UNIVERSIDAD NACIONAL
SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO
FACULTAD DE CIENCIAS

ESCUELA PROFESIONAL
INGENIERÍA DE SISTEMAS E INFORMÁTICA

“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA RED INALÁMBRICA EN ALTA MONTAÑA PARA LA TRANSMISIÓN DE DATOS HIDROMETEOROLÓGICOS DESDE LA QUEBRADA COJUP HASTA LA CIUDAD DE HUARAZ. 2018”

TESIS GUIADA

PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO DE SISTEMAS E INFORMÁTICA

AUTOR:

Bach. ROBERT ALFREDO ALVARADO LUGO

ASESOR:

Ingº LUIS RUPERTO ALVARADO CÁCERES

HUARAZ-PERÚ

2018

PROGRAMA DE TITULACIÓN PROFESIONAL
MODALIDAD TESIS GUIADA 2018

Nº Registro : T094

DEDICATORIAS

Deseo dedicar el presente trabajo

a mi madre y hermano con todo el

amor que poseo.

AGRADECIMIENTOS

Es realmente difícil esta situación, prácticamente me sería imposible nombrar a todas las personas e instituciones que han colaborado conmigo para llevar acabo el desarrollo de la investigación que atañe este documento. Sin embargo, me veo en la imperiosa necesidad de distinguir y reconocer aquellas personas cercanas que fueron de gran ayuda, a través de su experiencia, consejos y recomendaciones. Sin duda, un pilar fundamental para el desarrollo del presente estudio fue el Ing. Benjamín Morales Arnao, un científico peruano reconocido a nivel nacional e internacional, iniciador de las investigaciones glaciológicas del Perú y fundador de instituciones de investigación como el INAIGEM. Su templanza y determinación fueron determinantes para acrecentar en mi la determinación y aplomo necesario para desarrollar el presente trabajo. Asimismo, no puedo culminar este acápite sin mencionar al Ing. Ricardo Villanueva Ramírez, Ingeniero Ambiental de profesión y una persona con una diversidad cultural muy profunda. Un profesional a carta cabal dotado con una visión y determinación incalculable, su apuesta por el talento nacional y la independencia tecnológica fueron fundamentales en el desarrollo de la investigación, recuerdo aquellas horas interminables de reuniones técnicas y las maravillosas salidas a campo. En fin, estaré profundamente agradecido por la confianza depositada en mí.

PRESENTACIÓN

Señores miembros del Jurado:

Se presenta la Tesis titulada: “Implementación de red inalámbrica en alta montaña para la transmisión de datos hidrometeorológicos desde la quebrada Cojup hasta la ciudad de Huaraz. 2018”; realizada de conformidad con el Reglamento de Grados y Títulos vigente, para obtener el grado académico de Ingeniero de Sistemas e Informática.

El informe de investigación está conformado por nueve capítulos: en el primer capítulo I se expresan las generalidades abarcando puntos como la realidad problemática, enunciado del problema, hipótesis, objetivos, justificación, limitaciones y el resumen de la descripción y sustentación de la solución. En el capítulo II se desarrolló el marco teórico incluyendo aspectos como los antecedentes, teorías que sustentan el trabajo y la definición de términos. En el capítulo III, los materiales y métodos. En el capítulo IV, el análisis. Capítulo V, se esboza el diseño de la solución, Capítulo VI, la construcción de la solución. Capitulo VII, la implementación. Capitulo VIII, se presenta los resultados. Finalmente, en el Capítulo IX, se realiza la discusión de resultados.

Se espera, que está investigación concuerde con las exigencias establecidas por nuestra Universidad y merezca su aprobación.

El autor

HOJA DE VISTO BUENO

_____

Dr. CARLOS REYES PAREJA

¨PRESIDENTE

_____

Ingº ESTEBAN MEDINA RAFAILE

SECRETARIO

_____

Ingº LUIS RUPERTO ALVARADO CÁCERES

VOCAL

RESUMEN

La presente investigación de tesis se desarrolló con el fin de diseñar e implementar una red inalámbrica en alta montaña desde la Quebrada Cojup hasta la ciudad de Huaraz, dicha red posteriormente fue implementada por el Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña. Para lo cual, se evaluó el estado actual de las telecomunicaciones y las limitaciones que esta presenta y de acuerdo a ello, se plantearon los requerimientos técnicos de la red, los cuales permitieron establecer los parámetros de diseño para la nueva red.

Los problemas sobre la inexistencia de los servicios que brindan un medio de comunicación fueron el motivaron de la presente investigación, dado que no existe una infraestructura de telecomunicaciones desplegada a lo largo de las montañas altoandinas.

En esta tesis se desarrolló un diseño de los enlaces de punto a punto en las redes de Huaraz-Churup y Churup-Palcacocha; por lo cual, se evaluaron las distintas tecnologías recientes de banda ancha, asimismo los equipos disponibles en el mercado. Se eligió el equipo WiMAX Modelo Rocket5AC-Lite de la marca Ubiquiti como la mejor opción; dicho equipo cumplió con los requerimientos técnicos planteados. Los enlaces del punto a punto trabajarán en la frecuencia libre de 5.8 GHz con un ancho de banda de canal de 20MHz, y se utilizarán sistemas fotovoltaicos en las zonas donde no se dispone de energía eléctrica comercial para poder energizar los equipos.

El resultado principal de la investigación es una propuesta funcional de telecomunicaciones en alta montaña a través del despliegue de la tecnología WIMAX, el cual permitiría establecer un medio de transmisión de voz, datos y vídeo, el cual será utilizado en diferentes puntos de monitoreo ambiental interconectados por la red.

Palabras calves: Telecomunicaciones, Alta Montaña, Red Inalámbrica, WIMAX

ABSTRACT

The present thesis research was developed in order to design and implement a wireless network in high mountain from Quebrada Cojup to the city of Huaraz, said network was later implemented by the National Institute of Glacier Research and Mountain Ecosystems. For which, the current state of telecommunications and the limitations it presents were evaluated and, according to this, the technical requirements of the network were raised, which allowed establishing the design parameters for the new network.

The problems related to the lack of services that provide a means of communication were the reason for the present investigation, given that there is no telecommunications infrastructure deployed along the high Andean mountains.

In this thesis, a design of the point-to-point links was developed in the Huaraz-Churup and Churup-Palcacocha networks; Therefore, the different recent broadband technologies were evaluated, as well as the equipment available in the market. The WiMAX Model Rocket5AC-Lite of the Ubiquiti brand was chosen as the best option; said equipment complied with the technical requirements. The point-to-point links will work on the free frequency of 5.8 GHz with a channel bandwidth of 20MHz, and photovoltaic systems will be used in areas where commercial electric power is not available to power the equipment.

The main result of the research is a functional proposal of high mountain telecommunications through the deployment of WIMAX technology, which would allow to establish a voice, data and video transmission medium, which will be used in different interconnected environmental monitoring points. through the net.

Key words: Telecommunications, High Mountain, Wireless Network, WIMAX

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIAS ii
AGRADECIMIENTOS iii
PRESENTACIÓN iv
HOJA DE VISTO BUENO v
RESUMEN vi
ABSTRACT viii
ÍNDICE GENERAL x
CAPITULO I: GENERALIDADES 1
1.1. Realidad problemática 1
1.2. Enunciado del problema 3
1.3. Objetivos 3
1.3.1. Objetivo General 3
1.3.2. Objetivos Específicos 3
1.4. Hipótesis 4
1.5. Justificación 4
1.5.1. Justificación económica 4
1.5.2. Justificación técnica 4
1.5.3. Justificación Operativa 5
1.5.4. Justificación Legal 5
1.6. Delimitación 6
1.7. Descripción y sustentación de la solución 7
CAPITULO II: MARCO TEÓRICO 9
2.1. Antecedentes 9
2.1.1. Internacionales 9
2.1.2. Nacionales 14
2.2. Teorías que sustentan el trabajo 16
2.2.1. Redes Inalámbricas 16
2.2.2. Tecnologías de transmisión WIMAX 19
2.2.3. Alta montaña 20

2.3. Definición de términos 21
CAPITULO III: MATERIALES Y MÉTODOS 24
3.1. Materiales 24
3.1.1. Instrumental usado 24
3.1.2. Población y muestra 25
3.2. Métodos 27
3.2.1. Tipo de investigación 27
CAPITULO IV: ANÁLISIS 28
4.1. Análisis de la situación actual 28
4.1.1. Análisis Político 29
4.1.2. Análisis Económico y Social 30
4.1.3. Análisis general de las telecomunicaciones en el Perú 33
4.1.4. Análisis de las telecomunicaciones en Ancash 39
4.1.5. Análisis DAFO 42
4.1.6. Requisitos generales establecidos por los usuarios 46
4.2. Diagnóstico de la situación actual 50
CAPITULO V: DISEÑO DE LA SOLUCIÓN 53
5.1. Arquitectura tecnológica de la solución 53
5.1.1. Localización referencial de puntos 53
5.1.2. Arquitectura general de la red 54
5.2. Diseño de estructura de la solución 55
5.2.1. Frecuencia de trabajo 55
5.3. Diseño de la funcionalidad de la solución 56
5.3.1. Calculo del ancho de banda para datos 56
5.3.2. Calculo del ancho de banda para telefonía 57
5.3.3. Calculo del ancho de banda para videollamada 58
5.4. Diseño de la interfaz de la solución 59
5.4.1. Selección de equipos 59
5.4.2. Selección de modulación y ancho de banda de canal 60
5.4.3. Simulación de radioenlaces 62
5.4.4. Simulación de los radioenlaces 63
CAPITULO VI: CONSTRUCCIÓN DE LA SOLUCIÓN 66
6.1. Construcción 66

6.1.1. Equipos 66
6.1.2. Instalación de torres 70
6.1.3. Distribución de equipos en la Torre 72
6.1.4. Subsistema de energía 74
6.1.5. Pozo a tierra 75
6.1.6. Configuración de equipos Ubiquiti 77
6.2. Pruebas 78
6.2.1. Medición del espectro radioeléctrico 78
6.2.2. Diagrama de constelación entre nodos 79
CAPITULO VII: IMPLEMENTACIÓN 81
7.1. Monitoreo y evaluación de la solución 81
7.1.1. Monitoreo del hardware de las estaciones de radio 81
7.1.1.1. Antenas 82
7.1.1.2. Radio transceptores 86
7.1.1.3. Fuente de alimentación 88
7.1.1.4. Inversor 89
7.1.1.5. Paneles solares fotovoltaicos 90
7.1.1.6. Controlador de carga 93
CAPITULO VIII: RESULTADOS 94
8.1. Presentación ordenada de los resultados de la investigación 94
8.1.1. Resultados de la conexión Huaraz - Churup - Palcacocha 95
8.1.1.1. Autenticación de administrador 95
8.1.1.2. Configuración inalámbrica 96
8.1.1.3. Resultados del radioenlace entre Huaraz y Churup 98
8.1.1.4. Resultados del radioenlace entre Churup y Palcacocha 100
8.1.2. Resultados de la red de acceso en el nodo Palcacocha 102
8.1.3. Resultados de la transmisión de datos desde el nodo Palcacocha hasta la ciudad de Huaraz 104
8.1.3.1. Transmisión de video 104
8.1.3.2. Transmisión de voz 107
8.1.3.3. Transmisión de datos 108
CAPITULO IX: DISCUCIÓN DE RESULTADOS 109

9.1. Comentarios y comparación de los resultados con trabajos similares en otro contexto 109
CONCLUSIONES 111
CONCLUSIONES 112
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 113
ANEXOS 118

CAPITULO I: GENERALIDADES

1.1. Realidad problemática

Actualmente el desarrollo de la tecnología se encuentra en una vorágine inimaginable, se evidencia el incremento de inversiones en tareas de investigación, desarrollo e innovación (I+D+i). Las telecomunicaciones no están exentas a este desarrollo, particularmente en el área de redes inalámbricas, cuya proliferación en el mercado, ha alcanzado valores sorprendentes en los últimos años. Así mismo, considerando la cuarta revolución industrial, impulsada precisamente por el concepto de conectividad global entre las *cosas* del mundo material y el abaratamiento de costos en el desarrollo de proyectos tecnológicos. Tal parece que la necesidad humana de conocer el estado de todo cuanto le rodea y de satisfacer la necesidad de conexión con el mundo, se incrementa de forma exponencial. La solución se traduce en la implementación de tecnologías con enfoque de bajo costo e independencia tecnológica.

La segunda variable de estudio está referida a la alta montaña, según (Dávila Burga, 2011) su definición en el diccionario geológico, se ubica en un lugar con grandes elevaciones de terreno. Esta descripción no muestra indicios existentes de un estándar de clasificación que señale el inicio y fin de dicha zona, según el portal (AristaSur, 2015)

Uno de los factores que más influye en esta delimitación es la latitud. Por ejemplo, en España se considera alta montaña a partir de unos 2500 metros en el sur y unos 2000 metros en el norte. En México (19º latitud norte), la alta montaña es a partir de los 4000 metros. En la extensa Patagonia, extremo final de los Andes, la zona de alta montaña va disminuyendo su altura, llegando en la Tierra del Fuego (56° latitud sur) este límite a los 650 metros, En Perú, aun se viene trabajando en una delimitación formal, sin embargo, se considera alta montaña a partir de los 3500 msnm (AristaSur, 2015).

Actualmente existen instituciones públicas y privadas, que investigan el impacto climático en alta montaña, con la intención de emitir medidas de adaptación a eventos de carácter riesgoso o relacionado a la gestión de recursos. La tecnología juega un papel importante en esta labor, los datos recabados por los sensores se han convertido en una herramienta indispensable para aquellos investigadores que requieran obtener una medición precisa de los parámetros en alta montaña.

La técnica de medición de las variables ambientales en la mayoría de casos se realiza de forma *in situ* (en el sitio). Este proceso de obtención de datos presenta una desventaja debido al número de horas hombre y recursos logístico requerido. Esta particularidad es la causa que motiva la presente investigación, donde se busca una integración de las redes inalámbricas y las variables ambientales de la alta montaña con la consigna de automatizar el proceso de obtención de datos a través de una red inalámbrica desde el punto de extracción de datos situado en la alta montaña (Quebrda Cojup) hasta el lugar de procesamiento en la ciudad de Huaraz.

1.2. Enunciado del problema

¿Es posible diseñar e implementar una red inalámbrica en alta montaña para la transmisión de datos hidrometeorológicos en tiempo real desde la Quebrada Cojup hasta la ciudad de Huaraz?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

Diseñar e implementar una red inalámbrica en alta montaña para la transmisión de datos en tiempo real desde la quebrada Cojup hasta la ciudad de Huaraz. 2018.

1.3.2. Objetivos Específicos

a. Estimar la capacidad de transporte en una red inalámbrica en alta montaña, desde la quebrada Cojup hasta la ciudad de Huaraz.
b. Analizar el comportamiento de los radioenlaces entre la ciudad de Huaraz y la quebrada Cojup, en bandas de frecuencia no licenciadas.
c. Analizar el tráfico de datos generados desde la laguna Palcacocha hasta la ciudad de Huaraz empleado equipos de telecomunicación a bajo costo.

1.4. Hipótesis

La implementación de una red inalámbrica en alta montaña permitirá obtener datos en tiempo real que serán aprovechados por investigadores, estudiantes, tomadores de decisión y público en general.

1.5. Justificación

1.5.1. Justificación económica

La investigación fue financiada por el Ministerio del Ambiente a través del Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña (INAIGEM). Los gastos más representativos se efectuaron en las partidas de equipamiento, equipos electrónicos y logística. La investigación presenta una alternativa metodológica para proyectos de telecomunicaciones en alta montaña en ese sentido, dichos proyectos tienen la ventaja de ser aprovechados en aplicaciones científicas que involucren el manejo de datos hidrometeorológicos en tiempo real. Finalmente se espera recuperar la inversión en forma de conocimiento a través de las investigaciones en temas de medio ambiente y cambio climático.

1.5.2. Justificación técnica

La investigación propone diseñar e implementar una red inalámbrica de telecomunicaciones en alta montaña, desde la Quebrada Cojup hasta la ciudad

de Huaraz, es planteada, considerando la disponibilidad de metodologías y técnicas para el planteamiento de soluciones tecnológicas con un enfoque de telecomunicaciones. Parte del estudio involucra la búsqueda de equipos y materiales disponibles en el mercado local. Así mismo, es justificable debido al requerimiento de disponer de forma inmediata y oportuna los datos hidrometeorológicos recabados por los sensores instalados en la alta montaña de la Quebrada Cojup.

Las experiencias tecnológicas empleadas en la investigación, fueron extrapoladas de experiencias nacionales e internacionales. Donde se plantea investigar con equipos de bajo costo, eficientes y de fácil adaptación para las zonas de alta montaña.

1.5.3. Justificación Operativa

La investigación está cubierta operativamente debido a la capacidad de contar con recursos provenientes del financiamiento por parte del Ministerio del Ambiente a través del Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña (INAIGEM). El gastos cubiertos para la investigación incluyen los etapas de despliegue, operación y mantenimiento.

1.5.4. Justificación Legal

El desarrollo de un sistema de control para riego tecnificado es justificado legalmente ya que la ley N° 28588 en su artículo 12 ley que creo el programa de

riegos tecnificado que promociona el sistema de riego progresivo en el sector agrícola y que nos hace referencia que el único responsable de la distribución eficiente del agua en el sistema de riego es un especialista en el caso.

1.6. Delimitación

La investigación (**Imagen 1**) se extiende por el espacio aéreo de radiofrecuencias en un área aproximada de 82 km2, específicamente desde las instalaciones del INAIGEM (ciudad de Huaraz), atravesando la zona alta de Churup, extendiéndose por la quebrada Cojup hasta la laguna Palcacocha, formando un polígono en cuyo interior se encuentran las torres de transmisión del Sistema de Telecomunicación.

Imagen 1. *Ámbito de intervención de la investigación.*

Fuente: Google Maps.

1.7. Descripción y sustentación de la solución

El proyecto consiste en implementar un sistema de telecomunicaciones en alta montaña. La tecnología empleada para este fin fue WIFIMAX el cual constituye una alternativa de transmisión de datos inalámbrica a largas distancias en tiempo real. Cabe mencionar que hasta la realización del presente proyecto; la implementación de este tipo de tecnología no había sido probada en alta montaña.

Se procedió tomar como central de operaciones las instalaciones del INAIGEM, donde se recibe y emite la señal a través del espectro de radiofrecuencia; precisamente en las bandas a 2.4 y 5.8 GHz, las cuales corresponden al conjunto de frecuencias gratuitas según el Ministerio de Trasportes y Comunicaciones del estado peruano.

El sistema cuenta con tres torres de transmisión de datos de 9 m. de altura y un peso por cada torre de 60 kg. La ubicación de las torres cumple con una serie de condiciones técnicas, como la línea de visión libre entre torres, el posicionamiento óptimo para la mayor ganancia de radiación solar en el día, condiciones de seguridad de terreno ante eventuales descargas eléctricas y locaciones seguras ante posibles siniestros de cualquier tipo.

Las torres de transmisión están elaboradas a base de hierro galvanizado y poseen una base triangular que se extiende en forma a lo largo de la torre, además cuenta con amarras de alambre galvanizado que se extienden desde cada arista externa

de la torre hasta un anclaje ubicado en la superficie de la tierra. La finalidad de este mecanismo es dotar a la torre de un sistema de estabilidad estructural barata, eficiente y capaz de soportar los embates del clima.

Los componentes electrónicos como antenas, inversores de corriente, controladores de carga, radios, baterías y paneles solares constituyen el corazón del sistema debido a la funcionalidad que proporcionan. Por un lado, se tiene el sistema de antena y radio configurados adecuadamente para recibir y emitir los datos. Estos equipos dependen de un suministro eléctrico inexistente en zonas de alta montaña por lo cual se resolvió implementar un sistema fotovoltaico a base de dos baterías y tres paneles solares que se complementan con el inversor de corriente y un controlador carga. Con el sistema fotovoltaico funcional autodependiente, se resuelve la dependencia energética y consecuentemente el suministro eléctrico para la antena y radio; esto hace posible la comunicación entre antenas ubicadas remotamente.

La conexión de todos los componentes mencionados constituye la tecnología que actualmente permite al INAIGEM recibir video en alta calidad desde la Laguna Palcacocha hasta la ciudad de Huaraz, sin embargo, tiene la capacidad de transmitir mayor volumen de información que se irán aprovechando para la medición de parámetros ambientales en zonas alto andinas.

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

2.1.1. Internacionales

(Azharuddin & Prasanta K, 2015a), en su investigación: Un algoritmo distribuido para el enrutamiento eficiente de energía y tolerante a fallas en redes de sensores inalámbricos. El objetivo fue elaborar un algoritmo relacionando la conservación de energía y la tolerancia a fallas de redes de sensores inalámbricos a gran escala. La investigación de tipo experimental determina la falla que los cabezales de clúster en una WSN basada en clúster es más catastrófica, ya que son responsables no solo de la gestión de datos y la transmisión a la estación base, sino también de la retransmisión de datos para la comunicación de múltiples saltos. Por lo tanto, un algoritmo de enrutamiento en WSN debe ser consciente de la energía y tolerante a fallas. Los resultados obtenidos presentan un algoritmo de enrutamiento eficiente en cuanto a la energía distribuida y tolerante a fallas para WSN. El algoritmo selecciona el cabezal del clúster del siguiente salto de una manera eficiente de la energía en la fase de enrutamiento de datos y restaura cuidadosamente la conectividad de los dispositivos de un cabezal del clúster en caso de que falle. El algoritmo se prueba ampliamente al considerar varios escenarios de WSN. Los resultados experimentales se

comparan con los algoritmos existentes en términos de varias métricas para mostrar la efectividad del algoritmo propuesto.

(Hossain, Rasti, Tabassum, & Abdelnasser, 2014), en su artículo: Evolución hacia redes inalámbricas celulares multinivel 5G - una perspectiva de gestión de interferencias. El objetivo de este artículo es describir los desafíos de la gestión de interferencias (por ejemplo, control de potencia, asociación celular) en las redes 5G con acceso compartido al espectro (es decir, cuando los diferentes niveles de red comparten el mismo espectro licenciado). La evolución de las redes inalámbricas celulares de quinta generación 5G, está pensada para superar los desafíos fundamentales de las redes celulares existentes, por ejemplo, mayores velocidades de datos, excelente rendimiento de extremo a extremo y cobertura de usuarios en puntos críticos y áreas concurridas con menor latencia, consumo de energía y costo por transferencia de información. En este contexto, se proporciona una encuesta y una comparación cualitativa de los esquemas existentes de asociación de células y control de potencia para demostrar sus limitaciones para la gestión de interferencias en redes 5G. Se argumenta que los esquemas de gestión de interferencia existentes no podrán abordar el problema de gestión de la interferencia en redes prioritarias de 5G multinivel donde los usuarios en diferentes niveles tienen diferentes prioridades para el acceso al canal. Se destacan los desafíos abiertos y se proporcionan directrices para modificar los esquemas existentes a fin de superar estas limitaciones y hacerlas adecuadas para los sistemas emergentes 5G.

(Boccardi, Heath, Lozano, Marzetta, & Popovski, 2014), en su investigación: Cinco direcciones tecnológicas disruptivas para 5G. Cuyo objetivo es demostrar que las nuevas direcciones de investigación conducirán a cambios fundamentales en el diseño de las futuras redes celulares de quinta generación (5G). Este artículo describe cinco tecnologías que podrían conducir a cambios en el diseño disruptivo tanto arquitectónico como de componentes: arquitecturas centradas en dispositivos, ondas milimétricas, MIMO masivo, dispositivos más inteligentes y soporte nativo para comunicaciones de máquina a máquina. Se describen las ideas clave para cada tecnología, junto con su impacto potencial en 5G y los desafíos de investigación que permanecen.

(Dahrouj, Douik, Rayal, Al-Naffouri, & Alouini, 2015), en su artículo: Solución híbrida de backhaul RF / FSO rentable para sistemas inalámbricos de próxima generación, plantea que el rápido ritmo de la demanda de servicios de datos móviles y el limitado suministro de capacidad en la infraestructura actual de redes de acceso inalámbrico, están llevando a los operadores de red a aumentar la densidad de las implementaciones de estaciones base para mejorar el rendimiento de la red. Esta densificación, posibilitada por el despliegue de células pequeñas, también trae consigo un nuevo conjunto de desafíos, específicamente relacionados con el costo de propiedad, en los cuales la retroalimentación es una preocupación principal. Este artículo propone una solución híbrida rentable de RF / espacio libre (FSO) para combinar las ventajas de los backhauls de RF (bajo costo, aplicaciones NLOS) y backhauls FSO (alta velocidad, baja latencia). Para ilustrar por primera vez las ventajas de costo de

la solución de backhaul de RF, la primera parte de este artículo presenta un caso de negocios de backhaul de RF inalámbrico NLOS, que tiene un bajo costo de propiedad en comparación con otros candidatos de backhaul. La red de retorno de RF, sin embargo, está limitada por problemas de latencia. Por otro lado, una solución de FSO, que ofrece una mejor latencia y una mayor velocidad de datos que los backhauls de RF, sigue siendo sensible a las condiciones climáticas y naturales (por ejemplo, lluvia, niebla). Para combinar las ventajas de RF y FSO, la segunda parte de este artículo propone una solución RF / FSO híbrida de bajo coste, en la que las estaciones base están conectadas entre sí utilizando enlaces de fibra óptica o de RF / FSO híbridos. Esta parte aborda el problema de minimizar el costo de planificación de backhaul bajo confiabilidad, conectividad y restricciones de velocidad de datos, y propone elegir la conexión de backhaul rentable adecuada entre BS (es decir, ya sea OF o híbrido RF / FSO) usando técnicas de teoría de gráficos.

(Osseiran et al., 2014), en su artículo: Escenarios para las comunicaciones móviles e inalámbricas 5G: la visión del proyecto METIS. METIS es el proyecto insignia 5G de la UE con el objetivo de sentar las bases de los sistemas 5G y generar consenso antes de la estandarización. El enfoque general de METIS hacia 5G se basa en la evolución de las tecnologías existentes complementadas por nuevos conceptos de radio que están diseñados para cumplir los nuevos y desafiantes requisitos de casos de uso que las redes de acceso de radio actuales no pueden admitir. La integración de estos nuevos conceptos de radio, como MIMO masivo, redes ultra densas, redes en movimiento y comunicaciones entre

dispositivos de dispositivo a dispositivo, ultra confiables y masivas, permitirá a 5G soportar el aumento esperado en el volumen de datos móviles al tiempo que amplía el rango de dominios de aplicaciones que las comunicaciones móviles pueden admitir más allá de 2020. En este artículo, describimos los escenarios identificados con el propósito de impulsar la dirección de investigación de 5G. Además, se exponen instrucciones iniciales para los componentes de tecnología (por ejemplo, componentes de nivel de enlace, multinodo / multi antena, multi-RAT y redes de múltiples capas y manejo de espectro) que permitirán el cumplimiento de los requisitos de los escenarios 5G identificados.

(Shuo Guo, Liang He, Yu Gu, Bo Jiang, & Tian He, 2014), en su artículo: Inundación oportunista en redes de sensores inalámbricos de ciclo bajo con enlaces no confiables. El servicio de inundación se ha investigado extensamente en redes inalámbricas para diseminar eficientemente comandos, configuraciones y códigos binarios de código en toda la red. Sin embargo, se ha realizado poco trabajo en las redes de sensores inalámbricos de ciclo de trabajo bajo en las que los nodos permanecen dormidos la mayor parte del tiempo y se activan de forma asíncrona. En este tipo de red, un paquete de radiodifusión rara vez es recibido por múltiples nodos simultáneamente, una característica restrictiva única que hace que las soluciones existentes sean inadecuadas. En este documento, se presenta, *Opportunistic Flooding*, un diseño novedoso diseñado para redes de bajo ciclo de trabajo con enlaces inalámbricos no confiables y horarios de trabajo predeterminados. Comenzando con una estructura de árbol de energía óptima, las decisiones de reenvío probabilístico se toman en cada emisor en función de

la distribución de retardo de los receptores de próximo salto. Solo los paquetes prematuramente oportunos se envían a través de enlaces fuera del árbol para reducir el retraso de inundación y la redundancia en la transmisión. Además, se propone un método de selección de reenviadores para aliviar el problema de la terminal oculta y un método de restitución basado en la calidad de enlace para resolver las operaciones de reenvío simultáneas. Se muestra mediante extensas simulaciones e implementaciones de banco de pruebas que la Inundación Oportunista está cerca del rendimiento óptimo que se puede lograr con los diseños de inundación de oráculo. Comparado con las Inundaciones Tradicionales Mejoradas, el diseño logra una demora de inundación significativamente más corta al consumir solo el 20-60% de la energía de transmisión.

2.1.2. Nacionales

(Alvarado Tolentino, 2016), en el estudio de pre inversión a nivel de perfil: Creación del servicio de alerta temprana frente al riesgo de aluvión en la población de la Sub Cuenca del Quillcay, Mancomunidad Municipal Waraq, distrito de Independencia-Huaraz-Ancash. Tiene como objetivo implementar un sistema de alerta temprana para la población de Huaraz, empleando tecnologías de telecomunicaciones en alta montaña. Las variables son, la capacidad especializada para la observación y recopilación de la información del peligro, la adecuada capacidad de monitoreo, transmisión y procesamiento de información, adecuada comunicación de la información sobre el riesgo y alerta

temprana a la población de la cuenca del Quillcay y el adecuado desarrollo de capacidad de respuesta de la población de la cuenca del Quillcay frente al peligro del aluvión. El estudio muestra un carácter descriptivo, evaluando las variables desde el punto de vista social y económico. Los resultados más relevantes arrojan una viabilidad positiva del proyecto desde un punto de vista social, pero presenta cierta incongruencia en las conclusiones técnicas para la posible implementación del sistema de transmisión en alta montaña, asimismo, los cuadros de presupuesto, presentan valores exorbitantes.

(Valenzuela Sumarriva, 2015), en su proyecto: Pautas para la identificación, formulación y evaluación social de proyectos de inversión pública a nivel de perfil, de servicios de alerta temprana frente al peligro de aluvión o avalancha proveniente del desembalse de lagunas glaciares. Tuvo como objetivo proveer alertas a la población expuesta a peligro, para actuar con tiempo suficiente y de manera apropiada para reducir la posibilidad de daño personal o pérdida de vida. Las variables de estudio fueron la población expuesta al peligro latente, las entidades encargadas del manejo de riesgo de desastre y la tecnología. El proyecto se enmarca en un estudio de tipo correlacional. Los resultados que arroja el estudio desde el punto de vista social denotan una vaga relación existente entre la sociedad expuesta y las entidades encargadas, asimismo se detallan propuestas tecnológicas de conectividad en alta montaña, aplicando radiotransmisión en la banda de 50MHz, con equipos que representan un costo elevado.

2.2. Teorías que sustentan el trabajo

En esta sección se mencionan las teorías que sustentan el trabajo de la investigación, el cual constituirá un marco de referencia para interpretar los resultados del estudio.

2.2.1. Redes Inalámbricas

2.2.1.1. Tendido de fibra óptica fluvial

La fibra óptica fluvial es una nueva tecnología que ha sido desarrollada en Nicaragua por la Empresa Fibra Optima. Sin embargo, dado que es reciente, tiene costos elevados. Asimismo, no se cuenta con mucha información acerca de esta tecnología (OPTIM, 2016).

2.2.1.2. WIMAX

Este es un estándar de transmisión de datos que utiliza, entre otras, las bandas de radio en las frecuencias de 2.3 a 5 GHz. Una de sus aplicaciones más comunes es la de brindar servicios de banda ancha en lugares donde el despliegue de cable o fibra no existe, un ejemplo claro són las zonas rurales (IEEE, 2012b).

2.2.1.3. LTE

LTE es una tecnología del grupo de normas 3GPP que compró el mundo GSM y 3G/UMTS. Este es un estándar para comunicaciones inalámbricas de altas

velocidades. El objetivo de LTE es incrementar la capacidad y la velocidad de las redes de datos inalámbricos utilizando técnicas nuevas de procesamiento digital de señales y modulaciones, las cuales han sido desarrolladas en el año 2000. A este objetivo se le suma el rediseño y simplificación de la arquitectura de red a un sistema basado totalmente en IP, lo cual ha ido reduciendo la latencia de transferencia en comparación con la arquitectura 3G.

Si bien LTE presenta múltiples ventajas no es adecuada para utilizarla en soluciones de backhaul debido a que LTE define tecnologías de acceso móvil de banda ancha; las cuales están optimizadas para teléfonos móviles y terminales de datos. Por tales motivos, LTE no es indicada para el nuevo diseño de la red WiFi en alta montaña. Además, la tecnología es de costo alto (Bedell, 2013).

2.2.1.4. Soluciones propietarias

Las soluciones WiMAX propietarias de backhaul trabajan en la banda de 5.8 GHz. Dichas soluciones ofrecen rendimiento y robustez en cualquier entorno. Por otro lado, las soluciones son escalables y brindan soporte al crecimiento en el tráfico de datos. Además, están disponibles en arquitectura punto a punto. Las empresas que brindan soluciones propietarias son Radwin, Ubiquiti entre otras.

2.2.1.5. WIMAX y soluciones propietarias

Al realizar el análisis de las posibles tecnologías que podrían cumplir con los requerimientos de la red en alta montaña desde la ciudad de Huaraz hasta la

quebrada de Cojup, se concluye que las tecnologías WiMAX y las soluciones propietarias deben ser estudiadas en mayor detalle para seleccionar la más adecuada. Ambas soluciones utilizan WiMAX como base de la realización de equipos. Además, son adecuadas para el entorno rural, como es la zona de la cuenca del río Quillcay.

2.2.1.6. WIMAX visión general estándar IEEE 802.16

WiMAX, *Worldwide Interoperability for Microwave Access* ha sido identificada por diferentes autores como la tecnología que podría cubrir la falta de acceso a infraestructura de telecomunicaciones de grandes sectores de la población que habita las zonas rurales del planeta. Esto se debe principalmente a que desde sus inicios fue concebida para brindar acceso inalámbrico de banda ancha a distancias de decenas de kilómetros. Por tal motivo, es posible llevar servicio de acceso inalámbrico hasta zonas aisladas sin necesidad de realizar altas inversiones requeridas por redes cableadas. De tal manera, no solo se disminuye el costo sino también se reduce notablemente los tiempos de despliegue (ADVANTIA, 2013).

Además, al tratarse de una tecnología estándar permite obtener beneficios del ecosistema que se forma alrededor de ella. De tal forma, es posible alcanzar economías de escala. Por ejemplo, los diferentes fabricantes, que opten por desarrollar la tecnología, deben proponer soluciones innovadoras o menores precios para diferenciar sus productos, lo cual conlleva a que exista una mayor

oferta de soluciones de la tecnología WiMAX. Por otro lado, la interoperabilidad entre los equipos de distintos fabricantes brinda una mayor independencia y mayor sostenibilidad a largo plazo debido a que no depende de las decisiones de un único fabricante (ADVANTIA, 2013).

El hecho de ser una tecnología que fue diseñada inicialmente para operadores también tiene sus ventajas: brinda gran robustez, una seguridad muy superior a las tecnologías inalámbricas precedentes. Además, WiMAX brinda la posibilidad de ofrecer calidad de servicio estricta a todas las comunicaciones que tienen lugar dentro de la red (ADVANTIA, 2013).

Las ventajas mencionadas, unidas a la gran flexibilidad que aporta tanto en las frecuencias en las que se puede emplear como en los escenarios en los que es relevante (fijos y móviles), la convierte en una tecnología interesante como para ser considerada para dotar de conectividad a las zonas rurales como la cuenca del río Quillcay.

2.2.2. Tecnologías de transmisión WIMAX

2.2.2.1. Multiplexación por división de frecuencia (FDM)

FDM es una técnica convencional que consiste en enviar diferentes señales, las cuales son moduladas con distintas frecuencias y pasan por el canal como si se tratase de una misma señal. En el demodulador, estas son decodificadas utilizando las frecuencias empleadas para la modulación (Coimbra, 2014).

2.2.2.2. Multiplexación ortogonal por división de frecuencias (OFDM)

OFDM es una técnica de multicanalización que está basada en la utilización de muchas subportadoras. Estas son seleccionadas de manera que sus espectros no interfieren con la frecuencia central de cada subportadora. El estándar IEEE 802.16 cuenta con dos capas físicas basadas en OFDM: una de estas utiliza OFDM como tal y otra emplea una variante de esta técnica, llamada OFDMA, en la cual diferentes usuarios comparten un símbolo OFDM.

La clave de OFDM está en la ortogonalidad de las señales, lo cual permite mezclar varias de ellas en transmisión para luego separarlas en recepción sin que se presente interferencia. (C.A., 2013) La técnica de OFDM es similar a FDM; sin embargo, se emplean subportadoras, las cuales son ortogonales de tal manera que pueden interponerse y no se presente interferencia.

2.2.3. Alta montaña

(Carey, 2010) Hasta los últimos diez años, la investigación sobre el cambio ambiental en entornos de montaña ha sido principalmente el dominio de las ciencias de la tierra y la vida. Las ciencias del hombre y la sociedad han sido poco movilizadas por estos motivos. Esta situación es aún más crítica cuando se trata de cadenas montañosas fuera de Europa y América del Norte. Sin embargo, es esencial estudiar la transformación de los ecosistemas de montaña (estrés hídrico, desertificación, erosión del suelo, desglaciación, aumento de las

temperaturas, elevación altitudinal de los límites del suelo ecológico) a través de las representaciones, actitudes y prácticas de las poblaciones que manejar.

La encuesta de Mark Carey se basa en un análisis detallado de las relaciones entre el cambio climático y la sociedad. Desde la observación de la desglaciación y la sucesión de catástrofes (inundaciones de lagos glaciares, avalanchas) en las regiones habitadas al pie de la Cordillera Blanca desde la década de 1940, estudia las tensiones y los conflictos entre los actores - poblaciones comunidades urbanas, comunidades campesinas, líderes políticos locales, líderes nacionales, científicos e ingenieros, empresas, a través de sus sistemas de representación de las montañas, sus percepciones de los riesgos y desafíos, logros, prácticas y movilizaciones. Muestra la interacción de la desconfianza recíproca entre las elites costeras y la gente de las montañas, las divisiones culturales entre los grupos sociales.

2.3. Definición de términos

Telecomunicación

Toda transmisión, emisión o recepción de signos, señales, escritos, imágenes, sonidos o informaciones de cualquier naturaleza por línea física, radioelectricidad, medios ópticos u otros sistemas electromagnéticos.

Radio

Término general que se aplica al empleo de las ondas radioeléctricas.

Ondas Radioeléctricas u Ondas Hertzianas

Ondas electromagnéticas, cuya frecuencia se fija convencionalmente por debajo de 3000 GHz que se propagan por el espacio sin guía artificial.

Radiocomunicación

Toda telecomunicación transmitida por medio de las ondas radioeléctricas.

Radiocomunicación terrenal

Toda radiocomunicación distinta de la Radiocomunicación espacial o de la radioastronomía.

Radiocomunicación espacial

Toda Radiocomunicación que utilice una o varias estaciones espaciales, uno o varios satélites reflectores u otros objetos situados en el espacio.

Radio determinación

Determinación de la posición, velocidad u otras características de un objeto, u obtención de información relativa a estos parámetros, mediante las propiedades de propagación de las ondas radioeléctricas.

Radionavegación

Radio determinación utilizada para fines de radionavegación, inclusive para señalar la presencia de obstáculos.

Radiolocalización

Radio determinación utilizada para fines distintos de radionavegación.

Radiogoniometría

Radio determinación que utiliza la recepción de ondas radioeléctricas para determinar la dirección de una estación o de un objeto.

Estación Base (Base Station-BS)

Este equipo está encargado de realizar las funciones de transmisión, brindar conectividad, mecanismos de control y gestión a las estaciones cliente.

Estación Subscriptora (Subscriber Station-SS)

Este equipo está encargado de brindar las funciones de receptor, de tal manera que proporcione conectividad con la estación base.

CAPITULO III: MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Materiales

3.1.1. Instrumental usado

a) Laboratorios

Para la realización de la investigación se usaron los siguientes laboratorios:

Tabla 1. *Laboratorios.*

Laboratorio	Descricion
Administrativa	Instalaciones del INAIGEM
De campo	Quebrada de Cojup
De escritorio	Biblioteca de FC-UNASAM, mi domicilio

Fuente: Elaboración propia.

b) Software

En el desarrollo de la tesis se usaron los Software que se describen a continuación:

Tabla 2. *Software empleado.*

Software	**Descripción**
Microsoft Office 2016	Para redacta los informes
Google Earth, Chrome, Maps	Búsqueda de bases teóricas y otros.
Air View Ubiquiti	Gestor Web para simular radioenlaces
Radio Mobile	Software de Telecomunicaciones
Adobe Acrobat Reader DC.	Para lectura de archivos PDFs
SPSS	Procesamiento de datos de la encuesta.

Fuente: Elaboración propia

c) Recursos computacionales

Tabla 3. *Recursos computacionales.*

Recueros computaciones
Laptop Core i5 4 Ghz. RAM 4GB. HDD 720GB, SO Windows 8
Conexión Intemet
Memorias USB de 2GB y 4GB.
Impresora multifuncional
Componentes de telecomunicación
Componentes de energía solar

Fuente: Elaboración propia

3.1.2. Población y muestra

a) Población

La población está compuesta por 60 investigadores, que hacen uso de la información hidrometeorológica en alta montaña de la región Ancash.

b) Muestra

Para determinar el tamaño adecuado de la muestra, se utilizará la siguiente fórmula estadística para poblaciones finitas:

Dónde:

$$n = \frac{NZ^2 pq}{E^2(N-1) + Z^2 pq}$$

N = Tamaño de la población = 60

Z = 1.96 para un nivel de confianza del 95%

E = 0.05 Error estándar

p = 0.50 Probabilidad de éxitos

q = 0.50 Probabilidad de fracasos

Reemplazando valores en la fórmula estadística para poblaciones finitas, se tiene como tamaño de muestra 54 investigadores beneficiarios de la implementación de la red inalámbrica en alta montaña desde la quebrada Cojup hasta la ciudad de Huaraz 2018.

3.2. Métodos

3.2.1. Tipo de investigación

a) De acuerdo a la orientación

La investigación en cuestión presenta una orientación aplicada, esta aseveración se fundamente en virtud de los objetivos trazados y que se detallarán en los capítulos siguientes, sin embargo, en líneas generales, los objetivos están orientados a resolver un problema específico, dicha resolución se basa en la búsqueda de mecanismos y estrategias que permitan lograr los objetivos deseados. La delimitación del ámbito de influencia, en uno; muy específico y los objetivos trazados convierten el desarrollo de la presente investigación en la búsqueda de un bien o elemento que pueda ser de utilidad.

b) De acuerdo a la técnica de contrastación

El carácter descriptivo en el presente plan de investigación involucra dos variables de estudio en un ámbito específico. Así mismo, el objetivo general se basa en conocer la relación o grado de asociación que existe entre las variables, por tal motivo la técnica de contrastación adopta un sentido correlacional.

CAPITULO IV: ANÁLISIS

4.1. Análisis de la situación actual

La investigación desarrollada persigue el objetivo general de implementar una red inalámbrica en alta montaña, en ese sentido y para lograr dicho objetivo es necesario conocer el estado del arte de las telecomunicaciones en el Perú, el desarrollo de esta sección es importante porque nos permite definir un mapa base de las iniciativas tecnológicas en materia de telecomunicaciones a nivel nacional. Así mismo, en un ámbito más específico; precisamente en Ancash, se explica las iniciativas de la empresa pública y privada para expandir las redes de telecomunicaciones a una escala Intra-Metropolitana.

Para implementar una solución tecnológica de telecomunicaciones usualmente se emplean equipos electrónicos de gama alta, media y baja. La elección de dichos equipos depende en general de los requerimientos del proyecto, es así que, para el propósito de la investigación, en este capítulo, también se describen consideraciones técnicas de las telecomunicaciones emergentes.

Además, se describe tangencialmente algunos aspectos sociales relacionados a la investigación. Para finalizar se elabora una matriz FODA, que permite conocer en resumen los agentes internos y externos que intervienen en la investigación.

4.1.1. Análisis Político

En este aparatado es importante describir la situación política del departamento de Ancash, desde una perspectiva que permita relacionar los procesos políticos de la región con el desarrollo de la investigación.

Ancash está constituido por 20 provincias y 166 distritos según (INEI, 2017a). El 61% de la población se localiza en la zona urbana, mientras que el 39% restante se desarrolla en la zona rural (CPI, 2017, p. 4). Para efectos de la investigación, el análisis se centrará en la provincia de Huaraz, la cual es considerada como una de las capitales del departamento junto con Chimbote.

En los últimos años la gestión política en el departamento se ha posicionado en un escenario desfavorable, considerado como uno de los gobiernos regionales más corruptos a nivel nacional, esto a razón de los innumerables casos de desfalco al gobierno con múltiples implicados, en este contexto se puede distinguir los casos de tres ex presidentes regionales presos actualmente y el asesinato de un ex gobernador regional.

Ante estos antecedentes, no queda duda que la situación política del Gobierno Regional, entidad encargada de desarrollar proyectos a nivel de la región se encuentran en una situación de crisis política. Una muestra de la inoperancia política son los 11 decretos supremos emitidos por la Presidencia del Consejo de Ministros, declarando en estado de emergencia laguna Palcacocha, lo más

sorprendente de esto es la inmutabilidad de los agentes gubernamentales para tomar medidas al respecto.

Se hace mención de dicha laguna por representar un peligro latente para la ciudad de Huaraz, se estima, según (INAIGEM, 2016), que las perdidas sociales y económicas ascenderían a S/ 9,000 millones, de producirse un aluvión similar al ocurrido en 1941.

Precisamente el tema de investigación se relaciona notablemente con dicha problemática por el hecho de buscar mecanismos tecnológicos que permitan monitorear la actividad y el comportamiento de la laguna. Se sabe que a lo largo de los últimos seis años el gobierno regional ha venido desarrollando un proyecto denominado "Implementación de un servicio de alerta temprana para la ciudad de Huaraz", actualmente dicho proyecto no se ha logrado desplegar por razones políticas y técnicas. Sin embargo, es importante mencionarlo debido a los objetivos técnicos que persigue, los cuales se asemejan a los objetivos específicos de la presente investigación, en este contexto, en los próximos capítulos se detallaran precisiones técnicas que el proyecto plantea y las semejanzas con la investigación en curso.

4.1.2. Análisis Económico y Social

El departamento de Áncash, según información del (INEI, 2017b) es la octava economía del país, al contribuir con el 3,5 por ciento al Valor Agregado Bruto (VAB) nacional. La importancia relativa de la región en el país es mayor en el

caso de algunos sectores como extracción de petróleo, gas y minerales (14,4 por ciento), pesca y acuicultura (10,3 por ciento), electricidad, gas y agua (4,1 por ciento) y administración pública y defensa (3,3 por ciento).

En la estructura productiva departamental predominan la extracción de petróleo, gas y minerales; otros servicios; y manufactura, que contribuyen de manera conjunta con el 60,4 por ciento en la formación del VAB. La actividad económica de Áncash ha registrado un crecimiento promedio anual de 1,5 por ciento, en los últimos ocho años, por debajo de lo registrado en el país (5,2 por ciento). Entre los sectores más dinámicos se encuentran: Telecomunicaciones y otros servicios de información (11,8 por ciento), administración pública y defensa (9,1 por ciento), comercio (6,4 por ciento), alojamiento y restaurantes (6,0 por ciento), entre otros.

Tabla 4. *Ancash: Valor Agregado Bruto 2016 Valores a Precios Constantes de 2007.*

Actividades	**VAB**	**Estructura %**	**Crecimiento Promedio anual 2007 - 2016**
Agricultura, Ganadería, Caza y Silvicultura	640,755	3.5%	3,2%
Pesca y Acuicultura	259,165	1.4%	-12,1%
Extracción de Petróleo, Gas y Minerales	8,723,743	47.5%	-0,2%
Manufactura	1,578,256	8.6%	-1,0%
Electricidad, Gas y Agua	426,057	2.3%	2,5%
Construcción	825,400	4.5%	3,5%
Comercio	1,104,179	6.0%	6,4%
Transporte, Almacén, Correo y Mensajería	634,950	3.5%	6,0%
Alojamiento y Restaurantes	479,434	2.6%	6,0%
Telecom. y otros Serv. de	474,820	2.6%	11,8%

Información			
Administración Pública y Defensa	851,789	4.6%	9,1%
Otros servicios	2,368,753	12.9%	4,1%
Valor Agregado Bruto	**18,367,301**	**100,0%**	**1,5%**

Fuente: INEI

De otro lado, según la Encuesta Nacional de Hogares de 2016 aplicada por el INEI, la Población Económicamente Activa (PEA) del departamento ascendió a 625,6 mil personas, de las cuales, el 97,3 por ciento está ocupada, mientras que el 2,7 por ciento, desocupada. De la PEA ocupada (608,8 mil personas), el 25,8 por ciento labora en el sector servicios; el 15,9 por ciento, en el sector comercio; el 7,0 por ciento, en el sector transporte; el 6,6 por ciento, en manufactura; el 6,1 por ciento en construcción, y el 1,0 por ciento tanto en minero como pesca.

La estructura empresarial de Ancash está mayoritariamente conformada por micros y pequeñas empresas (MYPE). Según el Ministerio de la Producción (2014), existen en el departamento 44,7 mil unidades productivas formales, de las cuales el 99,7 por ciento son micro y pequeñas empresas. El departamento es el noveno en la escala nacional en cuanto a número de empresas formales. Cabe indicar que las MYPEs formales emplean a 364,2 mil personas, según la última información disponible (2011), que representan el 63,6 por ciento de la PEA ocupada de la región.

4.1.3. Análisis general de las telecomunicaciones en el Perú

La fibra óptica es un medio de transmisión que, dada su naturaleza, permite el envío de información a velocidades (tasa de bits) muy superiores a otros medios y, por tal razón, se ha convertido en el medio de transmisión dominante para las redes de transporte y también de acceso.

En el Perú, en los últimos años los operadores de telecomunicaciones han realizado despliegues importantes de redes de fibra óptica, ya sea por propia iniciativa, o conjuntamente con el Estado por medio de iniciativas estatales. En este último caso, el proyecto de Red Dorsal Nacional de Fibra Óptica, junto a los Proyectos Regionales, ambos promovidos por el Estado, representan un hito en el desarrollo de las redes de alta velocidad en el país, que han permitido incrementar notablemente el despliegue de kilómetros de fibra óptica en el país, a la vez que han incentivado que otros operadores también realicen más despliegues de este tipo de redes.

Por ello, se hace necesario conocer el estado actual del despliegue de redes de fibra óptica alcanzado en el país, lo cual es materia del presente documento de trabajo.

a) Información de operadores a nivel nacional

De los 24 operadores que respondieron el pedido de información, solo 18 operadores indicaron que tenían algún despliegue de fibra óptica propia, de los

cuales 1 correspondía a fibra óptica submarina (Telsiux). Así, solo se procesó la información de los 17 operadores que cuentan con tendidos de fibra óptica terrestre, y se encontró que, a setiembre de 2016, se contaba con un total de 61,653 km de fibra óptica propia a nivel nacional, de los cuales 36,612 km correspondían a fibra Óptica Inter-Metropolitana y 25,041 a fibra Intra-Metropolitana.

En el caso de la fibra óptica Inter-Metropolitana, 36,462 km corresponden a fibra óptica propia que se encuentra en operación, mientras que 150 km corresponden a fibra óptica propia que aún no se encuentra en operación. De la Tabla N° 1 se observa que 6,681 km de fibra óptica son provistos por terceros; al respecto, por lo general esta fibra es provista por un tercero en la modalidad de fibra oscura y es iluminada por el operador arrendatario.

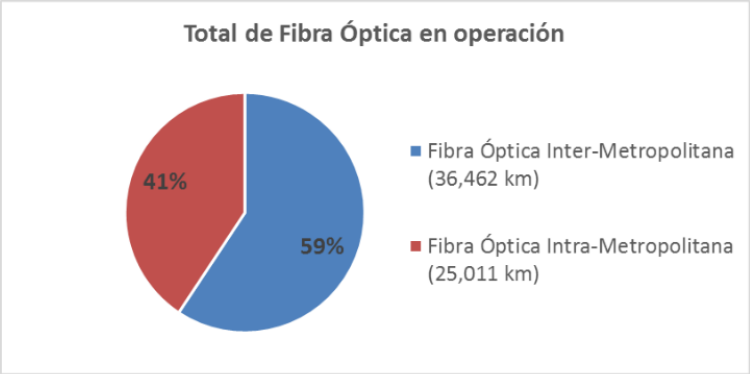
Tabla 5. *Kilómetros de Fibra Óptica Inter-Metropolitana por operador (Set 2016)*

Km. de Fibra Óptica / Operador	Fibra Óptica propia desplegada y en operación	Fibra Óptica propia desplegada y que no está en operación	Fibra Óptica provista por Terceros	Total, de Fibra Óptica propia y Arrendada
América Móvil	4,920	150	1,949	7,019
Azteca	13,571	-	-	13,571
Internexa	3,424	0	67	3,471
OLO	0	0	73	73
Consorcio Óptica	373	0	0	373
Telefónica	4,134	-	4,381	8,515
Viettel	9,521	0	212	9,733
Winner System	211	-	-	211
WORLD'S TV	308	-	-	308
Total	36,462	150	6,681	43,294

Fuente: Empresas Operadoras. Elaboración: Subgerencia de Análisis Regulatorio-GPRC-OSIPTEL.

Asimismo, se encontró que 8 operadores poseían fibra óptica Inter-Metropolitana propia. Los operadores que presentan el mayor despliegue de fibra óptica Inter-Metropolitana son: Azteca (13,571 km), Viettel (9,521 km), América Móvil (4,920 km), Telefónica del Perú (4,134 km) e Internexa (3,424 km). Más adelante se presenta un detalle de cada uno de estos despliegues.

Gráfico 1. *Kilómetros de Fibra Óptica Inter-Metropolitana e Intra-Metropolitana propia y en operación (septiembre de 2016).*



Fuente: Empresas Operadoras. Elaboración: Subgerencia de Análisis Regulatorio-GPRC-OSIPTEL.

Por otro lado, 11 operadores indicaron que poseen 25,011 km de fibra óptica Intra-Metropolitana propia y en operación. De los cuales, Viettel (11,437 km), América Móvil (5,273 km), Optical Technologies (3,052 km) y Telefónica del Perú (3,034), poseían el mayor número de kilómetros de fibra desplegada

Tabla 6. *Kilómetros de Fibra Óptica Intra-Metropolitana por operador (Set 2016)*

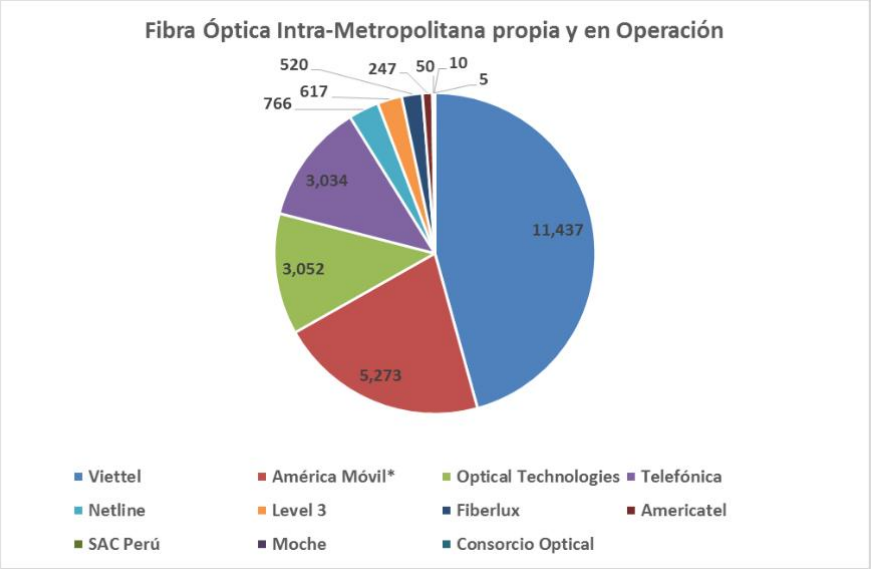
Km. de Fibra Óptica / Operador	Fibra Óptica propia desplegada y en operación	Fibra Óptica propia desplegada y que no está en operación	Fibra Óptica provista por Terceros	Total, de Fibra Óptica propia y Arrendada
Americatel	247	0	123	370
América Movil*	5,273	20	0	5,293
DirectTV	0	0	252	252
Fiberlux*	520	0	0	520
Internexa	0	0	298	298
Level3	617	0	0	617
Moche	10	0	0	10
Netline	766	10	0	776
Consorcio Optical	5	0	0	5
Optical	3,052	0	0	3,052

Technologies				
SAC Perú	50	0	0	50
Telefónica*	3,034	0	0	3,034
Viettel	11,437	0	0	11,437
Total	25,011	30	673	25,714

Fuente: Empresas Operadoras. Elaboración: Subgerencia de Análisis Regulatorio-GPRC-OSIPTEL.

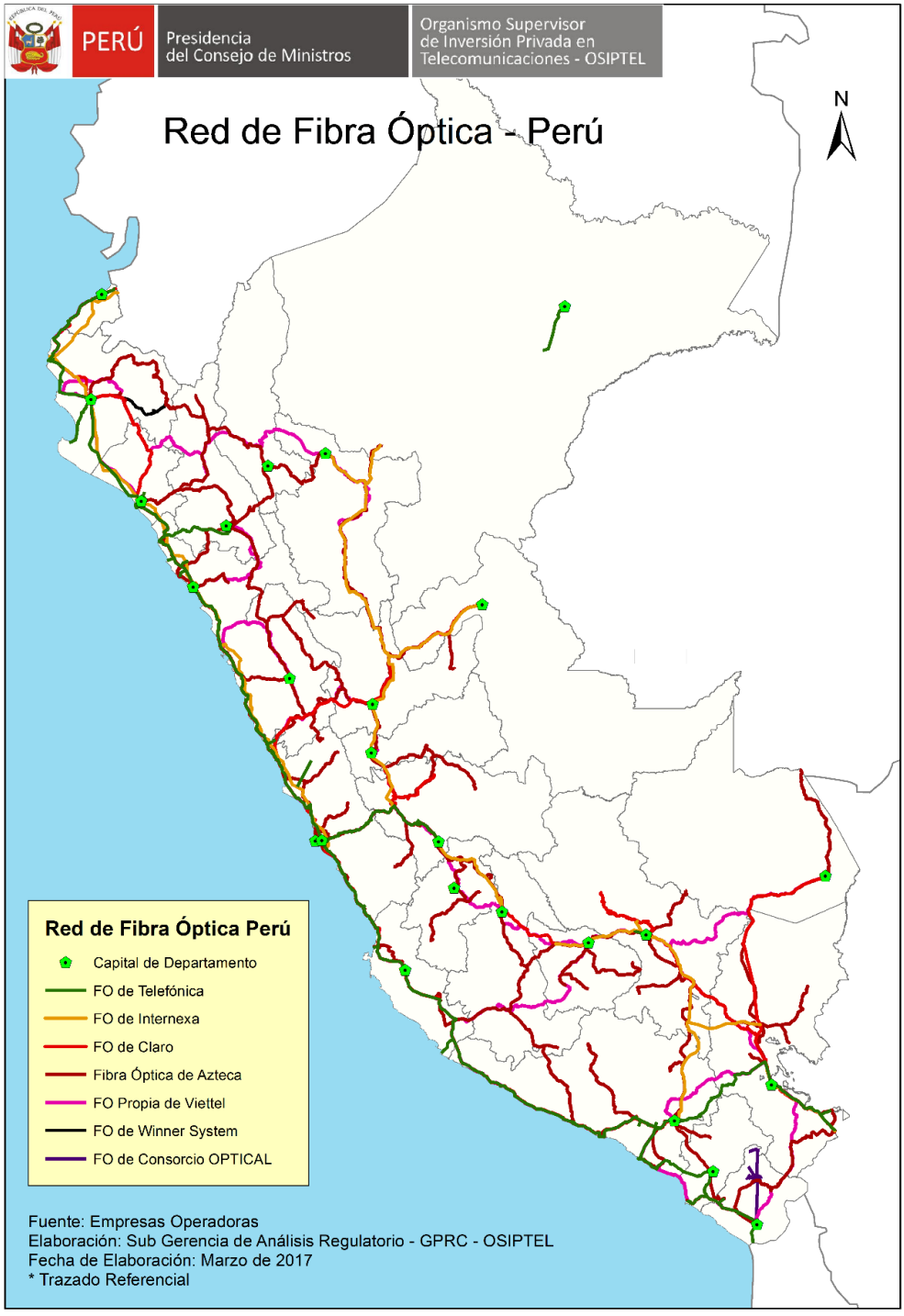
Asimismo, 8 operadores indicaron que, a Setiembre de 2016, no tenían despliegues de fibra óptica propia (DirecTV, OLO Perú, Entel Perú, Gilat To Home, Media Networks, Redes Andinas, Econocable Data y Econocable Media) en ninguna de las categorías.

Gráfico 2. *Kilómetros de Fibra Óptica Intra-Metropolitana propia y en operación por operador.*



Fuente: Empresas Operadoras. Elaboración: Subgerencia de Análisis Regulatorio-GPRC-OSIPTEL.

Mapa 1. *Red de Fibra Óptica a nivel nacional (ámbito Inter-Metropolitano)*



Fuente: Empresas Operadoras. Elaboración: Subgerencia de Análisis Regulatorio-GPRC-OSIPTEL.

4.1.4. Análisis de las telecomunicaciones en Ancash

El presente análisis describe la región Ancash desde el punto de vista de las telecomunicaciones móviles, es así que actualmente las estadísticas indican que existen más de un millón de líneas móviles activas y la penetración de la telefonía alcanza las 130 líneas por cada cien habitantes al primer trimestre del 2018, según cifras difundidas por OSIPTEL (Organismo Supervisor de Inversión Privada en Telecomunicaciones, 2018).

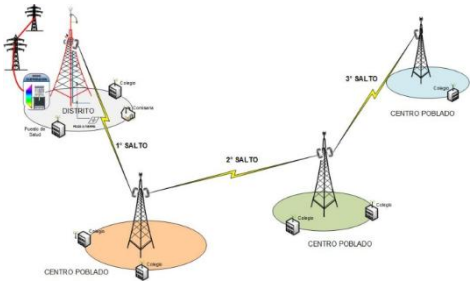
El marco de la presente investigación se describe las acciones que se viene realizando el estado a través de la inversión privada para incrementar la infraestructura de telecomunicaciones en la Región Ancash.

En el apartado anterior se describió la implementación de las redes de fibra óptica que se extienden a nivel nacional. Se puede destacar la iniciativa del estado por impulsar el proyecto de la Red Dorsal Nacional de Fibra Óptica, el cual consiste en el diseño, despliegue y operación de una red de fibra óptica de más de 13 mil kilómetros que conecta a Lima con 22 capitales de región y 180 capitales de provincia. El monto de inversión estimada fue de US$ 323 millones según (PROINVERSION, 2014).

Un complemento importante de la RDNFO[1] son los proyectos regionales denominados "Proyectos Instalación de Banda Ancha para la Conectividad Integral y Desarrollo Social de las Regiones". Según (Pacheco, More, & Argandoña, 2017) dichos proyectos consisten en el despliegue de una red de transporte de fibra óptica que interconecte todas las capitales de distrito de cada región, y en el desarrollo de una red de acceso inalámbrica para ofrecer internet en algunos Centros Poblados beneficiarios. Así, se estima que los proyectos regionales permitirán conectar con más de 31,000 km de fibra óptica a 1,516 capitales de distrito.

En Ancash, se desplegará una red de transporte (fibra óptica) que conectará 144 capitales de distrito con los nodos ópticos de la Red Dorsal Nacional de Fibra Óptica (RDNFO) que actualmente se encuentra en operación. Asimismo, se implementará una red de acceso (inalámbrica) que llevará el servicio de internet a las localidades seleccionadas como beneficiarias.

Imagen 2. *Red de acceso de los proyectos regionales.*

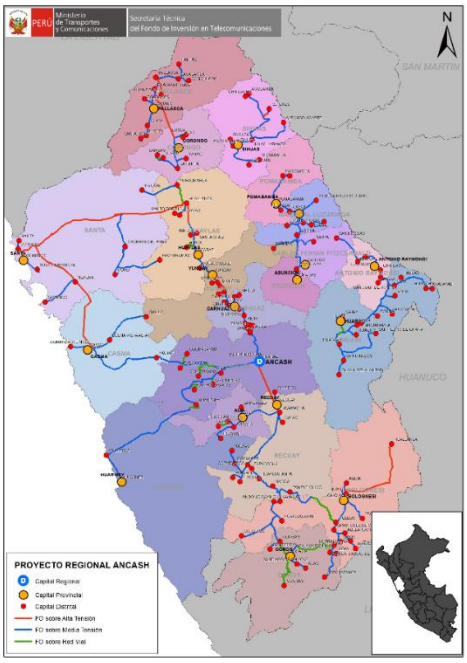


Fuente: Agencia de Promoción de la Inversión Privada.

[1] Red Dorsal Nacional de Fibra Óptica

Actualmente el proyecto de la Región Ancash se encuentra a la espera de ser convocado para entrar en su fase de concurso en la página web de ProInversión. De materializarse dicho proyecto se desplegará una red de transporte de aproximadamente 1,996 km. de fibra óptica, conectará a 144 capitales de distrito a través de nodos de distribución, esta red se complementará con la RDNFO. Así mismo, se implementará una red de acceso que brindará servicios de banda ancha en 425 localidades de la Región, debiendo darse acceso a internet e intranet a entidades públicas como (locales escolares, establecimientos de salud y dependencias policiales).

Imagen 3. Proyecto "Instalación de Banda Ancha para la Conectividad Social de la Región Ancash"



Fuente: Fondo de Inversión en Telecomunicaciones - FITEL.

4.1.5. Análisis DAFO

Análisis Interno

Fortalezas

1. Capacidad de los especialistas en la región para el diseño, despliegue y operación de proyectos telecomunicaciones.
2. Iniciativa de instituciones de investigación por desarrollar tecnologías en locaciones no urbanas.
3. Incremento de las inversiones en telecomunicaciones por parte del sector público y privado.
4. Masificación de la tecnología de telecomunicaciones a nivel regional.

Debilidades

1. Inestabilidad política en la región.
2. Los líderes políticos de la región carecen de una visión holística en materia de tecnologías emergentes.
3. Falta de iniciativas tecnológicas en la gestión de riesgos de desastres.
4. Falta de programas sociales para la instrucción de la población en conocimientos sobre los peligros latentes de la región.
5. Gran historial de eventos catastróficos en la región.

Análisis Externo

Oportunidades

1. La Red Dosal Nacional de Fibra Óptica, es un proyecto (actualmente en operación) que permite establecer una conexión de banda ancha con 22 capitales de región a nivel nacional.
2. Los proyectos regionales de banda ancha, son un complemento de la RDNFO, a través de los cuales se busca conectar 180 capitales de provincia.
3. El auge de la tecnología accesible en el mercado.
4. El ritmo de penetración de las redes móviles en el mercado nacional.
5. Iniciativas como el FONDES (Fondo Para Intervenciones ante la Ocurrencia de Desastres Naturales) para inversiones que no representan proyectos.
6. Apoyo de cooperaciones extranjeras.
7. Financiamiento de proyectos a través de CONCYTEC.

Amenazas

1. El cambio climático y su impacto en agentes que originan riesgo de desastre.
2. Condiciones climáticas cambiantes en la alta montaña.
3. Posible reducción del presupuesto regional.

Tabla 7. Matriz Foda.

Análisis Interno / Análisis Externo	Fortalezas	Debilidades
Oportunidades	• Intervención de especialistas de la región en el desarrollo de proyectos que extiendan de la RDNFO. • Aprovechar iniciativas de las instituciones de investigación con el desarrollo de los proyectos regionales de fibra óptica. • Maximizar el beneficio de las inversiones públicas y privadas aprovechando el auge de las tecnologías emergentes. • Extender las telecomunicaciones en las zonas no urbanas tomando como indicadores de éxito la penetración de las redes móviles en el Perú. • Aprovechar el financiamiento externo e interno para proyectos tecnológicos.	• Impulsar la cooperación de entidades legislativas a nivel nacional para la promoción y control de proyectos en la región. • Buscar mecanismos de fortalecimiento de capacidades para tomadores de decisión en materia de proyectos tecnológicos en la región. • Minimizar la brecha del desconocimiento en la población, sobre los riesgos de origen glaciar.
Amenazas	• Maximizar las tareas de investigación relacionadas a la tecnología como medio de lucha ante el cambio climático en la alta montaña. • Focalizar los proyectos tecnológicos para monitorear las condiciones climáticas cambiantes en la alta montaña. • Postular a fondos de inversión privado, ante la posible reducción del presupuesto público regional.	• Reducir la incertidumbre monitoreando los agentes que originan el riesgo de desastre en alta montaña. • Minimizar el impacto de eventos climáticos adversos producidos en la alta montaña. • Minimizar los tramites legislativos para la promoción y ejecución de proyectos en la región.

Fuente: Elaboración propia.

Identificación y descripción de requerimientos

La extracción y monitoreo automatizado de variables físicas en el ambiente, es una práctica expandida y desarrollada a través de los años con tal diversidad que en estos días es relativamente sencilla la tarea de encontrar sensores que registran variables específicas para la medición y control de procesos determinados. Así mismo, dichas de variables, deben ser registradas para un posterior análisis o una visualización en tiempo real.

En esta época de conectividad, la tarea de compartir información entre diferentes locaciones se ha convertido en una necesidad, por lo tanto, el requerimiento general se traduce en la necesidad de recopilar, monitorear y analizar los datos registrados en la alta montaña desde la ciudad de Huaraz, minimizando de esta forma la extracción de datos *in situ* realizado por el personal especializado.

Este sistema debe contemplar el despliegue de una infraestructura de telecomunicaciones accesible desde el punto de vista técnico-económico y gestionado mediante un software de aplicación, el cual será el nexo entre el usuario y las variables físicas medidas.

En adelante se presenta el detalle de los requerimientos establecidos por los usuarios. Posteriormente, los requerimientos técnicos necesarios de acuerdo a al alcance general.

4.1.6. Requisitos generales establecidos por los usuarios

Según los usuarios, el diseño y despliegue de la red debe cumplir las siguientes características.

- La solución debe ser comparable en precio a iniciativas, que represente al equipamiento instalado en la torre.
- Establecer un medio de comunicación a través de las siguientes tecnologías, telefonía IP, videollamadas y datos.
- La red debe soportar diversos protocolos de telecomunicaciones.
- No se debe pagar licencias por el uso de frecuencia.
- Deber ser fácil de instalar y simple de mantener, con la finalidad de que se pueda capacitar a las personas del lugar para ayudar en la instalación. Asimismo, ellos puedan encargarse del mantenimiento de los equipos que conforman la red.
- Ser compacta y liviana de tal forma que se facilite el transporte de los equipos.
- Ser robusta para resistir temperaturas extremas y entornos rurales rigorosos.
- Permitir videollamadas de buena calidad en los nodos de Huaraz y Palcacocha.
- Se debe permitir el acceso a Internet por medio del INAIGEM.

4.1.6.1. Evaluación inicial sobre el despliegue de las tecnologías

La evaluación se realiza en base a los servicios plateados en los requerimientos.

Telefonía

En la actualidad la infraestructura de telecomunicaciones en zonas rurales o alta montaña es limitada o inexistente, específicamente en la Quebrada de Cojup no se cuenta con ningún proveedor de servicios de internet (ISP, por sus siglas en ingles). Sin embargo, en nuestro ámbito de estudio, en la laguna Palcacocha existe un teléfono satelital operado por trabajadores del gobierno regional. En cuanto al desempeño del teléfono satelital se procedió a medir el tiempo de conexión al satélite, los resultados arrojaron en promedio cinco minutos, además, se realizaron pruebas para establecer una conexión de banda ancha satelital, sin mayor éxito.

Imagen 4. *Teléfono Satelital Inmarsat.*

Fuente: Inmarsat.com

Datos

El consumo de datos incluye el acceso a Internet y transferencia de archivos. Para brindar conexión a Internet a los usuarios de la red, se utilizará el acceso a una velocidad de 5 Mbps que posee el INAIGEM.

Videollamada

El sistema de videollamada debe ser implementado por un servidor externo el cual será considerado en el diseño de la red. Este servicio se desarrollará bajo la plataforma Whatsapp, el cual trabaja sobre el protocolo VoIP[2] en el modo cliente-servidor. Para que el sistema de videollamada pueda enviar video de calidad aceptable y de forma continua será necesario determinar el ancho de banda adecuado. Una llamada con video debe poseer una velocidad de 1 Mbps en un sentido (desde el cliente hasta el servidor). Se espera implementar una solución que permita múltiples sesiones de videollamada, considerando las pruebas realizadas, se observa que el incremento de conexiones reduce la calidad del video; esto es debido a la falta de políticas de calidad de servicio. Por lo tanto, se requiere incrementar la capacidad y dar políticas de calidad de servicio a fin de brindar múltiples sesiones de videollamadas de buena calidad.

[2] Voz sobre internet

Tabla 8. *Requerimientos Técnicos del Sistema de Transmisión de Datos.*

Requisitos	Sustentación
La nueva red de transporte y de acceso deberán trabajar en frecuencias de la banda ISM[3].	No se pagará por el uso de frecuencia
La red debe contar con políticas de calidad de servicio para los flujos de voz, datos y video.	Diferenciar servicios de telecomunicaciones
La alimentación de los equipos será realizada a base de energía fotovoltaica.	El nodo ubicado en las instalaciones del INAIGEM no cuenta con energía fotovoltaica.
Se deberá emplear el códec G.711 para telefonía VoIP (Unión Internacional de Telecomunicaciones, 2018)	Uniformizar el codificador de voz. Tiene una mejor relación costo/beneficio respecto de otras alternativas.
Se necesita implementar múltiples sesiones de videollamada para ello se recomienda como mínimo un ancho de banda digital de 1 Mbps por cada sesión.	Asegurar que los nodos principales dispongan del servicio de videollamada.
Se utilizará cifrado para la transmisión de información de los enlaces.	La información viaje segura.
La red de acceso se implementará con la tecnología (WiFi).	Los equipos de cómputo y sensores en su mayoría operan en la banda 2.4Ghz.
Se debe diseñar las estructuras de torres para la red de transporte.	En el presupuesto se considerará la instalación de las torres de telecomunicación
Se debe considerar un sistema de protección contra descargas eléctricas en las torres.	En el presupuesto se considerará la instalación de un sistema de pararrayos.

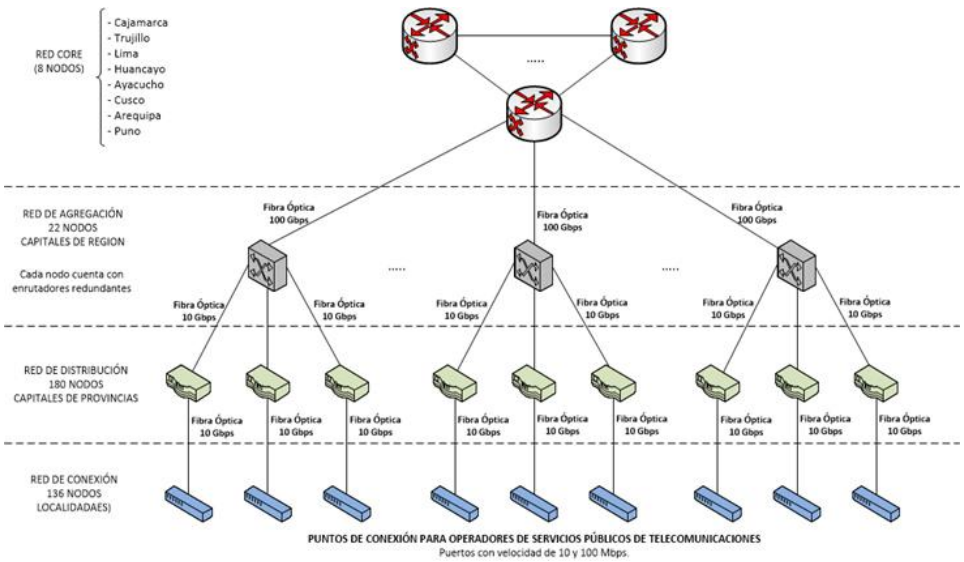
Fuente: Elaboración propia.

[3] Las bandas ISM son bandas de frecuencias para uso comercial y sin licencia (Industrial, Scientific and Medical)

4.2. Diagnóstico de la situación actual

En este apartado se describen los resultados del análisis situacional y la identificación de requerimientos, desarrollados previamente. La investigación en curso está orientada a diseñar e implementar una red de telecomunicaciones en alta montaña precisamente en la quebrada de Cojup, en este contexto se puede señalar que en la última década el estado peruano y la empresa privada, han intensificado de manera descentralizada las inversiones en materia de tecnología y telecomunicaciones, los ejemplos más relevantes son el despliegue de la red dorsal nacional de fibra óptica (RDNFO) y los proyectos regionales de banda ancha. La ejecución y operación de dichos proyectos están a cargo de FITEL y constituyen un precedente importante debido al objetivo en común de llevar conectividad de banda ancha a los lugares más apartados del país.

Imagen 5. *Arquitectura de acceso a la RDNFO.*



Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú.

Lamentablemente la RDNFO y los proyectos regionales no alcanzan a cubrir las cabeceras de cuenca ubicadas en alta montaña, esto a razón de la baja densidad poblacional en estos parajes. En virtud de esto se entiende el desarrollo de la presente investigación no como un medio de distribución de internet a las poblaciones, pero si como un mecanismo de monitoreo ambiental.

El incremento de las actividades productivas en la región, descritas en la **Tabla 4,** constituye un indicador importante para reconocer la tendencia creciente del aporte al PBI nacional por parte de la región, esto hace suponer un clima estable económicamente. Sin embargo, se puede reconocer que Ancash es débil desde el punto de vista político. Los constantes casos de corrupción se han convertido en una característica que disminuye la confianza del ejecutivo y la población para la promoción y ejecución de proyectos de envergadura a cargo del gobierno regional, un ejemplo claro de esto es el estancamiento del proyecto para la creación de un sistema de alerta temprana para la ciudad de Huaraz, el cual a pesar de contar con financiamiento público y cooperaciones internaciones no se ha podido ejecutar hasta la fecha. Cabe mencionar que desde el punto de vista técnico dicho proyecto de alerta temprana guarda relación con la investigación en curso por considerar especificaciones técnicas similares las cuales serán explicadas en detalle en los capítulos siguientes.

La terea de monitorear las variables ambientales en alta montaña, es importante debido al gran volumen de recurso hídrico vital almacenado en glaciares y lagunas a lo largo de las 18 cordilleras glaciares del Perú. Conocer las

estadísticas del incremento o decremento de dicho recurso es sumamente necesario, porque nos ayuda construir y reconocer escenarios futuros de la población que vive escorrentías abajo, esta tarea se articula muy bien con el proceso de adaptación al cambio climático.

Fotografía 1. *Vista de la Quebrada Cojup.*

Fuente: Elaboración propia.

CAPITULO V: DISEÑO DE LA SOLUCIÓN

5.1. Arquitectura tecnológica de la solución

Inicialmente y con el objetivo de cubrir las necesidades de comunicación en la quebrada de Cojup, la red a desplegarse consistirá en tres estaciones base (BTS) ubicadas una en la sede del Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña (Distrito de Huaraz, Departamento de Ancash), la segunda se ubicara en las faldas del Glaciar Churup (Ámbito del Parque Nacional Huascarán, Departamento de Ancash) y la última en el pico de la morrena izquierda de la Laguna Palcacocha (Ámbito del Parque Nacional Huascarán, Departamento de Ancash), las cuales se interconectaran con el centro de operaciones ubicado en la ciudad del Huaraz mediante un sistema de microondas, facilitándose de esta manera la interconexión con la red de internet.

5.1.1. Localización referencial de puntos

Para determinar los puntos de emplazamiento de las torres se realizaron visitas de observación a la zona a intervenir, buscando posibles ubicaciones para las estaciones base; en esta visita, con ayuda de mapas de la zona y un GPS, además de la información obtenida del Instituto Nacional de Glaciares y Ecosistemas de Montaña, se determinó la ubicación de cada uno de los puntos con referencia a la ciudad de Huaraz y la laguna Palcacocha. Así mismo, se procedió a registrar

la ubicación de todos los puntos de referencia, listados a continuación en la **Tabla 9**.

Tabla 9. *Localización de puntos de referencia.*

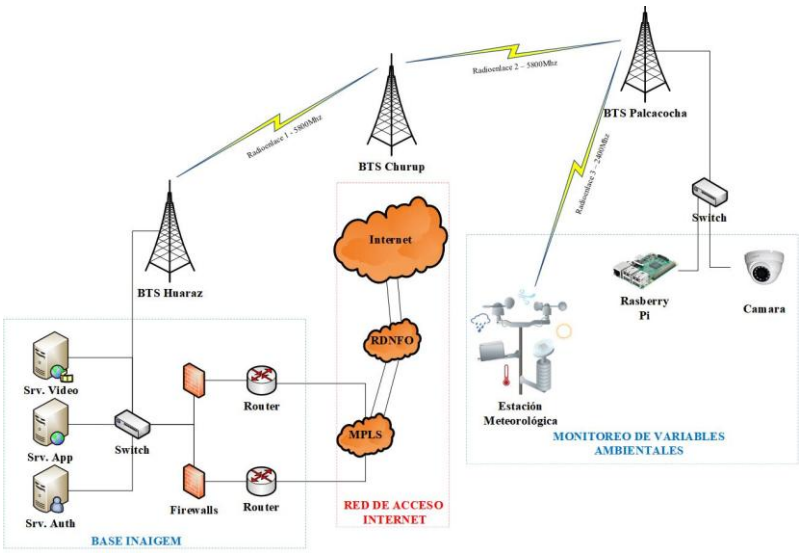
ESTACIÓN	DESCRIPCIÓN	LATITUD S	LONGITUD O
BTS 1	Base-INAIGEM	-9.528811	-77.526699
BTS 2	Churup	-9.474474	-77.433345
BTS 3	Laguna Palcacocha	-9.402242	-77.382812

Fuente: Elaboración propia.

5.1.2. Arquitectura general de la red

En la **Imagen 6**, se muestra la estructura de la red, basada en la solución de radioenlace a través de microondas, además, se consideran los servicios a implementarse en los nodos de la interconexión.

Imagen 6. *Diagrama general de la red.*



Fuente: Elaboración Propia.

5.2. Diseño de estructura de la solución

5.2.1. Frecuencia de trabajo

Para satisfacer la demanda del uso de frecuencias libres, se eligieron las bandas 2,400-2,450 MHz y 5725-5850 MHz, dichas bandas poseen una frecuencia central de 2,400 MHz y 5,800 MHz respectivamente. Esta ha sido destinada para aplicaciones científicas, industriales y médicas. Al pertenecer al conjunto de bandas no comercial están destinadas al uso en aplicaciones de tipo industrial, científicas y médicas. Así mismo, los servicios desplegados en estas bandas son susceptibles de sufrir atenuaciones por la interferencia perjudicial de las aplicaciones externas que operen en las mismas frecuencias. El detalle de la atribución está establecido en el Plan Nacional de Atribuciones de Frecuencias del Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones (MTC, 2008) (Peruano, 2018).

- La potencia isotrópica radiada equivalente (PIRE) máxima no debe exceder de 30 dBm (1W) para la frecuencia de 5.8 GHz y 2.4 GHz.
- La potencia pico máxima de salida de un transmisor no debe exceder de 30 dBm.
- Está prohibido utilizar amplificadores, transmisores o cualquier dispositivo similar que modifique las condiciones de PIRE máxima mencionadas anteriormente

- En zonas rurales y en los lugares considerados de preferente interés social no hay restricciones de la ganancia de las antenas.
- Se pueden emplear diferentes técnicas de transmisión o modulación digital, las cuales permitan la mutua coexistencia.

5.3. Diseño de la funcionalidad de la solución

5.3.1. Calculo del ancho de banda para datos

Para determinar el ancho de banda de datos se tomó de referencia el libro Andrews, el cual indica un ancho de banda de 256 Kbps para un usuario de Internet. (Andrews, 2007) La **Tabla 10**, muestra los cálculos de capacidad requeridos por los servicios de datos. La capacidad requerida por una computadora es 256 Kbps. El factor de simultaneidad se coloca para cada caso. Para el caso de una sola computadora se asume 100%. Para dos computadoras, de 50%. Para las cantidades intermedias de computadoras, el factor de simultaneidad se elabora de acuerdo al rango.

Tabla 10. *Calculo de capacidad para el servicio de datos*

Número	Nodos	Pc	Cámaras	Velocidad (Mbps)	Factor de Simultaneidad	Cauda (Mbps)
1	Huaraz	2 (256kbps)	0	0.512	50%	0.256
2	Churup	0	0	0	0	0
3	Palcacocha	3 (256kbps)	1 (740kbps)	1.508	50%	0.754
Total		**5**	**1**	**2.020**		**1.010**

Fuente: Elaboración propia.

5.3.2. Calculo del ancho de banda para telefonía

Como se ha mencionado anteriormente se considerará tecnología VoIP para la transmisión de voz. Para el cálculo de ancho de banda necesario para la transmisión de la señal de voz debe considerarse el formato final del paquete de voz y el codificador. En la **Tabla 11**, en la sección Telefonía VoIP, se presenta las características de los codificadores más comunes para poder seleccionar el más adecuado. Desde la perspectiva económica, es muy recomendable emplear codificadores que consigan la mayor tasa de compresión. No obstante, al tener un mayor nivel de compresión, la calidad de la voz será menor. Por lo tanto, se debe llegar a una solución de compromiso. Se ha decidido trabajar con el codificador G.711 debido a que brinda una mayor calidad de voz y un ancho de banda relativamente bajo. Este es el más utilizado para aplicaciones de VoIP. Se determina que el ancho de banda por línea telefónica es de 64 Kbps.

Tabla 11. *Calculo de capacidad para el servicio de datos*

Vocoder	Bandwidth	Coder Delay
G.711 (PCM)	64 kbps	< 1 ms
G.721 (ADPCM)	32 kbps	< 1 ms
G.729A	8 kbps	15 ms
G.723.1	5.3 - 6.3k	> 30ms

Fuente: Unión Internacional de Telecomunicaciones.

Tabla 12. *Calculo de capacidad para el servicio de llamadas.*

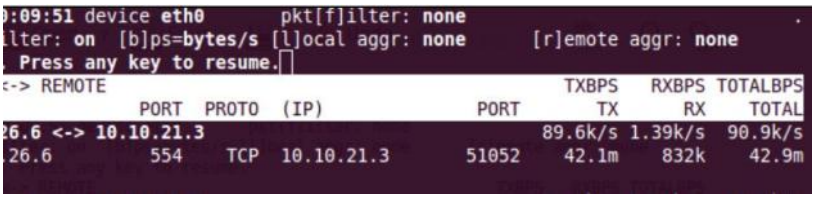
Número	Nodos	Teléfonos	Velocidad (Mbps)	Factor de Simultaneidad	Cauda (Mbps)
1	Huaraz	10 (64kbps)	0.64	100%	0.64
2	Churup	0	0	0	0
3	Palcacocha	10 (64kbps)	0.64	100%	0.64
Total		**20**	**1.28**		**1.28**

Fuente: Elaboración propia.

5.3.3. Calculo del ancho de banda para videollamada

Se realizó una prueba de videoconferencia empleando dos equipos configurados con una resolución de 1280x800 píxeles, una velocidad de tramas de 30 cuadros por segundo y H264 como formato de compresión. De lo cual, se obtuvo un ancho de banda requerido (de cliente a servidor) de 80,9 bytes/segundo (=80.9*8= 0,800 Mbps), que presenta a una persona realizando saludos con ambas manos; la prueba se muestra en la **Imagen 7**, Por lo tanto, se empleará 8 Mbps como referencia para garantizar una buena calidad de videollamada.

Imagen 7. *Calculo de ancho de banda de videollamada.*



Fuente: Captura de software.

Tabla 13. *Calculo de capacidad para el servicio de videollamada.*

Número	Nodos	Teléfonos Videollamadas	Velocidad (Mbps)	Factor de Simultaneidad	Cauda (Mbps)
1	Huaraz	10 (800kbps)	8	100%	8
2	Churup	0	0	0	0
3	Palcacocha	10 (800kbps)	8	100%	8
Total		**20**	**16**		**16**

Fuente: Elaboración propia.

5.4. Diseño de la interfaz de la solución

5.4.1. Selección de equipos

Se debe llevar a cabo la selección de los equipos que serán instalados. Dichos equipos y el uso que de ellos se realice han de cumplir, en el caso de Perú, con las normas legales vigentes establecidas por el Ministerio de Transporte y Comunicaciones (MTC), dentro del ámbito de su competencia. Asimismo, se debe garantizar que se dispondrá de repuestos, suministro, accesorios y, en general, de cualquier elemento, utilizado por los equipos empleados, en el mercado nacional por un período mayor a cinco años. De la misma manera, estos equipos deben satisfacer los estándares internacionales (ITU, ETSI, IEEE) para los propósitos que sean adquiridos. De acuerdo a la **Tabla 14**, se ha seleccionado el equipo Rocket5AC-Lite porque posee una buena relación entre rendimiento, consumo de energía y precio. El equipo implementa los cinco tipos de calidad de servicio de WiMAX; de esta forma, el equipo es más flexible y brinda la posibilidad de elegir el tipo de QoS que se acomode mejor a las características

de la red. El equipo posee un bajo consumo de energía; por lo tanto, requiere de menor cantidad de paneles y baterías. Por otro lado, asegura una velocidad máxima de 500 Mbps teóricos en la banda 80 MHz, la cual es suficiente para satisfacer las necesidades de la red de acuerdo al cálculo de capacidad realizado anteriormente. Además, trabaja en la banda de 5.8 GHz. Finalmente, el equipo tiene un precio competitivo respecto a las otras alternativas de solución.

Tabla 14. *Comparativa entre las alternativas de solución.*

Equipo	Potencia de transmisión (dBm)	Sensibilidad del Receptor (dBm)	Calidad de Servicio (QoS)	Rendimiento (Mbps)	Potencia de consumo	Ancho de banda de canal (MHz)	Precio Referencial ($)
Rocket5ACLite	27	-96	WMM	500	8.5	10-80	185
NetMETAL 5	27	-81	-	700	23	20,40,80	150
Radwin 2000	25	-88	Simetrico	200	35	10,20,40	1,705

Fuente: Elaboración propia.

5.4.2. Selección de modulación y ancho de banda de canal

Para los cálculos de las prestaciones de la red WiMAX, se tomarán parámetros y características tanto de los equipos como del estándar IEEE802.16M-2011 debido a que es el estándar soportado por el equipo seleccionado. (IEEE, 2012a) En la **Tabla 15**, se muestran las sensibilidades que el equipo seleccionado necesita para un óptimo funcionamiento por cada ancho de banda de canal soportado por el mismo.

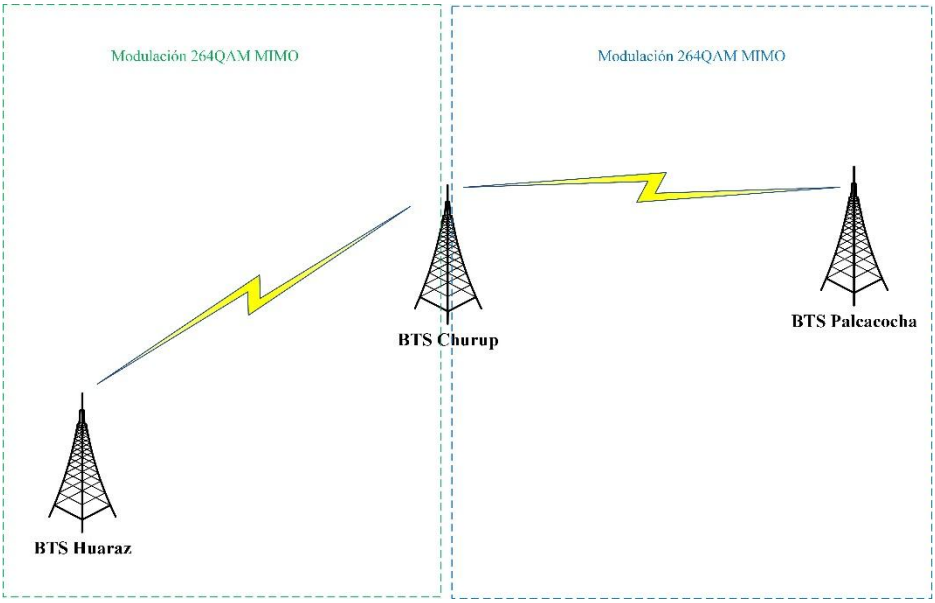
Tabla 15. *Sensibilidades del Ubiquiti Rocket5Ac-Lite.*

Potencia Tx				Potencia Rx			
Modulación	Data Rate	Avg. TX	Tolerancia	Modulación	Data Rate	Sensibilidad	Tolerancia
AirMAX ac	1x BPSK (½)	27 dBm	+/- 2 dB	AirMAX ac	1x BPSK (½)	-96 dBm	+/- 2 dB
	2x QPSK (½)	27 dBm	+/- 2 dB		2x QPSK (½)	-95 dBm	+/- 2 dB
	2x QPSK (¾)	27 dBm	+/- 2 dB		2x QPSK (¾)	-92 dBm	+/- 2 dB
	4x 16QAM (½)	27 dBm	+/- 2 dB		4x 16QAM (½)	-90 dBm	+/- 2 dB
	4x 16QAM (¾)	27 dBm	+/- 2 dB		4x 16QAM (¾)	-86 dBm	+/- 2 dB
	6x 64QAM (2/3)	27 dBm	+/- 2 dB		6x 64QAM (2/3)	-83 dBm	+/- 2 dB
	6x 64QAM (¾)	26 dBm	+/- 2 dB		6x 64QAM (¾)	-77 dBm	+/- 2 dB
	6x 64QAM (5/6)	25 dBm	+/- 2 dB		6x 64QAM (5/6)	-74 dBm	+/- 2 dB
	8x 256QAM (¾)	23 dBm	+/- 2 dB		8x 256QAM (¾)	-69 dBm	+/- 2 dB
	8x 256QAM (5/6)	22 dBm	+/- 2 dB		8x 256QAM (5/6)	-65 dBm	+/- 2 dB

Fuente: Datasheet Ubiquiti5AC - Lite

De acuerdo a los cálculos realizados, los equipos han de estar configurados con anchos de banda de canal (BWcanal) de 30 MHz, debido a que en este se logra un equilibrio de velocidad para las distintas modulaciones que se puedan emplear. La red se ha dividido en dos segmentos de red; En la **Imagen 8**, se muestra las modulaciones elegidas para dichos segmentos.

Imagen 8. *Modulación seleccionada para los segmentos de red.*



Fuente: Elaboración propia.

5.4.3. Simulación de radioenlaces

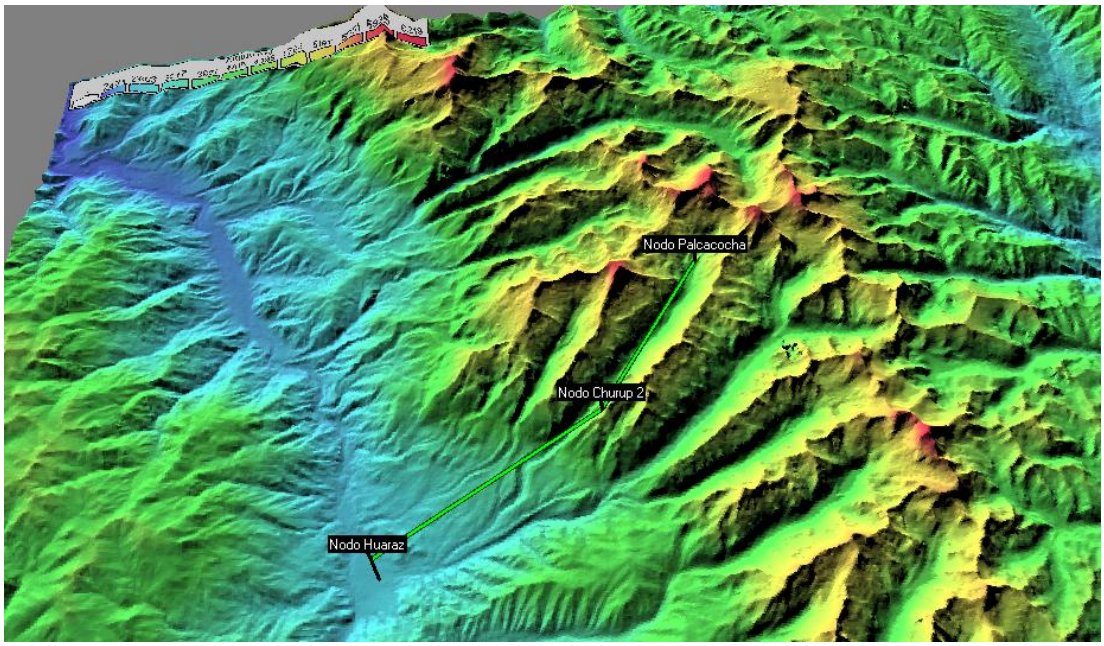
Para el diseño, se trabajará con las ubicaciones anteriores, las cuales se muestran en la **Tabla 16.** En la **Imagen 9**, se muestra el esquema de la distribución de los nodos.

Tabla 16. *Coordenadas de los nodos y altura de las torres.*

N°	Nodos	Latitud S	Longitud O	Altura de Torres (Metros)
1	Huaraz	-9.528811	-77.526699	9
2	Churup	-9.474474	-77.433345	6
3	Palcacocha	-9.402242	-77.382812	9

Fuente: Elaboración propia.

Imagen 9. *Esquema de distribución de los nodos.*



Fuente: Elaboración propia

5.4.4. Simulación de los radioenlaces

Se emplea el Radio Mobile como herramienta para la simulación de los radio enlaces. Asimismo, se han tomado algunas consideraciones para calificar un enlace como óptimo. La primera de ellas, el nivel de señal en recepción debe estar entre 10 y 15 dB por encima de la sensibilidad del receptor para contrarrestar desvanecimientos de la señal debido al ambiente real donde se instalarán los enlaces. De la misma manera, se debe comprobar que en el punto más crítico que la claridad mínima del enlace debe ser de 20 m, lo cual corresponde con la altura estimada promedio de los árboles. Además, se debe asegurar que el peor Fresnel sea mayor que 8,3 F1.

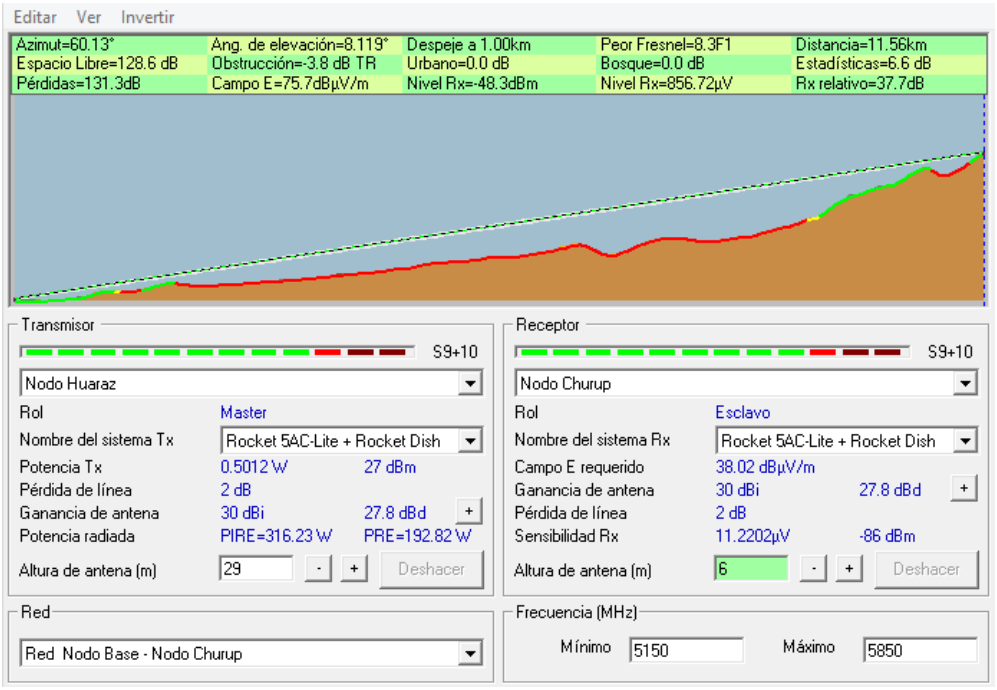
Se tendrán dos segmentos de red, los cuales estarán configurados con modulaciones equivalentes. Para el primer segmento de red, que incluye los nodos de Huaraz hasta Churup, se trabajará con la modulación 256QAM MIMO (sensibilidad -65 dBm), dado que esta nos permite alcanzar una velocidad de 190 Mbps. El segundo segmento de red trabajará con la misma modulación 256QAM MIMO (sensibilidad -65 dBm), la cual permite una velocidad de 120 Mbps. La potencia de transmisión para los equipos en dichas modulaciones, recomendados por la empresa Ubiquiti, es de 27 dBm. Se está considerando el tipo de clima continental templado para la simulación. Los resultados de las configuraciones del radio enlaces en ambos casos se muestran en la **Tabla 17**. Estos resultados cumplen los requisitos establecidos anteriormente. Las **Imágenes 10 y 11** muestran el resultado de la configuración del enlace: Huaraz – Churup y Churup-Palcacocha.

Tabla 17. *Resultados del radio enlaces.*

Id Tx	**Enlaces**	**Distancia (Km)**	**Peor Fresnel (F1)**	**Rx Relativo (db)**	**Altura de la Antena (m)**
1	Huaraz Churup	11.56	8.3	37.7	9 6
2	Churup Palcacocha	9.75	4.3	34.9	6 9

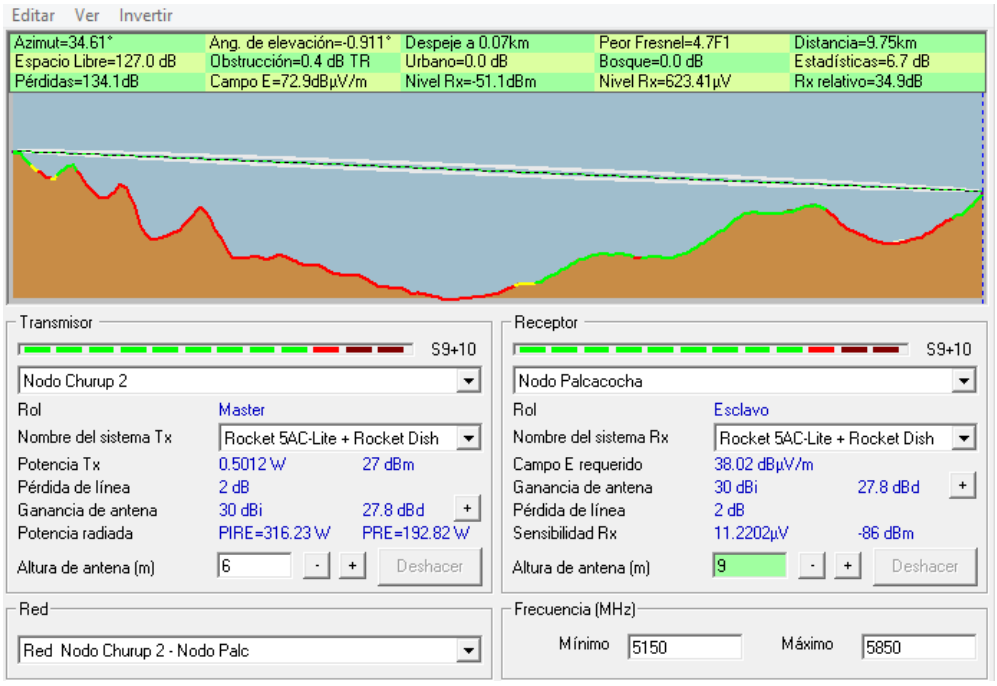
Fuente: Elaboración propia.

Imagen 10. *Esquema de distribución de los nodos.*



Fuente: Elaboración propia

Imagen 11. *Esquema de distribución de los nodos.*



Fuente: Elaboración propia

CAPITULO VI: CONSTRUCCIÓN DE LA SOLUCIÓN

6.1. Construcción

En el presente capitulo se procede a describir el proceso de construcción de la solución, En el presente punto se desarrollará brevemente los subsistemas de protección y energía que se tendrán en consideración para la red de acceso, además de indicarse el tipo de torres que se emplearán para los nodos de la investigación.

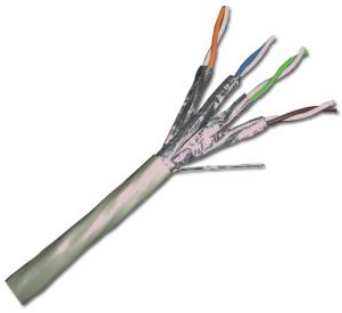
6.1.1. Equipos

Como se describió en el capítulo anterior, para el manejo de datos se emplearán equipos de radio y antenas de la marca Ubiquiti. Así mismo, para la construcción de la infraestructura de torres y subsistemas, se describe en la **Tabla 18**, un extracto sustancial de las especificaciones técnicas referentes a los equipos empleados.

Tabla 18. *Resultados del radio enlaces.*

Und.	Equipo	Especificaciones
04		**Equipo Access Point** **Características:** • Tipo Externo • Frecuencia 5 GHZ • Potencia Maxima 8.5W • Puerto Ethernet 10/100/1000 MBPS • 2 x RP-SMA (IMPERMEABLE) • Wireless 5.0 GHZ: IEEE 802.11 ac • Procesador ATHEROS MIPS 74KC, 720 MHZ. • MEMORIA: 128 MB DDR2 / 16 MB FLASH • ALIMENTACION: 24V / 0.5A (PoE) • DIMENSIONES: 16.20 x 8.40 x 3.70 CM • Adaptador POE incluido
04		**Antena de Access Point** **Características:** • Tipo Externo • Ganancia 30 dbi • Frecuencia 5GHZ • Ganancia dual de polaridad, 30dBi • Accesorios de montaje incluidos
4		**PoE para Equipos** **Características** • Voltaje de salida 24V • Corriente 0.5 A • Puerto de red soporta transferencia de Gigabit. • Incluye Cables y accesorios

6		**Panel Solar de 120 Wats** **Características** • Celdas solares policristalinas de 120 watts. • Modulo solar tipo policristalino de 4x9 celdas en vertical. • Potencia: 120W. • Voc 22.5V • Voltaje max del systema 1000v / 15ª • Dimensiones: 670x1200x35mm, 8.5kg • Conectores MC4 diferenciados (+/-)
2		**Controlador de carga solar 12v / 24v** **Características** • Pantalla LCD energía de la batería pantalla • Control de La Luz y el tiempo de retardo, de protección contra rayos, función de enfriamiento automático para el sobrecalentamiento, 24 V Batería programa activo. • Adopt proceso microordenador para controlar y realizar el control de optimización inteligente SOC. • Output: USB 5 V (USB DC 5 V Recargar el teléfono), DC 5 V * 1 (1A) • Sistema de tensión de salida: 12 V/24 V trabajo auto • Rango de corriente: 20 A • Control: PWM pulso modo de depuración • Over voltaje liberación de devoluciones: 12.2 V/12 V, 12.2 V * 2/24 V • Over tensión de salida: 10.8 V/12 V, 10.8 V * 2/24 V
4		**Batería Recargable** **Características** • Voltaje y Amperaje 12V / 75ah • Anticorrosión electrónica.

100m		**Cable Solar** **Características** • Cable de alimentación con aprobación UL TUV XLPE • Tipo de conductor clase 5 • Temperatura Soportada -40C a 90C • Material:Tinned copper wire(TXR) • Solar cable :6mm2 for MC4/MC3
100m		**Cable STP** **Características** • Impedancia es de 150 Ohm. • Categoría 6 • Cantidad de hilos: 8 • Cantidad de pares: 4 • Conductor de hilo de cobre desnudo 23 AWG • Aislamiento: SFS PO (poliolefin de estructura de película membrana porosa), 1.43 mm. •
3		**Torre de Comunicación** **Características y Componentes** • Material: Metal Galvanizado • Parayo Tetrapuntal • Medida de torre completa: 9 m • Tramo de torre: 35cm x 35cm x 35 cm, total: 3m • Templador M10: 6 Uds • Alambre Galvanizado N°10: 10Kg • Grapa para alambre galvanizado: 36 Uds.

Fuente: Elaboración propia

6.1.2. Instalación de torres

Para la presente investigación se emplearán torres ventadas cuya característica principal radica en su peso ligero, rápida instalación y estabilidad confiable. Las torres ventadas no presentan un peso considerable como las auto sustentadas por estar elaboradas a base de una aleación de aluminio, además, tienen la ventaja de ser más baratas. El proceso de instalación inicia con la colocación de tres puntos de cimentación en la base o superficie de la tierra, estos puntos forman un triángulo equilátero, que servirán como anclaje de la columna, luego, se procede a fijar el primer cuerpo de la torre a la parte central cimentación su base con concreto, posteriormente se colocan los cuerpos restantes sobre el primer cuerpo, asegurando la estructura con tornillos metálicos galvanizados. Así mismo, se procede a extender el alambre galvanizado desde las aristas superiores de cada cuerpo de la torre hasta cada punto de cimentación. Finalmente, como se muestra en la **Imagen 12**, se asegura el agarre con grapas Crosby y Templadores en la parte superior y base respectivamente.

Imagen 12. *Fijación de puntos en la base.*

Fuente: Elaboración propia.

Fotografía 2. *Torre ventada ubicada en la laguna Palcacocha.*

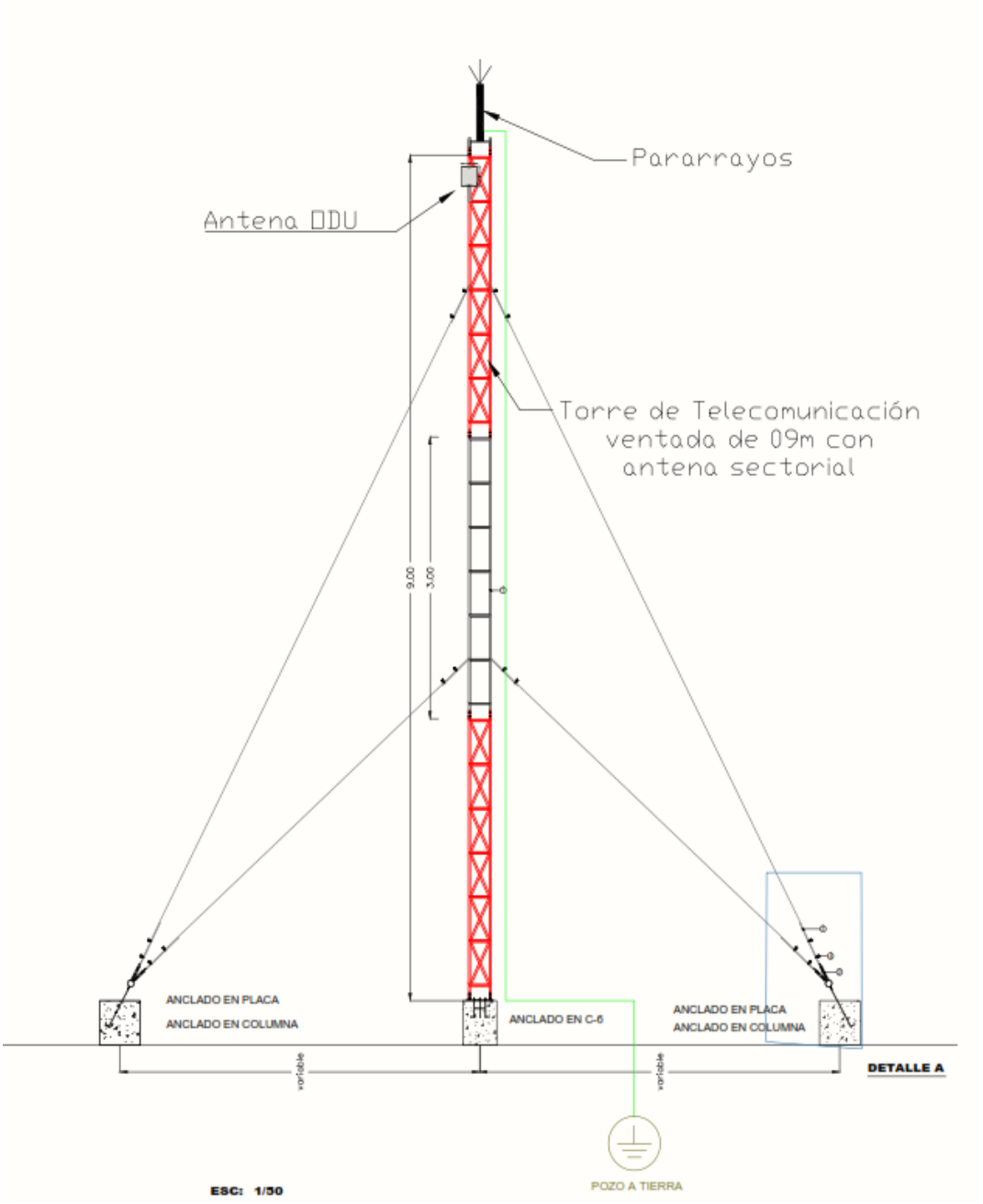
Fuente: Elaboración propia.

6.1.3. Distribución de equipos en la Torre

A 1.5 m de la parte más alta de la torre está instalado el tetrapuntal del pararrayos. De este sale un cable de cobre que se conecta a la puesta a tierra. La puesta a tierra de cada equipo está empalmada a la torre y también está conectada a la puesta a tierra en su base. Luego, se colocarán las antenas de acuerdo a las alturas configuradas en el RadioMobile. A la misma altura de las antenas, se colocarán los equipos WiMAX. La interconexión entre las antenas y los equipos WiMAX serán realizadas mediante dos conectores RPSMA[4] hembras. Se dispondrá de un inversor de corriente para los equipos electrónicos. El controlador de carga será conectado, mediante el cable de energía solar a los paneles y baterías. Una caja metálica contendrá una extensión de corriente, el controlador de carga y el inversor de corriente. Dicha caja será colocada aproximadamente a 1.7 metros de la base. A 1.2 metros debajo de la caja metálica, se colocarán otras cajas metálicas, las cuales contendrán a las baterías. Las baterías (cada una estará colocada dentro de una caja metálica) que alimentarán los equipos WiMAX deberán estar conectadas en paralelo mediante el cable de energía. A seis metros de la base se colocarán los soportes de los módulos solares; de tal manera, que cuando se realice mantenimiento en la torre no se presenten problemas para desplazarse a través de la torre. Se puede apreciar la distribución de los equipos en la ***Imagen 13***.

[4] SubMiniature versión A (SMA), es un conector coaxial desarrollado en 1960.

Imagen 13. *Distribución de equipos en la torre.*

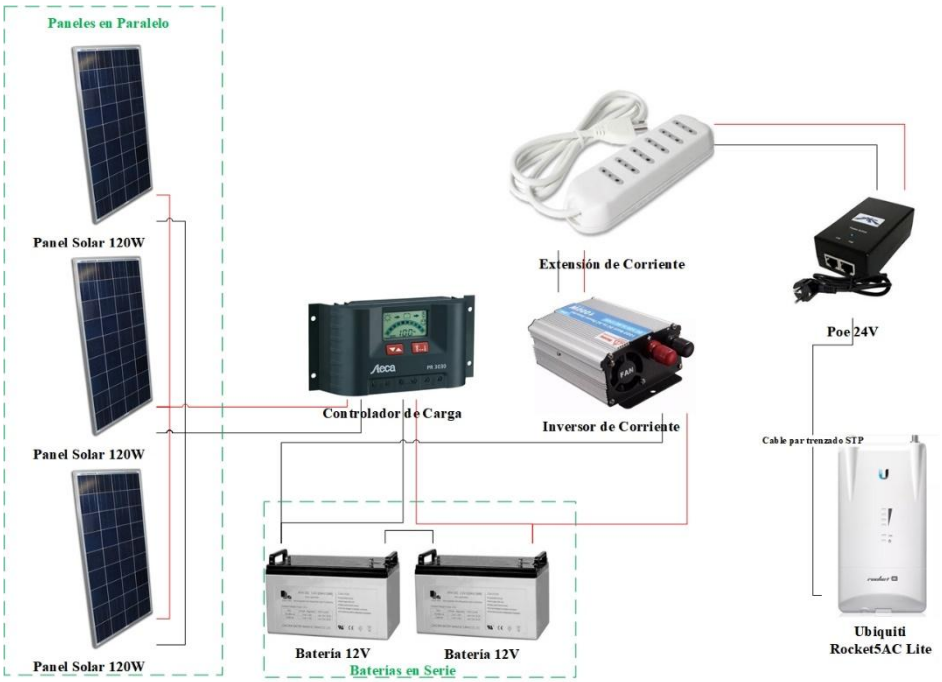


Fuente: Elaboración Consultor CAD.

6.1.4. Subsistema de energía

El rol principal de este subsistema es proveer de energía a distintos equipos de Telecomunicaciones adaptándose a sus requerimientos. Adicionalmente, proveen de un resguardo de energía con la utilización de un banco de baterías con lo cual se brinda autonomía suficiente para su operación durante las 24 horas del día. Las estaciones base están conformadas por una unidad en banda base y las unidades de radio remota. Los radios Ubiquiti utilizados para los enlaces microondas trabajan a 20-26 V DC. Gracias a los adaptadores podemos convertir 220 V AC (energía entregada por el inversor de corriente) a 24V. En la **Imagen 14,** se muestra el esquema básico del subsistema de energía.

Imagen 14. *Esquema del sistema fotovoltaico.*



Fuente: Elaboración Propia.

6.1.5. Pozo a tierra

La instalación del sistema de puesta a tierra deberá ser realizada por un proveedor autorizado, el cual deberá verificar y garantizar el correcto funcionamiento del sistema de puesta a tierra. Como mínimo este deberá contar con los siguientes componentes:

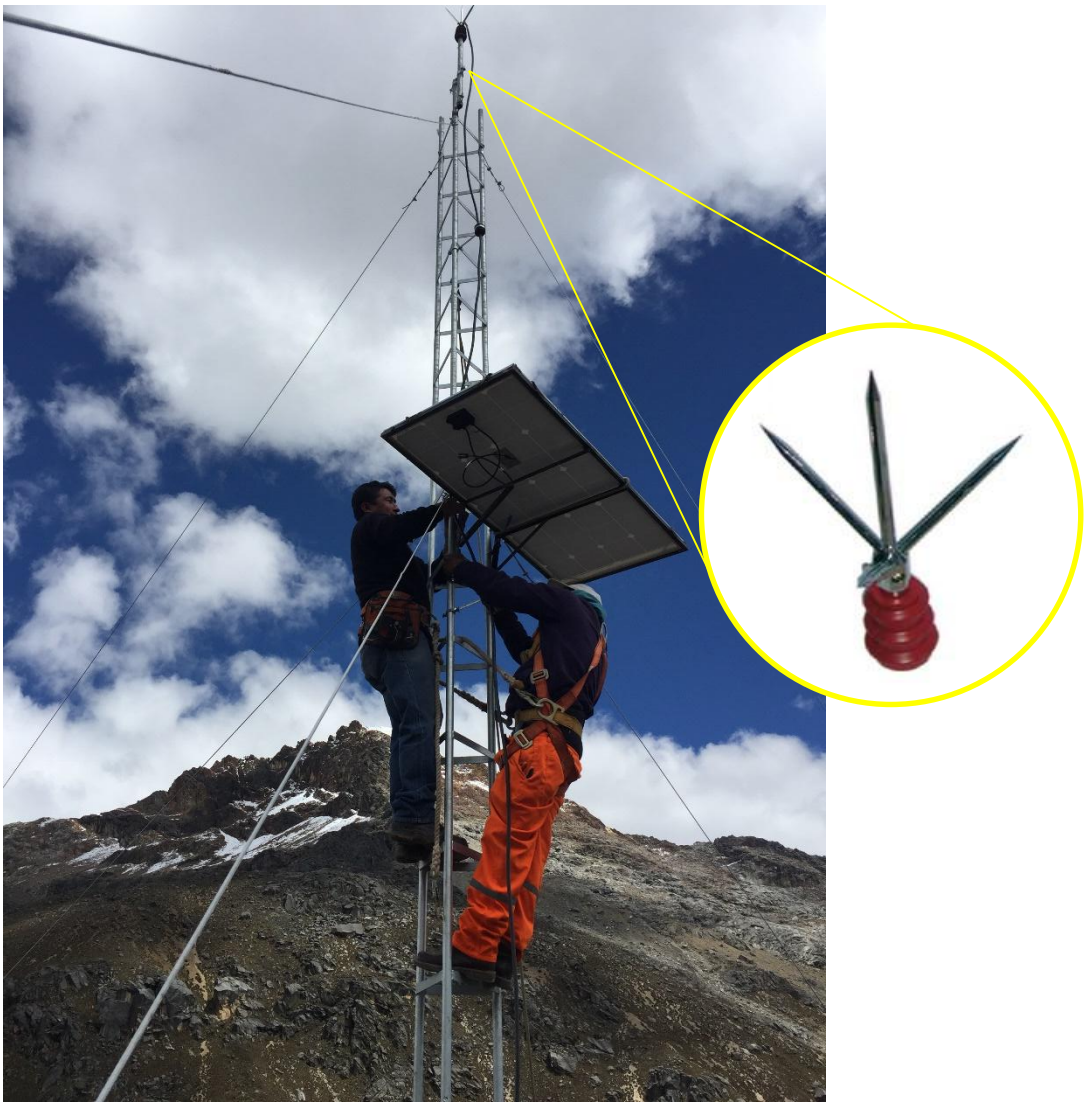
- Fleje de cobre (0,8mm*7cm*40m)
- Bentonita natural (saco 20 kg)
- Sal industrial (saco de 50 kg)
- Soldadura exotérmica (65 gr)

Fotografía 3. *Caja de registros del pozo a tierra.*

Fuente: Elaboración Propia.

Adicionalmente se instalará un pararrayos tetra puntual (Franklin) en lo alto de la torre y se conectará al sistema de puesta a tierra a través de un cable de cobre. Con esta configuración se espera paliar las descargas eléctricas en la zona.

Fotografía 4. *Instalación del pararrayos tetrapuntal Franklin.*



Fuente: Elaboración propia.

6.1.6. Configuración de equipos Ubiquiti

El acceso al equipo WiMAX será realizado vía web. El usuario y la contraseña no se pueden revelar por efectos de seguridad. Los equipos WiMAX deben estar configurados con las direcciones IP mostradas en la **Tabla 19**. En la ventana de *Settings* pestaña *Network* se realizan las configuraciones de Networking. Asimismo, en la ventana *Wireless*, se realizan las configuraciones del radio y antena. Los valores de los parámetros a ingresar pueden ser tomados de la **Tabla 20**.

Tabla 19. *Dirección IP de los equipos WiMAX.*

Id	Enlaces	Dirección IP equipos WiMAX
1	Huaraz	A8-E4-AC-EF-08-DD/28
	Churup	A8-E4- 91-6B-43-C3/28
2	Churup	A8-E4- 8A-8F-D8-68/28
	Palcacocha	A8-E4- 82-C8-27-40/28

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 20. Parámetros de Configuración de los enlaces en los quipos WiMax.

Id	Enlaces	Frecuencia de Canal (MHz)	Duración de la Trama (ms)	Maxima Distancia del Nodo (Km)	Ancho de banda de canal (MHz)
1	Huaraz	5540	1.25	12	30
	Churup	5540	1.25	12	30
2	Churup	5810	2.32	9.9	30
	Palcacocha	5810	2.32	9.9	30

Fuente: Elaboración propia.

6.2. Pruebas

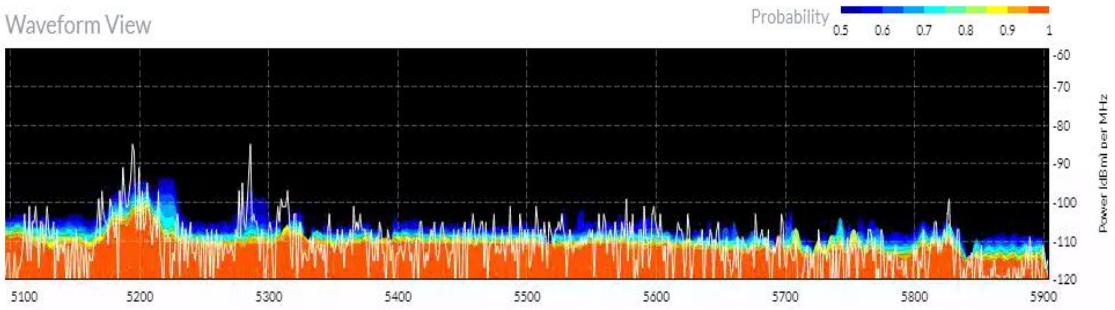
Se procedió a medir la saturación del espectro radioeléctrico y la comunicación entre los nodos ubicados a través de la red de transporte. Así mismo, se midió el tiempo de latencia entre los equipos.

6.2.1. Medición del espectro radioeléctrico

Considerando que el espectro radioeléctrico es un recurso natural de carácter limitado y que constituye un bien de dominio público, se procedió a realizar un mapeo del espectro en los nodos de Huaraz y Churup.

La **Imagen 15**, muestra una vista del comportamiento de onda en tiempo real. Los equipos RocketR5AC-Lite poseen una herramienta denominada *Airview* un visor de imágenes que mapea el espectro en la banda de 5100 MHz hasta los 5900 MHz.

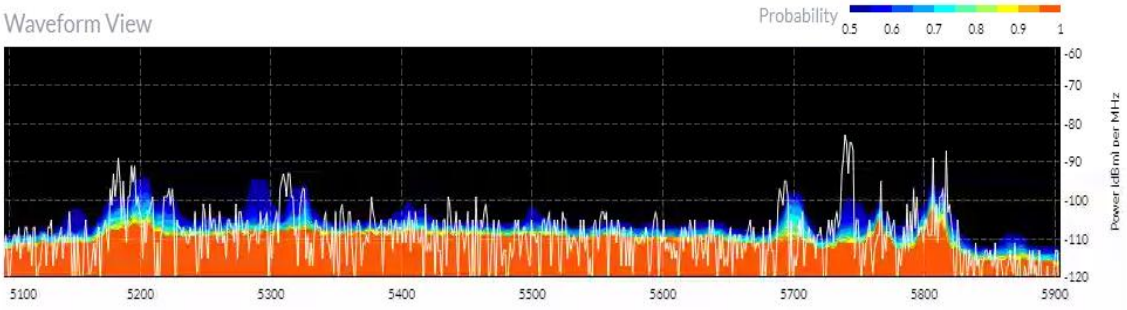
Imagen 15. *Mapeo del espectro radioeléctrico del nodo de Huaraz.*



Fuente: Elaboración Propia.

En el caso de la **Imagen 15**, se observan ligeros picos en el intervalo de frecuencia de 5170 MHz hasta 5230 MHz, según la gráfica los picos indican un ruido de -90 dBm en dicha zona. Sin embargo, para efectos de la investigación no representan un problema, de igual forma, se observa en la **Imagen 16,** un índice de ruido de -80 dBm en la banda 5800 MHz.

Imagen 16. *Mapeo del espectro radioeléctrico del nodo de Churup.*



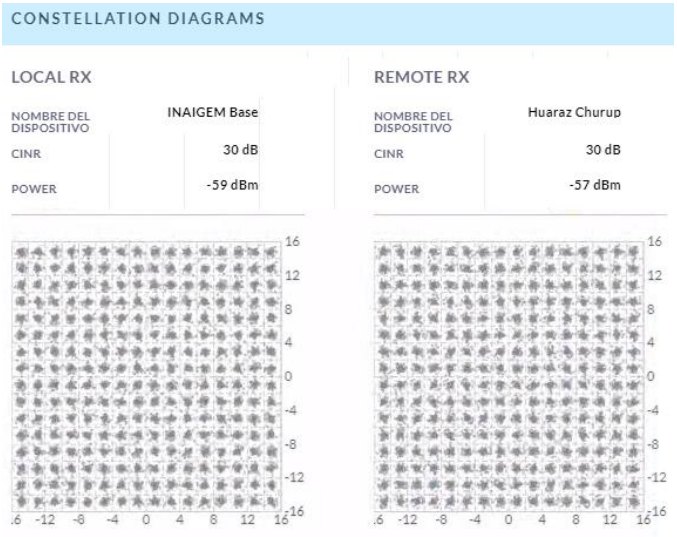
Fuente: Elaboración Propia.

6.2.2. Diagrama de constelación entre nodos

Las **Imágenes 17 y 18**, muestran el proceso de modulación digital a través del protocolo 256QAM – MIMO, En el caso de un canal de transmisión ideal, sin ruido ni interferencias, todos los símbolos son reconocidos por el demodulador sin errores. En este caso, son representados en el diagrama de constelación como puntos bien definidos que impactan en la misma zona formando un punto muy concentrado. El ruido y las interferencias provocan que el demodulador no siempre lea los símbolos de forma correcta. En este caso los impactos se

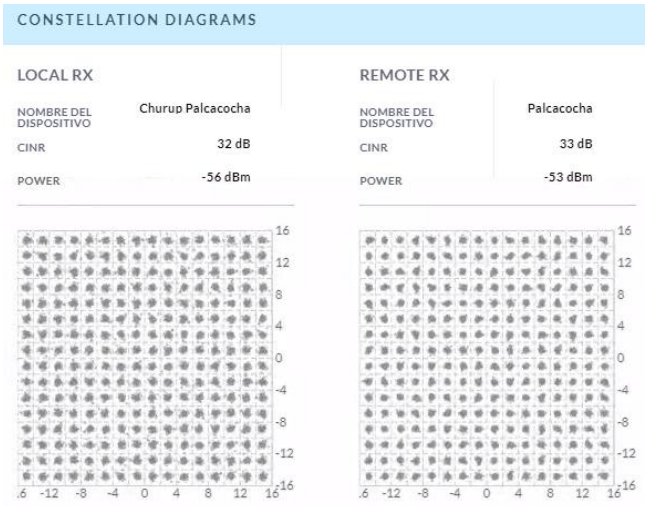
dispersan y se crean diferentes formas que van a permitir determinar de un vistazo el tipo de problema en la señal.

Imagen 17. *Diagrama de constelación para los nodos Huaraz - Churup.*



Fuente: Elaboración Propia.

Imagen 18. *Diagrama de constelación para los nodos Churup - Palcacocha.*



Fuente: Elaboración Propia.

CAPITULO VII: IMPLEMENTACIÓN

7.1. Monitoreo y evaluación de la solución

En este apartado se realiza el seguimiento de la instalación y configuración de los equipos de telecomunicación. Así mismo, se verifica el rendimiento de la transmisión y recepción de paquetes en los nodos finales de la red.

7.1.1. Monitoreo del hardware de las estaciones de radio

La configuración del sistema de comunicaciones utilizado en cada nodo se muestra en la **Imagen 14**. Se puede observar, cada una de ellas lleva los siguientes componentes:

- Antenas
- Radio transceptor
- Fuente de alimentación
- Inversor de corriente
- Paneles solares
- Controlador de carga

7.1.1.1. Antenas

Las antenas son los transductores que convierten las señales eléctricas provenientes del radio transceptor en ondas electromagnéticas. También realizan el proceso inverso: las ondas electromagnéticas recibidas del espacio son convertidas en señales eléctricas que son enviadas al transceptor a través de las líneas de transmisión.

En el enlace de comunicaciones se utilizó el arreglo de antenas de Plato Direccionales desde el nodo Huaraz hasta Churup. Así mismo, se replica la señal desde Churup hasta Palcacocha. Sus principales características se muestran en la **Tabla 21**, Observar que la frecuencia de trabajo de las antenas es de 5.1 a 5.8 GHz.

Tabla 21. *Especificaciones de las antenas del enlace Huaraz - Churup.*

Parámetro	**Antenas entre los nodos de Huaraz y Churup**
Tipo	Antena de tipo plato direccional, polarización *dual-linear*
Cantidad	2 antenas en arreglo de punto a punto (PtP)
Dimensiones	650 x 650 x 386 mm
Peso	7.4 kg
Frecuencia de operación	5.1 - 5.9 GHz
Ganancia	30dBi

Fuente: Datasheet RocketDish.

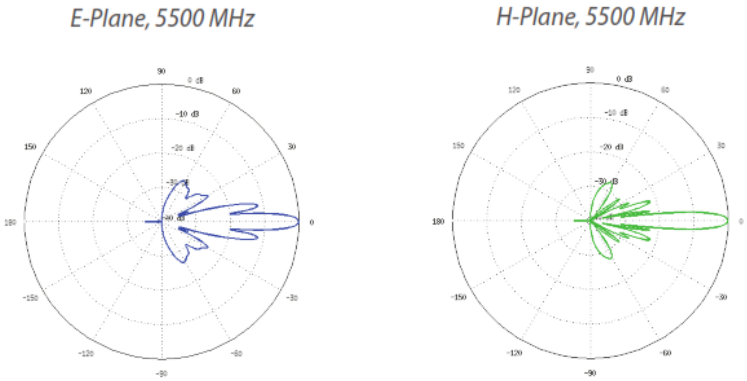
Tabla 22. *Especificaciones de las antenas del enlace Churup - Palcacocha.*

Parámetro	**Antenas entre los nodos Churup - Palcacocha**
Tipo	Antena de tipo plato direccional, polarización *dual-linear*
Cantidad	2 antenas en arreglo de punto a punto (PtP)
Dimensiones	650 x 650 x 386 mm
Peso	7.4 kg
Frecuencia de operación	5.1 - 5.9 GHz
Ganancia	30dBi

Fuente: Datasheet RocketDish.

En las especificaciones técnicas del proveedor podemos encontrar la simulación de la polarización de la antena, se puede observar en la **Imagen 19**, que la onda radiada por la antena se expande notablemente en el lóbulo frontal, además, presenta una ligera expansión de los lóbulos laterales.

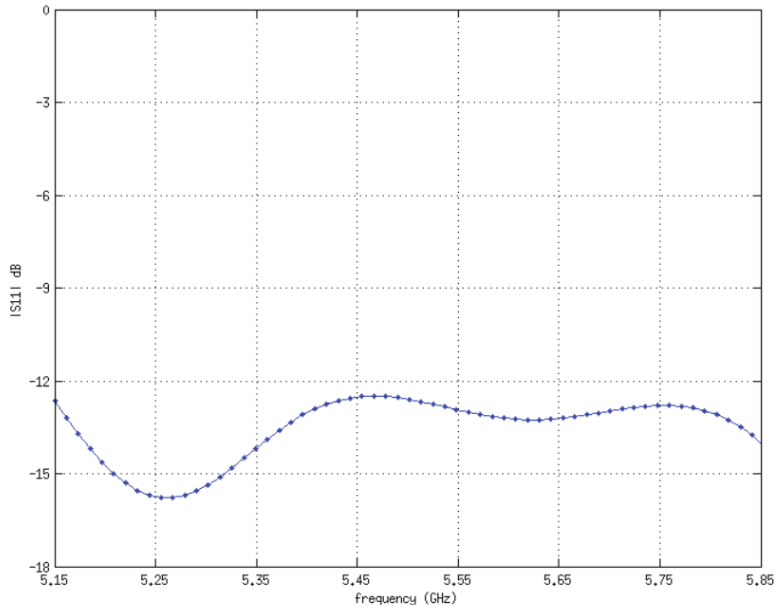
Imagen 19. *Propagación del vector de radiación en el campo eléctrico.*



Fuente: Datasheet RocketDish.

La pérdida de retorno o potencia de señal devuelta/reflejada se muestra en la **Imagen 20**; se puede observar que en la banda 5.85Ghz se tiene una pérdida de -12 dB.

Imagen 20. *Comportamiento de la perdida de retorno.*



Fuente: Datasheet RocketDish.

El arreglo de antenas en su conjunto debe tener la misma impedancia que las líneas de transmisión y que el radio transceptor, de lo contrario ocurriría un desbalance de impedancias y la transmisión ineficiente de potencia que podría dañar los equipos. El acoplamiento y balance de las antenas se realizó mediante las indicaciones descritas en las especificaciones técnicas del proveedor.

En la **Fotografía 5,** se muestran las antenas ubicadas en los nodos de Huaraz – Churp – Palcacocha respectivamente:

Fotografía 5. *Comportamiento de la perdida de retorno.*

Fuente: Datasheet RocketDish.

7.1.1.2. Radio transceptores

Los radios transceptores cumplen dos funciones básicas en el enlace de comunicaciones: 1) Convierten la información de datos, audio y video en señal eléctrica a transmitir mediante procesos de modulación y amplificación, y 2) Convierten la señal eléctrica recibida en información de datos, audio y video mediante procesos de demodulación y amplificación.

En apartados anteriores se han seleccionados radio transceptores de la marca Ubiquiti, que han sido diseñados para el uso de radio aficionados debido a que permiten controlar la potencia de transmisión, transmitir y recibir en diversos rangos de frecuencias y operar con diferentes tipos de modulación, Sus especificaciones se muestran en la **Tabla 23**, y en la **Imagen 21,** se aprecia una imagen del equipo.

Tabla 23. *Especificaciones de las antenas del enlace Churup - Palcacocha.*

Parámetro	**Radio transceptores instalados en los nodos Huaraz - Churup - Palcacocha**
Marca	Ubiquiti
Modelo	RocketAC-Lite
Potencia Máxima	0.5W (27 dBm)
Bandas	5150 – 5850 Mhz
Modos	Punto a Punto y Punto a Multipunto
Voltaje	20 - 26 V
Servicio	Módulo de Administración Web

Fuente: Datasheet RocketAc.

Imagen 21. *Radio transceptor Ubiquiti RocketAc-Lite.*

Fuente: Datasheet RocketAc.

7.1.1.3. Fuente de alimentación

Los radios transceptores utilizados están diseñados para funcionar con una tensión continua nominal de 24VDC, que son proporcionadas por dos baterías solares de 12V, dichas baterías están configuradas en modo paralelo de tal modo que se incrementa el amperaje para alcanzar las necesidades de consumo de los equipos.

Tabla 24. *Especificaciones de las fuentes de alimentación.*

Parámetro	**Baterías Solares**
Marca	Ritar
Modelo	DC12-100
Tipo	Batería de plomo, tipo VRLA-AGM, de ciclo profundo, libre de mantenimiento
Corriente Máxima	100AH @ 12V VDC

Fuente: Datasheet Ritar.

Imagen 22. *Batería solar de ciclo profundo Ritar.*

Fuente: Ritar.com.

7.1.1.4. Inversor

Este instrumento se utiliza para convertir un determinado voltaje de entrada de Corriente Continua (CC en español, DC en inglés) en otro voltaje de salida de Corriente Alterna (CA en español, AC en inglés). Es decir, recibe corriente continua de un determinado voltaje y proporciona corriente alterna generalmente de un voltaje diferente al de entrada.

El instrumento que se utilizó durante las pruebas se muestra en la **Imagen 23** y sus especificaciones se muestran en la **Tabla 25.**

Tabla 25. Especificaciones de las fuentes de alimentación.

Parámetro	**Inversor**
Tensión de entrada	12V a 18V
Tensión de salida	110V/220V
Frecuencia de salida	50Hz/60Hz
Potencia	300 W
Salida USB	5V
Función de protección	Cortocircuito, Sobrecarga, Sub tensión, Sobre tensión, Sobrecalentamiento

Fuente: Datasheet Ritar.

Imagen 23. *Inversor Meind.*

Fuente: Meind.

7.1.1.5. Paneles solares fotovoltaicos

Los paneles solares fotovoltaicos constan de múltiples de celdas, llamadas células fotovoltaicas, que convierten la radiación solar en electricidad. Se genera electricidad debido al "efecto fotovoltaico" que provoca la energía solar, generando cargas positivas y negativas en dos semiconductores próximos de distinto tipo, lo que genera un campo eléctrico que producirá corriente eléctrica.

El tipo de panel solar que se empleó para la instalación fue el silicio monocristalino, debido a la mayor tasa de eficiencia que adquieren al ser fabricados con silicio de alta pureza. Considerando las especificaciones técnicas

del proveedor se denota que la eficiencia de los paneles está por encima del 15%. En la **Tabla 26**, se describe las características técnicas del panel solar empleado.

Tabla 26. *Especificaciones del panel solar.*

Parámetro	**Inversor**
Potencia máxima	120W
Tensión potencia óptima	12VDC
Corriente punto de máxima potencia	15A
Tensión de circuito abierto	22.5V
Modulo solar	Monocristalino
Eficiencia de Célula (+/- 3%)	17%
Eficiencia de módulo (+/- 3%)	15%

Fuente: Datasheet Panel Solar.

En la **Fotografía 6**, se observa el arreglo de tres paneles solares, instalados sobre la torre en el nodo de Palcacocha. Los paneles están configurados en modo paralelo con la finalidad de ganar mayor amperaje.

Fotografía 6. *Arreglo de tres paneles solares en el nodo Palcacocha.*

Fuente: Toma propia.

7.1.1.6. Controlador de carga

Para garantizar el correcto funcionamiento del sistema fotovoltaico es preciso incluir un equipo encargado de controlar el flujo de carga que se genera en los paneles solares y se dirige al arreglo de baterías. Para ello, se procedió a instalar un controlador de carga que evita la sobrecarga de energía en las baterías, en la **Tabla 27**, se describe las especificaciones técnicas de controlador.

Tabla 27. *Especificaciones del Controlador de Carga.*

Parámetro	Inversor
Tensión de operación	12V / 24V
Amperaje	60A
Tensión del puerto USB	5V

Fuente: Datasheet Controlador de Carga.

Imagen 24. *Controlador de corriente 12V/24V 60A.*

Fuente: Aeca.

CAPITULO VIII: RESULTADOS

8.1. Presentación ordenada de los resultados de la investigación

Como se describió en el capítulo anterior, la implementación de los equipos se realizó de forma modular e integrada, dada la finalidad de elaborar un trabajo que considere el abaratamiento de costos referente a la adquisición de equipos, y la independencia tecnológica. Los componentes sistémicos considerados para conformar el sistema de transmisión inalámbrica en alta montaña fueron, el subsistema estructural, el subsistema eléctrico y el sistema de telecomunicación, al ser este último el *core business* de la investigación se le pondrá mayor atención y detalle en la descripción de resultados.

Con la intensión de proporcionar mayor claridad en la exposición de resultados se procedió a separar el capítulo en dos grupos correspondientes a los nodos desplegados desde la ciudad de Huaraz hasta el cerro Churup y desde el cerro Churup hasta Palcacocha.

El análisis se basa en la descripción de los parámetros que arroja el equipo Ubiquiti RocketAC-Lite a través del gestor de administración web que se incluye en cada nodo de la red.

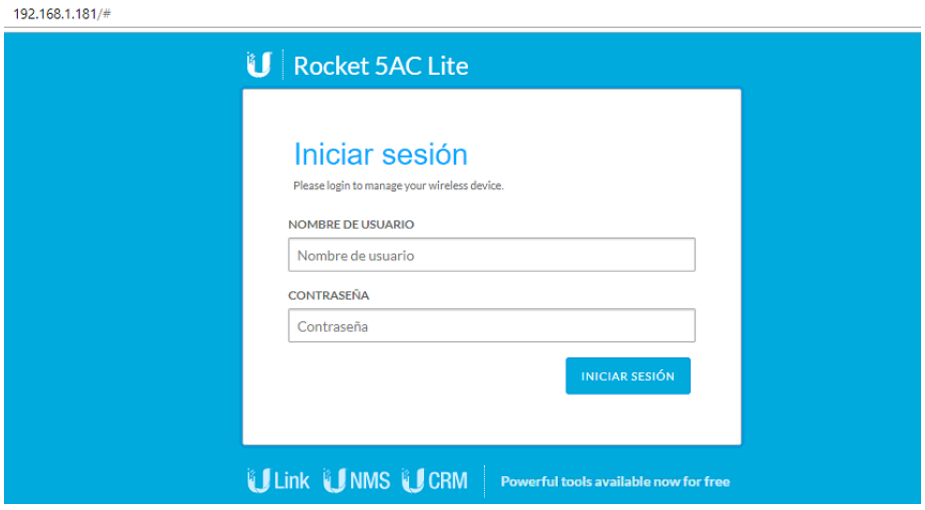
8.1.1. Resultados de la conexión Huaraz - Churup - Palcacocha

Antes de establecer el radioenlace de conexión punto a punto entre los nodos de Huaraz, Churup y Palcacocha. A continuación, se pone en práctica y se evalúa en detalle los resultados de las configuraciones planteadas en el Capítulo V.

8.1.1.1. Autenticación de administrador

Los equipos RocketAC Lite ofrecen un panel de administración desde una aplicación desplegada a través de un servidor web en cada equipo. Para ingresar al modo de administrador por primera vez se debe introducir las credenciales de acceso a través de la siguiente dirección http://192.168.1.20, una vez hecho esto automáticamente nos arrojara el formulario de *login*. En la **Imagen 25**, se puede apreciar el formulario de acceso de uno de los equipos.

Imagen 25. *Formulario de Ingreso radio Ubiquiti RocketAc-Lite.*

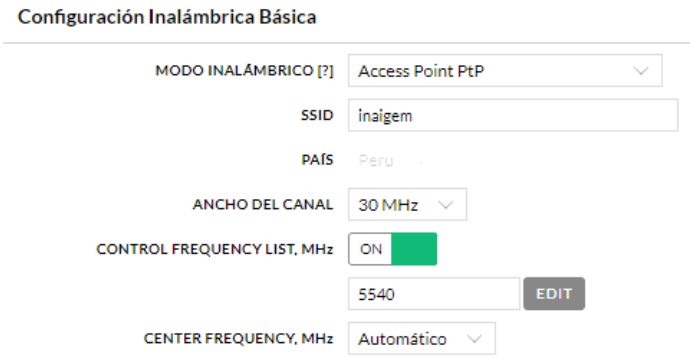


Fuente: Captura propia.

8.1.1.2. Configuración inalámbrica

En la sección de configuración inalámbrica se estableció el modo inalámbrico en la opción *Access Point* punto a punto (PtP), esto, debido a la necesidad de conexión con un único dispositivo ubicado remotamente. El identificador del servicio (SSID) corresponde al nombre la institución *"inaigem"*. La configuración del país se estableció en Perú, el ancho de canal según las consideraciones de la **Tabla 20,** asciende a 30 Mhz, dicha elección obedece a la mejor opción donde se necesita un alto rendimiento en zonas donde el nivel de interferencia es relativamente bajo. La opción *Control Frequency List*, se fija en activo para establecer el rango de operación de la conexión denotado por [Fob-Bw/2 – Fob+Bw/2] donde *Fo* es la frecuencia de operación base y *Bw* representa el ancho de canal. Considerando la frecuencia de operación base en 5540 Mhz se obtiene el siguiente rango de operación [5525 – 5555] Mhz. En la **Imagen 30** se observa la configuración de parámetros.

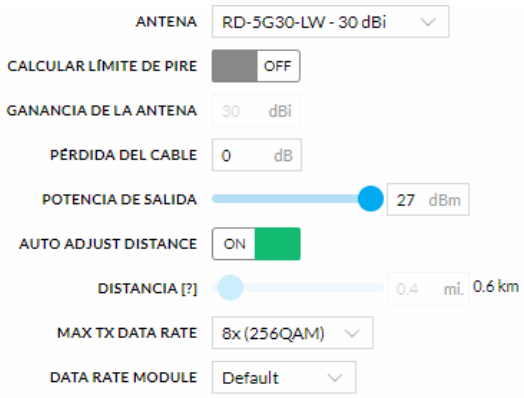
Imagen 26. *Configuración inalámbrica básica.*



Fuente: Captura administrador del equipo Ubiquiti RocketAc Lite Huaraz.

Otro aspecto importante que se debe considerar es la configuración de la antena y los parámetros que recibe en función del tipo y modelo. En nuestro caso y como se mencionó en la **Tabla 21** empleamos una antena de tipo plato que opera en la banda de 5.1 GHz hasta los 5.9 GHz, los valores de ganancia ascienden a 30 dBi y teniendo en cuenta que la longitud del cable STP no alcanza los 20 m la pérdida del cable se establece en el valor de 0. La potencia de salida es un parámetro que depende del radio *Ubiquiti RocketAc-Lite*, por ello, en base a las especificaciones de dicho equipo consideramos la potencia máxima de radiación en 27 dBm. Así mismo, se establece en activo el mecanismo de *Auto Adjust Distance* para aprovechar la herramienta que permite calcular automáticamente la distancia entre los dos puntos de conexión. Finalmente se elige la modulación digital 256QAM, el cual nos permite obtener una mayor taza de bits o velocidad de transmisión. En la **Imagen 27**, se puede apreciar los valores de configuración mencionados.

Imagen 27. *Parámetros de la antena RocketDish Lw.*



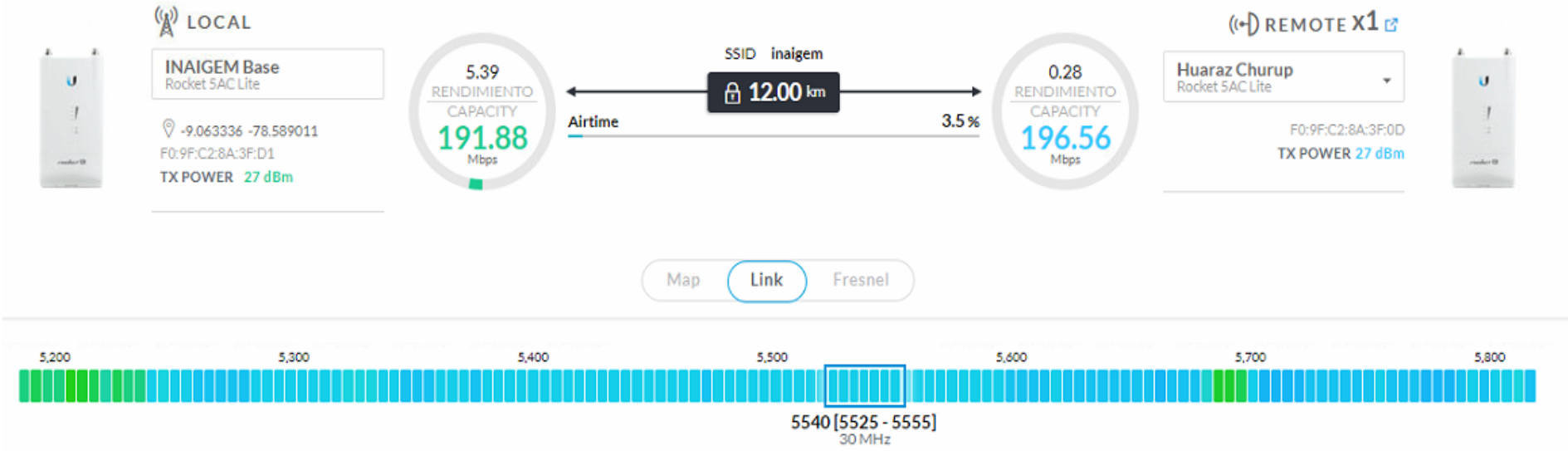
Fuente: Captura administrador del equipo Ubiquiti RocketAc Lite Huaraz.

8.1.1.3. Resultados del radioenlace entre Huaraz y Churup

Luego de establecer la configuración en la sección anterior, en este apartado se describe el resultado obtenido del radioenlace entre los nodos. La primera interfaz del *Dashboard* muestra una conexión entre equipo ubicado en la estación base de Huaraz y el nodo de Churup, se puede apreciar que el radioenlace alcanza una capacidad 194.5 Mbps en ancho de banda. Sobre el comportamiento del *AirTime* se observa que el cálculo arroja un valor entre 3.3% y 3.8% este resultado se interpreta como la cantidad de uso del ancho de banda en un momento determinado, en efecto, al momento de procesar la **Imagen 28** para la interpretación de resultados, se cuenta con una cámara de video instalada en el nodo Palcacocha, transmitiendo video en tiempo real hasta ciudad de Huaraz, posteriormente se entrara en detalle sobre este tema. Se calcula que la carga de genera la cámara asciende a 6.4 Mbps, esto explica el valor del tráfico en el *AirTime* de 3.3% sobre los 194.5 Mbps de la capacidad total.

La herramienta *Auto Adjust Distance* configurada en la sección anterior entra en escena por la gran funcionalidad que ofrece al calcular automáticamente la distancia entre los nodos del radioenlace cuyo valor asciende a 12 Km, considerando que los equipos RocketAc-Lite no cuentan con un chip integrado de GPS, se entiende que el cálculo se realiza mediante el muestreo y análisis del tiempo empleado en el envío y recepción de paquetes de datos entre los nodos a través del protocolo de modulación digital 256QAM.

Imagen 28. *Resultados del enlace Huaraz - Churup.*



Fuente: Captura administrador del equipo Ubiquiti RocketAc Lite Huaraz.

8.1.1.4. Resultados del radioenlace entre Churup y Palcacocha

La interfaz del *Dashboard* en la **Imagen 30,** muestra el segundo tramo de conexión del sistema inalámbrico, específicamente entre los nodos ubicados en Churup y Palcacocha, se puede notar, que la capacidad del ancho de banda alcanza los 196.5 Mbps. De acuerdo a la herramienta *AirTime* se observa que los valores oscilan entre 3.3% y 3.8%.

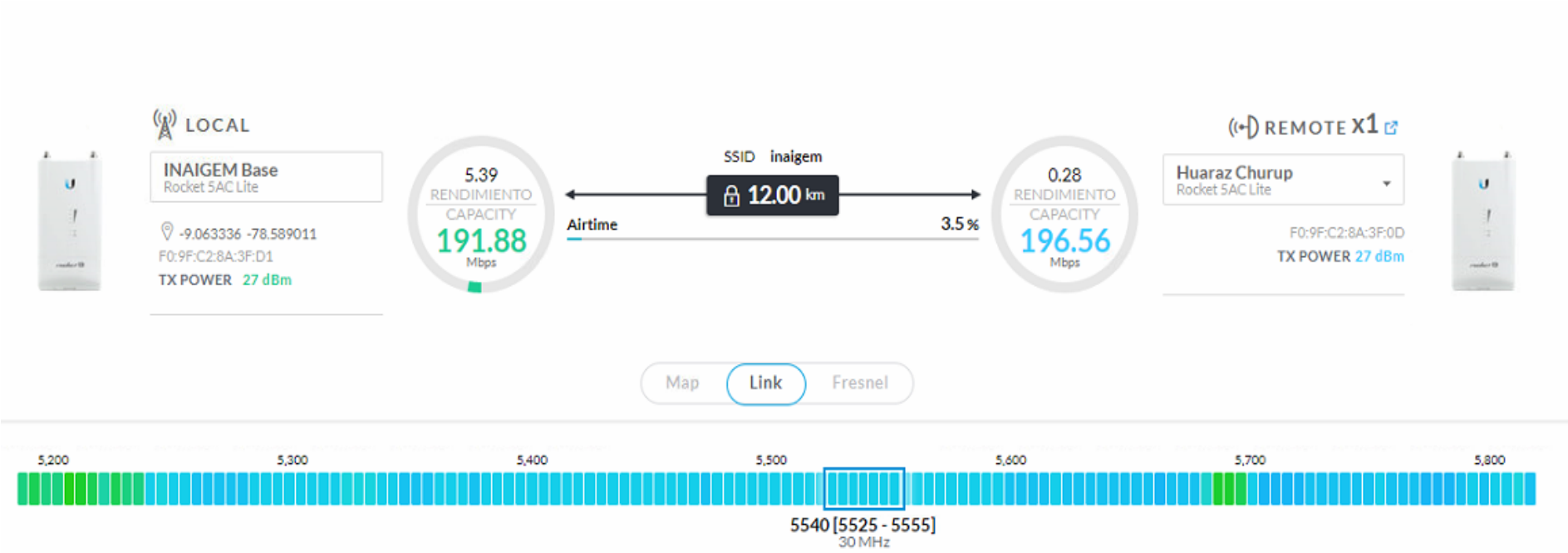
La herramienta *Auto Adjust Distance*, calcula una distancia de 9.75 km entre los dos nodos del radioenlace. Además, es importante resaltar la ausencia de ruido en la banda 5GHz, esta aseveración surge gracias a la herramienta *AirView*, el cual mapea el espectro electromagnético y genera un informe visual de ruido a través de una escala de colores que se muestra a continuación en la **Imagen 29.**

Imagen 29. *Escala de colores para la intensidad de ruido.*

Fuente: Captura administrador del equipo Ubiquiti RocketAc Lite Huaraz.

Los valores entre -125 y -105 dBm representan la porción del espectro radioeléctrico con un ambiente de ruido imperceptible, esta condición se explica debido a la inexistencia de redes inalámbricas en alta montaña. Sin embargo, un intervalo de ruido entre -85 y -65 dBm representaría un escenario más desfavorable por la acumulación de señales que atenuarían toda comunicación.

Imagen 30. *Resultados del enlace Huaraz - Churup.*



Fuente: Captura administrador del equipo Ubiquiti RocketAc Lite Huaraz.

8.1.2. Resultados de la red de acceso en el nodo Palcacocha

En el nodo Palcacocha se instaló un equipo denominado *NanoStation M2*, el cual, a través de su configuración punto a multipunto; cumple la función de establecer una red de acceso inalámbrica en la banda 2.4 GHz. Específicamente el equipo trabaja en el rango de frecuencias de 2412-2462 MHz operando como un punto de acceso inalámbrico, es importante resaltar esta característica considerando que la mayoría de equipos inalámbricos (ej. teléfonos móviles, equipos de cómputo portátil, sensores) cuentan con antenas *wifi* preparadas para operar en dicha frecuencia. Así mismo, el *NanoStation M2*, cuenta con un puerto adicional *Fast Ethernet*, el cual para efectos de la investigación permite extender la red *Lan* a una cámara minidomo[5] de video vigilancia. En la **Fotografía 7,** se puede apreciar la localización del equipo *NanoStation M2*, situado debajo del segundo panel solar con un azimut de 43° y una elevación de 16°. Finalmente, a través de las pruebas realizadas se púdo apreciar que la potencia de alcance es susceptible a mejoraras aprovechando que los *NanoStation M2* cuentan con conectores RPSMA para añadir antena externa.

[5] Forma de cúpula.

Fotografía 7. *Despliegue de la red de acceso en el nodo Palcacocha.*

Fuente: Toma propia.

Imagen 31. *Cámara Minidomo de videovigilancia de la marca Dahua.*

Fuente: Dahua.com.

8.1.3. Resultados de la transmisión de datos desde el nodo Palcacocha hasta la ciudad de Huaraz

En esta sección se describirán las pruebas realizadas en función a los requerimientos planteados en el capítulo de análisis. Dichos requisitos se resumen en la transmisión de video, voz y data.

8.1.3.1. Transmisión de video

Para realizar la transmisión de video se empleó una cámara de video vigilancia de la marca *Dahua*[6]. El detalle de las características técnicas está adjunto en la sección de anexos. Sin embargo, lo más resaltante de estos equipos es el soporte para el transporte de datos bajo el protocolo *IP*, esta característica se articula muy bien al enfoque de transmisión desplegada a causa de compartir el paradigma digital en ambas arquitecturas. Los equipos *Dahua* emplean el protocolo de video H.264/MJPEG, el cual, nos permite obtener video e imágenes en diferentes formatos de resolución desde los 1080P(1920x1080) hasta los /720P(1280x720) / D1(704x576/704x480). Según las especificaciones la tasa de bits capaz de transmitir el equipo asciende a los 8192Kbps, una cifra considerable que posibilitaría la transmisión de dos canales de video a una resolución de 1980P (Full HD). Otra característica importante de la cámara, es el bajo consumo energético que requiere (12 VDC y < 4.5 W). En la **Imagen 32,**

[6] Empresa dedicada al rubro de fabricación de tecnologías.

se observa los resultados de la trasmisión de video en tiempo real, en el momento de la captura la cámara aún conservaba un protector de plástico el cual opacaba algunas secciones de la imagen.

Imagen 32. *Vista de la Laguna Palcacocha en tiempo real.*

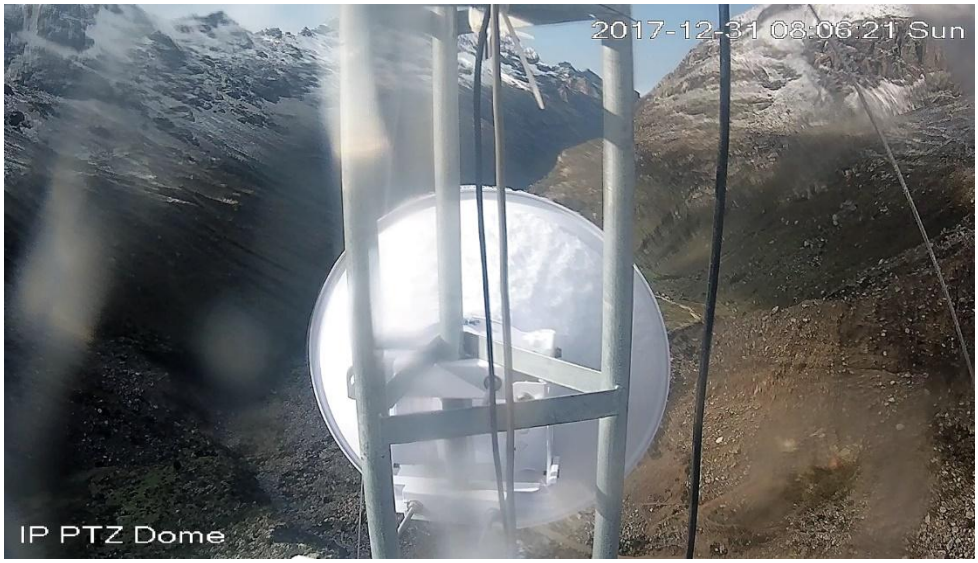
Fuente: Dahua manager.

Aprovechando la funcionalidad de rotación de la cámara se puede monitorear en 360° la vista del lugar enfocado, esto nos permite revisar de forma visual el estado estructural de la torre y las condiciones que afronta el sub sistema fotovoltaico, así mismo, a través de la rotación se puede apreciar la orientación ideal de la antena de tipo plato. Dicha descripción se puede apreciar en las **Imágenes 33, 34**, mostradas a continuación.

Imagen 33. *Monitoreo del sistema fotovoltaico.*

Fuente: Dahua manager.

Imagen 34. *Monitoreo del sistema fotovoltaico.*



Fuente: Dahua manager.

8.1.3.2. Transmisión de voz

Para realizar la transmisión de voz se procedió a emplear un equipo celular conectado inalámbricamente a la red *wifi* desplegada gracias al punto de acceso *NanoStation M2*. La aplicación de celular usada para establecer la comunicación de voz es *WhatsApp*[7],con dicha herramienta aprovechando el protocolo de voz sobre internet (VoIP) y establecemos una llamada desde la Laguna Palcacocha hasta la ciudad de Huaraz.

Actualmente los trabajadores del Gobierno Regional encargados de monitorear los niveles de la Laguna Palcacocha, reportan el estado situacional de la laguna, con una temporalidad de tres veces por día. Esta acción se realiza diariamente y hasta el momento no se han presentado reclamos de caída en el sistema.

Imagen 35. *Interfaz de llamada saliente a través de WhatsApp.*

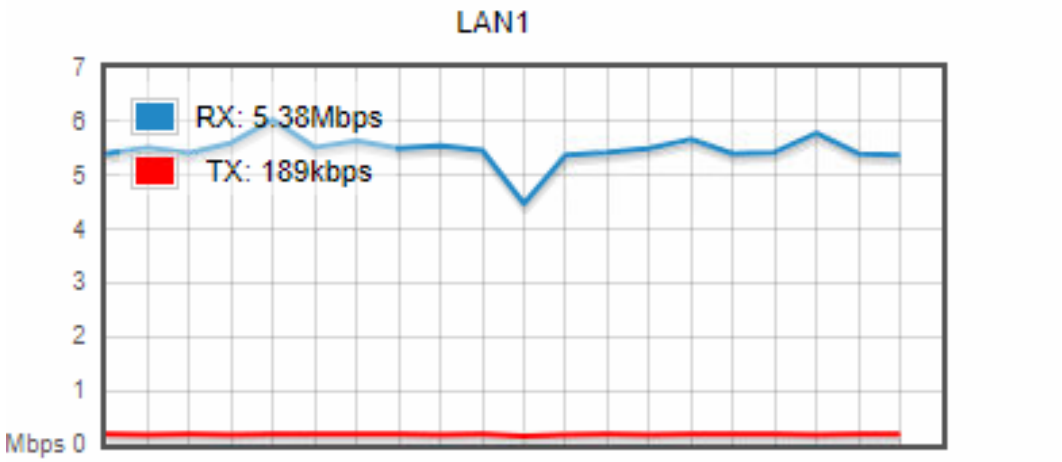
Fuente: Internet.

[7] Aplicación de mensajería mediante internet.

8.1.3.3. Transmisión de datos

Para la transmisión de datos se empleó un equipo de cómputo personal, el cual se conectó a la red *Wifi*. A través de esta conexión se realizaron pruebas de navegación a internet, los resultados muestran una conexión estable de Rx = 5Mbps y Tx = 200Kbps. Estos valores obedecen a un tope de velocidad asignado en la configuración para equipos de cómputo en general.

Imagen 36. *Conexión de datos a través de un equipo de cómputo portátil.*



Fuente: *NanoStation M2* manager.

CAPITULO IX: DISCUCIÓN DE RESULTADOS

9.1. Comentarios y comparación de los resultados con trabajos similares en otro contexto

Los resultados de esta investigación comprueban la hipótesis principal. Se corrobora que la implementación de una red inalámbrica en alta montaña es viable y permite obtener múltiples tipos de datos en tiempo real. Los enlaces inalámbricos permiten una comunicación estable y se observa que las condiciones climáticas en alta montaña no afectan el desempeño de los equipos de telecomunicaciones y fotovoltaicas. Así mismo, la obtención de las imágenes y videos en tiempo real vienen siendo empleadas en el Centro de Operaciones de Emergencia (COER), el Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña (INAIGEM) y la Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo (UNASAM).

La hipótesis se relaciona con lo dicho por (Azharuddin & Prasanta K, 2015b) que propone un algoritmo distribuido para el enrutamiento eficiente y tolerante a fallas en redes de sensores inalámbricos. Dicho algoritmo emplea cabezales de clúster basados en la capacidad de enrutar y restaurar cuidadosamente la conectividad de los dispositivos en los nodos de conexión.

En relación a la disponibilidad de ancho de banda y estabilidad de conexión entre las estaciones Punto a Punto (PtP), se observo que la utilización del algoritmo de modulación 256 QAM permiten una capacidad de transmisión de banda ancha

y están próximas a constituirse en un punto fuerte en miras de la evolución de las redes inalámbricas, esto confirma lo dicho por (Hossain et al., 2014) que expone una perspectiva de gestión de interferencias, empleando esquemas existentes a fin de superar las limitaciones y hacerlas adecuadas para los sistemas emergentes 5G.

En relación al ruido de los enlaces y la capacidad de transporte se observó que la elección del ancho de canal y las bandas de frecuencia libres situadas a 5800 MHz producen mejores resultados que las soluciones hibridas de backhoul planteadas por (Dahrouj et al., 2015) en su estudio sobre la rentabilidad de sistemas inalámbricos empleando bandas RF/FSO.

En relación al costo beneficio del proyecto se demuestra que es viable desplegar y mantener una red inalámbrica en alta montaña empleado la tecnología WIMAX. Los costos del despliegue no sobrepasan los S/. 50 000 y la operación y mantenimiento es compartida por las entidades beneficiadas del proyecto. Sin embargo, esto contradice lo expuesto por (Alvarado Tolentino, 2016) en su elaboración de un perfil para la creación del servicio de alerta temprana frente al riesgo de aluvión en la población de la sub cuenca de Quillcay. Mancomunidad Municipal de Waraq, distrito de Independencia-Huaraz-Ancash. Donde se plantea una solución de radioenlace en frecuencias de banda licenciadas y monto presupuestal de S/. 4 500 000.

CONCLUSIONES

1. Los enlaces Punto a Punto (PtP) de la red inalámbrica se implementaron en base a equipos WiMAX empleando frecuencias no licenciadas 5.8 GHz que permiten el tráfico de servicios bajo el protocolo TCP/IP, como voz, datos y video. Se logro calcular la capacidad en los enlaces Punto a Punto (PtP). Considerando que a través del enlace satelital se habría logrado una velocidad aproximada de 5 Mbps, con la red se logró una velocidad de 195.5 Mbps en los enlaces de subida y de bajada para los tres nodos. El incremento de velocidad se debe al cambio de tecnología, el cual es WiMAX.
2. Dado que se planteaba no realizar un pago por el uso de la frecuencia, se ha trabajado el despliegue en base a la frecuencia libre de 5.8 GHz. Los equipos Ubiquiti emplean la banda no licenciada de 5.8 GHz. Las pruebas demostraron que incrementando el ancho de canal a 50 Mhz produce un ancho de banda de 315 Mbps. Esta capacidad podría ayudar a transportar los datos generados por un radar terrestre, entre otras aplicaciones. La capacidad de la red puede soportar hasta 32 cámaras con una configuración de resolución de hasta 1920x1080 píxeles y una velocidad de tramas de 30 cuadros/segundo que no superen un máximo de 6 Mbps.
3. El análisis del espectro demuestra que las bandas no licenciadas en la ciudad de Huaraz presentan una saturación de ruido mínima, esto permitiría el despliegue de nuevas redes a lo largo de la cordillera blanca.

RECOMENDACIONES

1. Se ha elegido realizar la implementación para la estación base con equipos de la marca Ubiquiti y modelo Rocket5AC-Lite. No obstante, si se desea incrementar la capacidad, se podría optar por trabajar con diferentes modelos.
2. Se recomienda realizar un plan de mantenimiento semestral verificando el pozo a tierra y el sistema de cableado de cada nodo.
3. Se recomienda implementar un arreglo de baterías en el nodo de Huaraz, considerando la posibilidad de producirse en corte en el suministro eléctrico público.
4. Para la adquisición de equipos de monitoreo en alta montaña, se recomienda considerar en las especificaciones técnicas de dicho equipo, la inclusión del protocolo IP para la transmisión de datos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADVANTIA. (2013). Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo Tecnologías de la Información y las Comunicaciones para zonas rurales: Aplicación a la atención de salud en países de desarrollo "Las redes de telecomunicación basadas en WiMAX (IEEE 802.1 (p. 135). Retrieved from http://gtr.telecom.pucp.edu.pe/download/publicaciones/Maserratti.pdf %0A

Alvarado Tolentino, J. (2016). Creación del servicio de alerta temprana frente al riesgo de aluvión en la población de la sub cuenca del Quillcay, Mancomunidad Municipal de Waraq, distrito de Independencia-Huaraz- Ancash. Huaraz: Mancomunidad Municipal Waraq.

Andrews, J. (2007). *Orthogonal Frequency Divison Multiplexing* (Fundamenta). PEARSON EDUCATION.

AristaSur. (2015). ¿Qué es alta montaña?

Azharuddin, M., & Prasanta K, J. (2015a). A distributed algorithm for energy efficient and fault tolerant routing in wireless sensor networks. *Wireless Networks*, *21*(1), 251–267. https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s11276-014-0782-2

Azharuddin, M., & Prasanta K, J. (2015b). A distributed algorithm for energy

efficient and fault tolerant routing in wireless sensor networks. *Wireless Networks*, *21*(1), 251–267. https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s11276-014-0782-2

Bedell, P. (2013). *LTE 4G*. New York: McGraw-Hill.

Boccardi, F., Heath, R., Lozano, A., Marzetta, T., & Popovski, P. (2014). Five disruptive technology directions for 5G. *IEEE Communications Magazine*, *52*(2), 74–80. https://doi.org/10.1109/MCOM.2014.6736746

C.A., A. A. (2013). Acceso Múltiple OFDMA. Retrieved from http://departamento.pucp.edu.pe/ingenieria/images/documentos//seccion_telecomunicaciones/Capitulo 3 Acceso Multiple OFDMA.pdf%0A

Carey, M. (2010). In the shadow of melting glaciers: Climate change and Andean society.

Coimbra, E. (2014). Multiplexación Por División De Frecuencia FDM.

CPI. (2017). Perú: Población 2017. Retrieved from http://cpi.pe/images/upload/paginaweb/archivo/26/mr_poblacion_peru_2017.pdf

Dahrouj, H., Douik, A., Rayal, F., Al-Naffouri, T. Y., & Alouini, M.-S. (2015). Cost-effective hybrid RF/FSO backhaul solution for next generation wireless systems. *IEEE Wireless Communications*, *22*(5), 98–104.

https://doi.org/10.1109/MWC.2015.7306543

Dávila Burga, J. (2011). *Diccionario geológico* (3rd ed.). Lima: INGEMMET. Retrieved from https://es.scribd.com/doc/73407234/DICCIONARIO-GEOLOGICO

Hossain, E., Rasti, M., Tabassum, H., & Abdelnasser, A. (2014). Evolution toward 5G multi-tier cellular wireless networks: An interference management perspective. *IEEE Wireless Communications*, *21*(3), 118–127. https://doi.org/10.1109/MWC.2014.6845056

IEEE. (2012a). IEEE 802.16m-2011 - IEEE Standard for Local and metropolitan area networks Part 16: Air Interface for Broadband Wireless Access Systems Amendment 3: Advanced Air Interface.

IEEE. (2012b). IEEE Standard for Air Interface for Broadband Wireless Access Systems. *IEEE Computer Society and the IEEE Microwave Theory and Techniques Society*.

INAIGEM. (2016). Monitoreo Hidrometeorológico de la Laguna Palcacocha. Retrieved February 6, 2017, from http://www.inaigem.gob.pe/InformacionGestionConocimiento/Palcacocha

INEI. (2017a). Censos. Retrieved March 2, 2018, from https://www.inei.gob.pe/estadisticas/censos/

INEI. (2017b). Cuentas Nacionales. Retrieved from https://www.inei.gob.pe/estadisticas/indice-tematico/national-accounts/

MTC. (2008). Plan Nacional de Atribución de Frecuencias PNAF, 36. Retrieved from http://www.mtc.gob.pe/comunicaciones/autorizaciones/servicios_privados/documentos/pnaf_act_feb08.pdf

OPTIM. (2016). OPTIM. Retrieved from http://www.optim.com.ni/nosotros.html

Organismo Supervisor de Inversión Privada en Telecomunicaciones. (2018). Líneas en servicio por departamento - OSIPTEL. Retrieved June 5, 2018, from https://www.osiptel.gob.pe/articulo/21-lineas-en-servicio-por-departamento

Osseiran, A., Boccardi, F., Braun, V., Kusume, K., Marsch, P., Maternia, M., … Fallgren, M. (2014). Scenarios for 5G mobile and wireless communications: the vision of the METIS project. *IEEE Communications Magazine*, *52*(5), 26–35. https://doi.org/10.1109/MCOM.2014.6815890

Pacheco, L., More, J., & Argandoña, D. (2017). *Infraestructura de fibra óptica en el Perú*. Lima.

Peruano, E. (2018). Modifican el Plan Nacional de Atribución de Frecuencias - PNAF, 62–66.

PROINVERSION. (2014). Red Dorsal de Fibra Óptica. Retrieved March 2, 2018,

from http://www.proinversion.gob.pe/MODULOS/LAN/landing.aspx?are=0&pfl=1&lan=13&tit=red-dorsal-de-fibra-óptica

Shuo Guo, Liang He, Yu Gu, Bo Jiang, & Tian He. (2014). Opportunistic Flooding in Low-Duty-Cycle Wireless Sensor Networks with Unreliable Links. *IEEE Transactions on Computers*, *63*(11), 2787–2802. https://doi.org/10.1109/TC.2013.142

Unión Internacional de Telecomunicaciones. (2018). G.729 : Codificación de la voz a 8 kbit/s mediante predicción lineal con excitación por código algebraico de estructura conjugada. Retrieved June 25, 2018, from https://www.itu.int/rec/T-REC-G.729-201206-I/es

Valenzuela Sumarriva, F. (2015). Pautas para la identificación, formulación y evaluación social de proyectos de inversión pública a nivel de perfil, de servicios de alerta temprana frente al peligro de aluvión o avalancha proveniente del desembalse de lagunas glaciares (SAT). Lima: Proyecto Glaciares - CARE Perú - UZH.

ANEXOS

UNIVERSIDAD NACIONAL SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO
"Una nueva Universidad para el Desarrollo"
REPOSITORIO INSTITUCIONAL UNASAM
Dirección del Instituto de Investigación

FORMATO DE AUTORIZACIÓN PARA PUBLICACIÓN DE TESIS Y TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN, PARA OPTAR GRADOS ACADÉMICOS Y TÍTULOS PROFESIONALES EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL DIGITAL - UNASAM

Conforme al Reglamento del Repositorio Nacional de Trabajos de Investigación – RENATI.
Resolución del Consejo Directivo de SUNEDU N° 033-2016-SUNEDU/CD

1. Datos del Autor:

Apellidos y Nombres: ALVARADO LUGO ROBERT ALFREDO

Código de alumno: 091.2502.100 Teléfono: 964613405

Correo electrónico: ralvaradol@unasam.edu.pe DNI o Extranjería: 46281351

2. Modalidad de trabajo de investigación:

( ) Trabajo de investigación ( ) Trabajo académico

( ) Trabajo de suficiencia profesional (X) Tesis

3. Título profesional o grado académico:

( ) Bachiller (X) Título ( ) Segunda especialidad

( ) Licenciado ( ) Magister ( ) Doctor

4. Título del trabajo de investigación:

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA RED INALÁMBRICA EN ALTA MONTAÑA PARA LA TRANSMISIÓN DE DATOS HIDROMETEOROLÓGICOS DESDE LA QUEBRADA COJUP HASTA LA CIUDAD DE HUARAZ. 2018

5. Facultad de: CIENCIAS

6. Escuela, Carrera o Programa: SISTEMAS E INFORMÁTICA

7. Asesor:

Apellidos y Nombres: Ing. LUIS RUPERTO ALVARADO CÁCERES Teléfono: 943975749

Correo electrónico: luisalvaradoca@hotmail.com DNI o Extranjería: 07587674

A través de este medio autorizo a la Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo, publicar el trabajo de investigación en formato digital en el Repositorio Institucional Digital, Repositorio Nacional Digital de Acceso Libre (ALICIA) y el Registro Nacional de Trabajos de Investigación (RENATI).

Asimismo, por la presente dejo constancia que los documentos entregados a la UNASAM, versión impresa y digital, son las versiones finales del trabajo sustentado y aprobado por el jurado y son de autoría del suscrito en estricto respeto de la legislación en materia de propiedad intelectual.

Firma:

D.N.I.: 46281351

FECHA: 09 / 05 / 2019