

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA**  
**Y TELECOMUNICACIONES**

**TESIS**

**“DISEÑO DE UN ENLACE V-SAT ENTRE LOS CENTROS  
POBLADOS DE PADRE RUMI Y RUMICHACA PERTENECIENTES A  
LA PROVINCIA DE HUANCVELICA PARA MEJORAR LAS  
NECESIDADES DE COMUNICACIÓN”**

**PARA OPTAR EL TÍTULO DE**  
**INGENIERO ELECTRÓNICO Y TELECOMUNICACIONES**

**PRESENTADO POR EL BACHILLER:**

**BACH. LUIS EDUARDO GRANADOS PINEDO**

**ASESOR:**

**MG. JUAN CARLOS MARCA DELGADO**

**LIMA-PERÚ**

**2021**

## **DEDICATORIA**

Agradezco a mi familia por el apoyo y a todas esas personas que cuando me vieron caído me dieron la mano para levantarme y así poder seguir adelante.

## **AGRADECIMIENTOS**

Le doy gracias a Dios por su apoyo incondicional por estar conmigo en cada paso que doy, por fortalecer mi corazón, mi mente y por haber puesto en mi camino a las personas que más amo en mi vida que son mis padres y ellos fueron los que me influenciaron buenos valores los cuales fueron el motivo para yo salir adelante.

## RESUMEN

Durante años las telecomunicaciones han ido desarrollándose y facilitado la comunicación de las personas a nivel mundial, la tecnología cada vez avanza más lo cual se convierte en un hábito para cada persona ya que simplifica la vida de cada uno, la instalación de antenas en diversos puntos ayuda a mejorar la calidad de la señal y aumentan la capacidad el cual ayuda a evitar la saturación producido por el exceso de abonados usando las líneas telefónicas.

Es importante dar a conocer sobre los beneficios que trae las instalaciones de nuevas antenas y que no afectan contra la salud ya que las ondas no ionizantes son totalmente inofensivas.

En las poblaciones donde se encuentran difícil acceso a un medio de comunicación ya sea por fallas geográficas, distancia, etc. Las empresas operadoras no apuestan por brindar un servicio óptimo a estos lugares lo cual es un problema en la actualidad y seguirá habiendo ya sea por falta de presupuesto, difícil acceso a la zona, pocos abonados entre otros. Este proyecto trata de solucionar este problema con instalaciones de antenas los cuales servirán para enviar y recibir mensajes, llamadas, entre otros y así tomar una iniciativa para que las empresas operadoras puedan apostar en ampliar su cobertura.

## **ABSTRACT**

For years telecommunications have been developing and facilitating the communication of people worldwide, technology progresses more and more which becomes a habit for each person since it simplifies the life of each one, the installation of antennas at various points helps improve signal quality and capacity utilization which helps avoid saturation caused by excess subscribers using telephone lines.

It is important to publicize the benefits that new antenna installations bring and not against health, since non-ionizing waves are totally harmless.

In populations where access to a means of communication is difficult, be it due to geographical faults, distance, etc. lack of budget, difficult access to the area, few subscribers among others. This project tries to solve this problem with antenna installations which will be used to send and receive messages, calls, among others and thus take an initiative so that the operating companies can bet on expanding their coverage.

## INTRODUCCIÓN

Comunicación eficaz desde la perspectiva de satisfacción de la gente que vive en zonas rurales alejadas donde difícilmente llega la señal, debido a la falta de tecnología o los medios necesarios los cuales impiden la cobertura en dichas zonas. Esta investigación dará soluciones para los medios de comunicación en dichas zonas y promover la tecnología, el conocimiento de las redes de telefonía el cual no generara daños como la radiación, es importante que aquellas personas que no se encuentren informadas, tengan conocimiento que no es dañino para la salud ya que la radiación de dichas ondas electromagnéticas no les afectara.

La principal conclusión es que la calidad de vida de las personas que viven en dichas zonas pueda mejorar mediante la comunicación, según la satisfacción de cada persona.

Capítulo I: Se plantean los problemas, los objetivos generales y específicos, en el cual se indica la utilidad y la justificación, las limitaciones y los riesgos que se encuentran en el transcurso de la ejecución del proyecto

Capitulo II: se encuentran los antecedentes que han exitido, se muestra la base teorica en el que se basa el proyecto, los fundamentos y los términos del proyecto a implementar.

El lugar geográfico donde se ubican son interrumpidos por fallas naturales (clima, cerros, entre otros) el cual impide que las señales electromagnéticas viajen a estos destinos.

Se desea demostrar que la instalación de nuevas redes de telefonía ayuda a facilitar la vida de las personas dándoles una comunicación que satisfaga sus necesidades por medio de estaciones.

## TABLA DE CONTENIDOS

|   |                               |
|---|-------------------------------|
| DEDICATORIA .....   | I                             |
| AGRADECIMIENTOS.....  | II                            |
| RESUMEN .....   | III                           |
| ABSTRACT.....   | IV                            |
| INTRODUCCIÓN .....  | V                             |
| <b>CAPÍTULO I: GENERALIDADES DE ESSALUD .....</b>             | <b>99</b>                     |
| 1.1. DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA .....            | 100                           |
| 1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA .....                           | 102                           |
| 1.3. OBJETIVOS DEL PROYECTO .....                             | 103                           |
| 1.3.1. Objetivo General.....                                  | 103                           |
| 1.3.2. Objetivos Específicos .....                            | 103                           |
| 1.4. JUSTIFICACIÓN ECONÓMICA .....                            | 103                           |
| 1.5. LIMITANTES DE LA INVESTIGACIÓN.....                      | 104                           |
| <b>CAPÍTULO II: MARCO TEORICO .....</b>                       | <b>105</b>                    |
| 2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.....                    | 106                           |
| 2.2. BASES TEÓRICAS.....                                      | 109                           |
| 2.2.1. Descripción y diseño del proceso desarrollado          | ¡Error! Marcador no definido. |
| 2.2.2. Sensores .....   | ¡Error! Marcador no definido. |
| 2.2.3. Transmisores.....                                      | 111                           |
| 2.2.4. Válvulas de control. ....                              | ¡Error! Marcador no definido. |
| 2.3. DISPOSITIVOS DE ENTRADAS Y SALIDAS. ....                 | ¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO. |
| 2.3.1. Controladores. ....                                    | ¡Error! Marcador no definido. |
| 2.4. TIPOS DE REDES DE COMUNICACIÓN INDUSTRIAL                | ¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO. |
| 2.5. CÁLCULOS .....   | ¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO. |
| 2.5.1. Selección de Instrumentos .....                        | ¡Error! Marcador no definido. |
| 2.6. FUNDAMENTO TEÓRICO EMPLEADO POR EL SOFTWARE AFT FATHOM . | ¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO. |

|  |                               |
|--|-------------------------------|
| <b>CAPITULO III: PROPUESTA DE DISEÑO .....</b>                               | <b>124</b>                    |
| <b>3.1. DESCRIPCIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE CONTROL AUTOMÁTICO</b> | <b>125</b>                    |
| 3.1.1. Requerimiento del Proyecto .....                                      | ¡Error! Marcador no definido. |
| <b>3.2. RESULTADOS DE SOFTWARE AFT FATHOM .</b>                              | ¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO. |
| 3.2.1. Potencia del equipo de bombeo .....                                   | ¡Error! Marcador no definido. |
| <b>3.3. DIMENSIONAMIENTO .....</b>   | ¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO. |
| 3.3.1. Equipos utilizados.....   | ¡Error! Marcador no definido. |
| <b>3.4. CONCEPTOS BÁSICOS PARA EL DISEÑO DEL PILOTO</b>                      | ¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO. |
| 3.4.1. Descripción general del sistema a controlar.                          | ¡Error! Marcador no definido. |
| 3.4.2. Poza de filtraciones de la presa de relaves .                         | ¡Error! Marcador no definido. |
| 3.4.3. Línea de descarga de bombas .....                                     | ¡Error! Marcador no definido. |
| 3.4.4. Variables del diseño a considerar.....                                | ¡Error! Marcador no definido. |
| 3.4.5. Diseño del Sistema de Automatización. ....                            | ¡Error! Marcador no definido. |
| 3.4.6. Lazos de Control.....   | ¡Error! Marcador no definido. |
| 3.4.7. Variables del proceso monitoreadas.....                               | ¡Error! Marcador no definido. |
| <b>3.5. DISPOSICIÓN DE ELEMENTOS EN CAMPO. ....</b>                          | ¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO. |
| 3.5.1. Ejecución de proyecto labores eléctricas.....                         | ¡Error! Marcador no definido. |
| <b>3.6. DISTRIBUCIÓN DE FUERZA Y CONTROL PARA LAS BOMBAS VERTICALES..</b>    | ¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO. |
| 3.6.1. Ejecución de Trabajos de instalación de instrumentación               | ¡Error! Marcador no definido. |
| <b>3.7. ESTRUCTURA DEL PROYECTO .....</b>                                    | ¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO. |
| 3.7.1. Sensores de Nivel.....  | ¡Error! Marcador no definido. |
| 3.7.2. Sensores de Presión .....   | ¡Error! Marcador no definido. |
| 3.7.3. Sensores de Flujo.....  | ¡Error! Marcador no definido. |
| <b>CAPÍTULO IV: METODOLOGIA .....</b>  | <b>158</b>                    |
| <b>4.1. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.....</b>                                  | <b>159</b>                    |
| <b>4.2. MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN.....</b>                                    | <b>159</b>                    |
| <b>4.3. NIVEL DE LA INVESTIGACIÓN .....</b>                                  | <b>159</b>                    |
| <b>CAPÍTULO V: DISCUSIÓN .....</b>   | <b>160</b>                    |



|   |                                      |
|---|--------------------------------------|
| <b>5.1. PLANIFICACIÓN DEL PROYECTO.....</b>         | <b>161</b>                           |
| 5.1.1. Fase inicial.....                            | ¡Error! Marcador no definido.        |
| 5.1.2. Fase intermedia.....                         | ¡Error! Marcador no definido.        |
| 5.1.3. Fase final.....                              | ¡Error! Marcador no definido.        |
| <b>3.1.9 SERVICIOS Y APLICACIONES.....</b>          | <b>¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.</b> |
| <b>CAPITULO VI: REFERENCIASBIBLIOGRÁFICAS .....</b> | <b>165</b>                           |
| <b>6.1. LIBROS .....</b>                            | <b>166</b>                           |
| <b>CAPITULO VII: ÍNDICES .....</b>                  | <b>167</b>                           |
| <b>7.1. ÍNDICES DE FIGURAS .....</b>                | <b>168</b>                           |
| <b>7.2. ÍNDICE DE TABLAS.....</b>                   | <b>168</b>                           |
| <b>CAPITULO VIII: ANEXOS .....</b>                  | <b>169</b>                           |

## **CAPÍTULO I: REALIDAD PROBLEMÁTICA**

### **1.1. Descripción de la situación Problemática**

Se ubica en el distrito de Paucara en la provincia de Acobamba dentro de la provincia de Huancavelica se encuentran diversas comunidades campesinas, siendo uno de los más importantes los centros poblados de Padre Rumi y Rumichaca, los cuales dentro de Huancavelica se encuentran en vías de desarrollo, encontrándose en estos poblados instituciones educativas de nivel inicial y primario con una cantidad de doscientos cuarenta y seis viviendas, cuenta con un centro de salud.

De igual forma el centro poblado de Rumicacha se ubica dentro de la provincia de Pilpichaca en la provincia de Huaytara en la región de Huancavelica, se encuentra ubicado a unos 3957 m.s.n.m. De igual forma dentro del centro poblado se encuentra instituciones educativas de nivel inicial y primario, asimismo cuenta con un centro de salud.

En ambas regiones se desarrollan diversas solicitudes de parte de los centros poblados, del distrito, de los educadores, del personal asistencial y de la población en general, los cuales están documentados mediante oficios y solicitudes presentadas al gobierno local, solicitando la instalación de vías de acceso y de medios de comunicación para comunicarse con las ciudades más grandes.

La falta de acceso a los medios de comunicación que se tiene en la región de Huancavelica impide que los pobladores de padre rumi y rumicacha se comuniquen con otras localidades asimismo, no se tiene un acceso a la información, la diferencia entre los pobladores de la misma región pero de distintos centros poblados es enorme debido al acceso a la información y al nivel de educación que se tiene en la localidad.

El estado no desconoce del nivel de los pobladores de una localidad a otra es por ello que, mediante decretos, ha estado interviniendo en la mejora de los servicios de comunicación a las localidades, fomentando la inversión hacia las zonas más alejadas, asimismo creando instituciones dedicadas a la transparencia e igualdad de condiciones y oportunidades en todo el país, sin embargo, aún es insuficiente al compararlo con las necesidades de servicios de telecomunicación que se tienen.

La falta de comunicación con los demás centros poblados muestra el aislamiento que se tiene en los distintos centros poblados, siendo un problema de carácter permanente, ya que por la cantidad de pobladores los proveedores del servicio como claro, movistar, bitel, entel, etc. no están dispuestos a invertir, dejando como única solución la intervención por parte del estado en infraestructura y equipos de comunicación que permitan la comunicación.

Asimismo, es de vital importancia contar con un servicio adecuado de telecomunicaciones principalmente en la región de Huancavelica, siendo de interés por parte de los pobladores, del gobierno regional y el Estado, el fomentar y fortalecer el desarrollo de medios de comunicación y de una red pública de comunicaciones en áreas rurales.

Ya que se promueve el desarrollo social y económico, que se muestra a través de la mejora del acceso a los servicios de telecomunicaciones que propiciarán el acceso a mayor y mejor información y a contenidos educativos en iguales condiciones que en cualquier zona urbana del resto del país mediante el uso de los sistemas satelitales.

**Tabla 1: Densidad de servicio Móvil (Línea por 100 habitantes)**

| REGIONES      | 2005 | 2006 | 2007 | 2008  | 2009  | 2010  | 2011  | 2012** |
|---------------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|--------|
| Amazonas      | 2.6  | 5.3  | 13.0 | 23.3  | 29.9  | 40.2  | 47.8  | 47.7   |
| Ancash        | 10.4 | 18.4 | 37.4 | 53.8  | 64.6  | 82.8  | 94.8  | 100.0  |
| Apurímac      | 3.3  | 6.7  | 16.3 | 26.7  | 36.5  | 47.6  | 59.1  | 67.4   |
| Arequipa      | 25.7 | 42.4 | 75.3 | 95.1  | 108.9 | 125.3 | 131.4 | 137.5  |
| Ayacucho      | 4.9  | 11.0 | 28.0 | 46.5  | 61.5  | 72.9  | 77.9  | 77.8   |
| Cajamarca     | 5.6  | 10.9 | 23.7 | 36.6  | 47.2  | 60.0  | 70.8  | 75.8   |
| Cusco         | 9.8  | 18.0 | 35.6 | 53.8  | 71.7  | 84.4  | 94.6  | 102.6  |
| Huancavelica  | 1.0  | 2.5  | 6.0  | 10.5  | 15.2  | 20.7  | 23.8  | 28.7   |
| Huánuco       | 4.7  | 9.0  | 18.2 | 30.9  | 42.0  | 53.5  | 60.2  | 65.8   |
| Ica           | 20.7 | 34.9 | 64.1 | 85.5  | 101.2 | 120.0 | 127.0 | 129.6  |
| Junín         | 10.3 | 18.8 | 38.9 | 60.2  | 78.4  | 95.7  | 106.1 | 111.2  |
| La Libertad   | 15.9 | 27.2 | 53.6 | 71.9  | 84.3  | 98.0  | 110.1 | 119.3  |
| Lambayeque    | 15.1 | 26.8 | 54.8 | 76.6  | 87.5  | 101.4 | 111.5 | 111.6  |
| Lima y Callao | 40.0 | 57.4 | 90.3 | 115.5 | 128.3 | 143.3 | 156.6 | 159.2  |
| Loreto        | 5.1  | 8.6  | 16.6 | 24.2  | 29.7  | 37.0  | 40.5  | 42.1   |
| Madre de Dios | 9.0  | 22.0 | 47.3 | 72.4  | 92.7  | 115.5 | 138.5 | 156.4  |
| Moquegua      | 25.4 | 43.9 | 72.1 | 89.1  | 100.0 | 115.0 | 117.5 | 115.1  |
| Pasco         | 4.3  | 11.3 | 28.1 | 43.2  | 55.0  | 64.6  | 65.0  | 67.3   |
| Piura         | 10.9 | 18.5 | 36.5 | 50.9  | 61.5  | 71.8  | 82.6  | 85.2   |
| Puno          | 7.4  | 15.6 | 36.9 | 54.6  | 68.4  | 85.6  | 94.9  | 105.3  |
| San Martín    | 3.9  | 8.8  | 21.9 | 39.2  | 52.0  | 67.6  | 79.9  | 78.3   |
| Tacna         | 32.2 | 49.5 | 84.0 | 103.1 | 119.8 | 141.1 | 140.3 | 138.3  |
| Tumbes        | 19.7 | 32.9 | 56.7 | 74.3  | 88.5  | 104.8 | 117.8 | 115.2  |
| Ucayali       | 9.4  | 17.2 | 33.4 | 48.7  | 62.4  | 76.4  | 83.2  | 88.2   |

Fuente: OSIPTEL/ Estadísticas

## 1.2. Formulación del problema

¿Es posible diseñar un enlace V-SAT entre los centros poblados de padre Rumi y Rumichaca para mejorar las necesidades de comunicación en la provincia de Huancavelica?

¿Es posible diseñar un enlace V-SAT entre los centros poblados de padre Rumi y Rumichaca para mejorar la calidad de vida de los pobladores de la provincia de Huancavelica?

¿Es posible diseñar un enlace V-SAT entre los centros poblados de padre Rumi y Rumichaca que resulte factible económicamente en la provincia de Huancavelica?

### **1.3. Objetivos del Proyecto**

#### **1.3.1. Objetivo General**

Diseño de un enlace V-SAT entre los centros poblados de padre Rumi y Rumicacha para mejorar las necesidades de comunicación en la provincia de Huancavelica.

#### **1.3.2. Objetivos Específicos**

Mejorar la calidad de vida de los pobladores de la provincia de Huancavelica.

Diseñar un proyecto factible económicamente entre los centros poblados de Padre Rumi y Rumichaca en la provincia de Huancavelica.

### **1.4. Justificación económica**

El presente trabajo de tesis se justifica desde el punto de vista de telecomunicaciones, ya que un sistema de comunicaciones mediante V-SAT, permite tener una comunicación en localidades donde no se permite la comunicación ya sea por motivos de terreno agreste o porque es muy costosa la instalación de una infraestructura cableada convencional.

### **1.5. Limitantes de la Investigación**

Un punto a considerar para la futura implementación del proyecto son las condiciones climáticas de la zona que desde el mes de octubre hasta los meses de marzo se presenta fuertes lluvias y tormentas eléctricas que paralizan las labores por tiempos prolongados.

## **CAPÍTULO II: MARCO TEORICO**



## 2.1. Antecedentes de la investigación

El primer antecedente que encontramos es la “IMPLEMENTACIÓN DE ENLACES DE BANDA ANCHA USANDO TECNOLOGÍA SATELITAL VSAT HUGHESNET (DIRECWAY) EN ECUADOR” publicado por la UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO, escrita por los bachilleres Gabriel Alberto Peñafiel Ricaurte y Andrés Fernando Espinosa Missura, que tiene como objetivo el usar los parámetros técnicos necesarios para el buen funcionamiento de una red de banda ancha mediante la tecnología digital VSAT a través de un servicio de protocolo de internet local, concluyendo con el uso de la banda Ku garantizando la correcta operación de la red satelital de banda ancha.

Mediante la investigación encontramos el segundo antecedente es la tesis que tiene como título “ESTUDIO DE FACTIBILIDAD DE UN SISTEMA VSAT POR SATÉLITE, PARA INTERCONECTAR LAS LOCALIDADES REMOTAS DE LA REGIÓN DE TACNA A LA RED DORSAL NACIONAL DE FIBRA ÓPTICA”, publicado por la UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA, escrita por el bachiller en Ingeniería Robert Hermes URQUIA BUSTOS. En la cual se centra en el desarrollo del estudio de factibilidad de la Red de acceso Vsat satelital, concluyendo que es de vital importancia las precipitaciones pluviales, obteniendo una mayor atenuación en la relación (C/No) mediante los cálculos establecidos tanto en subida como en bajada.

El tercer antecedente que encontramos es uno que se tiene a nivel nacional que lleva como título: “PROYECTO DE CAMBIO DE TECNOLOGÍA DE LA RED NACIONAL VÍA SATÉLITE DE LA POLICIA NACIONAL DEL PERÚ, EMPLEANDO REDES VSAT PUNTO MULTIPUNTO BASADAS EN TÉCNICAS DE COMUNICACIÓN TDMA/DAMA”, la cual se encuentra en el repositorio de la universidad nacional mayor de san marcos, siendo

desarrollada por el MANUEL GONGORA OCAMPO, la cual se centra en una red de telecomunicaciones satelitales para la PNP mediante la utilización de redes VSAT punto multipunto mediante técnicas de comunicación TDMA/DAMA concluyendo que si bien la fibra óptica tiene muchas ventajas sobre las redes satelitales, las antena VSAT por sus características de funcionamiento y las necesidades de la PNP la opción más viable resulta la instalación de las redes satelitales.

Un cuarto antecedente que se encuentra al revisar los repositorios institucionales se encuentra el “ESTUDIO GENERAL PARA EL DISEÑO DE TELECENTROS EN ZONAS RURALES UTILIZANDO TECNOLOGÍAS VSAT”, el cual ha sido publicado por la “UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE NICARAGUA”, la cual fue escrita por los bachilleres CAMPOS AYERDIS MARLON MANUEL Y EL OROZCO CANO CARLOS ALBERTO, la cual tiene como objetivo el de construir una red nacional de comunidades virtuales, concluyendo la viabilidad de las transmisiones de doble vía desde los satélites geostacionarios mediante antenas VSAT, cubriendo grandes extensiones rurales en zonas de baja densidad poblacional.

Rea (2017) en su tesis Implementó el sistema de monitoreo geotécnico integral para evaluar el comportamiento de taludes en la mina Antapaccay, región Cusco, 2017, es el título de la investigación que tuvo como objetivo integrar los datos de los sensores de monitoreo como radares, estaciones totales, piezómetros, estaciones meteorológicas, entre otros, con la finalidad de centralizarlos en una sola base de datos procesarlos y analizarlos. El diseño de la investigación fue cuasi experimental de tipo aplicada, la población estuvo conformada por el monitoreo a los 15 bancos del tajo abierto de la mina y su muestra fue considerada igual a la población ya que se requería controlar todos los taludes. Para el procesamiento de los datos en la etapa preprueba se emplearon los programas propios de algunos equipos y para otros instrumentos se realizó el procesamiento manual con el software Microsoft Excel; mientras que en la etapa posprueba se emplearon los módulos del sistema integrador SHMS. Los resultados obtenidos permitieron arribar a las conclusiones del estudio logrando determinar que la implementación del sistema de monitoreo geotécnico integral en un servidor WEB externo, permitió procesar automáticamente los datos de los sensores, generando los mapas de riesgos, alertas tempranas y reportes automáticos, mejorando así el tiempo de la generación de los resultados de días a minutos, cumpliéndose de manera precisa y eficiente con el monitoreo integral que exige el Ministerio de Energía y Minas mediante el D.S. 024-2016-EM.

Márquez (2019) en sus tesis "Arquitectura de sistemas en el monitoreo del medio ambiente en la Universidad Continental - 2019" tuvo como objetivo medir la influencia de la arquitectura de sistemas en el sistema de monitoreo del medio ambiente de la Universidad Continental, se aplicó una metodología experimental con muestras relacionadas, donde se comparan los resultados iniciales de monitorear el medio ambiente con plataformas de hardware y software elegido por los equipos de desarrollo, con la opción de adecuar sus sistemas a la plataforma desarrollada bajo una Arquitectura de sistemas. El diseño de la Arquitectura de sistemas se orientó en lograr criterios de calidad como escalabilidad, confiabilidad y rendimiento los que se validaron mediante pruebas de agregación de nodos y sensores, tasa de fallas por cada 100 horas y pruebas de rendimiento con respecto a tiempos de respuesta de reportes y rendimiento general del sistema. Las pruebas de aceptación general del sistema obtuvieron una media de 0.86 en la escala de 0 a 1, en el caso de la escalabilidad se logró una media de 0.73, en confiabilidad 0.97 y en rendimiento 0.88, todos con significancia bilateral menor a 0.05, indicativo que hubo mejora significativa con respecto a la operación del Sistema de Monitoreo sin emplear Arquitectura de sistemas. En la concepción de la Arquitectura de sistemas para el Sistema de Monitoreo del Medio Ambiente de la Universidad Continental contribuyeron conceptos de arquitectura dirigida a eventos, IOT-A(arquitectura del IOT) y REST API operando en Microsoft Azure Cloud.

## **2.2. Bases teóricas**

### **2.2.1. VSAT**

Very Small Aperture Terminal normalmente conocido como VSAT por sus siglas en inglés, hace referencia a antenas terrenas satelitales pequeñas y económicas, las cuales se usan extensamente en sistemas cerrados o grupos privados, con diversas aplicaciones como telefonía, video conferencia, etc.

Las antenas VSAT permiten realizar estructuras punto y multipunto mediante los satélites comerciales geoestacionarios. La característica principal de las antenas VSAT es su fácil instalación, al ser antenas satelitales tienen antenas de diámetro variable los cuales son de 0.8; 1.2; 1.8; 2.4; 3.8 metros, el diámetro de la antena depende de la capacidad de transmisión necesitada por los usuarios y los equipos de radiofrecuencia.

Las bandas de frecuencia que utilizan las redes VSAT son la banda C con una frecuencia de 4-7 GHz y la banda Ku que opera en 11-14 GHz.

La ventaja al usar las redes VSAT es que permiten a las estaciones remotas conectarse sin hacia una estación remota central sin mayores restricciones que la capacidad de almacenamiento y de procesamiento, además siempre que las antenas se encuentren dentro de área de cobertura satelital tendrán conectividad. Teniendo cada una de las antenas los mismos protocolos y facilidades para acceder a la estación central.

El uso de las redes VSAT es recomendado en casos de necesidad de emitir o recibir información de centros remotos. Además de la modulación y baja potencia a la transmisión favorece su utilización desde las estaciones espaciales transmisoras.

Actualmente con el desarrollo de la tecnología, se ha desarrollado antenas USAT, las cuales son antenas menores a un metro de diámetro hasta unos 55 centímetros, con una tecnología integrada operando con topología en estrella.

### 2.2.2. Arquitectua VSAT

Las redes VSAT se basan en enlaces, siendo el enlace desde el terminal al satélite denominado ascendente o UPLINK, el enlace del satélite al terminal se denomina descendente o DOWNLINK.

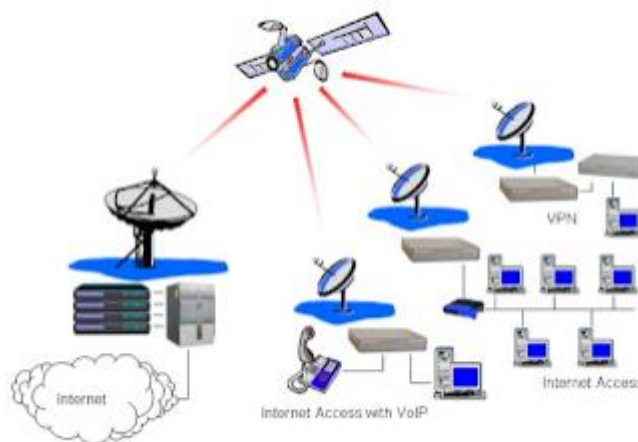
Igualmente un enlace del HUB al VSAT es un enlace OUTBOUND y un enlace del VSAT hacia el HUB es un enlace INBOUND

Para el buen funcionamiento de las redes de antenas VSAT se puede dimensionar las redes de antenas de dos formas: las redes en estrella y las redes en malla

### 2.3. Red en estrella

Las redes que utilizan la topología estrella centran su información en una estación terrena mediante un hub, la antena del hub varia de 4 a 11 metros de diámetro. Siendo el hub el equipo que realiza el control, monitoreo y comunicación con un gran número de VSAT dispersas.

**Figura 1: Topología Estrella**



Fuente: (acesogjsl, 2019)

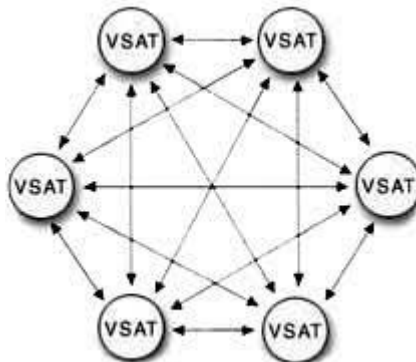
En este tipo de arquitectura cada VSAT se comunican con el hub, esta configuración es aplicada cuando se requiere procesar gran cantidad de datos y enviar dicha información a antenas remotas con limitaciones de potencia.

Existen dos tipos de redes en estrella, unidireccionales y bidireccionales, siendo las primeras cuando se realiza la comunicación del HUB hacia la VSAT y las bidireccionales la cuando se realiza comunicación entre el VSAT, el hub y viceversa.

#### 2.4. Red en malla

Es un tipo de topología que establece enlaces directos entre dos VSAT sin el uso de una estación central.

Figura 2: Topología Malla



Fuente: (bcsatellite, 2019)

La característica de este tipo de antenas es su mayor diámetro y mayor sensibilidad. En las redes tipo malla, una de las antenas funciona como centro de control, realizando funciones de administración y asignación de los canales de transmisión.

### **2.4.1. Protocolos de acceso**

A continuación, se describe los diferentes protocolos de acceso múltiple que se utiliza para los enlaces de subida o de bajada.

### **2.4.2. TDMA**

Conocido como acceso múltiple por división de tiempo o Time Division Multiple Access (TDMA), es comúnmente utilizado en redes con transmisión de datos media, el funcionamiento del acceso múltiple por división de tiempo con las antenas VSAT, es a través del satélite en forma de canales de tiempo.

Es decir las VSAT usan canales TDMA programados conocidos como inroute para comunicarse con el hub.

Cada inroute de las VSAT es agrupado a un outroute que es el canal por el cual se comunica el hub con los VSAT, compartiendo así el mismo ancho de banda.

Por el funcionamiento de los sistemas TDMA se requiere una sincronización de tiempo que es realizada por el hub. A los VSAT se les puede predefinir el acceso al inroute mediante TDMA con asignación de canales fijos.

### **2.4.3. ALOHA**

El acceso aleatorio por división del tiempo o ALOHA, tiene un funcionamiento mediante el cual no se necesita la sincronización entre VSAT, es decir cada VSAT accede según su requerimiento siempre y cuando el canal está libre. Cuando dos o más VSAT intenten transmitir mediante el mismo canal simultáneamente ocurren colisiones. Para



regular las colisiones el sistema está provisto de algoritmos que regulan las retransmisiones minimizando la probabilidad de re colisión. Existen algunas variantes de ALOHA como el ALOHA ranurado y el ALOHA con rechazo selectivo.

#### **2.4.4. FDMA**

Acceso múltiple por división de frecuencia o Frequency Division Multiple Acces (FDMA): Todas las VSAT comparten los canales del satélite mediante la división de la frecuencia, su utilización principal es mediante la topología de malla, tiene las siguientes variantes:

Acceso Múltiple Preasignado o Preassigned Multiple Acces (PAMA), mediante este modelo cada VSAT tiene una frecuencia designada, se utiliza para aplicaciones de datos interactivos, por la mejora en el tiempo de respuesta por contar de forma permanente con los recursos satelitales.

Múltiple Acceso con Asignación por Demanda o Demand Access Multiple Asignacion (DAMA), en este tipo de configuración la red trabaja bajo demanda de comunicación, los canales libres son asignados para establecer la comunicación, una vez termina la comunicación, estos son devueltos para ser asignados nuevamente a otra aplicación, su aplicación se realiza en tráfico de voz y datos. DAMA brinda servicios punto a punto para los sistemas de voz, fax, datos y soporta canales de videoconferencia.

Múltiple Acceso por División de Código o Code Division Multiple Access (CDMA), Se establece mediante un código asignado único a cada VSAT, permite la transmisión simultánea de múltiples VSAT, compartiendo también la misma banda de frecuencia, los datos se

combinan con señales de códigos independientes. La recepción final es luego decodificada y restablecido el valor de los datos transmitidos. Su uso es principalmente en aplicaciones militares.

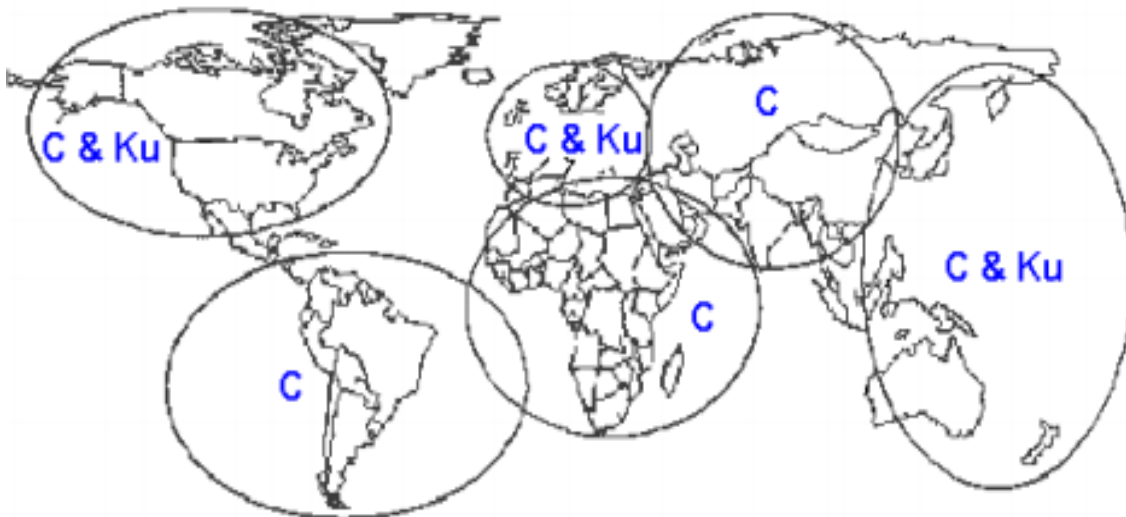
#### 2.4.5. Bandas de frecuencia y cobertura VSAT

La Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT), norma el uso de las bandas de frecuencia para todo tipo de aplicaciones de telecomunicaciones, siendo las bandas asignadas para transmisiones satelitales las siguiente:

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

A continuación, se muestra la cobertura según la banda de frecuencia.

**Figura 3: Cobertura bandas C y Ku**



Fuente: (Hacia el espacio, 2019)

#### **2.4.6. Banda C vs Ku**

La elección de una banda de frecuencia u otra, se realiza dependiendo de la disponibilidad de un satélite que cubra la zona donde va a instalarse la red y que disponga de la banda deseada.

Uno de los problemas que se tiene son las interferencias, siendo que el ancho de haz de una antena es inversamente proporcional al producto del diámetro de la antena y la frecuencia, siendo las antenas de un diámetro pequeño y siendo el ancho del haz grande, aumenta la interferencia de otros satélites.

Ambas bandas C y Ku son usadas por los VSAT, tiene una gran atenuación por factores climáticos como la lluvia y la humedad, es por eso que se monitorea constantemente mediante estaciones geoestacionarias la densidad pluvial. Para la banda Ku aplicada a zonas tropicales se disminuye la atenuación mejorando las antenas aumentando sus diámetros.

Para zonas de baja precipitación pluvial, el uso de la banda Ku es una gran elección si no se cuenta con sistemas de microondas terrestres.

**Figura 4: Ventajas y desventajas de las banda C y Ku**

| <b>Banda</b> | <b>Ventajas</b>  | <b>Desventajas</b>   |
|--------------|--|--|
| <b>C</b>     | <p>Disponibilidad mundial</p> <p>Tecnología barata</p> <p>Robustez contra atenuación por lluvia</p>  | <p>Susceptible de recibir y causar interferencias desde satélites adyacentes y sistemas terrestre que compartan la misma banda (Se necesitaría en algunos casos recurrir a técnicas de espectro extendido y CDMA).</p> <p>Antenas grandes (1 a 3 metros)</p> |
| <b>Ku</b>    | <p>Uso más eficiente de las capacidades del satélite, ya que, al no estar tan influenciado por las interferencias, se puede usar técnicas de acceso más eficientes como FDMA o TDMA frente a CDMA que hace un uso menos eficaz del ancho de banda.</p> <p>Antenas más pequeñas (0,6 a 1,8 m)</p> | <p>Hay regiones donde no está disponible.</p> <p>Más sensible a las atenuaciones por lluvia.</p> <p>Tecnología más cara.</p>   |

Fuente: (revolvly, 2019)

## 2.5. Elementos que componen una red VSAT

Las redes VSAT tienen dos componentes principales que son las estaciones terrenas con sus componentes internos y el satélite.

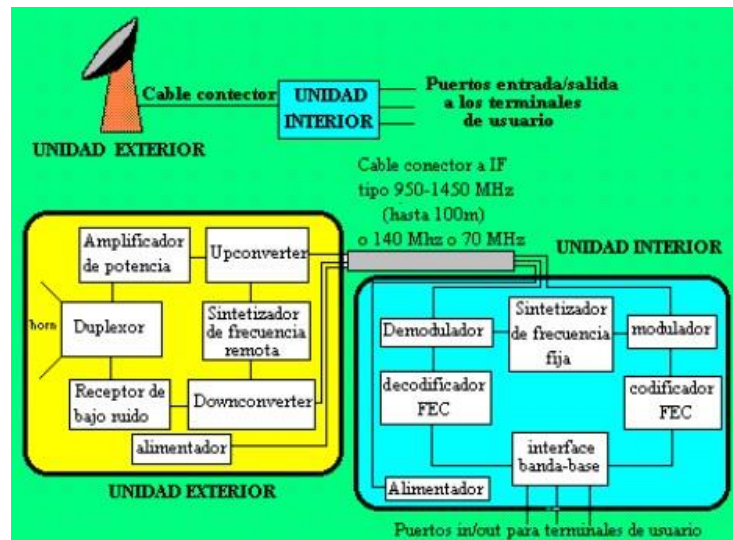
### 2.5.1. Estaciones terrenas

Las estaciones terrenas tienen dos componentes principales, la estación maestra (HUB), la cual realiza la conmutación de paquetes y la estación Remota (VSAT), la cual es una estación terrena con una unidad interna.

Las estaciones VSAT están divididas en dos partes, siendo la primera la unidad interior (IDU) y la segunda la unidad exterior (ODU).

La IDU o unidad interior contiene moduladores que modulan la señal de audio con una señal portadora, la cual es enviada hacia la ODU para su envío hacia el satélite mediante la amplificación de la transmisión la cual se muestra en la imagen siguiente:

**Figura 5: Unidad Interior**



Fuente: (Teltelematica, 2019)

La ODU o Unidad exterior. Está compuesta de un reflector, un alimentador y un montaje, siendo la principal característica la antena de 0,8 a 3,8 metros de diámetro. El punto focal dirige la potencia hacia el plato de la antena.

La ODU tiene internamente varios subsistemas, incluyendo amplificadores de bajo ruido o Low Noise Amplificator (LNA) y convertidores de subida y bajada Up-down para ambos sentidos tanto en transmisión como en recepción.

Los LNA son diseñados para reducir el ruido agregado a la señal durante la etapa de conversión, esto determina el funcionamiento del

ruido, siendo la temperatura de ruido el parámetro usado para describir el funcionamiento de los LNA.

Los amplificadores de potencia (HPA) dentro de la ODU, amplifican la señal antes de la transmisión, la cual va desde 1 a 40 watts de potencia, luego de la amplificación de la señal, se convierte a frecuencias de 70 MHz.

### **2.5.2. PIRE de las estaciones terrenas**

PIRE o la potencia isotrópica radiada equivalente, es el producto de la potencia transmisora de la antena (PT), multiplicada por la ganancia (GT).

Esta potencia es la del transmisor luego de ser enviada al alimentador, con sus pérdidas:

### **2.5.3. El satélite**

Los satélites normalmente son geoestacionarios, los cuales son de órbita circular que pasan por el plano ecuatorial a 35,786 Km de altitud, siendo el periodo de rotación el mismo de la tierra, viéndose desde la tierra en la misma posición. Siendo de vital importancia en la reducción del costo de los equipos VSAT, ya que no se necesita que los equipos terrestres lleven un sistema de seguimiento.

### **2.5.4. Transponder del satélite**

El funcionamiento de un satélite se da mediante los transponders, es decir cada satélite contiene uno o más transponder, cada transponder capta cierta parte del espectro y mediante una señal cubre una parte de la tierra.

La señal que llega es separada de otras señales, amplificando la señal y enviándola con una frecuencia más baja a ser transmitida. Mediante una cantidad de canales en el transponder. Cada transponder puede manejar de 10 a 15 redes de 500 VSAT.

El ancho de banda dedicado a la red VSAT depende de:

#### **2.5.5. El segmento espacial**

Cada red satelital necesita una estación terrestre de seguimiento, cada red de seguimiento juntamente a un satélite forma un segmento espacial.

El segmento espacial es el único canal que necesita usar los protocolos de acceso al medio ya descritos anteriormente y es el punto de red que VSAT que es contratado con las empresas proveedoras del servicio espacial.

#### **2.5.6. Fuentes de ruido**

El ruido que se tiene en los enlaces satelitales es producto de la contribución de cada uno de los ruidos separados que se tiene en el enlace como son el ruido térmico, y el ruido de intermodulación.

#### **2.5.7. Ruido térmico.**

El ruido térmico ocurre en las distintas fases de la comunicación como son de la tierra hacia las antenas satelitales, por parte del satélite hacia las estaciones terrenas, estos ruidos son calculables mediante la temperatura de ruido de las antenas, y los ruidos propios de los componentes receptores.

### **2.5.8. Ruido de intermodulación.**

Si se utiliza TDMA, no ocurre ruido de intermodulación, debido a que cada intervalo de tiempo es amplificado por una portadora.

Si el acceso es FDMA, CDMA o un híbrido FDMA/TDMA tienen ocurrencia los ruidos de intermodulación, produciendo señales a frecuencias iguales a la combinación de las frecuencias en las portadoras iniciales. El ruido de intermodulación se conoce generalmente como ruido blanco.

## **2.6. Interferencias**

Las interferencias ocurren cuando las portadoras no deseadas ingresan junto a las portadoras deseadas al receptor, las portadoras no deseadas en el receptor se comportan como ruido que se suma al ruido térmico.

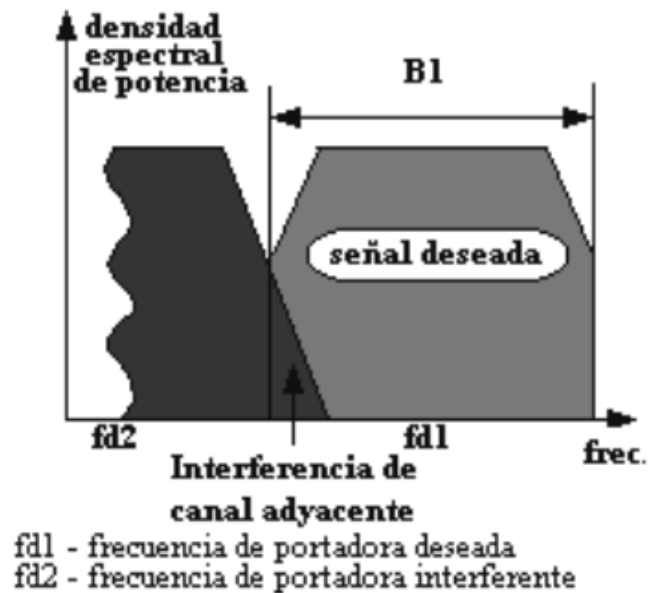
Las interferencias son clasificadas en dos, en interferencias propias, las que ocurren en la etapa de recepción producida por los transmisores dentro de la red, producido principalmente por la reutilización de frecuencias y el filtrado; Las interferencias externas las que son producidas por otros satélites que utilizan el mismo ancho de banda.

### **2.6.1. Interferencia cocanal**

Las interferencias cocanal ocurren cuando se genera un mal filtrado entre canales, es decir cierta parte de la potencia de la portadora es capturada por el transponder o por unas de las estaciones terrenas que sintonizan la frecuencia emitida por el transponder.



**Figura 6: Interferencia Cocanal**



Fuente: (revolvly, 2019)

### 2.6.2. Interferencias por microondas

Las bandas de uso satelital como la banda Ku y Ka son de uso exclusivo satelital, sin embargo la banda C también es usada por radioenlaces de microondas.

Una de las formas más usadas para reducir las interferencias es mediante el uso del Espectro Extendido (Spread Spectrum), que ensancha la portadora más del requerido, pero se usa un ancho de banda mucho mayor que FDMA o TDMA, es por eso que se usan en situaciones con gran cantidad de interferencia.

### 2.6.3. Interferencia intersatelital

La Interferencia satelital, en el caso que el PIRE se encuentra fuera del eje, se soluciona mediante el equilibrio del diámetro de la antena, la forma del haz y la utilización del espectro extendido al igual que

verificar las frecuencias de las bandas satelitales que brindan el servicio.

#### **2.6.4. Aplicaciones de las redes VSAT**

En cuanto a aplicaciones las redes VSAT se dividen en dos grandes grupos, dependiendo principalmente del flujo de la red de datos, siendo unidireccionales y bidireccionales

Dentro de las aplicaciones unidireccionales podemos encontrar la transmisión de datos en general como son la difusión de noticias, la tele impresión de fotografías, la educación a distancia, etc.

Las aplicaciones bidireccionales son referidas a la telefonía, la tele enseñanza, los sistemas de reservaciones, los servicios de emergencia, etc.

## **CAPITULO III: PROPUESTA DE DISEÑO**

### 3.1. Descripción y Diseño del Proceso Desarrollado

Para realizar un diseño entre los sectores y las comunidades campesinas del Centro Poblado de Padre Rumi y Rumicacha del distrito de Huancavelica, se debe conocer los usuarios finales, el área de trabajo, el tipo de servicio que tienen asimismo proceder a abonados finales.

Para realizar el dimensionamiento de la red VSAT, se debe realizar el cálculo previo al montaje considerando parámetros capaces de asegurar el buen desempeño.

Se debe de considerar la cantidad de satélites a utilizar, los aspectos técnicos de las estaciones terrenas, Todo siendo definido por el ancho de banda de la red y el desempeño de la estación terrena hasta el hub, el cual garantiza que los enlaces funcionen adecuadamente.

#### 3.1.1. Análisis del enlace de RF

Primero es necesario asegurar el enlace, el cual es definido por la relación de señal a ruido (S/N) para señales analógicas y la tasa de error (BER, Bit Error Rate) para señales digitales.

BER es un parámetro principal para asegurar la calidad de la tasa de transferencia de datos sin errores, debiendo tener valores mínimos para su buen funcionamiento, la tasa de error (BER) depende de la modulación, la codificación y la relación portadora a ruido.

La BER es una función de energía de bit ( $E_b$ ) y la densidad de potencia de ruido ( $N_0$ ) en el enlace. La energía por bit de información es definida por energía acumulada en el receptor durante un intervalo de tiempo, lo cual se describe por la siguiente ecuación:

$$E_b/N_0 = \frac{C}{R_b} = \frac{\left(\frac{C}{N_0}\right)t}{R_b}$$

donde:

C: Potencia de portadora.

R<sub>b</sub>: Régimen binario

La relación de E<sub>b</sub>/N<sub>0</sub> con el bit error rate, depende de la modulación y de la corrección de errores (FEC). Considerando que la corrección de errores solo reduce la tasa de error.

### 3.2. Modulación

Para modular las redes VSAT se debe equilibrar tres factores para maximizar la velocidad de transmisión con la menor interferencia, mejorando la amplitud de banda:

Potencia de Tx: Cuando se aumenta la potencia de transmisión de una VSAT, se aumenta la velocidad de transmisión de datos, lo que influye en los costos aumentando la interferencia inter satelital.

Espectro extendido: es conveniente utilizar canales angostos y una modulación BPSK y QPSK.

La modulación se considera separadamente del uso compartido de canales, o técnicas de acceso. Las redes VSAT utilizan técnicas de acceso múltiple disponible entre VSAT. Las cuales son FDMA, CDMA, ALOHA y variantes de TDMA.

Ancho de Banda inroute: El ancho de banda se incrementa mediante la decodificación, potencia o extensión del espectro.

### 3.2.1. Fundamentos de transmisión

Las redes VSAT usan para sus comunicaciones satélites geoestacionarios. Según las regulaciones de la UIT, los satélites se separan a una distancia considerable para evitar interferencias.

Los elementos que definen el comportamiento del transponder son la potencia para la transmisión y para la recepción. Asimismo, es necesario el estado de saturación, saturando el nivel de entrada de potencia para que en la salida el nivel de potencia sea máximo.

La razón entre la potencia de entrada para saturar el transponder ( $P_{iS}$ ) y la potencia de entrada real que le está llegando ( $P_{iR}$ ) es el IBO. El OBO es la razón entre la potencia máxima de salida ( $P_{oS}$ ) y la real que está transmitiendo el amplificador de salida ( $P_{oR}$ ). Las expresiones son:

$$IBO = \frac{P_{iS}}{P_{iR}}$$

$$OBO = \frac{P_{oS}}{P_{oR}}$$

Los cálculos del enlace en las estaciones terrenas VSAT se fundamentan en la ecuación siguiente:

$$\left(\frac{C}{N}\right) = PIRE + \left(\frac{G}{T}\right) - K - B - L$$

Donde:

(C/N): Señal a Ruido

PIRE: Potencia Isotrópica Radiada Equivalente

(G/T): Relación de ganancia-temperatura del sistema

K: Constante de Boltzmann (-228,6 dB)

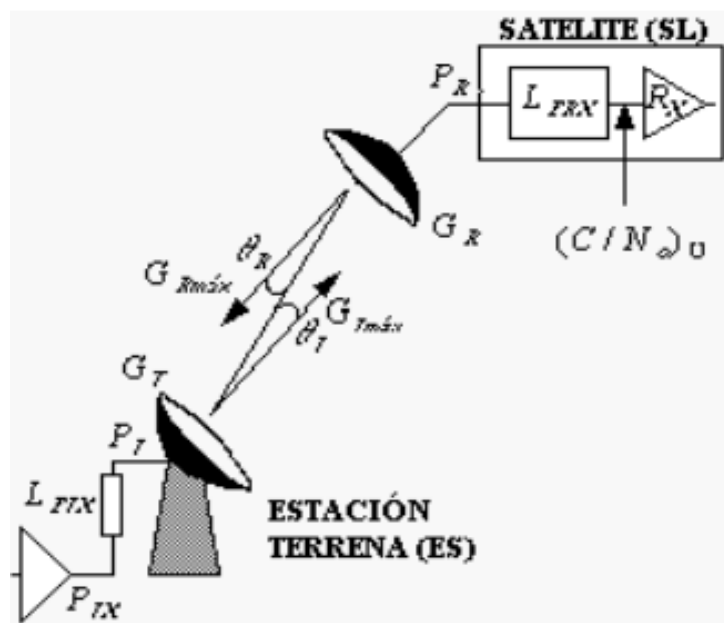
B: Ancho de banda.

L: Atenuación del trayecto

### 3.3. Análisis del enlace ascendente

A continuación, se describe el cálculo de la potencia de señal portadora a potencia de ruido para el uplink o para el enlace de subida de la estación terrena satelital.

**Figura 7: Enlace Uplink (ascendente)**



Fuente: (ptolomeo, 2019)

Con la notación del esquema de la figura 2.1, resulta:

$$\left(\frac{c}{No}\right)_u = \frac{Cu}{Nou}$$

Donde:

$(C/N_0)_u$  : Es la señal a ruido

$C_U$ : es la señal portadora a la entrada del transponder satelital.

$N_{0U}$ : =  $KT_U$  (W/Hz) es el ruido con respecto a  $T_u$  que es el ruido en subida.

Para determinar más explícitamente esta relación en función de parámetros reales del sistema, se utilizarán conceptos tales como:

Entonces la relación (C/N) del enlace para subida producida por el ruido térmico se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$\left(\frac{C}{N_0}\right)_U = \frac{P_T G_T(\theta_T)}{\left(\frac{4\pi d}{\lambda}\right)^2 L_{AV}} \left(\frac{G}{T}\right)_{SL} \frac{1}{K}$$

Donde:

$(C/N_0)_u$  : Es la señal a ruido

$L_{AU}$ : Corresponde a las pérdidas atmosféricas como lluvia, granizo, etc.

$\left(\frac{G}{T}\right)_{SL}$  : Es la figura de mérito perteneciente al receptor de la estación terrena

$d$ : distancia entre la estación terrena y el satélite.

$\lambda$ : es la longitud de onda perteneciente a la portadora.

### 3.3.1. Pérdidas uplink o en subida

Las pérdidas son de vital importancia dentro del enlace que recorre la portadora desde la estación hasta llegar al satélite. Las pérdidas se pueden dividir en dos tipos, los cuales están bien diferenciadas.

$$L_U = L_{TSU} L_{AU}$$

Donde:



$L_U$ : Pérdidas en subida.

$L_{TSU}$ : Se refiere a pérdidas por distancia en subida o enlace ascendente.

$L_{AU}$ : Son las pérdidas atmosféricas.

Pérdidas por distancia. Este tipo de perdidas tiene como parámetros más importantes, la distancia entre la estación terrena y el satélite, todo dependiente principalmente de la frecuencia de transmisión.

$$L_{TSU} = \left( \frac{4d\Pi f}{\sigma} \right)^2 = \left( \frac{4\Pi d}{\lambda} \right)^2$$

Donde

$L_{TSU}$ : Es la perdida por la distancia

$\Pi$ : Es una constante

f: Corresponde a la frecuencia

d: Es la distancia

$\sigma$  y  $\lambda$ : Son ángulos

Las pérdidas principales son por los gases de la troposfera, de la lluvia, la nieve, las nubes, y a la ionosfera. De igual forma el agua tiene un rol importante en la banda Ka, ya que a 22.34 GHz produce el fenómeno de absorción, originando atenuación.

Las pérdidas atmosféricas pueden ser divididas en dos grupos:

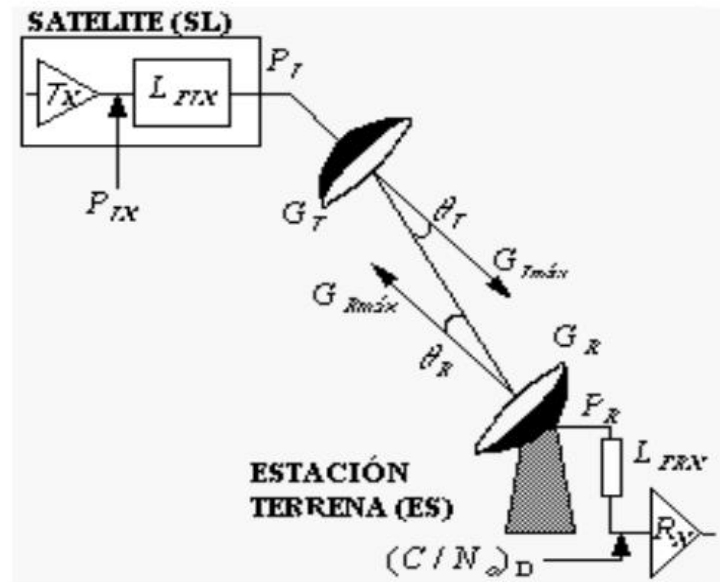
Pérdidas en condiciones de cielo despejado, estando estas siempre presentes, son representadas en función de la frecuencia y del ángulo de elevación dirigido hacia el satélite.

Pérdidas por lluvia, las cuales se calculan en función de las medias de lluvias en mm/h, los cuales son determinados por los estudios que realizan las organizaciones como el SENAMI.

### 3.4. Parametros para downlink o enlace descendente

Para el enlace de bajada del satélite a la estación terrena, la relación potencia de portadora a DEP de ruido en el enlace está dada por:

**Figura 8: Enlace Descendente**



Fuente: (ptolomeo, 2019)

$$\left(\frac{c}{N_0}\right)_D = \frac{C_D}{N_{0D}}$$

Donde:

$C_D$ : es la señal de entrada del receptor de la estación terrena.

$N_{0D}=KT_D$  (W/Hz): es el ruido referido al enlace de bajada o downlink.

Por lo tanto se expresa la relación con respecto a OBO y la relación señal a ruido (C/N) que depende directamente de la saturación del transponder como:

$$\left(\frac{C}{N_0}\right)_D = OBO \left(\frac{C}{N_0}\right)_{DSAT}$$

$$\left(\frac{C}{N_0}\right)_{DSATU} = PIRE_{SLSAT} \frac{1}{L_D} \left(\frac{G}{T}\right)_{ES} \frac{1}{K}$$

Donde:

$\left(\frac{G}{T}\right)_{ES}$  : Figura de mérito del equipo receptor de la estación terrena.

$PIRE_{SLsat}$  : Potencia isotrópica radiada por el satélite en saturación.

$L_D$  : Pérdidas correspondientes al enlace downlink o de bajada.

### 3.4.1. Pérdidas en downlink o bajada

Durante el trayecto de bajada ocurren pérdidas de la señal las cuales se pueden dividir en dos tipos principalmente:

$$L_D = L_{TSD} L_{AD}$$

Donde:

$L_{TSD}$ : Pérdidas por la distancia del enlace

$L_{AD}$ : Pérdidas atmosféricas del enlace.

Las pérdidas debido a la distancia utilizan la distancia del satélite a la estación terrena como base principal, asimismo considera la frecuencia utilizada para su transmisión.

Los cálculos se encuentran definidos por las ecuaciones siguientes:

$$L_{TSD} = \left( \frac{4d\Pi f}{\sigma} \right)^2 = \left( \frac{4\Pi d}{\lambda} \right)^2$$

Las pérdidas atmosféricas dependen de dos factores importantes, siendo el primero las pérdidas en cielo despejado, las cuales dependen de la frecuencia y el ángulo de elevación del satélite. El segundo factor es la pérdida con lluvia.

### 3.5. Cálculos para el desarrollo del enlace

Los principales parámetros a tener en cuenta para diseñar el cálculo de un enlace satelital o VSAT son los pertenecientes a los datos que proveen los equipos y la tecnología.

Siendo estos parámetros la modulación, la cantidad de portadoras  $N_u$ , cantidad de bit de información  $R_i$ , la codificación FEC, el factor de transmisión  $R_t$ , la frecuencia a utilizar dependiendo de estos se establece la disponibilidad al usuario en el año, dependiendo todos estos datos de la energía por bit de información BER y de la señal a ruido  $a$  en el receptor  $E_b/N_o$ .

También se debe de conocer los parámetros del satélite, los cuales son la localización, la figura de mérito  $G/T_{SL}$ , la potencia isotrópica radiada o PIRE, el ancho de banda  $BWs$  de igual forma la latitud, longitud y diámetro de la antena y si se utilizó un sistema de tracking.

De la antena VSAT se debe conocer la ganancia de transmisión  $G_{Tx}$ , potencia del amplificador  $P_T$ , las pérdidas por guía de onda  $L_g$ , el PIRE en transmisión, el tipo de zona y la cantidad de precipitación fluvial.

Del receptor o hub, se debe conocer, la ganancia de recepción  $G_{Rx}$ , la temperatura de ruido de la antena  $T_{RA}$ , las pérdidas en recepción  $L_{Rx}$  y la temperatura de los amplificadores de bajo ruido  $T_{LNA}$ .

También se debe de considerar el margen de implementación en el modem  $M_m$ , el tiempo de reuso de frecuencia  $T_{rf}$ , el margen con cielo despejado  $M_{cs}$ , de igual forma el Input Back Off IBO y el Output Back Off OBO provenientes del satélite.

### 3.5.1. Cálculos de desempeño del enlace

Uno de los primeros factores de cálculo es la relación de la potencia de portadora y la DEP de ruido ( $C/N_o$ ) requeridos en el receptor.

El cual es calculado mediante la siguiente formula:

$$\frac{C}{N_o} (dB) = \frac{E_b}{N_o} (dB) + 10 \log(R_i R (bps)) + M_m (dB)$$

De igual manera se necesita conocer el PIRE en saturación de la estación transmisora.

$$PIRE_{STX} (dBW) = G_{tx} (dB) + L_g (dB) + 10 \log(P_T (W))$$

El factor de interferencia de polarización cruzada en dB, el cual tiene la siguiente expresión

$$33 - 20 \log(T_{rf})_{STX}$$

La relación de distancia entre la estación terrena y el satélite en Km:

$$d(Km) = 42.727 \times 10^3 \times \sqrt{1 - 0.29521 \cos \Delta \theta \cos \theta}$$

Donde  $\Delta \theta$  y  $\theta$  son conocidos como los ángulos de elevación y el azimut de las estaciones terrenas.

### 3.5.2. Dimensionamiento del enlace ascendente

Para poder analizar el enlace UPLINK o ascendente desde la VSAT hasta el satélite se calcula ambos casos con condiciones favorables o cielo despejado y condiciones adversas o desvanecimiento por lluvias. Siendo el objetivo obtener la razón de señal a ruido en subida  $(C/N_o)_U$ :

$$\begin{aligned} & \left( \frac{C}{N_o} \right)_U \text{ (dBHz)} \\ &= PIRE_{TX} \text{ (dBW)} + \left( \frac{G}{T} \right)_{EL} \left( \frac{dB}{k} \right) - L_{TSU} \text{ (dB)} - L_{AU} \text{ (dB)} \\ &+ 228,6 \end{aligned}$$

Donde:

$L_{TSU} \text{ (dB)}$ : Corresponde a las pérdidas en subida.

$L_{AU}$ : Corresponde a la atenuación atmosférica y las pérdidas por apuntamiento.

### 3.5.3. Operación del transponder

El transponder del satélite tiene una serie de parámetros que se utilizan para dimensionar el enlace, los cuales son:

La Potencia de la portadora a la entrada del transponder.

$$C \text{ (dBW)} = PIRE_{TX} \text{ (dBW)} - L_{TSU} \text{ (dB)} - L_{AU} \text{ (dB)}$$

La densidad de flujo

$$d_f(dBW/m^2) = C(dBW) + 21.48 + 20\log(f_{up}(GHz))$$

IBO a la entrada del transponder.

$$IBO_c(dB) = d_{fS}(dBW/m^2) d_f(dBW/m^2)$$

OBO real a la salida del transponder

$$OBO_c(dB) = IBO_c(dB) + OBO(dB)_{fS} - IBO(dB)$$

PIRE real de salida del satélite.

$$PIRE_s(dBW) = PIRE_{s\text{lsat}}(dBW) - OBO_c(dB)$$

#### 3.5.4. Dimensionamiento del enlace descendente

De forma similar a lo realizado en subido, se realiza la operación en bajada para determinar el ruido pero en bajada

$$\left(\frac{C}{N_o}\right)_D(dBHz) = PIRE_s(dBW) + \left(\frac{G}{T}\right)_{ES} \left(\frac{dB}{k}\right) - L_{TSD}(dB) - L_{AD}(dB) + 228,6$$

Donde:

$L_{TSD}$ : se obtiene mediante la ecuación:

$$L_{TSD} = \left(\frac{4d\Pi f}{\sigma}\right)^2 = \left(\frac{4\Pi d}{\lambda}\right)^2$$

$L_{AD}$ : representa la atenuación atmosférica y las pérdidas por apuntamiento.

$(G/T)_{ES}$ : Es la figura de mérito en el receptor. Este valor esta en función de los parámetros del receptor como son: La ganancia  $G_{RX}$ , las pérdidas  $L_{RX}$ , la temperatura de ruido  $T_{RA}$  y la temperatura de los amplificadores de bajo ruido  $T_{LNA}$ .

$$\left(\frac{G}{T}\right)_{ES} \left(\frac{dB}{K}\right) = G_{RX} + L_{RX} - 10 \log(T_{LNA} + (1 - 10^{0.1 \times L_{RX}}) \times 290 \times 10^{0.1 \times L_{RX}} + 3.5 \\ + T_{RA} \times 10^{0.1(L_{RX}-0.05)})$$

### 3.5.5. Dimensionamiento total del enlace

Para dimensionar el enlace se debe establecer la razón entre la potencia de la portadora y la relación al ruido total, siendo los elementos que determinan el enlace la razón  $(C/No)_t$  total del enlace, calculándose con los valores del uplink y downlink como se muestra a continuación.

$$\left(\frac{C}{N_0}\right)_t^{-1} = \left(\frac{C}{N_0}\right)_U^{-1} + \left(\frac{C}{N_0}\right)_D^{-1}$$

$$M_R = \left(\frac{C}{N_0}\right)_t (dBHz) - \frac{C}{N_0} (dB)$$

$$M_D = \left(\frac{C}{N_0}\right)_t (dBHz) - \frac{C}{N_0} (dB) - M_{CS}(dB)$$

Donde:

$\left(\frac{C}{N_0}\right)_t^{-1}$ : es la relación entre la potencia y el ruido del enlace

$M_R$ : Margen del enlace.

$M_D$ : Profundidad del margen.



Cuanto mayor sea el margen, se tiene una mayor probabilidad de tener señal y comunicación en condiciones climáticas adversas. Lo ideal es utilizar métodos de optimización que mejore la relación señal a ruido sin aumentar la potencia de transmisión.

### **3.5.6. Enlace en presencia de lluvia**

Dentro de cada enlace inalámbrico se debe tener en cuenta el desvanecimiento por lluvia, el cual es un tipo de desvanecimiento que ocurre en sistemas radioeléctricos que se encuentran por encima de los 10 GHz de frecuencia, donde las gotas de lluvia absorben la energía emitida por los emisores generando ruido térmico.

Este ruido térmico actúa como una atenuación el cual se adhiere a las pérdidas en el recorrido por la portadora, afectando la señal a ruido C/No identificándose como lluvia  $A_p\%$ .

La atenuación producida por la lluvia se calcula mediante los mapas hidrográficos que se encuentran en los UIT-R.

### **3.5.7. Direccionamiento de las antenas**

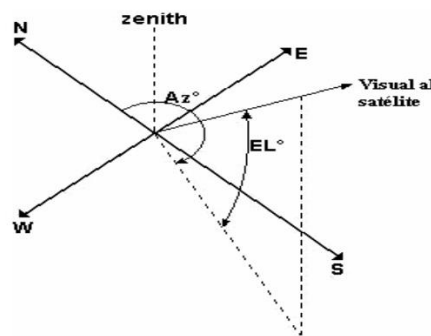
Muchas tecnologías se han desarrollado para mejorar el direccionamiento de las antenas receptoras para uno o un grupo de satélites geoestacionarios, los cuales se pueden dividir en dos grupos principales, los de antena biaxial que utiliza un montaje por azimut y elevación, y las uniaxiales de montaje polar.

Las antenas biaxiales utilizan el azimut ( $Az^0$ ) y la elevación ( $EL^0$ ), las cuales son ajustadas en la dirección máxima radiada. El montaje polar

se usa principalmente en las antenas parabólicas de los sistemas de banda C.

El azimut es definido desde el norte geográfico siendo el ángulo de elevación medido desde el horizonte. Cuando se realiza la primera aproximación, se debe mejorar el apuntamiento para maximizar la potencia recibida.

Figura 9: Azimut y Elevación



Fuente: (Photophils, 2019)

Se puede demostrar que los ángulos de elevación y azimut se expresan como:

$$EL^{\circ} = \tan^{-1} \left[ \frac{\cos \Delta \phi \cos \theta - 0.1513}{\sqrt{1 - (\cos \Delta \phi)^2 (\cos \theta)^2}} \right]$$

$$Az^{\circ} = 180^{\circ} - \tan^{-1} \left( \frac{\tan \Delta \phi}{\sin \theta} \right)$$

Donde:

$\theta$ : latitud de la estación terrena.

T: longitud de la estación terrena.

S: posición orbital del satélite.

Las latitudes del Norte y las longitudes del Este, tienen signo positivo; y las latitudes del Sur y las longitudes del Oeste, tienen signo negativo,

en el momento de determinar los diferentes parámetros. Se define  $\Delta f$  como:

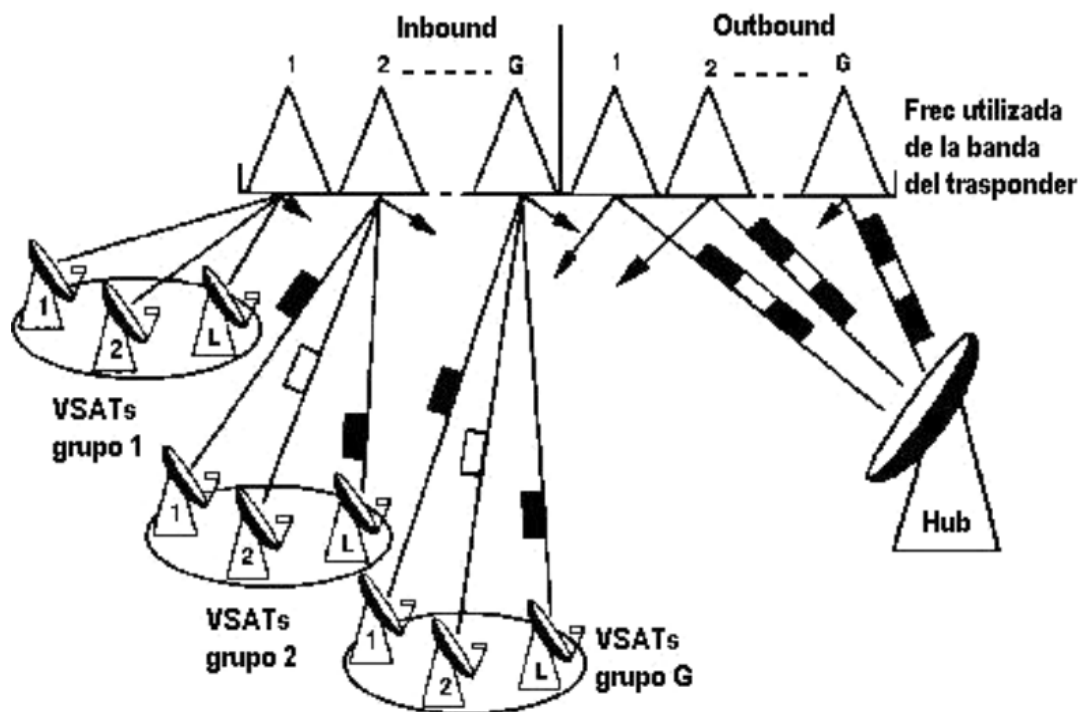
$$\Delta f = f_S - f_T$$

### 3.5.8. Ancho de banda

Para realizar un buen cálculo del ancho de banda del transponder del satélite, se necesita asegurar el servicio de conectividad, una velocidad mínima de acceso, tanto inbound como outbound.

El ancho de banda se dividirá en dos porciones, una para el enlace outbound y otra para el inbound. Siendo el enlace evaluado para el caso donde todas las estaciones remotas tengan acceso simultáneo, asegurando de esta manera la calidad del enlace en todo momento.

Figura 10: Ancho de banda inbound y Outbound



Fuente: (FEMPA, s.f.)

Se observa que para el enlace inbound se comparte la banda de frecuencias (FDMA), accediendo al satélite mediante TDMA. La banda inbound se encuentra ocupada por G portadoras y en el outbound los canales que transmite el hub son multiplexados en el tiempo.

### 3.5.9. Capacidad total del enlace

La capacidad total del enlace para el outbound y para el inbound, es el primer paso a calcular. Mientras que para el enlace inbound conocido como upstream se utiliza la siguiente ecuación:

$$C_{u1} = I \times V_r$$

$$C_{ut} = C_{u1} + C_{u2} + \dots + C_{uj}$$

Donde:

$C_{u1}$ : Es la capacidad del enlace inbound.

I: Número de unidades remotas para un mismo servicio.

$V_r$  : Velocidad inbound.

$C_{ut}$ : Capacidad total del enlace inbound.

J : Cantidad de servicios ofrecidos.

Para los enlaces outbound, de bajada o de downstream el cálculo es similar, tomando los datos de velocidades correspondientes.

## 3.6. Enlace upstream

Para el enlace upstream se necesita saber el tipo de modem, así como los parámetros técnicos como la razón de símbolo  $R_s$ , tipo de modulación, razón de codificación FEC, la cabecera overhead, el factor de caída del filtro o roll-off, calculados mediante la ecuación.

$$V_t = R_s \times N_b$$

$$V_d = V_t \times FEC$$

$$V_i = V_d \times P_t$$

$$BW = R_s \times (Roll - off)$$

donde:

$V_t$ : Velocidad de transmisión.

$N_b$ : Número de bit por símbolo.

$V_d$ : Velocidad de datos.

$V_i$ : Velocidad de información.

$P_t$ : Porcentaje de bits eliminados en la cabecera.

$BW$ : Ancho de banda por portadora.

Para el ancho de banda total en inbound, se necesita conocer el número de portadoras utilizadas, lo que se calcula de la siguiente manera:

$$N_u = \frac{C_{ut}}{V_t}$$

$$BW_{ut} = N_u \times BW$$

donde:

$N_u$ : Número de portadora en upstream.

$Bw_{ut}$ : Ancho de banda total en upstream.

### 3.6.1. Enlace downstream

Para este enlace se utiliza una portadora downstream por cada seis upstream. Después de seleccionar las portadoras se realiza un análisis igual al del enlace upstream para el ancho de banda outbound.

$$N_d = \frac{N_u}{6}$$

donde:

$N_d$ : Número de portadoras en downstream.

Se necesita comprobar la velocidad de información, considerando las portadoras  $N_d$ , superando la capacidad mínima total del enlace outbound.

### 3.6.2. Ancho de banda total de la red

Debido a las condiciones indicadas para cada uno de los enlaces, tanto en inbound como en outbound, se definen los requerimientos de ancho de banda en el transponder mediante la siguiente ecuación.

$$BW_t = BW_{ut} + BW_{dt}$$

Donde

$BW_t$ : Es el ancho de banda total.

$BW_{dt}$ : Corresponde al ancho de banda del enlace downstream.

### 3.7. Diseño del enlace satelital de Padre Rumi y Rumichaca

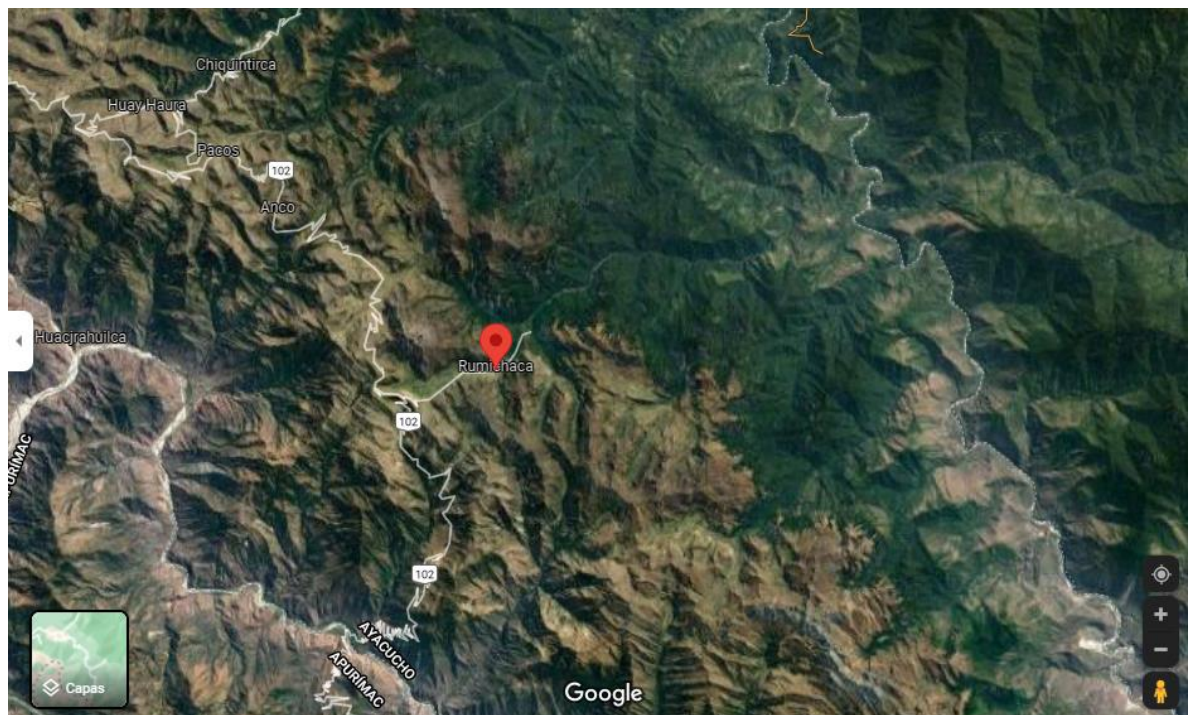
Para realizar el diseño se debe conocer las coordenadas de las localidades donde se realizará el diseño, en nuestro caso en particular los datos de las localidades de Padre Rumi y Rumichaca tal como se muestra a continuación:

Figura 11: C.P. Padre Rumi



Fuente: Elaboración Propia

Figura 12: C.P Rumicacha



Fuente: Elaboración Propia

Luego se describen los parámetros necesarios para el enlace de los centros poblados de Padre Rumi y Rumicacha,

Provincia: Huancavelica

Centro Poblado Padre Rumi

Altitud: 3,587 m.s.n.m. (C.P. Padre Rumi)

3,949 m.s.n.m. (C.P. Rumi Cacha)

Coordenada geográfica:

C.P. Padre Rumi: 12°46'20.51"S y 74°41'49.36"O

C.P. Rumicacha: 13°22'22.65"S y 74°56'30.56"O

Localidad: Centro Poblado de Padre Rumi y Rumicacha

Zona (Área geográfica): Rural

Región Natural: Sierra

**Tabla 2: Localidad**

| Localidad              | Ambito | Región | Altitud    |
|------------------------|--------|--------|------------|
| <b>C.P. Padre Rumi</b> | Rural  | Sierra | 3,587 msnm |
| <b>C.P. Rumicacha</b>  | Rural  | Sierra | 3,949 msnm |

Fuente: Elaboración Propia

Una vez definido las coordenadas donde se ubicará la estación terrena, se procede a definir el satélite a utilizar con sus respectivos datos técnicos.

El satélite a utilizar es el Intelsat 11, el cual tiene los parámetros mostrados a continuación.



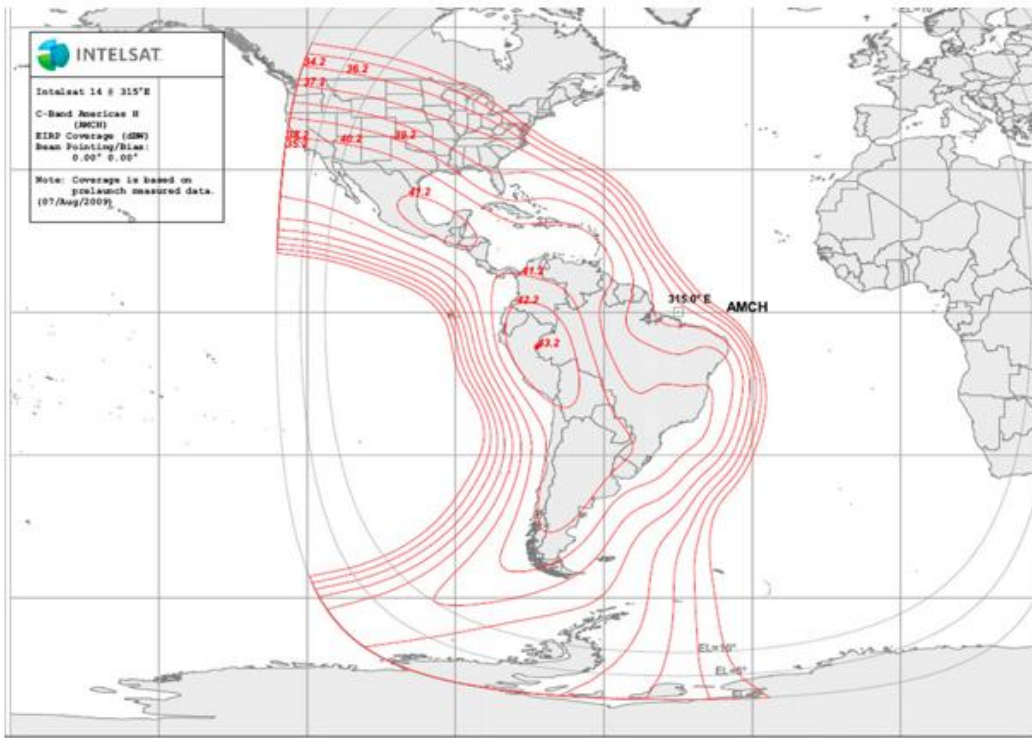
**Tabla 3: Parámetros técnicos INTELSAT 11**

| Ítem | Característica          | Parámetro                                   |
|------|-------------------------|---|
| 1    | Satélite                | INTELSAT 11                                 |
| 2    | Posición orbital        | 43° W (317° E)                              |
| 3    | Banda                   | C   |
| 4    | Transponder             | AE9C  |
| 5    | Ancho de banda          | 4.7 MHz                                     |
| 6    | Frecuencia de subida    | 6229.12 MHz                                 |
| 7    | Polarización de subida  | Horizontal                                  |
| 8    | Frecuencia de bajada    | 4004.12 MHz                                 |
| 9    | Polarización de bajada  | Vertical                                    |
| 10   | <b>Servicio 1</b>       | <b>TVPerú HD INTERNACIONAL</b>              |
|      | PID Video, PID Audio    | Video: 712, Audio: 713 y 714                |
| 11   | <b>Video</b>            | <b>HD-SDI, 1080i, 16/9, Audio Embebido.</b> |
| 12   | Codec Video             | H264, 4.2.0                                 |
| 13   | Modulación              | 8PSK, DVB-S2                                |
| 14   | Symbolo Rate            | 3.917 MS/S                                  |
| 15   | FEC                     | 3-Abr                                       |
| 16   | Roll off                | 20%   |
| 17   | Eb/No                   | 6dB   |
| 18   | Tasa de transferencia   | 136Kbps                                     |
| 19   | Potencia de transmisión | 43  |
| 20   | G/T                     | 3.8   |
| 21   | IBO                     | 5.4   |
| 22   | OBU                     | 3.5   |
| 23   | GRX                     | 53.5  |

Fuente: Elaboración Propia

Asimismo, se muestra el área de cobertura del satélite:

**Figura 13: Cobertura intelsat 11**



Fuente: (revolv, 2019)

Luego de obtener los datos de la ubicación del satélite, de la ubicación de la estación terrena y conociendo sus características, se procede a realizar los cálculos matemáticos que nos brindan la información sobre la disponibilidad, la confiabilidad y la calidad del enlace.

### 3.7.1. Enlace Padre Rumi y Rumicacha satelital

El factor principal del margen se obtiene mediante el enlace Inbound que va desde la estación tanto de Padre Rumi y Rumicacha, con un Hub cada una.

Para lo cual se realizarán los cálculos matemáticos correspondientes al diseño, iniciando con el cálculo en cielo despejado y luego tomando en cuenta el desvanecimiento por lluvia.

### 3.7.2. Cálculo del margen del enlace en condiciones de cielo despejado

Teniendo en cuenta los datos ofrecidos por el satélite y las estaciones terrenas, el primer paso es obtener la  $(C/N_0)$  requerida en el receptor para el buen funcionamiento del enlace, utilizando la ecuación descrita anteriormente, de igual forma consideramos un valor común de margen de implementación del modem ( $M_m$ ) igual a 0,5 dB.

$$\frac{C}{N_0} (dB) = \frac{E_b}{N_0} (dB) + 10 \log(R_i R (bps)) + M_m (dB)$$

$$\frac{C}{N_0} (dB) = 6 + 10 \log(136 \times 10^3) + 0.7$$

$$\frac{C}{N_0} (dB) = 58$$

Lo siguiente es calcular el factor de interferencia de polarización cruzada. Considerando un valor común de  $S_e$  toma un valor típico de tiempo de reuso de frecuencia ( $T_{rf}$ ) = 2.

$$33 - 20 \log(T_{rf})_{STX}$$

$$33 - 20 \log(2)$$

$$27 \text{ dB}$$

### 3.7.3. Enlace VSAT-Satélite

Los ángulos de EL y Az para la estación VSAT ubicada en Padre Rumi y Rumicacha se obtienen mediante las ecuaciones mostradas a continuación:

$$\Delta \text{■} = \text{■}S - \text{■}T$$

$$\Delta = -53 - (-75)$$

$$\Delta = 22$$

$$EL^0 = \tan^{-1} \left[ \frac{\cos 22 \cos 14 - 0.1513}{\sqrt{1 - (\cos 22)^2 (\cos 14)^2}} \right]$$

$$EL^0 = \tan^{-1} \left[ \frac{0.748}{0.24} \right] = 18.36^\circ$$

$$Az^0 = 180^\circ - \tan^{-1} \left( \frac{\tan 22}{\sin 14} \right)$$

$$Az^0 = 58.73^\circ$$

La distancia entre la VSAT y el satélite se calcula mediante:

$$d(Km) = 42.727 \times 10^3 \times \sqrt{1 - 0.29521 \cos 22 \cos 14} = 36,618.31 km$$

Las pérdidas correspondientes a todo el enlace, se realizan en dB, las cuales resultan de la suma algebraica que atenúan la señal.

Normalmente se toma en cuenta las atenuaciones correspondientes a la distancia, las atenuaciones atmosféricas, las cuales toman un valor de 0,7 dB y las pérdidas de apuntamiento las cuales se considera 0,1 dB.

Por lo tanto, la atenuación en subida se calcula mediante la ecuación:

$$L_{tsu}(dB) = 20 \log(f(Mhz)) + 20 \log(d(Km)) + 32.4$$

$$L_{tsu}(dB) = 20 \log(6229.12) + 20 \log(36,618.31) + 32.4$$

$$L_{tsu}(dB) = 199.562$$

Por tanto, para uplink:

$$L_U(dB) = 199.562 + 0.7 + 0.1 = 200.362 dB$$

Considerando que el transmisor se encuentra en saturación, se realiza el cálculo mediante la siguiente ecuación.

$$PIRE_{STX}(dBW) = G_{tx}(dB) + L_g(dB) + 10 \log(P_T(W))$$

$$PIRE_{STX}(dBW) = 45 - 0.5 + 10 \log(2) = 47.51 dBW$$

Después de obtener la mayor PIRE posible para el transmisor, se busca la C/No ascendente.

$$\left(\frac{C}{N_o}\right)_U (dBHz) = PIRE_{TX}(dBW) + \left(\frac{G}{T}\right)_{EL} \left(\frac{dB}{k}\right) - L_{TSU}(dB) - L_{AU}(dB) + 228,6$$

$$\left(\frac{C}{N_o}\right)_U (dBHz) = 47.51 + 3.8 - 200.362 + 228,6$$

$$\left(\frac{C}{N_o}\right)_U (dBHz) = 47.51 + 3.8 - 200.244 + 228,6$$

$$= 79.666 \text{ dBHz}$$

El punto de operación del transponder se calcula mediante:

$$C(dBW) = PIRE_{TX}(dBW) - L_{TSU}(dB) - L_{AU}(dB)$$

$$C(dBW) = 47.51 - 200.244 = -152.734$$

$$d_f(dBW/m^2) = C(dBW) + 21.48 + 20 \log(f_{up}(GHz))$$

$$d_f(dBW/m^2) = -152.734 + 21.48 + 20 \log(6.2)$$

$$= -115.406 \text{ dBW}/m^2$$

$$IBO_c(dB) = d_{fS}(dBW/m^2) d_f(dBW/m^2)$$

$$IBO_c(dB) = -87 - (-115.406)$$

$$= 28.4$$

$$OBO_c(dB) = IBO_c(dB) + OBO(dB)_{fS} - IBO(dB)$$

$$OBO_c(dB) = 28.4 + 3.5 - 5.4$$

$$= 26.5 \text{ dB}$$

$$\begin{aligned}
 PIRE_S(dBW) &= PIRE_{Slsat}(dBW) - OBO_C(dB) \\
 PIRE_S(dBW) &= 47.51 - 26.5 \\
 &= 21.01 \text{ dBW}
 \end{aligned}$$

### Enlace Satélite-hub

Los ángulos de ELo y Azo del hub ubicado en el territorio de la Habana, específicamente en Cojímar, así como la distancia entre éste y el satélite son:

$$\Delta = S - T$$

$$\Delta = -45 - (-70)$$

$$\Delta = 25$$

$$EL^0 = \tan^{-1} \left[ \frac{\cos 25 \cos 14 - 0.1513}{\sqrt{1 - (\cos 25)^2 (\cos 14)^2}} \right]$$

$$EL^0 = \tan^{-1} \left[ \frac{0.728}{0.476} \right] = 37.45^\circ$$

$$Az^0 = 180^\circ - \tan^{-1} \left( \frac{\tan 25}{\sin 14} \right)$$

$$Az^0 = 150.29^\circ$$

$$\begin{aligned}
 d(Km) &= 42.727 \times 10^3 \times \sqrt{1 - 0.29521 \cos 25 \cos 14} \\
 &= 36,779.98 \text{ km}
 \end{aligned}$$

De la misma forma que para el enlace de subida o uplink, considerando de igual forma la atenuación atmosférica y las pérdidas de apuntamiento con valores típicos de 0,5 dB y 0,1 dB respectivamente, la atenuación de bajada o downlink es:

$$L_{tsd}(dB) = 20 \log(f(Mhz)) + 20 \log(d(Km)) + 32.4$$

$$L_{tsd}(dB) = 20 \log(4004.12) + 20 \log(36,779.98) + 32.4$$

$$L_{tsd}(dB) = 195.762$$

La relación ganancia de recepción a temperatura del sistema en el receptor (G/T)ES se obtiene de la ecuación.:

$$\left(\frac{G}{T}\right)_{ES} \left(\frac{dB}{K}\right) = G_{RX} + L_{RX} - 10 \log(T_{LNA} + (1 - 10^{0.1 \times L_{RX}}) \times 290 \times 10^{0.1 \times L_{RX}} + 3.5$$

$$+ T_{RA} \times 10^{0.1(L_{RX}-0.05)}$$

$$\left(\frac{G}{T}\right)_{ES} = 53.5 - 0.1 - 10 \log(160 + (1 - 10^{0.1 \times (-0.1)}) \times 290 \times 10^{0.1 \times (-0.1)} + 3.5$$

$$+ 33 \times 10^{0.1((-0.1)-0.05)}$$

$$\left(\frac{G}{T}\right)_{ES} \left(\frac{dB}{K}\right) = 30.35 dB/K$$

La C/No en el enlace de bajada es:

$$\left(\frac{C}{N_o}\right)_D (dBHz)$$

$$= PIRE_S(dBW) + \left(\frac{G}{T}\right)_{ES} \left(\frac{dB}{k}\right) - L_{TSD}(dB) - L_{AD}(dB)$$

$$+ 228,6$$

$$\left(\frac{C}{N_o}\right)_D (dBHz) = 16.5 + 30.35 - 195.76 + 228,6$$

$$\left(\frac{C}{N_o}\right)_D (dBHz) = 76.69$$

Composición del enlace

La relación (C/No) a la entrada del receptor del hub se calcula en dB, mediante:

$$\left(\frac{C}{N_0}\right)_t^{-1} = \left(\frac{C}{N_0}\right)_U^{-1} + \left(\frac{C}{N_0}\right)_D^{-1}$$

$$\left(\frac{C}{N_0}\right)_t^{-1} = (11481536.2)^{-1} + (8810488.7)^{-1} = 2,006 \times 10^{-7}$$

$$\left(\frac{C}{N_0}\right)_t = 4985108.5$$

$$\left(\frac{C}{N_0}\right)_t \text{ dB} = 10 \log 4985108.5 = 67 \text{ dB}$$

Calculando el margen de desvanecimiento y la profundidad del margen, considerando atenuación de cielo despejado de 2 dB

$$M_R = \left(\frac{C}{N_0}\right)_t \text{ (dBHz)} - \frac{C}{N_0} \text{ (dB)}$$

$$M_R = 67 - 57.8 - 2$$

#### 3.7.4. Enlace en presencia de lluvia

Calculando el desvanecimiento por lluvia:

b) obtener la intensidad de lluvia en el territorio, R0, 01; en mm/h se muestra en el siguiente cuadro para el 0,01 % de interrupción del servicio promedio anual.

Para nuestra zona geográfica se tiene R0, 01= 95 mm/h

El factor de reducción (r0,01); debido a la inhomogeneidad de la lluvia, está dado por:



$$r_{0.01} = \frac{1}{1 + \frac{Lg}{L0}}$$

Donde:

$$Lg = Ls \cos EL$$

$$Lg = 6.25 \cos(50.14) = 4Km$$

$$L0 = 35 * e^{-0.01ER_{0.01}}$$

$$L0 = 8.418Km$$

Entonces

$$\gamma_{0.01} = k(R_{0.01})^a$$

La atenuación específica de la lluvia ( $\gamma_{0.01}$ ) en dB/km es:

$$\gamma_{0.01} = 0.67$$

Los coeficientes  $k_h, a_h, a_v, k_v$  son dependientes de la frecuencia. Algunos de sus valores se muestran en la tabla siguiente.

**Tabla 4: Tabla de coeficientes kh,ah ,av ,kv**

| Frecuencia (Ghz) | Kh      | Kv      | ah    | av    |
|------------------|---------|---------|-------|-------|
| 7                | 0.00301 | 0.00265 | 1.332 | 1.312 |
| 8                | 0.00454 | 0.00395 | 1.327 | 1.310 |
| 10               | 0.0101  | 0.00887 | 1.276 | 1.264 |
| 12               | 0.0188  | 0.0168  | 1.217 | 1.200 |
| 14               | 0.0304  | 0.0298  | 1.189 | 1.138 |

Fuente: Elaboración Propia

Para polarización horizontal y frecuencia de enlace 14GHz tenemos:

$$k = 0,03022$$

$$a = 1,174$$

Luego

$$\gamma_{0.01} = 6,34 \text{ dB/km}$$

La longitud efectiva del tramo lluvioso ( $L_e$ ) es:

$$L_g = L_s \times R_{0.01}$$

$$L_g = 6.25 \times 0.67 = 4.19 \text{ Km}$$

La atenuación por lluvia  $A_{0.01}$  es:

$$A_{0.01} = L_e \gamma_{0.01}$$

$$A_{0.01} = 4.19 \times 6.34 = 26.54 \text{ dB}$$

Para el enlace se plantea una disponibilidad del servicio de un 99,7 % anual, lo que corresponde a un 0,3 % de probabilidad de interrupción del servicio. La atenuación por lluvia está dada por:

$$\begin{aligned}
 A_{0.01} &= L_e \gamma_{0.01} \\
 A_{\%} &= A_{0.01} \times 0.12 \rho^{-(0.546+0.048 \log(Pob))} \\
 A_{\%} &= 26.54 \times 0.12 \times 0.3^{-(0.546+0.048 \log(0.3))} \\
 A_{\%} &= 5.98 dB
 \end{aligned}$$

La profundidad de margen con que cuenta el enlace en presencia de los efectos de la lluvia no es más que el margen del enlace menos el desvanecimiento por lluvia.

$$\begin{aligned}
 M_r &= 73 (dB) - 57.8 (dB) \\
 &= 15.2 dB
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_D &= 73 (dB) - 57.8 (dB) - 5.98 dB \\
 &= 9.22 dB
 \end{aligned}$$

Como se muestra es importante contar con un margen grande, debido a que en la región predominan las lluvias lo que afecta el enlace radioelectrico.

### 3.8. Costo de los Equipos

Para realizar el enlace vsat se necesita realizar contar con equipamiento, también se necesitar contar con equipos y un montaje adecuado.

**Tabla 5: instalación de la infraestructura**

| Infraestructuras         | CANTIDAD | PRECIO         |
|--------------------------|----------|----------------|
| Instalaciones eléctricas | 1        | 14,000         |
| Señaléticas              | 1        | 3,000          |
| Equipamiento electrónico | 1        | 160,000        |
| <b>Total</b>             |          | <b>177,000</b> |

Fuente: Elaboración propia

Para realizar el enlace vsat se necesita realizar contar con equipamiento, también se necesitar contar con equipos y un montaje adecuado y supervisión.

**Tabla 6: Mano de obra**

| Infraestructuras      | CANTIDAD | PRECIO        |
|-----------------------|----------|---------------|
| Gastos de supervisión | 4 meses  | 25,000        |
| <b>Total</b>          |          | <b>25,000</b> |

Fuente: Elaboración propia

De igual forma es necesario que se establezca el coste de mantenimiento del equipamiento y del personal encargado de su realización.

**Tabla 7: Costos de mantenimiento**

| Infraestructuras                  | CANTIDAD | PRECIO         |
|-----------------------------------|----------|----------------|
| Mantenimiento Eléctrico a 10 años | 1 anual  | 177,000        |
| Equipamiento                      | 1 anual  | 10,000         |
| <b>Total</b>                      |          | <b>187,000</b> |

Fuente: Elaboración propia

## **CAPÍTULO IV: METODOLOGIA**

#### **4.1. Diseño de la investigación.**

Se categoriza como descriptivo, para lo cual se abordó el estudio y análisis de las variables: de diseño satelital entre las regiones de Padre Rumi y Rumicacha.

#### **4.2. Métodos de Investigación**

Para realizar este proyecto de investigación se tomó en cuenta el método experimental. Este método nos permite definir por qué no se tiene grupo de control es decir de comparación, sólo se aplicarán los instrumentos en una única vez a la muestra de estudio, mediante mediciones periódicas aplicadas antes y después sobre la variable dependiente. (Hernández, 2003).

#### **4.3. Nivel de la Investigación**

Esta es una investigación aplicada de nivel exploratorio por lo no requiere de hipótesis sino contrastar como este se logra mejorar el sistema de bombeo actual que se tiene en la compañía.

## **CAPÍTULO V: DISCUSIÓN**

## 5.1. Resultados

Diseño de un enlace V-SAT entre los centros poblados de padre Rumi y Rumicacha para mejorar las necesidades de comunicación en la provincia de Huancavelica.

Mejorar la calidad de vida de los pobladores de la provincia de Huancavelica.

Diseñar un proyecto factible económicamente entre los centros poblados de Padre Rumi y Rumichaca en la provincia de Huancavelica.

Los resultados obtenidos son debido a la reducción del tiempo empleado por los pobladores de los centros poblados de Padre Rumi y Rumicacha los cuales ya no tendrán que caminar hacia las ciudades cercanas para obtener el servicio de comunicación.

**Tabla 8: Tiempo de caminata de un sector a otro**

| Nº | Sectores       | Minutos de Ida | Minutos de Regreso | Total Minutos |
|----|----------------|----------------|--------------------|---------------|
| 1  | Padre Rumi     | 25             | 25                 | 50            |
| 2  | Chopca         | 30             | 30                 | 60            |
| 3  | Ccollcapaccasa | 40             | 40                 | 80            |
| 4  | Paucara        | 40             | 40                 | 80            |

Fuente: Elaboración propia

Lo cual se reducirá como se muestra en el cuadro.



**Tabla 9: Tiempo de caminata de un sector a otro**

| Nº | Sectores   | Minutos de Ida | Minutos de Regreso | Total Minutos |
|----|------------|----------------|--------------------|---------------|
| 1  | Rumicacha  | 5              | 5                  | 10            |
| 2  | Pilpichaca | 3              | 3                  | 6             |
| 3  | Totorilla  | 4              | 4                  | 8             |

Fuente: Elaboración propia

## **CONCLUSIONES**

Se concluye que se realizó el diseño del sistema VSAT para los centros poblados de Padre Rumi y Rumicacha, el cual permitirá a la población comunicarse con sus familiares, con los comerciantes a los que ofrecen sus productos y con los trabajadores, aumentando su crecimiento.

Se disminuyó el tiempo que un poblador de Padre Rumi y Rumicacha tarda en tener acceso a los sistemas de comunicación, pasó de tener un tiempo promedio de 50 minutos a 10 minutos para los lugares más alejados del distrito.

Se redujo el coste de instalación y mantenimiento teniendo en cuenta la cantidad de pobladores que accederán al servicio.

## **RECOMENDACIONES**

Se recomienda que se continúe con la instalación de nuevas estaciones terrenas que permitan el crecimiento de más centros poblados al rededor del distrito.

Se recomienda aumentar la cantidad de antenas VSAT debido a que al contar con la infraestructura adecuada solo es necesario aumentar la cantidad de antenas receptoras para aumentar la cantidad de usuarios afectados.

Se recomienda optimizar el ancho de banda para futuras ampliaciones utilizando modulaciones o multiplicaciones que reduzcan el costo sin aumentar la potencia de los transmisores.

## **CAPITULO VI: REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

## 6.1. Libros

Misión, Visión y Valores obtenidos del sitio web oficial de la empresa CAMESA (2014): [www.camesa.com.pe](http://www.camesa.com.pe).

<http://indelec.com/language/es/prevelectron-3-es/>

<http://ab.rockwellautomation.com/es/Programmable-Controllers/MicroLogix-1200>

<http://ab.rockwellautomation.com/>

<http://www.generavapor.com.pe/catalogo/manometros/304-manometro-con-glicerina-0-30-psi-blue-ribbon.html>

<http://www.fluidcomponents.es/Industrial/Products/OEM/ProdOEMProducts.asp>

<http://www.directindustry.es/prod/metrix-instrument-co/product-34924-935555.html>

<http://www.bermadperu.com/soluciones/control-de-fluidos/valvulas-de-control-de-bombas-1/>

Reglamento nacional de edificaciones (RNE)

Código americano de electricidad (NEC)

Código nacional de electricidad

ANSI/NFPA: National Electrical Code.

Instrument Society of America. (ISA)

National Fire Protection Association (NFPA 72)

## **CAPITULO VII: ÍNDICES**

## 7.1. Índices de Figuras

|  |     |
|--|-----|
| Figura 1: Topología Estrella .....                         | 111 |
| Figura 2: Topología Malla.....                             | 112 |
| Figura 3: Cobertura bandas C y Ku.....                     | 115 |
| Figura 4: Ventajas y desventajas de las banda C y Ku ..... | 117 |
| Figura 5: Unidad Interior.....                             | 118 |
| Figura 6: Interferencia Cocanal .....                      | 122 |
| Figura 7: Enlace Uplink (ascendente) .....                 | 128 |
| Figura 8: Enlace Descendente .....                         | 131 |
| Figura 9: Azimut y Elevacion .....                         | 139 |
| Figura 10: Ancho de banda inbound y Outbound.....          | 140 |
| Figura 11: C.P. Padre Rumi .....                           | 144 |
| Figura 12: C.P Rumicacha .....                             | 144 |
| Figura 13: Cobertura intelsat 11 .....                     | 147 |

## 7.2. Índice de Tablas

|   |     |
|---|-----|
| Tabla 1: Densidad de servicio Móvil (Línea por 100 habitantes)..... | 102 |
| Tabla 2: Localidad .....  | 145 |
| Tabla 3: Parámetros técnicos INTELSAT 11.....                       | 146 |
| Tabla 4: Tabla de coeficientes kh,ah ,av ,kv.....                   | 155 |
| Tabla 5: instalación de la infraestructura.....                     | 157 |
| Tabla 6: Mano de obra .....   | 157 |
| Tabla 7: Costos de mantenimiento.....                               | 157 |
| Tabla 8: Tiempo de caminata de un sector a otro .....               | 161 |
| Tabla 9: Tiempo de caminata de un sector a otro .....               | 162 |

## **CAPITULO VIII: ANEXOS**



