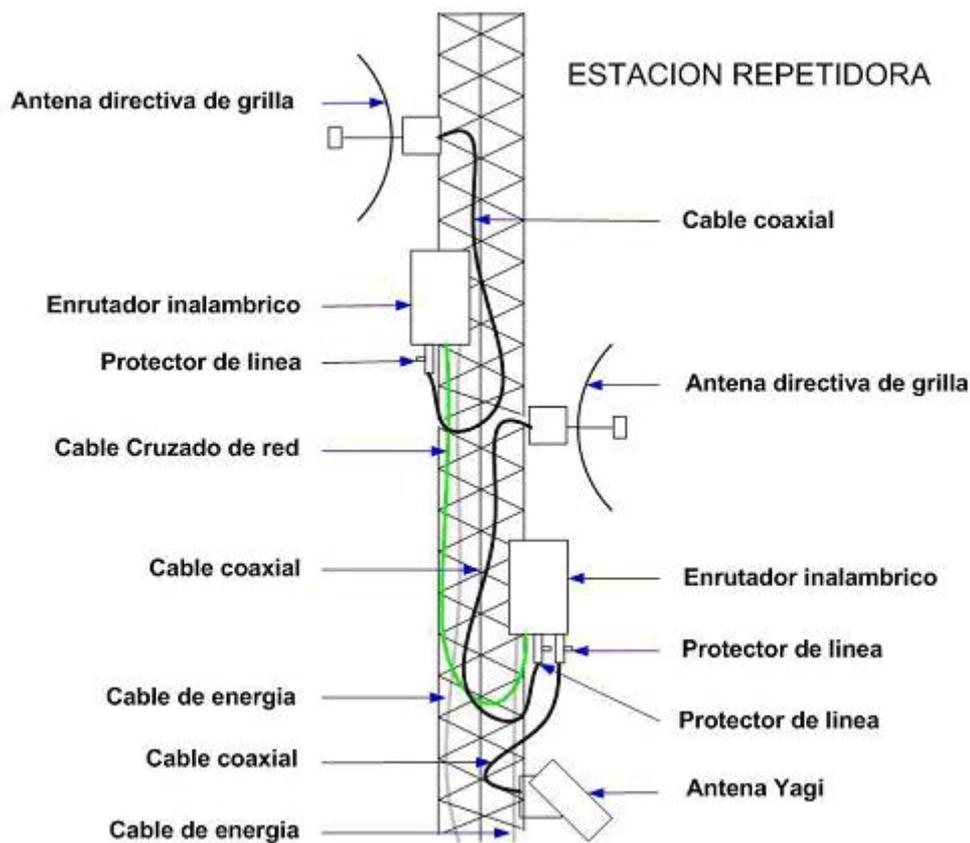


Figura 3-6: Esquema del subsistema de telecomunicaciones en una estación repetidora

Fuente: "Estación repetidora" [GTR2006]

B) Equipo transmisor/receptor “AccessPoint”:

- Se ubican en la parte superior de cada torre.
- Deben ser equipos “out door”, es decir, que en su estructura se describa protección contra daños producidos por el clima, animales y fenómenos naturales tales como la lluvia, la humedad y el calor porque estos equipos se ubicarán fuera de los sites para conservar la línea de vista entre los enlaces.
- Generalmente estos equipos cuentan con dos antenas una que recibe y la otra que transmite la señal. Estas antenas deben ser removibles o en su defecto el equipo debe contar con un puerto de conexión para una antena externa puesto que las distancias de alcance descritas en este proyecto para los enlaces requieren de mayores potencias a las que los equipos de por sí pueden dar con las antenas que tienen incorporadas.
- Deben trabajar en la banda de frecuencias de 2.4GHz y 5GHz.
- Deben contar con una potencia mínima de transmisión de 24dBm.
- Una sensibilidad de recepción mínima de -94dBm.
- Son necesarios 4 access point como se observa en el diagrama: Access Point 1, Access Point 2, Access Point 3, Access Point 4.
- El anexo 2 de este documento es un data sheet, cuyas especificaciones técnicas pueden servir como referencia para elegir un equipo adecuado para la solución.

C) Antena Grillada direccional:

- Esta antena se conecta al Access Point, es direccional porque los enlaces troncales son punto a punto, y se especifica que sea grilla porque sus características son ideales en estos entornos.[ ANT2006]
- Debe tener una ganancia mínima de 21dBi.
- Una mínima potencia de transmisión de 24dBm.
- Son necesarias 4 antenas ubicadas en el diagrama como antena direccional 1, antena direccional 2, antena direccional 3 y antena direccional 4.



**Figura 3-7: Antena grilla**

Fuente: Antenas grilla [ANT2009]

D) Switch:

- Dispositivo que ayuda en la distribución de la red, en el diagrama son switch1 y switch2.
- Deben tener al menos 8 puertos, en el caso del switch 1, para conectar los servidores y al router que es brindado por el proveedor; y en el caso del switch 2 que pueda comunicar Access Point 4 con la estación base.
- Deben ser out door para disminuir la longitud de los cables a conectar.

E) Router:

- Dispositivos que ayudan a enrutar la información dentro y fuera de la red.
- Estos routers deben ser configurables.
- Deben ser dispositivos out door.

F) Estación Base:

- Existen estaciones base para ser implementadas especialmente en este ámbito, son robustas al clima y tiene una amplia cobertura para brindar el servicio a todo el pueblo de Sol Sol.



**Figura 3-8: Ejemplo de estación base**

Fuente: Estación Base WAVION [WAV2010]

G) Access Point terminales:

- Son los que cada vivienda debe poseer para poder acceder al servicio.
- Estos necesitan de mínimo 15dBm de potencia de transmisión.
- De estos se conectarán los cables para computadoras y para los teléfonos.
- El anexo 3 de este documento es un data sheet, cuyas especificaciones técnicas pueden servir como referencia para elegir un equipo adecuado para la solución.

H) Switch para el centro educativo:

- Debe poseer al menos 24 puertos para conectar las computadoras y el ATA para el teléfono analógico.
- Debe ser configurable.

I) Cables y conectores:

- De preferencia utilizar cable coaxial para conexiones externas.
- Pigtails para las conexiones con las antenas.
- Cable de red para la conexión de las computadoras a la red del colegio.

#### J) Cajas protectoras:

- Su uso es necesario para todo equipo que se encuentre en contacto con el ambiente externo, es decir access points, switches, etc.

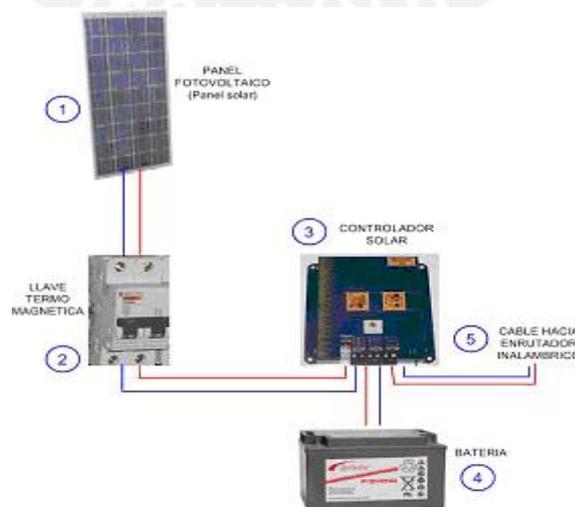


**Figura 3-9: Ejemplo de caja protectora**

Fuente: Dataste Solera [CPR2008]

#### K) Paneles Solares

- La mayoría de estos equipos son recomendables. Deben contener un inversor, baterías y supresor de picos.
- Debe soportar el consumo de todos los equipos en cada torre, es decir cada torre tiene su propio sistema de alimentación de energía, así su funcionamiento es independiente.
- De acuerdo a cálculos tenemos que para una repetidora cliente de WiFi se necesita un arreglo de 225Wp. [GTR2008]

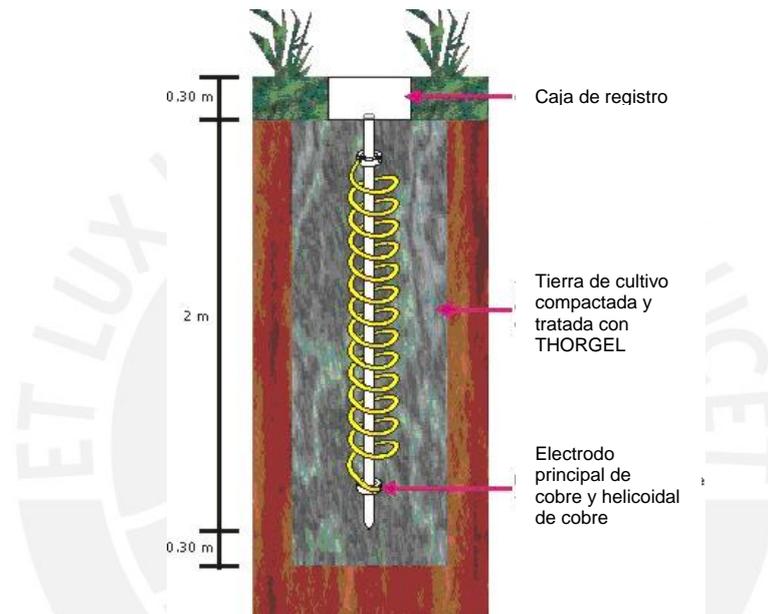


**Figura 3-10: Ejemplo de elementos del sistema de energía**

Fuente: Redes Inalámbricas [GTR2008]

#### L) Pozo a tierra y arrestor

- En este caso existen empresas que se dedican a la instalación específica de estos elementos.
- Asimismo si ya existe un pozo a tierra cercano a alguna de las torres, se puede reutilizar.
- El arrestor es un dispositivo que funciona como pararrayos, se ubica estratégicamente en la punta de la torre para evitar accidentes.



**Figura 3-11: Ejemplo de elementos del pozo a tierra**

Fuente: Redes Inalámbricas [GTR2008]

#### M) ATA y teléfonos analógicos

- El ATA es un dispositivo analógico que permite unir un teléfono analógico a una red de datos IP, son necesarios en el poblado puesto que para la adquisición de teléfonos IP, es necesario un alto presupuesto.

#### N) Servidor Asterisk

- La implementación de este servidor significa la implementación del un pequeña central telefónica IP encargada de organizar las llamadas dentro de la red y un servidor de señalización.
- Utiliza software libre.

- Necesita de una computadora con características mínimas de procesador Pentium4
- Memoria RAM de 4GB
- Disco Duro de 80GB
- Tarjeta de Red 10/100/1000
- Sistema operativo: GNU/Linux Centos
- Deben configurarse el número de líneas que se requiera y además a esto, agregarle el número de canales que se están arrendando del proveedor. En el anexo 4 se detalla un ejemplo de la configuración.

La figura 3-12 muestra un ejemplo de la distribución de estos elementos en una torre ventada.



**Figura 3-12: Ejemplo de distribución de elementos y dispositivos en la torre ventada**

Fuente: Redes Inalámbricas [GTR2006]

### 3.2.2 Segunda Solución

#### 3.2.2.1 Dimensionamiento de la red

##### A) Servicio de telefonía:

- Total de terminales: 5 (entidades públicas)
- Para hallar el nivel de tráfico en la red, suponemos que en hora pico, de los 5 teléfonos se realizan llamadas de cinco minutos al mismo tiempo hacia fuera de la subred de Chulucanas, es decir una llamada local a Piura, nacional o internacional (es decir, la llamada usa la troncal de proveedor):

$$\text{Tráfico}(Erl) = \frac{5 \times 5 \times 60}{60 \text{seg} \times 60 \text{min}} = 0.4167 \text{Erl.} \Rightarrow \text{Tráfico} - GOS = 0.408 \text{Erl....(5)}$$

Utilizando este valor y considerando que por cada 1000 llamadas se pierden 8, de acuerdo al anexo 1 de la tabla de Erlang B, tenemos que se necesitan 3 canales de voz de 64Kbps cada uno.

Ahora, para hallar el nivel de tráfico en la red cuando las llamadas son realizadas dentro de la red de Chulucanas, suponemos que en hora punta, de 2 teléfonos se realizan una llamada de ocho minutos al mismo tiempo (es decir, sin usar la troncal del proveedor):

$$\text{Tráfico}(Erl) = \frac{2 \times 8 \times 60}{60 \text{seg} \times 60 \text{min}} = 0.27 \text{Erl.} \Rightarrow \text{Tráfico} - GOS = 0.261 \text{Erl....(6)}$$

Utilizando este valor y considerando que por cada 100 llamadas se pierden 3, tenemos que se necesitan 2 canales de voz de 64Kbps cada uno.

En ambos casos anteriores (llamadas dentro de la subred y llamadas hacia fuera de la misma), se realiza el análisis con códecs G.711 (especificado por la ITU-T) de 64Kbps porque son libres y no presentan ningún mecanismo de compresión y codificación; sin embargo los equipos que se usan en estas soluciones (ATA's, teléfonos IPs) vienen con mecanismos de compresión y codificación más avanzados como por ejemplo G.723, G.729, G.729.1, G.729.3, etc. con lo que se logrará optimizar el consumo de ancho de banda de una llamada, es decir menor ancho de banda para la misma calidad de voz. [ITUT2007]

**B) Servicio de Internet:**

- Número de computadoras en el centro educativo: 20
- Número de computadoras de las entidades públicas: 5
- Si tenemos que en hora pico cada computadora descarga a una velocidad de 100Kbps, tenemos un tráfico de 2500Kbps.

**C) Servicio de red privada virtual:**

- Para esto se necesita un ancho de banda máximo de 512Kbps.
- Sumando el tráfico de todos los servicios, tenemos:

$$\text{TráficoTotal} = \underbrace{3 \times 64}_{\substack{\text{Ancho de banda} \\ \text{llamadas dentro} \\ \text{de la red}}} + \underbrace{2 \times 64}_{\substack{\text{Ancho de banda} \\ \text{llamadas fuera} \\ \text{de la red}}} + \underbrace{2500}_{\substack{\text{Ancho de banda} \\ \text{datos}}} + \underbrace{512}_{\substack{\text{Ancho de banda} \\ \text{VPN}}} = 3332 \text{Kbps} = 3.332 \text{Mbps} \dots (7)$$

Si se realiza una comparación con la primera solución, esta segunda requiere menor ancho de banda para cumplir con el funcionamiento de la red debido a que el número de usuarios es menor.

**3.2.2.2 Arquitectura de la red**

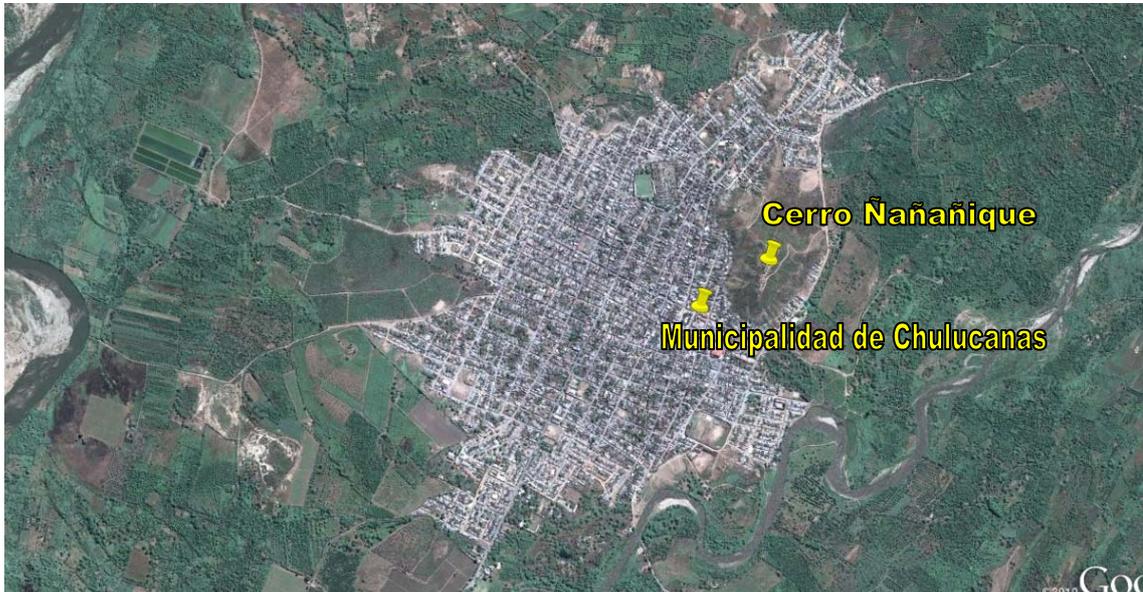
De la misma forma que en la solución anterior, para el mantenimiento, consumo de energía, protección y administración de la red, se considera que el sistema de transmisión principal (torre, transmisor, servidores, etc.) se encuentra en la Municipalidad de Chulucanas. De esta, se establece un enlace troncal punto a punto hacia la torre ubicada en el cerro Ñañañique y de la cual se establece el segundo enlace de acceso punto multipunto desde la estación base en el cerro hacia 5 principales puntos del poblado de Sol Sol.

Podemos observar en la figura 3-13A una fotografía satelital del distrito de Chulucanas donde se detalla la ubicación del local municipal y del cerro Ñañañique.

En la figura 3-13B, se observa una fotografía satelital del poblado de Sol Sol, donde se detalla el espacio del centro educativo donde se considera la ubicación la torre además de cinco puntos de muestra.

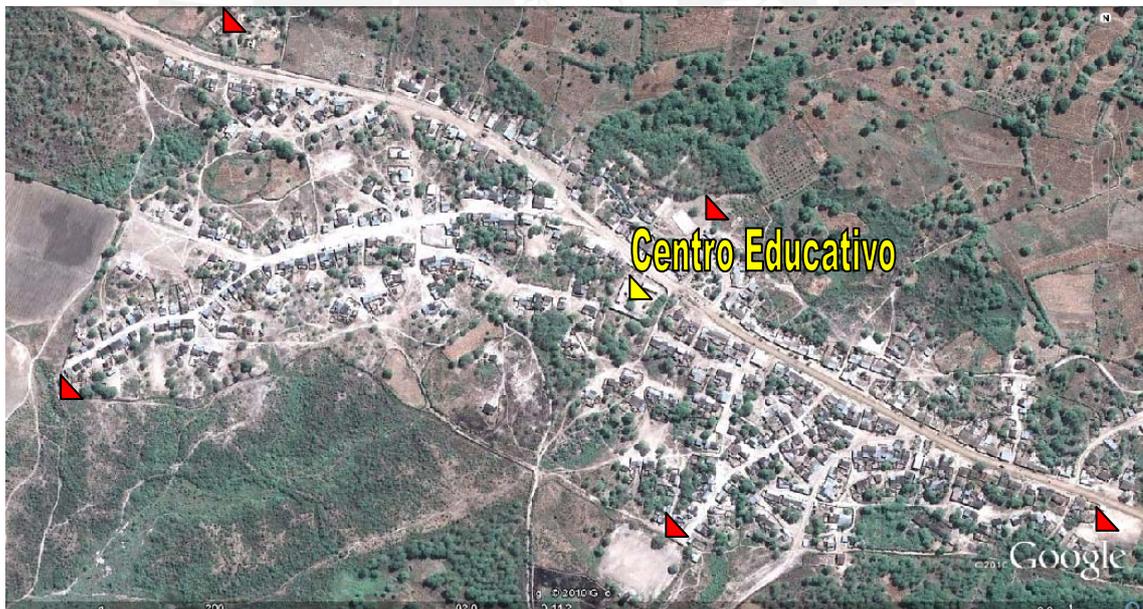
Y en las figuras 3-13C y 3-13D se tienen dos fotografías satelitales de los lugares que intervienen en el nuevo sistema de comunicación (Chulucanas y Sol Sol), se puede

observar con facilidad que el terreno es plano contribuyendo en la existencia de línea de vista entre los puntos marcados.



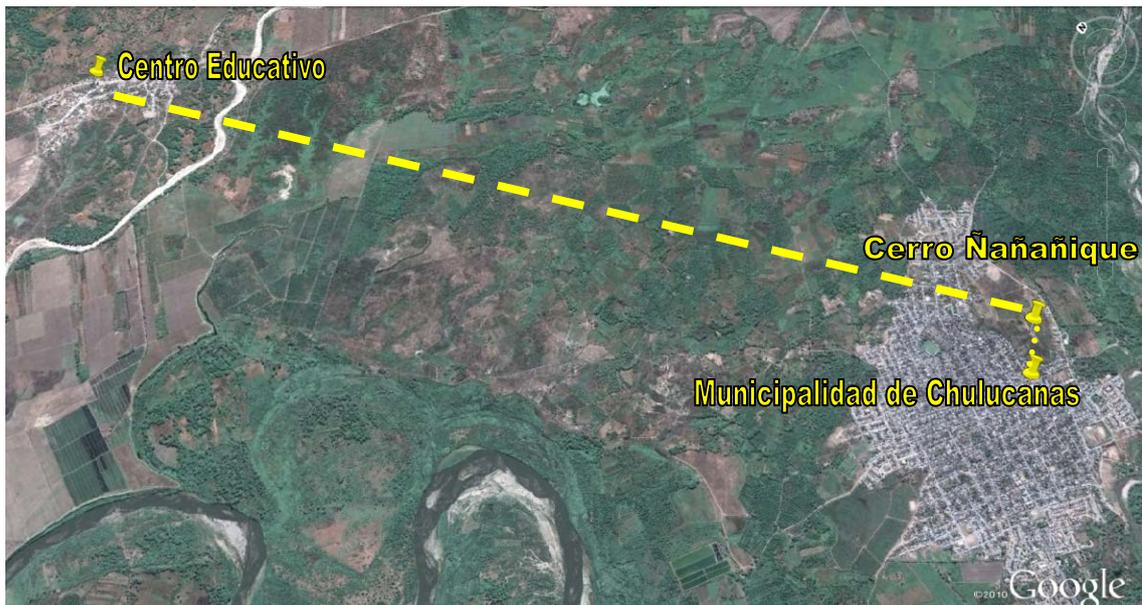
**Figura 3-13A: Fotografía satelital de Chulucanas**

Fuente: "Vista satelital de GOOGLE EARTH" [GOEA2010]



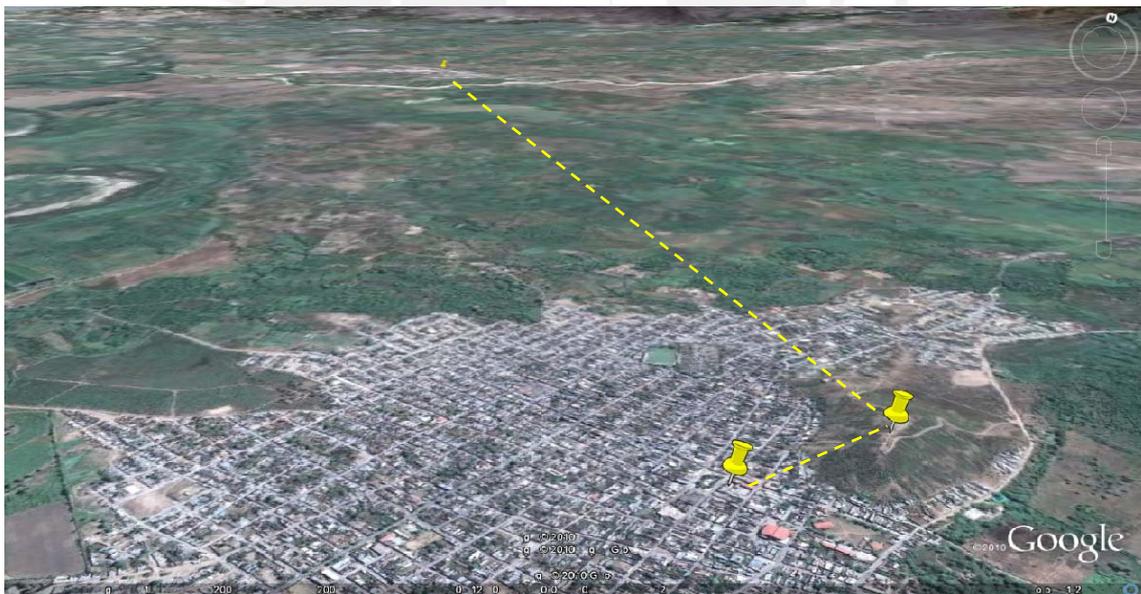
**Figura 3-13B: Fotografía satelital de Sol Sol**

Fuente: "Vista satelital de GOOGLE EARTH" [GOEA2010]



**Figura 3-13c: Fotografía satelital de la red troncal Sol Sol-Cerro Ñañañique-municipalidad de Chulucanas**

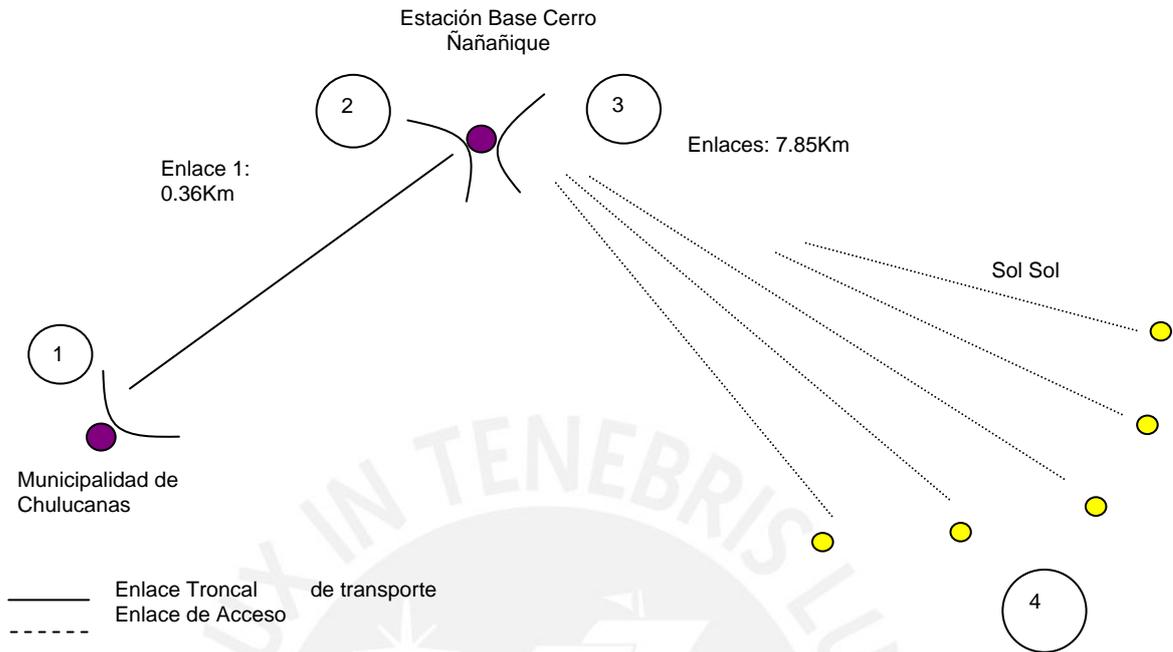
Fuente: "Vista satelital de GOOGLE EARTH" [GOEA2010]



**Figura 3-13D: Fotografía satelital de la red troncal Sol Sol- Cerro Ñañañique-municipalidad de Chulucanas**

Fuente: "Vista satelital de GOOGLE EARTH" [GOEA2010]

Se tiene que las distancias entre las torres para el enlace 1 es (municipalidad-cerro Ñañañique) de 0.36Km y para el enlace 2 (cerro Ñañañique-Sol Sol punto multipunto) de en promedio 7.85Km. Según la distribución del esquema de la figura 3-14, en la tabla 3-5 se describen para cada punto de la red, los parámetros recomendados en la tabla 3-1.



**Figura 3-14: Arquitectura de la red**

Fuente: Elaboración Propia

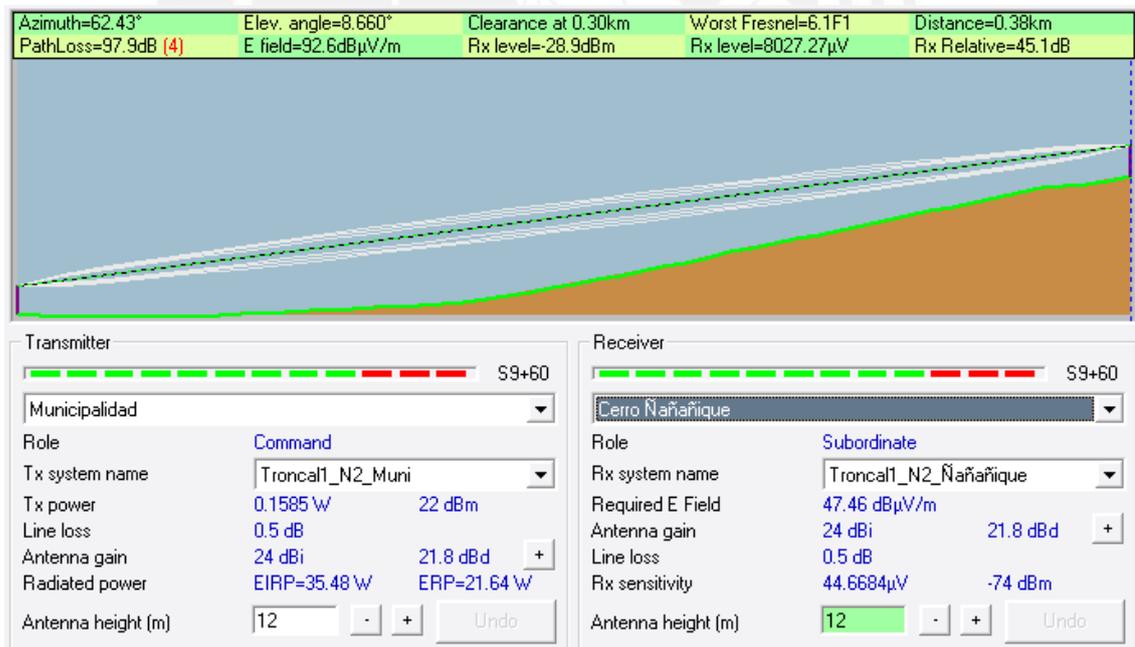
**TABLA 3-5: Parámetros de configuración**

Fuente: Elaboración Propia

Parámetro	Nodo 1	Nodo 2	Nodo 3	Nodo 4
Frecuencia de transmisión (GHz)	5	5	2.4	2.4
Potencia de transmisión (dBm)	22	22	24	24
Pérdida por cable (dB/m)	1	1	1	1
Ganancia de la antena (dBi)	24	24	24	24
Sensibilidad de recepción (dBm).	-74	-74	-94	-94

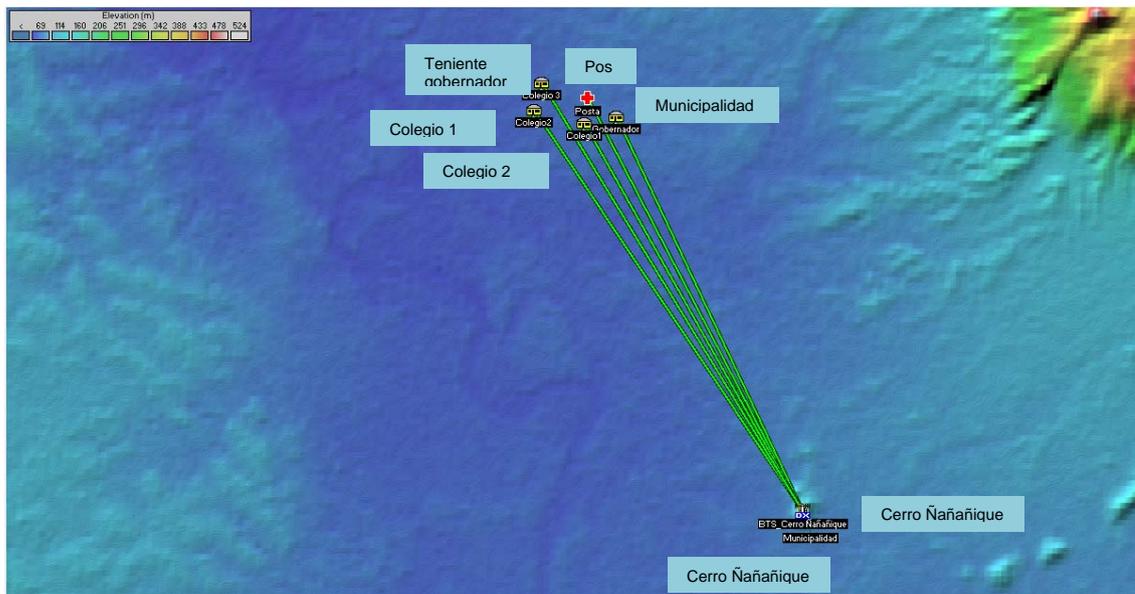
A continuación, se analiza mediante el software especializado Radio Mobile [RDM2010] la calidad de los enlaces según los parámetros descritos anteriormente y con la ubicación exacta (coordenadas geográficas) de los puntos a comunicar. Permite simular la zona de Fresnel [ZOF2010] y el comportamiento del enlace de acuerdo a la geografía, clima, etc.; para esto último utiliza mapas reales de bases de datos de coordenadas y relieve, esto hace posible la veracidad de sus resultados, además para la atenuación del medio inalámbrico, contiene registrados tipos de climas, los cuales pueden ser configurados al momento de establecer los parámetros del enlace.

En las figuras 3-15A vemos el mapa de la simulación del enlace troncal punto a punto entre la municipalidad de Chulucanas y el cerro Ñañañique; en la figura 3-15B el mapa de la simulación del enlace de acceso punto multipunto entre el cerro Ñañañique y cinco puntos (figura 3-13B) del poblado de Sol Sol. Por último en la figura 3-15C se tiene la vista completa de todos los enlaces.



**Figura 3-15A: Mapa de la simulación del primer enlace en Radio Mobile**

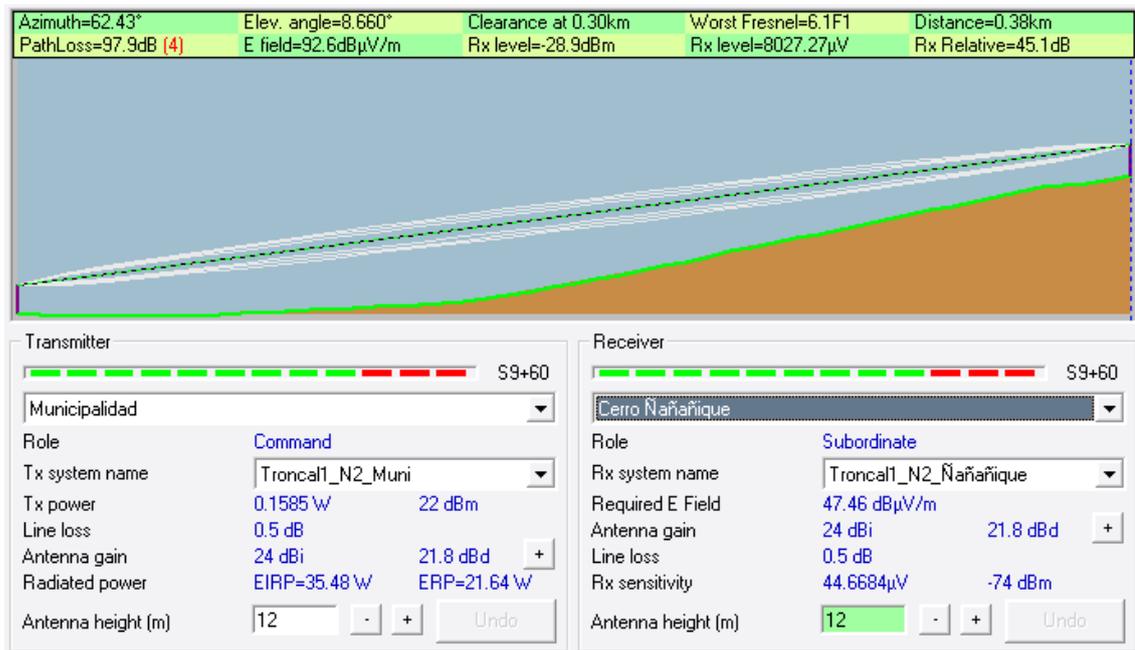
Fuente: Elaboración Propia con software Radio Mobile



**Figura 3-15B: Mapa de la simulación del enlace punto multipunto**

Fuente: Elaboración Propia con software Radio Mobile

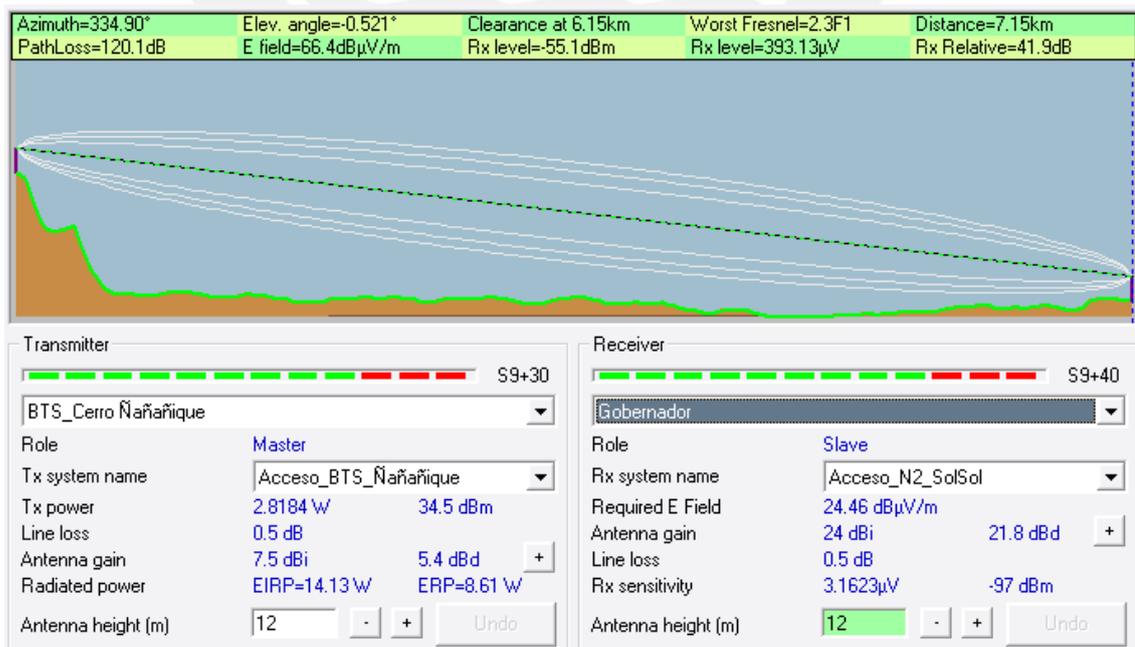
En la figura 3-16A se observa la simulación del primer enlace que comprende la transmisión desde la torre que mide 6 metros (se consideran 12m en el software debido a que el local municipal tiene de tres pisos que consideramos son 6m de altura, es decir, la torre se encontraría en el techo de la Municipalidad) ubicada en la Municipalidad de Chulucanas hacia la repetidora en el cerro Ñañañique, la cual es una torre con 12m de altura.



**Figura 3-16A: Simulación del enlace troncal**

Fuente: Elaboración Propia con software Radio Mobile

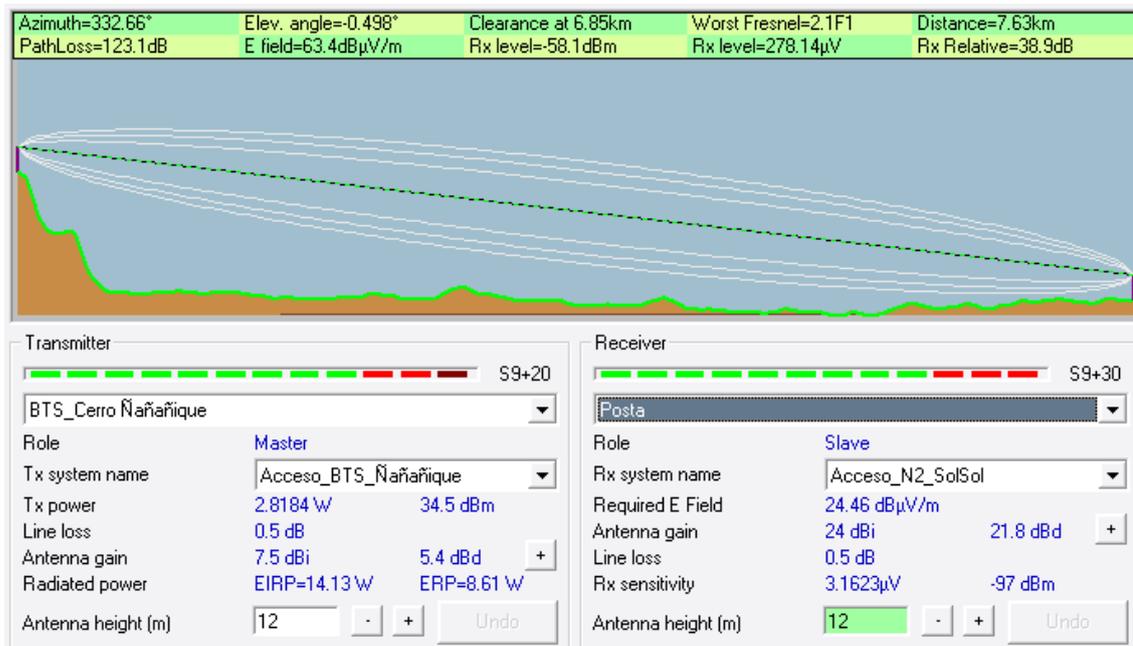
Se considera dar servicio a la casa del teniente gobernador, para esto en un poste en la parte alta de su vivienda debe estar ubicado un equipo de transmisor/receptor (AccessPoint) que recepcione la señal y pueda distribuirla en su casa como teléfono o computadora. Esta simulación de la llegada de la señal se muestra en la figura 3-16B.



**Figura 3-16b: Radio enlace entre el Cerro Ñañañique y la casa del teniente gobernador**

Fuente: Análisis propio con el software Radio Mobile

Además se considera dar servicio a la posta del lugar, para esto en un poste en la parte alta de su vivienda debe estar ubicado un equipo transmisor/receptor (AccessPoint) que recepcione la señal y pueda distribuirla en el local como teléfono y computadora. Esta simulación de la llegada de la señal se muestra en la figura 3-16C.



**Figura 3-16C: Radio enlace entre el cerro Ñañañique y la posta**

Fuente: Análisis propio con el software Radio Mobile

También se considera brindar servicio a los tres centros educativos del lugar, para esto en un poste cercano a cada local debe estar ubicado un equipo transmisor/receptor (Access Point) que recepcione la señal y pueda distribuirla en los locales como teléfonos y computadoras. Estas simulaciones de la llegada de las señales se muestran en las figuras 3-16D, 3-16E, 3-16F.

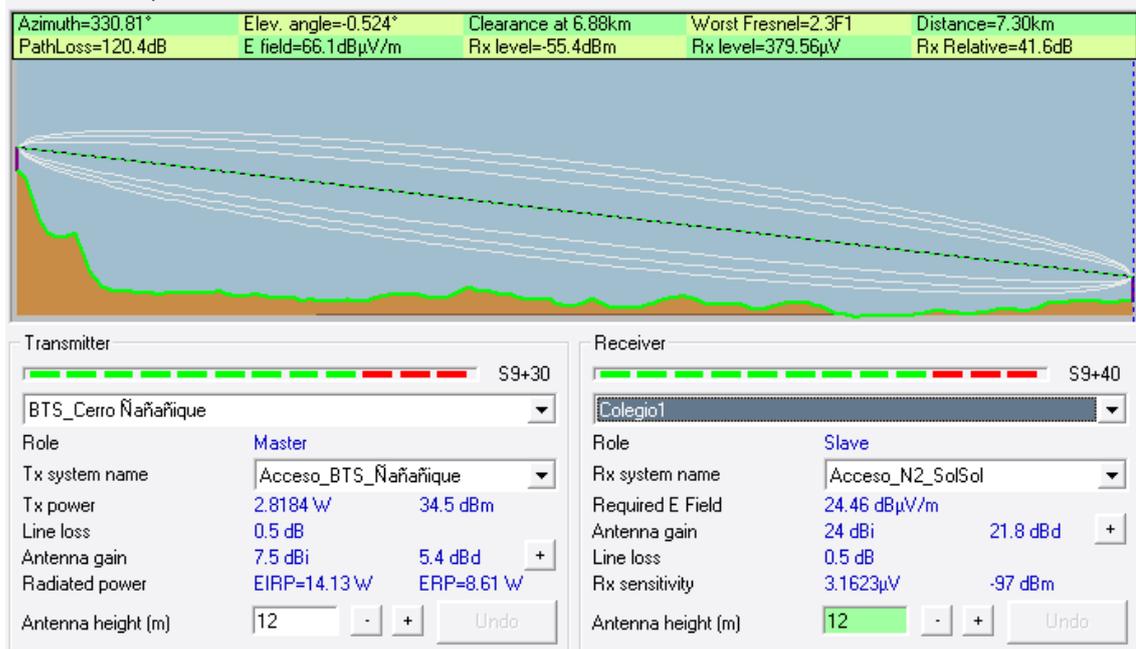


Figura 3-16D: Radio enlace cerro Ñañañique y el centro educativo 1

Fuente: Análisis propio con el software Radio Mobile

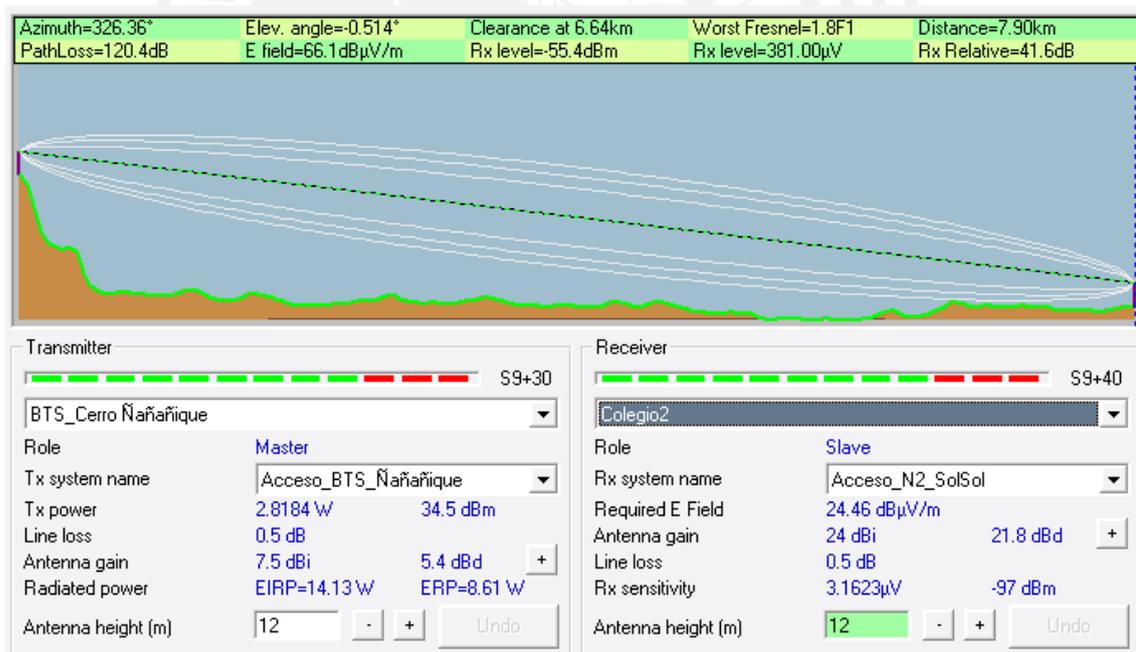
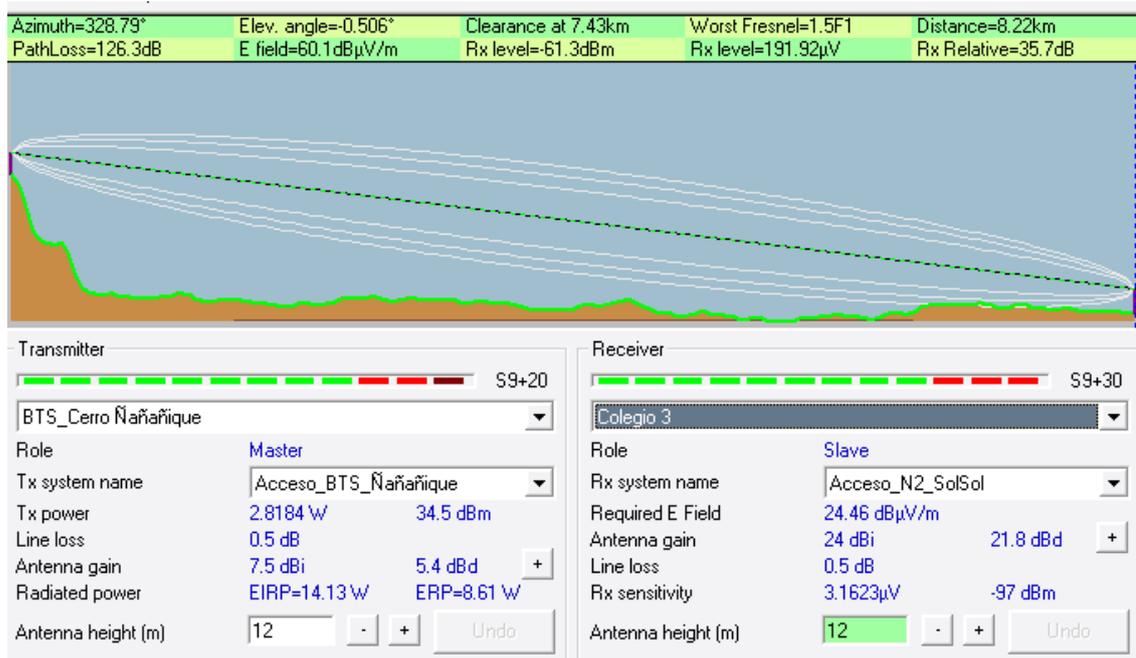


Figura 3-18E: Radio enlace cerro Ñañañique y el centro educativo 2

Fuente: Análisis propio con el software Radio Mobile



**Figura 3-16F: Radio enlace cerro Ñañañique y el centro educativo 3**

Fuente: Análisis propio con el software Radio Mobile

### 3.2.2.3 Infraestructura y equipos para la solución

Una vez que ya sabemos las ubicaciones de nuestros sistemas de transmisión y recepción, además de la potencia que necesitan, el siguiente paso es encontrar los equipos que puedan realizar lo que se requiere. El evaluar marcas y modelos de equipos escapa del objetivo de este proyecto, sin embargo se deben dejar en claro las características que deben tener estos para que los enlaces funcionen de la mejor manera de acuerdo a lo propuesto anteriormente. En la parte de costo se recomiendan las marcas que mas encajan para esta solución.

En la figura 3-17, se presenta el diagrama de la red considerando los equipos, dispositivos y elementos necesarios detallando su ubicación.

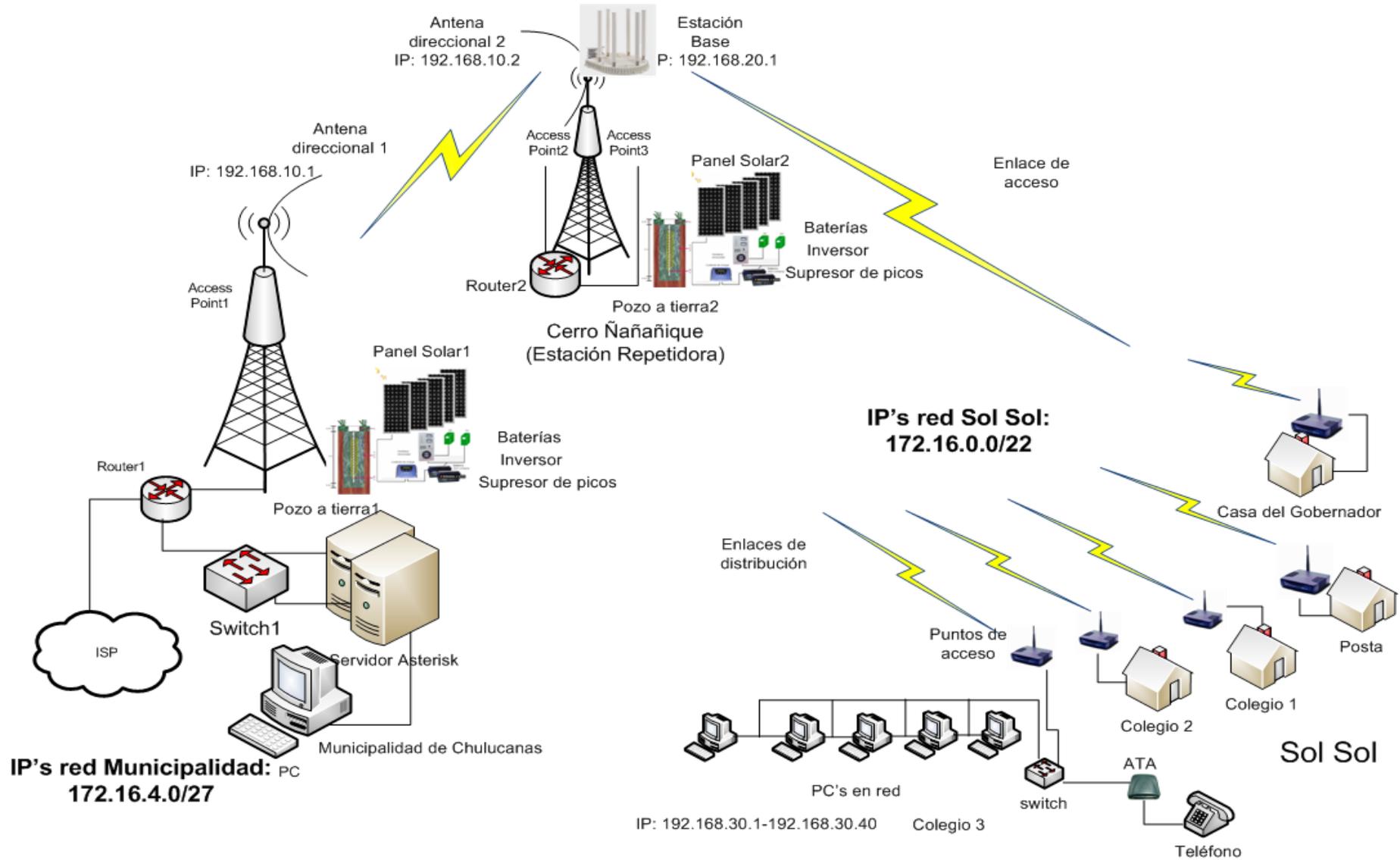


Figura 3-17: Arquitectura de la segunda solución

Fuente: Elaboración Propia

Se trabajará con la tecnología 802.11 (WiFi). Para todos los enlaces se usa el estándar 802.11g, el cual trabaja en la banda de 2.4GHz y tiene una tasa de transmisión de hasta 54Mbps, en el apartado 3.2.2.1 se especifica el ancho de banda necesario para la transmisión de datos en la red que es 3.332Mbps, con lo cual definimos que se necesita rentar de un proveedor de servicios 2 canales de voz y al menos 2.5Mbps para Internet.

Con el diagrama anterior, se describen a continuación en detalle las características de cada uno de los elementos que conforman este sistema de comunicación.

Los equipos necesarios para implementar la red propuesta en la solución dos son los siguientes:

- A) Torres ventadas:
  - Son necesarias 1 torre ventada de 12 metros cada una (de 4 cuerpos) para el cerro Ñañañique.
  - La torre ubicada en el cerro Ñañañique soportará a la estación base.
- B) Dos equipos de transmisor/receptor "AccessPoint"
- C) Dos Antenas Grillada direccional
- D) Un Switch (mínimo 8 puertos)
- E) Router
- F) Una Estación Base
- G) Cinco Access Point finales:
  - Son los que cada vivienda debe poseer para poder acceder al servicio.
  - Estos necesitan de mínimo 22dBm de potencia de transmisión.
  - Una sensibilidad mínima -74dBm.
- H) Un Switch (24 puertos)
- I) Cables y conectores
- J) Cajas protectoras
- K) Paneles Solares
- L) Pozo a tierra y arrestor
- M) Servidor Asterisk
- N) ATAs y teléfonos analógicos

## Capítulo 4

### Análisis económico

#### 4.1 Costos de equipos e infraestructura (CAPEX)

**A) Alternativa 1.**- De acuerdo a lo descrito en el capítulo anterior, a continuación se presentan los precios de los equipos necesarios para la primera solución:

Ítem	Descripción	Cantidad	Precio Unitario (USD)	Precio total + IGV (USD)
<b>Obras preliminares</b>				
1	Movilización y desmovilización de equipo	1	2100.00	2100.00
2	Estudio de construcción civil	3	350.00	1050.00
3	Cartel de la Obra	2	100.00	200.00
4	Limpieza de terreno	2	100.00	200.00
5	Gastos de Operación	1	300.00	300.00
<b>Cerco Perimetral</b>				
6	Cerco perimetral	2	300.00	600.00
			<b>Subtotal (USD)</b>	<b>4450.00</b>

Estación Municipalidad de Chulucanas				
Ítem	Descripción	Cantidad	Precio Unitario	Precio total + IGV (USD)
7	Torre ventada ligera 6m	1	333.53	333.53
8	ODU outdoor 5 nanostation5	1	700.00	700.00
9	Rack de piso (bandejas, ventiladores, entre otros)	1	80.00	80.00
10	Switch de 24 puertos	1	70.00	70.00
11	Accesorios: cables eléctricos, cables UTP, tubo corrugado, conectores, etc.	1	450.41	450.41
12	Sistema de protección eléctrica (01 kit de pararrayos tetrapuntal, 25 metros de cable desnudo de cobre (25mm), 01 varilla de cobre (2.4m x 5/8))	1	269.26	269.26
13	Sistema de respaldo UPS	1	179.26	179.26
14	Cajas protectoras de equipos	1	40.00	40.00
15	Sistema Asterisk Xorcom	1	1000.00	1000.00
			<b>Subtotal (USD)</b>	<b>3122.46</b>
Estación Cerro Ñañañique				
Ítem	Descripción	Cantidad	Precio Unitario	Precio total + IGV (USD)
16	Construcción de infraestructura (caseta de fierro contraplacado (2mx2m), cerco perimétrico (6mx6m), pintado, cableado eléctrico, sistema de tierra, acabados	1	2500.00	2500.00
17	ODU outdoor 2.4 nanostation2	2	604.00	1208.00
18	Torre ventada ligera 12m.	1	667.06	667.06
19	Rack de piso (bandejas, ventiladores, entre otros)	1	83.33	83.33
20	Accesorios: cables eléctricos, cables UTP, tubo corrugado, conectores, etc.	1	618.67	618.67
21	Sistema de protección eléctrica (01 kit de pararrayos tetrapuntal, 25 metros de cable desnudo de cobre (25mm), 01 varilla de cobre (2.4m x 5/8), 01 conector tipo ab, 10 aisladores cerámicos y 04 cajas thorgel)	1	242.33	242.33
22	Sistema de respaldo UPS	1	161.33	161.33
23	Sistema de alimentación solar: paneles solares, baterías, controlador, cables y terminales	1	1033.00	1033.00
			<b>Subtotal (USD)</b>	<b>6513.72</b>

Estación Sol Sol				
Ítem	Descripción	Cantidad	Precio Unitario	Precio total + IGV (USD)
24	Construcción de infraestructura (caseta de fierro contraplacado (2mx2m), cerco perimétrico (6mx6m), pintado, cableado eléctrico, sistema de tierra, acabados	1	2500.00	2500.00
25	ODU outdoor 2.4 NanoStation2	1	604.00	604.00
26	Estación base 2.4 Wavion	1	1300.00	1300.00
27	Torre ventada ligera 12m	1	500.20	500.20
28	Rack de piso (bandejas, ventiladores, entre otros)	1	83.33	83.33
29	Switch de 24 puertos	1	63.31	63.31
30	Accesorios: cables eléctricos, cables UTP, tubo corrugado y conectores,	1	618.67	618.67
31	Sistema de protección eléctrica (01 kit de pararrayos tetrapuntal, 25 metros de cable desnudo de cobre (25mm), 01 varilla de cobre (2.4m x 5/8), 01 conector tipo AB, 10 aisladores cerámicos y 04 cajas Thorgel)	1	242.33	242.33
32	Sistema de respaldo UPS	1	161.33	161.33
33	Sistema de alimentación solar: paneles solares, baterías, controlador, cables y terminales	1	1033.00	1033
			<b>Subtotal (USD)</b>	<b>7106.17</b>
Estaciones Cliente				
Ítem	Descripción	Cantidad	Precio Unitario	Precio total + IGV (USD)
31	Sistema WIPI 2.4 NanoStationLOCO	165	93.33	15399.45
32	Postes de 8 metros	165	30.00	4950.00
34	Rack de piso (bandejas, ventiladores, entre otros)	165	10.00	1650.00
35	Switch de 24 puertos	1	104.00	104.00
36	Accesorios: cables eléctricos, cables UTP, tubo corrugado y conectores,	165	36.67	6050.55
37	Sistema de voz: ATA y teléfono analógico	165	168.00	27720.00
			<b>Subtotal (USD)</b>	<b>55874.00</b>
			<b>Total (USD)</b>	<b>77066.35</b>

**B) Alternativa 2.-** De acuerdo a lo descrito en el capítulo anterior, a continuación se presentan los precios de los equipos necesarios para la segunda solución:

Ítem	Descripción	Cantidad	Precio Unitario (USD)	Precio total + IGV (USD)
<b>Obras preliminares</b>				
1	Movilización y desmovilización de equipo	1	2100.00	2100.00
2	Estudio de construcción civil	3	350.00	1050.00
3	Cartel de la Obra	2	100.00	200.00
4	Limpieza de terreno	2	100.00	200.00
5	Gastos de Operación	1	300.00	300.00
<b>Cerco Perimetral</b>				
6	Cerco perimetral	2	300.00	600.00
			<b>Subtotal (USD)</b>	<b>4450.00</b>
<b>Estación Municipalidad De Chulucanas</b>				
Ítem	Descripción	Cantidad	Precio Unitario	Precio total + IGV (USD)
7	Torre ventada ligera 6m.	1	333.53	333.53
8	ODU wifi 5	1	700.00	700.00
9	Rack de piso (bandejas, ventiladores, entre otros)	1	80.00	80.00
10	Switch de 24 puertos	1	70.00	70.00
11	Accesorios: cables eléctricos, cables UTP, tubo corrugado, conectores, etc.	1	450.41	450.41
12	Sistema de protección eléctrica (01 kit de pararrayos tetrapuntal, 25 metros de cable desnudo de cobre (25mm), 01 varilla de cobre (2.4m x 5/8))	1	269.26	269.26
13	Sistema de respaldo UPS	1	179.26	179.26
14	Cajas protectoras de equipos	1	40.00	40.00
15	Sistema Asterisk Xorcom	1	1000.00	1000.00
			<b>Subtotal (USD)</b>	<b>3122.46</b>

Estación Cerro Ñañañique				
Ítem	Descripción	Cantidad	Precio Unitario	Precio total + IGV (USD)
16	Construcción de infraestructura (caseta de fierro contraplacado (2mx2m), cerco perimétrico (6mx6m), pintado, cableado eléctrico, sistema de tierra, acabados	1	2500.00	2500.00
17	Radio enlace de 5	1	604.00	604.00
18	Estación base 2.4	1	1300.00	1300.00
19	Torre ventada ligera 12m	1	850.00	850.00
20	Rack de piso (bandejas, ventiladores, etc.)	1	83.33	83.33
21	Accesorios: cables eléctricos, cables UTP, tubo corrugado, conectores, etc.	1	618.67	618.67
22	Sistema de protección eléctrica (01 kit de pararrayos tetrapuntal, 25 metros de cable desnudo de cobre (25mm), 01 varilla de cobre (2.4m x 5/8), 01 conector tipo AB, 10 aisladores cerámicos y 04 cajas Thorgel)	1	242.33	242.33
23	Sistema de respaldo UPS	1	161.33	161.33
24	Sistema de alimentación solar: paneles solares, baterías, controlador, cables y terminales	1	1033.00	1033.00
			<b>Subtotal (USD)</b>	<b>7392.66</b>
Estaciones Cliente				
Ítem	Descripción	Cantidad	Precio Unitario	Precio total + IGV (USD)
25	Sistema wifi 2.4 de recepción : CPE	5	93.33	466.65
26	Torre ventada ligera 2m	5	100.00	500.00
27	Rack de piso (bandejas, ventiladores, etc.)	5	83.33	416.65
28	Switch de 24 puertos	1	63.31	63.31
29	Accesorios: cables eléctricos, cables UTP, tubo corrugado, conectores, etc.	5	36.67	183.35

30	Sistema de voz : ata y teléfono analógico	5	168.00	840.00
			<b>Subtotal (USD)</b>	<b>2469.96</b>
			<b>TOTAL (USD)</b>	<b>17435.08</b>

## 4.2 Operación y mantenimiento (OPEX)

A continuación, se presentan los costos de la mano de obra en la implementación del proyecto.

### A) Alternativa 1

Servicio	Cantidad	Precio Unit. (USD)	Precio total + IGV (USD)
Supervisor	1	500.00	500.00
Especialista consultor de telecomunicaciones	1	500.00	500.00
Personal técnico en telecomunicaciones	3	500.00	1500.00
Vigilantes	3	250.00	750.00
<b>Total (USD)</b>			<b>3250.00</b>

### B) Alternativa 2

Servicio	Cantidad	Precio Unit. (USD)	Precio total + IGV (USD)
Supervisor	1	500.00	500.00
Especialista consultor de telecomunicaciones	1	300.00	300.00
Personal técnico en telecomunicaciones	3	300.00	900.00
Vigilantes	3	250.00	750.00
<b>Total (USD)</b>			<b>2450.00</b>

Además se tienen los costos de operación que son las obligaciones de pago por parte de la municipalidad de Chulucanas, en conjunto con la empresa agropecuaria por las prestaciones de servicio de alquiler de troncales.

**A) Alternativa 1**

Servicio	Cantidad	Precio Unit. (USD)	Precio total + IGV (USD)
Alquiler E1	3	200.00	600.00
<b>Total (USD)</b>			<b>600.00</b>

**B) Alternativa 2**

Servicio	Cantidad	Precio Unit. (USD)	Precio total + IGV (USD)
Alquiler E1	2	200.00	400.00
<b>Total (USD)</b>			<b>400.00</b>

Se tiene planificado realizar cuatro mantenimientos anuales, estos se entienden como el apersonamiento de un especialista a la zona para que pueda hacer una revisión general de equipos y funcionamiento del sistema. Así mismo, se contrata al soporte técnico y se proyecta su utilización a una vez al mes aproximadamente. En ambos casos, si el soporte técnico y el mantenimiento fueran requeridos mayor número de veces, entonces se tendrá que pagar por vez extra las cantidades unitarias mostradas en el siguiente cuadro:

**A) Alternativa 1**

Servicio	Cantidad	Precio Unit. (USD)	Precio total + IGV (USD)
Soporte técnico	12	100.00	1200.00
Mantenimiento	4	100.00	400.00
<b>Total (USD)</b>			<b>1600.00</b>

### B) Alternativa 2

Servicio	Cantidad	Precio Unit. (USD)	Precio total + IGV (USD)
Soporte técnico	12	90.00	1080.00
Mantenimiento	4	90.00	360.00
<b>Total (USD)</b>			<b>1440.00</b>

### 4.3 Ingresos

Como se muestra en el siguiente cuadro, algunos de los servicios serán cobrados a los pobladores y otros serán asumidos directamente por la municipalidad o la empresa agropecuaria, con la finalidad de beneficiar al máximo a la población.

#### A) Alternativa 1

Servicio	Cantidad (min)	Precio Unit. (USD)	Precio total + IGV (USD)
Pago por hora de Internet	261920	0.02	5238.40
Cobro a los padres de familia por el uso del Internet	7200	0.00	0.00
Cobro por el servicios de llamadas internas en el poblado	172800	0.00	0.00
Cobro por el servicios de llamadas locales a Piura	54000	0.20	10800.00
Cobro por el servicios de llamadas nacionales	36000	0.50	18000.00
Cobro por el servicios de llamadas internacionales	20000	0.60	12000.00
<b>Total USD</b>			<b>46038.40</b>

## B) Alternativa 2

Servicio	Cantidad (min)	Precio Unit. (USD)	Precio total + IGV (USD)
Pago por hora de Internet	261920	0.02	5238.40
Cobro a los padres de familia por el uso del Internet	7200	0.00	0.00
Cobro por el servicios de llamadas internas en el poblado	33600	0.00	0.00
Cobro por el servicios de llamadas locales a Piura	33600	0.20	6720.00
Cobro por el servicios de llamadas nacionales	16800	0.50	8400.00
Cobro por el servicios de llamadas internacionales	13440	0.60	8064.00
<b>Total USD</b>			<b>28422.40</b>

Al resultado de cada una de estas opciones se le agregan aquellos egresos de la población que se evitan al contar con esta solución. Es decir, a todos aquellos gastos que incurrían los pobladores al momento de querer tomar un servicio de telecomunicaciones (cobro de llamadas, pasajes, etc.). Según los datos obtenidos en la visita realizada al lugar, los pobladores gastan en promedio 5.50 PEN cuando querían realizar una llamada, la cual hacían en promedio 3 veces por semana, y esto traducido en el año es un total de 978.912 USD.

### 4.4 Flujo de caja

A continuación, se muestra la rentabilidad de ambas alternativas en 5 años según las normas de la SUNAT de depreciación de activos de telecomunicaciones (25% anual). Como se puede ver, ambas son rentables a una tasa de oportunidad de capital aproximada de 9.25%, es decir, después de este tiempo se recupera la inversión. Así mismo, se tiene una ganancia significativa para la segunda alternativa, mientras que para la primera se llega a recuperar la inversión pero casi sin ganancia, es decir, en este caso la rentabilidad es más social que económica.

**A) Alternativa 1**

	0	1	2	3	4	5
Costo del proyecto	77066.35					
Operación y mantenimiento	3250	8800	8800	8800	8800	8800
Ingresos		1024950	1024950	1024950	1024950	1024950.4
Flujo	-80316.35	1016150	1016150	1016150	1016150	1016150.4

S/.  
VAN 4.086.100.9  
TIR 12.65%

**B) Alternativa 2**

	0	1	2	3	4	5
Costo del proyecto	17435.08					
Operación y mantenimiento	2450	6240	6240	6240	6240	6240
Ingresos		1007334	1007334	1007334	1007334	1007334.4
Flujo	-19885.08	1001094	1001094	1001094	1001094	826240

S/.  
VAN 3.960.130.84  
TIR 50.34%

Con estos flujos de caja podemos evaluar el punto de equilibrio y el tiempo de recupero del capital para contar con mayor detalle de la rentabilidad.

**A) Alternativa 1**

Año	Flujo	Factor	VA	Acumulado
0	-80316.35	1	-80316.35	-80316.35
1	37238.4	22.6501875	S/. 843456.74	763140.39
2	37238.4	45.2020081	S/. 1683250.46	2446390.85
3	37238.4	65.7036633	S/. 2446699.3	4893090.15
4	37238.4	84.3415316	S/. 3140743.69	8033833.84
5	37238.4	101.285048	S/. 3771693.14	11805526.98

De estos valores, se interpola y se obtiene que se recupera la inversión al primer año.

**B) Alternativa 2**

Año	Flujo	Factor	VA	Acumulado
0	-19885.08	1	-19885.08	-19885.08
1	22182.4	40.1309479	S/. 890200.738.2	S/. 870315.66
2	22182.4	89.2285973	S/. 1979304.436.2	S/. 2849620.09
3	22182.4	134.223598	S/. 2977401.549.5	S/. 5827021.64
4	22182.4	142.159977	S/. 3153449.467.1	S/. 8980471.11
5	826240	4.43754781	S/. 3666479.501.1	S/. 12646950.61

De estos valores, se interpola y se obtiene que se la recuperación de la inversión es al primer año.

Comparando ambas alternativas, se afirma una vez más que la segunda resulta más rentable económicamente ya que además de tener un buen margen de ganancia, la inversión se recupera en menor tiempo.

Como ya se viene diciendo, la implementación de este proyecto con la respectiva elección de una de las alternativas depende directamente de la municipalidad de Chulucanas y de la empresa agropecuaria que desea contribuir con el desarrollo de la comunidad. Ellos pueden evaluar cuál de las alternativas se encuentra más acorde con el presupuesto asignado y con la visión que tengan de la utilización de los servicios de telecomunicaciones.

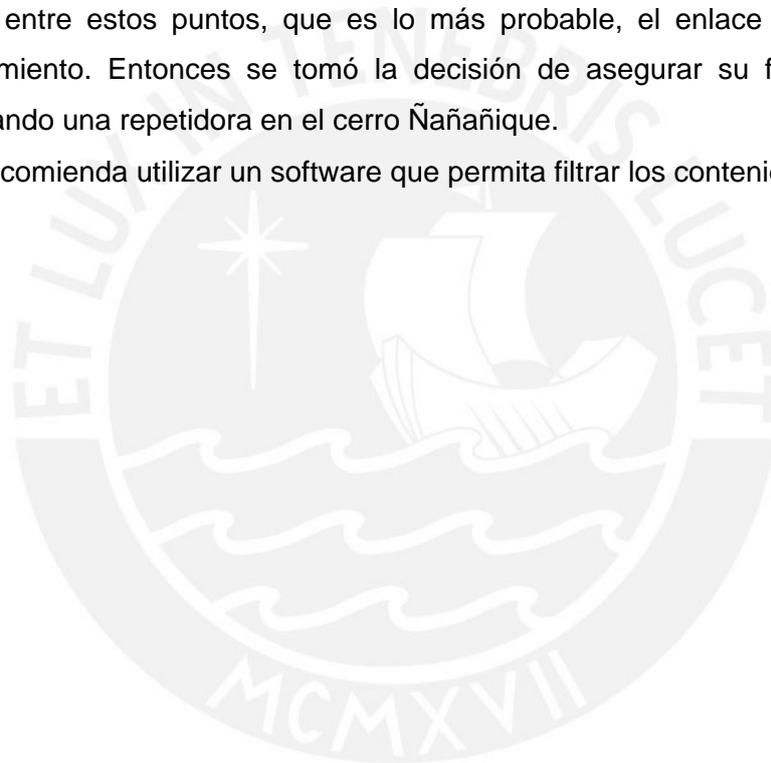
## ***Conclusiones y recomendaciones finales***

### **1. Conclusiones**

- La implementación de este proyecto contribuye a los estudiantes de Sol Sol porque podrán contar con el acceso a la información que requieran en el desarrollo de su aprendizaje.
- Las personas podrán acceder a asistencia médica de manera inmediata al llamar a la posta médica desde sus casas. Se acortan los tiempos de asistencia de emergencias.
- Las personas podrán comunicarse con el puesto policial rápidamente ante un atentado de su seguridad y se podrán evitar desafortunados sucesos.
- Los agricultores podrán ofrecer sus productos por Internet y mejorar sus producciones con el acceso a la información.
- Como se pudo apreciar, se proponen dos soluciones, la primera de ellas involucra una inversión mayor con un TIR de 12.65% y plantea brindar servicios completos a todo el pueblo de Sol Sol; la segunda solución requiere menor inversión con un TIR de 50.34% y asegura la comunicación de la casa del teniente gobernador, la posta médica, el colegio inicial, el colegio primario y el colegio secundario.
- La primera solución tiene un impacto importante en la población porque cada vivienda y entidad pública tendría la libertad de comunicarse con el exterior y con sus propios vecinos desde sus respectivas ubicaciones. En el momento que deseen, podrán adquirir sus propias computadoras y conectarse a la red obteniendo el acceso a la información más personalizada y en el momento que lo necesiten. Los colegios por su parte, contarán con acceso a la información desde una vez completada la implementación.
- La segunda solución es un poco más conservadora con respecto al presupuesto pero cubriría la necesidad básica de comunicación en la zona, su vez representaría rentabilidad más elevada para la compañía operadora del servicio.

## 2. Recomendaciones

- Adquirir los equipos de un proveedor confiable para poder acceder al servicio de soporte y garantía. Informar a la población sobre los beneficios que tendrían con los nuevos servicios de telecomunicaciones.
- Con la ayuda del software Radio Mobile se encontró que existía línea de vista entre la Municipalidad de Chulucanas y el poblado de Sol Sol, es decir, existía la posibilidad de realizar el enlace directo sin utilizar una repetidora en el cerro Ñañañique, sin embargo, los proyectos que demandan presupuestos significativos, como es el caso, deben ser sostenibles en el tiempo, es decir, si con el paso de los meses se construyen edificios o se obstruye la línea de vista entre estos puntos, que es lo más probable, el enlace disminuiría su rendimiento. Entonces se tomó la decisión de asegurar su funcionamiento utilizando una repetidora en el cerro Ñañañique.
- Se recomienda utilizar un software que permita filtrar los contenidos en la red.



## Bibliografía

- [OEC2012] OECD Broadband portal  
2012 URL: [http://www.oecd.org/document/54/0,3746,en\\_2649\\_34225\\_38690-102\\_1\\_1\\_1\\_1,00.html](http://www.oecd.org/document/54/0,3746,en_2649_34225_38690-102_1_1_1_1,00.html)
- [ITIF2007] THE INFORMATION TECHNOLOGY AND INNOVATION FOUNDATION.  
2007 USA. The Broadband average over the World. USA. Consulta: 20 de Abril de 2010 <http://archive.itif.org/index.php?id=226>
- [INEI2007] INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA E INFORMACIÓN, INEI.  
2007 Censo 2007. PERU. Consulta: 20 de Abril de 2010.  
URL: <http://proyectos.inei.gob.pe/mapas/bid/>
- [EAL2009]: Enterprise Alcatel Lucent  
2009 URL: [http://enterprise-news.alcatel-lucent.com/v1\\_15/es/trends\\_article-.html](http://enterprise-news.alcatel-lucent.com/v1_15/es/trends_article-.html)
- [ITUT2007] INTERNATIONAL TELECOMMUNICATION UNION.  
2007 ITU-T Recommendations. USA. Consulta: 30 de Mayo 2011  
URL: <http://www.itu.int/ITU-T>
- [RDM2010] Radio Mobile Software.  
2010 URL: <http://radiomobile.pe1mew.nl/>
- [ZOF2010] Y. JAY GUO, STEPHEN.  
2002 "Fresnel Zone Antennas. USA. Consulta: 20 de Agosto de 2011
- [ANT2006] JOHN WILEY.  
2006 "Metamaterials". USA.
- [GTR2008] Grupo de Telecomunicaciones Rurales de la Pontificia Universidad Católica del Perú.  
2008 "Redes inalámbricas para zonas rurales". Editorial PUCP.
- [NS22010] Ubiquity NanoStation2.  
2010 Data Sheet. 2010.
- [ANT2009] Antena grilla  
URL: <http://www.google.com/imgres?imgurl=http://www.tecnit.com.ec/images/Routers/>
- [LOC2010] Ubiquiti Nanostation LOCO. Data Sheet. 2010.
- [CPR2008] Caja protectora. Data Sheet Solera, 2008.
- [SER2011] Laboratorio 5 de Comunicaciones Satelitales Pontificia Universidad Católica del Perú  
2011 Manual de instalación del servidor Asterisk.

