

**UNIVERSIDAD RICARDO PALMA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**PROGRAMA DE TITULACIÓN POR TESIS**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA**



**DISEÑO DE UN SISTEMA TVWS PARA ACCESO INALÁMBRICO A  
INTERNET APLICADO AL SECTOR EDUCACIÓN DEL DISTRITO  
SANTILLANA - PROVINCIA HUANTA - DEPARTAMENTO  
AYACUCHO, 2021**

**TESIS**  
**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE**  
**INGENIERO ELECTRÓNICO**

**PRESENTADA POR**  
**Bach. FRANCO IBÁÑEZ, FÉLIX GIANCARLO**  
**Bach. SHIMABUKO RUIZ, JOSÉ CARLOS**

**ASESOR: Ing. CUADRADO LERMA, LUIS ALBERTO**

**LIMA – PERÚ**

**2021**

## **DEDICATORIA**

Dedico esta tesis a mi familia, quienes son mi fuerza y han soportado cada uno de mis pasos lejos de mi país. Ellos son el principal motivo de continuar con mi desarrollo profesional y continuar con el desarrollo de esta tesis para alcanzar mi grado académico.

Félix Giancarlo Franco Ibáñez

Dedico esta tesis a mis padres que desde temprana edad siempre me han apoyado en mis estudios, a mis seres queridos y a mi esposa, quien ha sido el apoyo crucial para mantenerme firme en el ámbito laboral y en cada etapa del desarrollo de esta tesis.

José Carlos Shimabuko Ruiz

## **AGRADECIMIENTO**

Agradecimientos al personal docente, administrativo y de apoyo de la Universidad Ricardo Palma, en especial la Escuela de Ingeniería Electrónica, quienes han participado activamente en cada etapa de mi formación y por su gran contribución a nuestra investigación de grado.

Félix Giancarlo Franco Ibáñez

Agradecimientos a los docentes de la Escuela de Ingeniería Electrónica de la Universidad Ricardo Palma, por haber compartido sus conocimientos a lo largo de la preparación de nuestra profesión y por su valioso aporte para nuestra investigación.

José Carlos Shimabuko Ruiz

## ÍNDICE GENERAL

RESUMEN .....	i
ABSTRACT .....	ii
INTRODUCCIÓN.....	iii
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	1
1.1. Descripción y Formulación del problema General y Específicos .....	1
1.1.1. Problema General .....	2
1.1.2. Problemas Específicos.....	2
1.2. Objetivo general y específico .....	2
1.2.1. Objetivo General.....	2
1.2.2. Objetivos específicos.....	2
1.3. Delimitación de la investigación: Teórica, espacial, técnica y temporal.....	3
1.4. Justificación e importancia .....	4
1.4.1. Justificación.....	4
1.4.2. Importancia.....	4
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....	5
2.1. Antecedentes del estudio de investigación .....	5
2.1.1. Antecedentes Internacionales .....	5
2.1.2. Antecedentes nacionales.....	6
2.2. Estructura teórica que sustenta el estudio.....	7
2.2.1. Espacios Blancos de Televisión ("Televisión White Space -TVWS) .....	7
2.2.2. Acceso inalámbrico a Internet .....	28
2.3. Definición de términos básicos.....	32
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA DEL ESTUDIO .....	35
3.1. Tipo y nivel de investigación.....	35
3.1.1. Tipo de investigación.....	35
3.1.2. Nivel de investigación .....	35
3.2. Diseño del sistema TVWS.....	36
3.2.1. Consideraciones para el diseño del sistema TVWS .....	36
3.3. Parámetros de diseño del sistema TVWS.....	56

3.4. Técnicas e instrumentos de simulación .....	61
3.4.1. Prueba y operatividad de los equipos TVWS Carlson y periféricos .....	61
3.4.2. Software para la simulación XIRIO .....	68
3.4.3. Modelo de propagación de OKUMURA HATA.....	69
3.5. Procedimiento para la simulación del estudio de cobertura .....	70
3.5.1. Procedimiento de simulación con software XIRIO.....	70
3.5.2. Calculo teórico de pérdida de propagación mediante el modelo de OKUMURA HATA.....	73
 CAPÍTULO IV: PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	76
4.1. Resultados de simulación de la cobertura de la estación base TVWS .....	76
4.2. Comparación de resultados teóricos versus simulados de la potencia recibida en cada CPE.....	77
 CONCLUSIONES.....	79
 RECOMENDACIONES .....	80
 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	81
 ANEXOS .....	85

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> Distribución convencional del Espectro Radioeléctrico	22
<b>Tabla 2</b> Disposiciones de atribución de bandas de frecuencias (410 MHz-806 MHz)	26
<b>Tabla 3</b> Tabla de la velocidad del router dependiendo del estándar inalámbrico	43
<b>Tabla 4</b> Frecuencias y potencia de la señal Wi-Fi	44
<b>Tabla 5</b> Ancho de banda máximo para 72 periféricos inalámbrico usando internet	51
<b>Tabla 6</b> Ancho de banda máximo para 20 periféricos inalámbrico usando internet	52
<b>Tabla 7</b> Datos de Ubicación de la estación base TVWS y estación remota satelital	58
<b>Tabla 8</b> Banda de frecuencia para televisión VHF y UHF	58
<b>Tabla 9</b> Banda de frecuencia para televisión	73
<b>Tabla 10</b> Perdida (dB) de propagación por cada CPE Teórico (dB) de propagación por cada CPE	87
<b>Tabla 11</b> Potencia recibida por cada CPE Teórico	89

## ÍNDICE DE ECUACIONES

- **Ecuación 1:** Cálculo del ancho de banda para el acceso a internet
- **Ecuación 2:** Número de usuarios beneficiados por un canal típico de 2 MHz
- **Ecuación 3:** Pérdida básica de propagación mediante modelo de Okumura-Hata
- **Ecuación 4:** Pérdida de propagación modelo de Okumura-Hata Para áreas urbanas
- **Ecuación 5:** Pérdida de propagación modelo de Okumura-Hata para áreas rurales

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Espectro Radioeléctrico	22
<b>Figura 2:</b> Usos de la banda UHF	23
<b>Figura 3:</b> Bandas de frecuencias de acuerdo con las Regiones	25
<b>Figura 4:</b> Representación del DSA en los espacios en blanco del ERE	28
<b>Figura 5:</b> Diagrama funcional de un sistema. CR, capacidades de razonamiento y aprendizaje	30
<b>Figura 6:</b> Comparación funcional de los distintos tipos de equipos de RF	33
<b>Figura 7:</b> Topología de red IEEE 802.22	35
<b>Figura 8:</b> Relación con una base de datos externa en IEEE 802.22	36
<b>Figura 9:</b> Distribución física de red punto-multipunto	37
<b>Figura 10:</b> Arquitectura de una red TVWS con el estándar 802.11af	40
<b>Figura 11:</b> Arquitectura de Acceso inalámbrico de banda ancha	41
<b>Figura 12:</b> VSAT instaladas en el distrito de Santillana, Huanta.	49
<b>Figura 13:</b> Detalles del I.E Juan Figueroa de Ger, Santillana, Ayacucho	50
<b>Figura 14:</b> Arquitectura la estación remota satelital MINEDU	53
<b>Figura 15:</b> Ubicación de estación remota VSAT y Torres de ventadas instaladas en la Municipalidad de Santillana	55
<b>Figura 16:</b> Mapa geográfico del distrito de Santillana, vista satelital	56
<b>Figura 17:</b> Canalización de TDT en la banda UHF	58
<b>Figura 18:</b> Lista de frecuencias autorizadas para la Localidad de San José de Secce	59
<b>Figura 19:</b> Análisis competitivo equipos TVWS	60
<b>Figura 20:</b> Diagrama de una estación Base con equipos CARLSON	61
<b>Figura 21:</b> Rural Connect TV Modelo 6MHz: SRCIP-AP-RM-UHF-F	62
<b>Figura 22:</b> Client model No. 6MHz: SRCIP-AP-ODU-UHF-F	62
<b>Figura 23:</b> Switch CISCO modelo Cisco SG250X-24	63
<b>Figura 24:</b> Sector Antenna for Rural Connect	63
<b>Figura 25:</b> Patrón de radiación de la Antena sectorial CARLSON	64
<b>Figura 26:</b> Diagrama de una estación Cliente CPE con equipos CARLSON	65
<b>Figura 27:</b> Rural Connect® TV Modelo 6MHz : SRCIP-CS-ODU-UHF-F	66
<b>Figura 28:</b> Client model No. 6MHz : SRCIP-CS-ODU-UHF-F	66
<b>Figura 29:</b> Log Periodic Directional UHF Antenna for Rural Connect® CPE	67
<b>Figura 30:</b> Router Mikrotik hex PoE RB960PGS	68



<b>Figura 31:</b> Arquitectura del diseño TVWS para la Municipalidad de Santillana, Ayacucho.	68
<b>Figura 32:</b> Microsoft. ¿cuánto ancho de banda necesita skype ?. 2017	69
<b>Figura 33:</b> ubicación geográfica de la estación Base	71
<b>Figura 34:</b> Ubicación geográfica de los centros poblados del distrito de Santillana	72
<b>Figura 35:</b> Conexionado y prueba de la radio estación base RuralConnect y CPE's	73
<b>Figura 36:</b> Fichas de acceso directo del Centro de operación y administración	74
<b>Figura 37:</b> Listado y Detalles de estaciones	75
<b>Figura 38:</b> Listado de mensajes de confirmación	75
<b>Figura 39:</b> visualización de localización de la estación base CARLSON	76
<b>Figura 40:</b> Control de la estación base y CPE Carlson	77
<b>Figura 41:</b> Modos de modulación de la estación base y CPE Carlson	78
<b>Figura 42:</b> Detalles de la estación Base y asignaciones de canales	79
<b>Figura 43:</b> XIRIO. Simulador profesional de cobertura radioeléctrica.	80
<b>Figura 44:</b> Creación de nuevo estudio – Nombre del estudio/descripción - ubicación de Base TVWS	81
<b>Figura 45:</b> Configuración del área geográfica y método de propagación de la señal	82
<b>Figura 46:</b> creación de nuevo estudio TVWS	83
<b>Figura 47:</b> Configuración de los rangos de señal	84
<b>Figura 48:</b> Resultado de cobertura de la estación base	86

## RESUMEN

Este proyecto muestra el diseño de la implementación de un sistema de acceso a internet utilizando la tecnología que aprovecha los espacios blancos de televisión (TVWS) usando la banda de frecuencias UHF para las zonas rurales del distrito de Santillana, Provincia de Huanta, Departamento de Ayacucho. Además, se eligió por conveniencia para el acceso a internet la estación remota VSAT instalada actualmente en el distrito. Seguidamente, la etapa de diseño pasó por la elección de los equipos con tecnología TVWS y Wireless idóneos para brindar el servicio inalámbrico en esta zona tan accidentada con la mejor cobertura y calidad de señal posible.

Para este diseño se utilizó los equipos TVWS y antenas de la marca Carlson Wireless Technologies. Además, para las topologías de red se utilizaron routers, switches y access point de diferentes marcas con puertos PoE de forma que se redujo el cableado de alimentación de los equipos. Además, para poder evaluar los resultados de esta implementación se realizaron las simulaciones respecto a la cobertura de un transmisor en frecuencia UHF con el software Xirio, utilizando los parámetros de transmisión y recepción de los equipos en mención, así como los cálculos del modelo de propagación de Okumura-hata. Por otro lado, se pudo realizar la comparación de los resultados teóricos con los resultados simulados. Así mismo, como parte del diseño, se analizó el método y enfoque de la investigación, antecedentes y teorías involucradas en el estudio así como los tiempos y costos de implementación del diseño del sistema TVWS.

**Palabras Clave:** TVWS, UHF, VSAT, Cobertura, Calidad de señal, Carlson Wireless Technologies, Router, Switches, Access point, Xirio, Okumura-Hata.

## ABSTRACT

This project shows the design of the implementation of an internet access system using technology that takes advantage of television white spaces (TVWS) using the UHF frequency band for rural areas of the Santillana district, Huanta Province, Ayacucho Department . In addition, the VSAT remote station currently installed in the district was chosen for the convenience of internet access. Next, the design stage went through the choice of equipment with TVWS and Wireless technology suitable for providing wireless service in this highly rugged area with the best coverage and signal quality possible.

For this design, TVWS equipment and antennas from the Carlson Wireless Technologies brand were used. In addition, routers, switches and access points of different brands with PoE ports were used for the network topologies in such a way that the power cabling of the equipment was reduced. In addition, in order to evaluate the results of this implementation, simulations were carried out regarding the coverage of a UHF frequency transmitter with the Xirio software, using the transmission and reception parameters of the equipment in question, as well as the propagation model calculations. by Okumura-hata. On the other hand, the theoretical results could be compared with the simulated results. Likewise, as part of the design, the method and approach of the research, antecedents and theories involved in the study were analyzed, as well as the times and costs of implementing the design of the TVWS system.

**Keywords:** TVWS, UHF, VSAT, Coverage, Signal quality, Carlson Wireless Technologies, Router, Switches, Access point, Xirio, Okumura-Hata

# INTRODUCCIÓN

Las tecnologías actuales están evolucionando a velocidades aceleradas y dando origen a la aparición de nuevas aplicaciones en los diferentes rubros y actividades diarias que realizamos. Es por eso que el uso del espectro de frecuencias para transmisión de datos es cada vez más limitado por lo cual aparece la tecnología del uso de espacios blancos de televisión como una solución a este problema. La robustez de esta tecnología tanto en cobertura como en calidad de la señal para su uso en aplicaciones de datos hacen que sea ideal para zonas accidentadas o rurales en donde la línea de vista hace difícil el uso de tecnologías inalámbricas convencionales de transmisión de datos.

En cuanto al contexto actual de pandemia en el que nos encontramos se ha visto la necesidad de contar con acceso a internet para desarrollar diferentes actividades entre las que se encuentra la educación, ya que actualmente, ante la suspensión de las clases presenciales, las instituciones educativas se vieron en la necesidad de utilizar servicios de datos para poder transmitir video, archivos y realizar las clases de forma virtual a través de internet. Son por estas razones que nos centraremos en las zonas rurales en donde el terreno accidentado dificulta establecer enlaces físicos como la fibra óptica optando por una solución inalámbrica a través de un sistema TVWS.

En el capítulo I se muestra el desarrollo de la investigación partiendo con la descripción y delimitación del problema, se formuló el problema general y específicos, se plantearon el objetivo general y los objetivos específicos. En el capítulo II se recopiló información que sirvió como base teórica para la justificación de la presente investigación, investigaciones relacionadas al tema presentando antecedentes internacionales y nacionales, normas del ITU, normas decretadas por el estado peruano, papers y manuales.

En el capítulo III se desarrolló la metodología de estudio, en el cual se aplicó los fundamentos teóricos recopilados y aplicación de programas para asegurar que el diseño del sistema TVWS propuesto es totalmente operacional dentro de los límites de cobertura de este. Finalmente, en el capítulo IV se mostraron los resultados obtenidos y las comparaciones entre las simulaciones y los cálculos teóricos.

# **CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

## **1.1.Descripción y Formulación del problema General y Específicos**

El Perú se encuentra en una etapa de transición al uso de tecnologías digitales en diferentes sectores de la sociedad, para lo cual es necesario el acceso a internet ya sea fijo, inalámbrico o móvil. Uno de los sectores que últimamente se encuentra cada vez más dependiente del uso de estas tecnologías es el de Educación. En inicios del 2021 hasta la actualidad, el sector Educación, debido a la pandemia, obligó a los diferentes colegios a verse en la necesidad de pasar de clases presenciales a la virtualización de la educación motivo por el cual las zonas rurales se vieron muy afectadas, ya que estas no cuentan con acceso a internet en ninguna de sus formas en la mayoría de los casos.

Además, por la dificultad de la geografía y el acceso en estas zonas, sólo es posible implementar proyectos de acceso inalámbrico, ya que tienen mayor dinamismo en cuanto a su implementación y menores costos. Actualmente se está evaluando acceder a distintos proyectos de infraestructura en redes de internet para lograr la interconectividad de su población y, a su vez, a las diferentes instituciones educativas de su localidad. Por otro lado, un punto relacionado al problema es respecto a la pandemia, la cual se ha extendido en todo el mundo y el proceso de adquisición y vacunación sigue obligando a las empresas, instituciones y colegios a seguir usando medios virtuales para poder cumplir con sus objetivos, en especial los colegios en las zonas rurales, ya que no cuentan con grandes aulas que le permitan albergar gran cantidad de alumnos en un mismo establecimiento. Cabe resaltar que, actualmente, siguen apareciendo diferentes virus y variantes de estas en distintas regiones del mundo, las cuales en cualquier momento podrían generar una nueva pandemia o sufrir los estragos de cualquier desastre natural. Por estos motivos, de no tomar las medidas correspondientes en implementación de tecnologías para el acceso a internet, se podría ocasionar que muchos estudiantes perdieran el año escolar, lo que complicaría que pudieran continuar sus estudios. Por estas razones, implementando un diseño para el acceso a internet inalámbrico a través de los sistemas TVWS, logramos superar esa brecha de conectividad para así brindar teleeducación a los estudiantes de las zonas rurales.

### 1.1.1. Problema General

¿Qué diseño de sistema TVWS permitirá el acceso inalámbrico a internet para el sector educación en el distrito de Santillana, Provincia de Huanta, Departamento de Ayacucho?

### 1.1.2. Problemas Específicos

- a) ¿Qué espectro de frecuencias libres permitirá el acceso inalámbrico a internet aplicado al sector educación del Distrito Santillana, Provincia de Huanta, Departamento de Ayacucho?
- b) ¿Qué estándar inalámbrico permitirá la implementación de un Sistema TVWS para el acceso inalámbrico a internet aplicado al sector educación del Distrito Santillana, Provincia de Huanta, Departamento de Ayacucho?
- c) ¿Qué infraestructura Wireless de Sistema TVWS permitirá el acceso inalámbrico a internet aplicado al sector educación del Distrito Santillana, Provincia de Huanta, Departamento de Ayacucho?

## 1.2. Objetivo general y específico

### 1.2.1. Objetivo General

Diseñar un sistema TVWS para acceso inalámbrico a internet aplicado al sector educación del Distrito Santillana - Provincia Huanta - Departamento Ayacucho, 2021.

### 1.2.2. Objetivos específicos

- a) Elegir el espectro de frecuencias libres adecuado para el Diseño del sistema TVWS que permita el acceso inalámbrico a internet aplicado al sector educación del Distrito Santillana - Provincia Huanta - Departamento Ayacucho.
- b) Elegir el estándar Wireless adecuado para el Diseño del sistema TVWS que permita el acceso inalámbrico a internet aplicado al sector educación del Distrito Santillana - Provincia Huanta - Departamento Ayacucho.
- c) Elegir la Infraestructura Wireless adecuada para el Diseño del sistema TVWS que permita acceso inalámbrico a internet aplicado al sector educación del Distrito Santillana - Provincia Huanta - Departamento Ayacucho.

### 1.3. Delimitación de la investigación: Teórica, espacial, técnica y temporal.

En esta investigación se expondrá todo lo referente al diseño de un Sistema TVWS en base a los marcos regulatorios del MTC que se promulgaron a inicios del 2018, con el fin de disponer de cierta cantidad de espectro radioeléctrico en la banda de frecuencias entre los 470 y 698 MHz (UHF) y se permita el acceso inalámbrico a internet. En cuanto a la delimitación espacial, la investigación se enfoca en distrito Santillana, provincia Huanta, departamento Ayacucho, no siendo objeto del alcance de la cobertura los distritos colindantes, centros poblados u otras provincias.

En el aspecto técnico, se utilizará la tecnología VSAT para la estación remota, la cual ya se encuentra implementada en el distrito de Santillana, localidad de San José De Secce. Por lo tanto, el diseño, análisis y otros relacionados con la estación Terrena satelital no forman parte de la investigación, más sí los parámetros de la conexión de internet que brinda el proveedor Satelital. Por otro lado, para poder brindar el acceso a internet a los usuarios finales, se utilizará el sistema TVWS con tecnología de radio cognitiva, el cual se basa en la obtención de datos por geolocalización, acceso a una base de datos y capacidad de detección de espectro. Así mismo, para este sistema, los equipos que se utilizarán para el diseño TVWS corresponden a la marca CARLSON WIRELES TECHNOLOGIES, ya que, de acuerdo con una evaluación de equipos, este cumple con una mejor sensibilidad, mejor ancho de banda por canal UHF y una mejor tasa de transmisión. En cuanto a la simulación de cobertura, esta será implementada con los softwares Xirio Online y Google Earth, los cuales nos darán los resultados de nuestra implementación y sus alcances.

La validez de la información extraída, los datos y parámetros de nuestra investigación están delimitados desde su inicio en el mes de abril del año 2021 hasta el mes de octubre del mismo año. Tratándose de aspectos tecnológicos y con la dinámica que tiene actualmente no se contemplan variaciones futuras o datos que pudieran cambiar fuera de ese rango.

## 1.4. Justificación e importancia

### 1.4.1. Justificación

Este diseño pretende dar una solución alternativa y viable ante a la escasez de los servicios de las telecomunicaciones presentes, a la necesidad de acceder a internet para uso de herramientas tecnológicas, a la necesidad de obtener medios de enseñanza virtual a las zonas rurales, a la necesidad de brindar medios alternativos a los inviables proyectos de redes tendidas actuales basados en Fibra Óptica y el narcoterrorismo presente aún en la zona.

Por otra parte, desde el 2018, El Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC) busca llevar internet a las zonas más alejadas del Perú utilizando nuevas tecnologías como el uso de los “espacios en blanco de televisión” (TVWS). Esta tecnología ya se implementó con éxito en otros países del bloque sudamericano como Colombia y Ecuador, mostrando su eficacia y eficiencia en cuanto al objetivo de cumplir con ayudar al sector educativo.

### 1.4.2. Importancia

El avance de la tecnología cumple una función fundamental en el desarrollo de los servicios de comunicaciones, el cual ha incentivado al sector público y privado a desarrollar y/o aplicar medios y recursos tecnológicos que mejoren la transmisión de banda ancha inalámbrica. Sin embargo, ante la evolución de las plataformas educativas, la necesidad del acceso de los estudiantes a estas y, en especial, el difícil acceso en las zonas rurales es importante realizar estudios que permitan soluciones prácticas y viables a estos problemas.

Por otro lado, la poca difusión y estudios realizados en el Perú respecto a la tecnología TVWS genera un punto de partida para realización de estudios que permita a toda persona, empresa o institución del país tener una referencia para la implementación de esta tecnología para brindar acceso a internet a las zonas rurales y generar una base teórica que sirva para futuras investigaciones.



## CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

### 2.1. Antecedentes del estudio de investigación

#### 2.1.1. Antecedentes Internacionales

Vásquez, D. (2018) en la defensa de su tesis Análisis y Propuesta Técnica para el Despliegue e Implementación de TV White Space en Ecuador se expuso la siguiente conclusión: Las bandas de operación de TVWS ha considerado a servicios que son de carácter primario y que pueden ser de carácter sensible por la importancia de sistemas que operan en estas bandas, de esta manera las restricciones realizadas permite establecer bandas de frecuencias en las que podrá operar TVWS, asegurando el funcionamiento de otros servicios que son de interés nacional. Además, Vásquez (2018, p.122) menciona que: “Con el uso de un canal de 6MHz pueden verse beneficiadas 390 familias que deseen hacer uso de TVWS, y que representan 1482 beneficiarios que podrán conectarse a internet con velocidades de 512/512 kbps”. Por otro lado, según Vásquez, D. (2018, p 123) que “(...) los resultados de cobertura obtenidos han sido planteados en base a varias BS ubicadas en los sectores más altos de estas parroquias y que permiten obtener mayores áreas cubiertas (...)”.

Pérez, W. (2017) en la defensa de su tesis Metodología para la localización de TV WHITE SPACES en zonas rurales del Distrito Metropolitano de Quito mediante el uso del software de planificación de red ICS Designer expuso la siguiente conclusión: Actualmente con el crecimiento de las tecnologías inalámbricas surge la necesidad de utilizar porciones libres del espectro radioeléctrico para el despliegue de nuevos servicios o para mejorar los servicios existentes. De ahí que, con el análisis de la ocupación actual del espectro radioeléctrico en el DMQ se pudo constatar que aproximadamente el 67% de las parroquias rurales se encuentran subutilizadas. Además, Pérez (2017, p103) que “(...) la precisión de las coberturas que se obtienen en el software depende de una correcta elección del modelo de propagación. Es por ello que en este proyecto se escogió el modelo de propagación Okumura-hata/Davidson, el cual es un modelo empírico empleado en entornos urbanos, suburbanos y rurales, toma en cuenta el tipo de ambiente y las irregularidades del terreno para predecir el área de cobertura en un territorio determinado(...)”.

Espinal, A. (2018) en la defensa de su tesis Alternativas de acceso a internet para establecimientos educativos rurales oficiales sin cobertura en los municipios no certificados en Antioquia, expuso la siguiente conclusión: El Plan de Mejora de Conectividad para Antioquia presentado en esta tesis, plantea la utilización de la banda no licenciada de 5GHz (Rango 4910 - 5970 Hz) para conectar las instituciones educativas rurales. Estas frecuencias tienen mayor afectación debido a las condiciones geográficas que interfieren en la línea de vista o la zona de Fresnel, mientras que la tecnología TVWS (Rango 470MHz a 698 MHz) tiene menores pérdidas en condiciones desfavorables. Sin embargo, no se propone la utilización de TVWS debido a que se estarán realizando pruebas de la tecnología por parte de la Agencia Nacional del Espectro hasta finales del año 2019, antes de que sea dispuesta al público.

Arévalo, E. (2019, p.12) en la defensa del Proyecto de USAID de Educación Superior para el Crecimiento Económico, con título Diseño y despliegue de infraestructura TVWS para la mejora de servicios de conectividad y aplicaciones con Internet de las Cosas se expuso las siguiente conclusión: TVWS es una tecnología que podría ser implementado en cualquier país, conforme a los resultados obtenidos permite establecer una conexión estable de hasta 10 Mbps en El Salvador utilizando equipo de 6harmonics y con una distancia superior a 10 Km. Además, Arévalo, E. (2019, p.12) menciona que esta tecnología es ideal para cualquier aplicación, ya que permite establecer conexiones para trabajar de dos maneras: “(...) La primera es establecer una red de área local donde todos los equipos conectados no necesitan de conexión a internet para comunicarse entre ellos; y, la segunda establecer una conexión a internet con cada uno de los equipos de TVWS (...)”.

### 2.1.2. Antecedentes nacionales

Tafur, J. (2017) en la defensa de su tesis Análisis de soluciones tecnológicas que utilicen el uso compartido de espectro y propuestas técnicas para su implementación en el marco normativo peruano, expuso la siguiente conclusión: Dada la creciente demanda de datos móviles y de dispositivos conectados a internet móvil, cada vez se vuelve máspreciado y de mayor necesidad contar con

mayor infraestructura y mayor espectro para ser utilizado para brindar servicios inalámbricos de banda ancha. En vista de ello, y dado la necesidad de los operadores inalámbricos de contar con mayor cantidad de espectro y en vista de que en muchos casos, no es factible con contar con espectro adicional en un concurso público en el corto plazo, se cuenta con diversas soluciones tecnológicas tales como Roaming Nacional, Compartición Activa de Infraestructura con Espectro Compartido, Operadores Móviles Virtuales, Operadores de Infraestructura Móvil Rural y Asignación Dinámica de Espectro, las cuales son analizadas en la presente tesis y que permiten compartir el uso del espectro radioeléctrico aumentando su uso eficiente. Asimismo, dichas soluciones tecnológicas de compartición de espectro permiten a los operadores atender la creciente demanda de datos que experimentan en sus redes, así como a ampliar la cobertura de sus redes.

## 2.2. Estructura teórica que sustenta el estudio

### 2.2.1. Espacios Blancos de Televisión ("Televisión White Space -TVWS)

A finales del 2015, en México se culminó el denominado apagón analógico [6]; con esto, se puso en marcha de manera íntegra la red de Televisión Digital Terrestre (TDT). La emisión de los transmisores de cada uno de los canales digitales que integran la red de TDT se encuentra geográficamente entrelazadas, dejando espacios libres entre sus áreas de cobertura, con la finalidad de evitar interferencias; estos espacios, son los que potencialmente pueden llegar a ser identificados como espacios blancos (TVWS). (Cuevas, 2017, p. 2)

Los canales de televisión que aún no se encuentran en uso, principalmente se deben a niveles de demanda muy bajos de la televisión terrestre, esta baja demanda se da debido a que son áreas de densidad poblacional muy baja (áreas rurales) (Gómez, 2013). Existen también canales que han sido enfocados para evitar interferencias con los demás canales de radiodifusión, estableciendo así una clase de protección a los servicios que son de carácter primario y que operan en estas bandas. La cantidad de espectro que se encuentra en la actualidad disponible depende de las características geográficas y de los niveles de

interferencia presentes por los servicios de radiodifusión televisiva que operan en la región (Gómez, 2013. p, 9).

Respecto a la gestión para el uso de lo TVWS, este se puede analizar básicamente desde dos puntos de vista haciendo uso de técnicas de Radio Cognitiva: Sensado de Espectro (para detectar los espacios o huecos a usar en tiempo real) y el uso de bases de datos geo-localizadas. En la primera opción, un dispositivo (WSD, White Space Device) que opera haciendo uso de TVWS, detecta el canal sin usar, sensando el medio antes de proceder a su uso. La otra alternativa plantea que un WSD accede a una base de datos donde se encuentran registrados los canales o espacios disponibles para la zona donde se encuentre geo-localizado el usuario secundario. Esta información es calculada haciendo uso de modelos de propagación; uno de los métodos de análisis de propagación de la señal más comúnmente usados para estas aplicaciones es el conocido como Longley-Rice, que toma en cuenta la orografía del terreno entre otros varios factores. (Cuevas, 2017, p. 1)

En la actualidad muchos países de diferentes continentes ya se encuentran incursionando en el desarrollo y despliegue de proyectos piloto en base a tecnologías TVWS, los cuales establecen condiciones de operación, gestionando el espectro radioeléctrico de manera eficiente mediante el uso de base de datos o escaneo de las frecuencias libres como ya se mencionó anteriormente. Por otro lado, estas gestiones de espectro radioeléctrico siempre establecerán límites de proyección para los sistemas de televisión en VHF y UHF.

a) Ventajas del uso de TVWS

TVWS plantea la ventaja de la propagación obtenida con el uso de las bandas de radiodifusión, donde se consigue cobertura tanto en interiores como exteriores que no necesariamente poseen línea de vista. A diferencia de Wi-Fi que apenas puede atravesar dos paredes, el servicio de banda ancha proporcionado por TVWS puede viajar hasta 30 km, considerando que en su trayecto existen edificios, vegetación y otra clase de obstáculos (Gilpin, 2011).

El principal objetivo encontrado para esta tecnología es la de ampliar el espectro disponible para los diferentes servicios de datos inalámbricos de tal manera que se logre disminuir el peso que existe sobre las redes Wi-Fi en la actualidad, a su vez aumentando áreas de cobertura que permitan obtener más usuarios conectados a la red de Internet (Flynn, 2016).

Con la ayuda de TVWS, se puede poner a disposición mayor cantidad de espectro, de esta forma se puede aumentar los niveles de transmisión de los sistemas inalámbricos, que en la actualidad poseen una alta demanda. Sin embargo, se debe considerar que, si se desea utilizar TVWS de manera directa con dispositivos inalámbricos como celulares o portátiles, en la actualidad aun no es posible, esto se da debido a que los dispositivos de TVWS proporcionan un enlace a un receptor, el mismo que se conecta un hub Wi-Fi que permite la conexión a sus usuarios finales, es decir no se puede hacer uso directo del espectro de banda ancha (Gilpin, 2011).

Los dispositivos de TVWS fijos proporcionan un backhaul de alta capacidad para APs Wi-Fi, los cuales pueden ser ubicados en áreas geográficamente extensas y que no requieren de manera necesaria el uso de grandes torres celulares, abaratando costos de implementación y ampliando su rango de cobertura a diferencia de otras tecnologías de acceso a Internet (Flynn, 2016).

#### b) Espectro Radioeléctrico (ERE)

“En nuestro país, el espectro radioeléctrico es un recurso natural, patrimonio de la nación, que es administrado por el Estado. Este recurso constituye el componente fundamental para que los operadores puedan ofrecer servicios inalámbricos, tales como la telefonía móvil o el Internet móvil.” (Estado del espectro radioeléctrico en el Perú y recomendaciones para promover su uso en nuevas tecnologías. OSIPTEL, 2019).

Además, según Bonet y García (2016, pp. 57-58) “(...) El espectro radioeléctrico es la parte del espectro electromagnético situado, aproximadamente, entre los 3 KHz y los 300 GHz y es la parte más utilizada para las telecomunicaciones

inalámbricas. Según la nomenclatura ITU/UIT, el espectro radioeléctrico se divide tal y como muestra (...)” en la siguiente Figura 1.



**Figura 1:** Espectro Radioeléctrico

Fuente: Bonet y García. El imperio del aire: espectro radioeléctrico y radiodifusión 2016, p.58

Adicionalmente, según Bonet y García (2016, p. 60) “(...) Dentro del espectro radioeléctrico, la sub-banda UHF es la infraestructura necesaria e imprescindible sobre la cual se realiza la difusión de los servicios (...)” tales como los enlaces de radio, navegación aérea y la televisión digital terrestre (TDT), entre otros. En la tabla 1, se muestran las denominaciones de las frecuencias y sus usos típicos, como ya mencionados anteriormente.

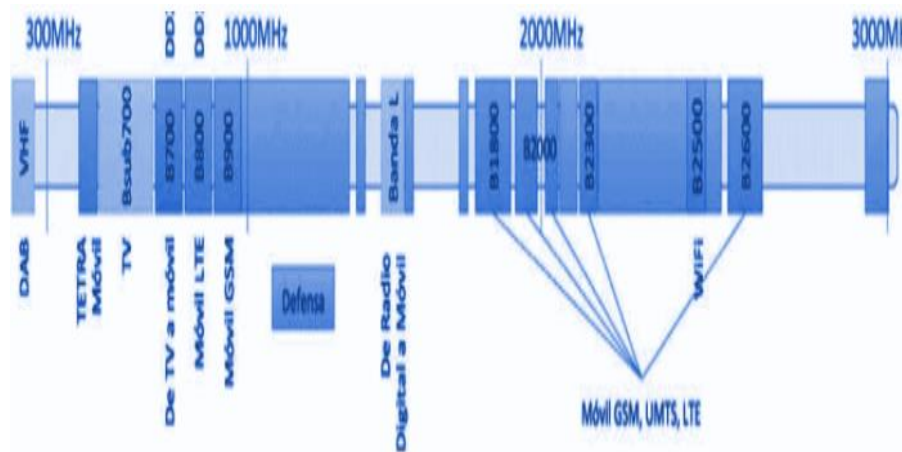
**Tabla 1** Distribución convencional del Espectro Radioeléctrico

SIGLA	DENOMINACION	FRECUENCIA	USO TIPICO
VLF	Very Low Frequency	3Khz a 30Khz	Enlaces de radio a larga distancia
LF	Low Frequency	30Khz a 300Khz	Enlaces de radio a larga distancia, ayuda a navegación aérea y marítima
MF	Medium Frequency	300Khz a 3Mhz	Radiodifusión y comunicaciones marítimas
HF	High Frequency	3Mhz a 30Mhz	Comunicaciones a media y de larga distancia de todo tipo
VHF	Very High Frequency	30Mhz a 300Mhz	Enlaces de radio corta distancia. Televisión.

			Frecuencia modulada.
			Comunicaciones marítimas
			Enlaces de radio, radar, ayuda a la navegación aérea y televisión
UHF	Ultra High Frequency	300Mhz a 3Ghz	

Fuente: Bonet y García. El imperio del aire: espectro radioeléctrico y radiodifusión 2016, p.59

Debido a la importancia de estos servicios inalámbricos, usualmente se relaciona la banda UHF solo utilizada por la televisión TDT. Sin embargo, la banda UHF incluye las frecuencias entre 300 MHz y 3 GHz, como ya mencionado anteriormente, y son utilizadas para muchos otros servicios como, por ejemplo, la telefonía móvil y Defensa. En la Figura 2 se muestran los usos de la banda UHF.



**Figura 2:** Usos de la banda UHF

Fuente: Bonet y García. El imperio del aire: espectro radioeléctrico y radiodifusión 2016, p.61

c) Estudio de la Canalización en UHF a lo emitido por el MTC

El espectro radioeléctrico es un recurso natural conformado por el conjunto de ondas electromagnéticas cuyas frecuencias se fijan convencionalmente desde 9 kHz hasta 300 GHz y que forma parte del patrimonio de la Nación. El Estado es soberano en su aprovechamiento, correspondiendo su gestión, administración y

control al Ministerio de Transportes y Comunicaciones. El presente Plan Nacional de Atribución de Frecuencias (PNAF) contiene los cuadros de atribución de frecuencias de los diferentes servicios de telecomunicaciones en la República del Perú, de tal forma que los diversos servicios operen en bandas de frecuencias definidas previamente para cada uno de ellos, a fin de asegurar su operatividad, minimizar la probabilidad de interferencias perjudiciales y permitir la coexistencia de servicios dentro de una misma banda de frecuencias, cuando sea el caso. (Plan Nacional De Atribución De Frecuencias, 2008, p.3)

Por otro lado, dentro del Plan Nacional De Atribución De Frecuencias se manejan términos específicos con relación a la gestión de frecuencias, los cuales son los siguientes:

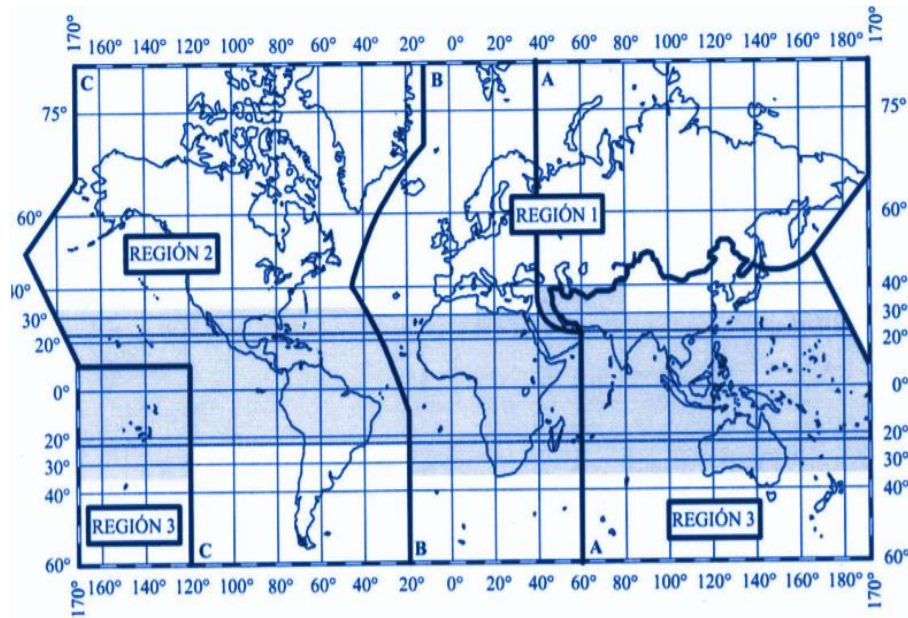
- Atribución. - “Inscripción en el Cuadro de atribución de bandas de frecuencias, de una banda de frecuencias determinada, para que sea utilizada por uno o varios servicios de Radiocomunicación terrenal o espacial” (Plan Nacional De Atribución De Frecuencias, 2008, p.5)
- Adjudicación. - “Inscripción de un canal determinado en un plan, adoptado por una conferencia competente, para ser utilizado para un servicio de radiocomunicación terrenal o espacial en uno o varios países o zonas geográficas determinados y según condiciones especificadas” (Plan Nacional De Atribución De Frecuencias, 2008, p.5)
- Asignación. - “Autorización que se da para que una estación radioeléctrica utilice una frecuencia o un canal radioeléctrico determinado en condiciones especificadas” (Plan Nacional De Atribución De Frecuencias, 2008, p.5)

d) Atribución de bandas de frecuencias de acuerdo con el MTC

(Plan Nacional De Atribución De Frecuencias, 2008, p.21) especifica lo siguiente: “Los servicios de radiocomunicaciones que operen con autorización de la Administración Peruana de Telecomunicaciones deberán cumplir con lo especificado en el cuadro de atribución de bandas de frecuencias y sus notas adicionales”.



Además, el PNAF (Plan Nacional De Atribución De Frecuencias, 2008, p.21) plantea que: “Desde el punto de vista de la atribución de las bandas de frecuencias, se ha dividido el mundo en tres Regiones, Perú pertenece a la Región 2, como se aprecia en el mapa de la Figura 3.



**Figura 3:** Bandas de frecuencias de acuerdo con las Regiones

Fuente: Plan Nacional De Atribución De Frecuencias, 2008, p.21

e) Distribución de los canales para televisión en frecuencias UHF

En Primer lugar, de acuerdo con el documento del PNAF, para comprender las disposiciones del Cuadro de atribución de bandas de frecuencias que se muestra en la tabla 2, se menciona los siguientes 3 puntos que se encuentran en el capítulo III de este mismo documento e indica lo siguiente:

- El encabezamiento del Cuadro que figura en la sección IV de este artículo comprende dos columnas, una con la atribución para la Región 2 y otra con la atribución para Perú de estas bandas a los diversos servicios de radiocomunicaciones. (Plan Nacional De Atribución De Frecuencias, 2008, p.23)
- La columna correspondiente a la atribución nacional comprende dos sub-columnas, una con la atribución de las bandas a los servicios y otra con notas

y observaciones relativas al tipo de explotación indicado. (Plan Nacional De Atribución De Frecuencias, 2008, p.23)

- Los números que aparecen precedidos por la letra P en la tabla, son referencias que se encuentran en la sección V de este artículo, referidos únicamente a los servicios indicados en la banda de frecuencias. (Plan Nacional De Atribución De Frecuencias, 2008, p.23)

**Tabla 2**

*Disposiciones de atribución de bandas de frecuencias (de 410 MHz-806 MHz)*

<b>PERU</b>		
<b>REGION 2</b>	<b>ATRIBUCION</b>	<b>NOTAS Y OBSERVACIONES</b>
470 -512		
RADIODIFUSION	470 -512	P11, P11A
Fijo	RADIODIFUSION	Radiodifusión por televisión
Móvil		
		P11, P11A
512 – 608	512 – 608	Radiodifusión por televisión
RADIODIFUSION	RADIODIFUSION	
608 – 614	608 – 614	
RADIOASTRONOMIA	RADIOASTRONOMIA	
Móvil por satélite salvo móvil aeronáutico por satélite (Tierra Espacio)	Móvil por satélite salvo móvil aeronáutico por satélite (Tierra Espacio)	
	614 –746	
	RADIODIFUSION	P11
614 – 806	Fijo	Radiodifusión por televisión
RADIODIFUSION	Móvil	
Fijo		
Móvil	746 - 806	
	Fijo	P51
	Móvil	

Fuente: Plan Nacional De Atribución De Frecuencias, 2008, p.39

Por otro lado, un punto fundamental que se encuentra estrechamente ligada al desarrollo de nuestra tesis es referente a las notas y observaciones P11 y P11A, los cuales menciona lo siguiente:

- P11.- El Estado se reserva dos (2) frecuencias o canales en cada una de las bandas atribuidas al servicio de radiodifusión sonora y por televisión, por localidad. En aquellas localidades en las que se hubieran canalizado quince (15) o menos frecuencias o canales, el Estado se reserva sólo una (1). (Plan Nacional De Atribución De Frecuencias, 2008, p. 61)
- P11A.- La banda 470 – 584 MHz se reserva para el servicio de radiodifusión por televisión digital terrestre a nivel nacional y mientras dure tal situación, el Ministerio no realizará nuevas asignaciones en dicha banda. (Plan Nacional De Atribución De Frecuencias, 2008, p. 61)

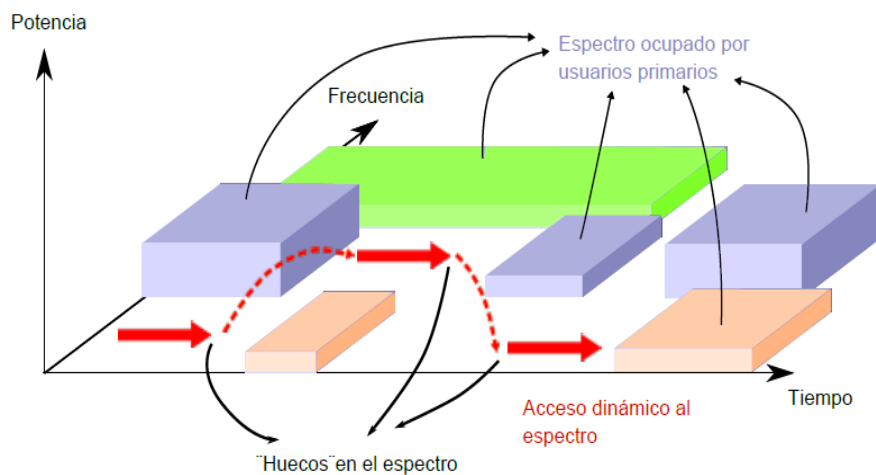
Adicionalmente, (Plan Nacional De Atribución De Frecuencias, 2008, p. 61) hace mención que: “(...) los canales 29, 30, 31 y 32 (...)” servirán exclusivamente para la realización de pruebas y demostraciones inherentes a la televisión digital por un periodo improrrogable que no excederá de seis meses.

f) Acceso dinámico al Espectro Radioeléctrico (DSA)

El término Dynamic Spectrum Access (DSA) o en español acceso dinámico al espectro, es utilizado para especificar un conjunto de tecnologías y técnicas que permite a los equipos relacionados a las radiocomunicaciones utilizar de eficiente el espectro radioeléctrico disponible en cierta ubicación geográfica.

Este modelo dinámico permite que usuarios secundarios (aquellos que no disponen de ningún tipo licencia y que no tienen permitido el uso del espectro correspondiente a bandas que requieren autorización) accedan a los espacios en blanco, o también llamados White Spaces (WS), que existen en el ERE, especialmente en las bandas UHF y VHF. Este modelo pretende optimizar la escasez de espectro incrementando la capacidad de utilización de este.

Por otro lado, los White spaces son los segmentos de tiempo-frecuencia en que el usuario primario (aquellos que disponen de licencia para explotar el espectro) no utiliza el ERE quedando éste disponible durante ese tiempo. En la Figura N° 4 se representan tanto aquellos segmentos de tiempo-frecuencia donde el espectro es utilizado por usuarios primarios y los espacios vacantes donde el espectro no se está utilizando.



**Figura 4:** Representación del DSA en los espacios en blanco del ERE

Fuente: Hernández, P. y Carro, G. Principios, normas y soluciones de Radio Cognitiva 2016, p. 4

El acceso dinámico de espectro es el concepto detrás del sistema de radios cognitivos y se crea a partir de un análisis de cómo se utiliza normalmente el espectro radioeléctrico, en cuanto a las dimensiones de tiempo, frecuencia y espacio. En la mayoría de las técnicas de acceso al ERE, el usuario Primario, o también llamado usuario Licenciado, se le asigna una banda de frecuencias o canales de manera exclusiva. Sin embargo, al realizar esta asignación de frecuencias implica que ese espectro es utilizado por el usuario primario sólo en aquellos intervalos de tiempos donde este decide usarlo, quedando disponible el resto del tiempo. Este tipo de asignación de frecuencias en el ERE no es la más eficiente, ya que posee un bajo aprovechamiento del recurso.

Según Hernández y Carro (2016. p. 5) “(...) para poder aprovechar los WS dejados por el usuario primario, un usuario secundario debe poder adecuar su

frecuencia de operación con el paso del tiempo, por ejemplo, como describen las flechas rojas (...)” en la Fig. 4. “(...). Así, teóricamente, los usuarios primarios y secundarios pueden utilizar una misma banda de frecuencias sin provocar interferencias entre sí (...)”. Por estas razones, las técnicas de acceso dinámico al espectro radioeléctrico permiten aprovechar, óptimamente, los espacios que el usuario primario no utiliza en intervalos de tiempo. Este aprovechamiento del recurso se implementa mediante el uso de sistemas de radio cognitiva.

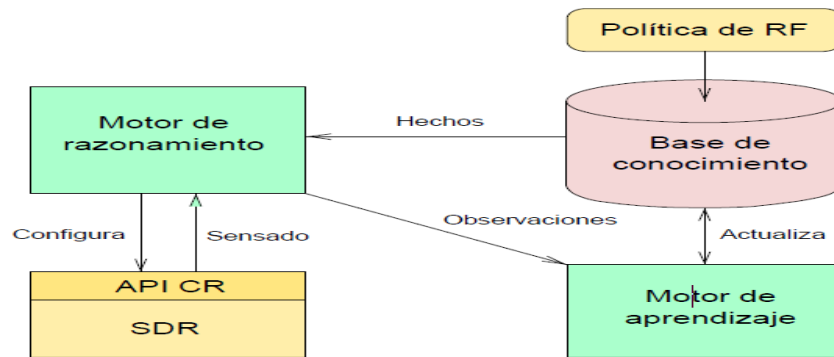
g) Sistemas de radio cognitivos

El concepto de CR fue presentado oficialmente por Joseph Mitola en un seminario en el KTH Royal Institute of Technology, en 1998. Más tarde, es publicado en el artículo “*Cognitive radio: making software radios more personal*”. La Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) define un sistema de radio cognitivo como “un sistema radioeléctrico que utiliza una tecnología que permite al sistema extraer información de su entorno operativo y geográfico, las políticas establecidas y su situación interna; y adaptar de manera dinámica y autónoma sus parámetros y protocolos operacionales en función de la información obtenida a fin de cumplir unos objetivos predeterminados, así como extraer enseñanzas de los resultados obtenidos.”. (Hernández, P. y Carro, G. 2016, p. 5)

En otros términos, más comprensibles, los sistemas de radio cognitivos, también llamados (CRS), están conformados por conjunto de equipos de radiocomunicaciones con la capacidad de realizar un censo en el espectro radioeléctrico y determinar los momentos en que las bandas de frecuencias o canales UHF/VHF se encuentran disponibles o están siendo utilizados. Por otro lado, estos sistemas se caracterizan por tomar decisiones basados en políticas o programas precargados (Base de Datos) que buscan optimizar los parámetros de funcionamiento con el fin de aprovechar y optimizar el espectro radioeléctrico.

La Radio Cognitiva se puede considerar como un conjunto de componentes funcionales que, al interactuar entre sí, genera el comportamiento característico y operativo del equipo. En la Figura N°5 se muestra, de forma gráfica, el

diagrama funcional de un sistema de radio cognitiva en donde se aprecia la interacción entre sus componentes (motores de razonamiento y aprendizaje, consulta a base de datos, módulos de software), los cuales, en comparación a otros sistemas de radio tradicionales, este aporta una flexibilidad adicional en cuanto al manejo de las frecuencias se encuentran en el ERE.



**Figura 5:** Diagrama funcional de un sistema. CR, capacidades de razonamiento y aprendizaje  
Fuente: Hernández, P. y Carro, G. Principios, normas y soluciones de Radio Cognitiva 2016, p. 5

#### h) Características de los Sistemas de Radio Cognitiva (CRS)

Las CR presentan cuatro características fundamentales como ya se mencionó previamente. Estas características son:

- Obtención de conocimiento

Una de las características que predomina en la radio cognitiva es la capacidad de obtener conocimiento (información) necesaria de diferentes fuentes, algunas externas al radio cognitivo y otras internas, por ejemplo: Políticas establecidas para el uso del ERE, el entorno radioeléctrico y geográficos, patrones de uso y preferencias de los usuarios, hasta el diagnóstico del estado interno del propio radio cognitivo. Por otro lado, el CR se caracteriza por verificar el estado del uso del ERE, la existencia de otros sistemas de radio (posiciones del CRS y nodos de otros sistemas de radio), la frecuencia y ancho de banda asignados, el área de cobertura de estos, la orientación de las antenas de los diferentes sistemas, la distribución de los usuarios en el área

de cobertura y el nivel de interferencia. (Hernández, P. y Carro, G. 2016, p. 6)

Además, según Hernández y Carro (2016. p. 5): “estos equipos de radio deben respetar, asimismo, una serie de políticas predefinidas que establecen condiciones sobre las frecuencias que el CR podrá utilizar y en qué circunstancias, la potencia máxima a emplear, entre otros parámetros operativos, con el fin de evitar interferencias dañinas en las bandas en las que funciona y en las bandas adyacentes”.

Respecto al estado interno de un CR, este consta de su configuración en base a las bandas de frecuencias y protocolos que se usa, potencia de transmisión de la estación base/usuarios y la distribución de la carga de tráfico de datos. En cuanto al conocimiento de los usuarios, esto implica que el CR pueda determinar y adecuarse a las necesidades que requiere el usuario respecto al acceso de alta velocidad y bajas latencias.

- **Parámetros de funcionamiento**

Otra característica en la que sobresalen los CR es la de modificar sus parámetros de funcionamiento, tomando siempre en cuenta objetivos predefinidos. En otras palabras, estos CR no requieren de la intervención del usuario para ajustarlos en tiempo real, sino que podrán ajustar de forma autónoma y dinámica los parámetros de operación basándose en el conocimiento recopilado y de las experiencias pasadas. Por otro lado, el proceso de decisión de un CR implica no sólo las preferencias de múltiples usuarios si no que, también, respetar la política definida en la zona y, así, elegir la configuración más conveniente de potencia, frecuencia, modulación y tecnología de acceso.

En lo que respecta a los métodos de ajuste de los parámetros de funcionamiento de los CR, existen dos predisposiciones a la hora de implementarlo. La primera de ellas es proveer al CR el Hardware necesario para implementar las diferentes frecuencias de funcionamiento, modulaciones y tecnologías de acceso que se requiera en el entorno

seleccionado. La segunda manera de uso es conocida con el nombre de radio definida por software, en inglés *Software Defined Radio* (SDR), en la cual se programan las diferentes funciones capaces de procesar las señales, tal cual, como lo haría un módulo dedicado que realiza la misma función.

- Capacidad y proceso de aprendizaje

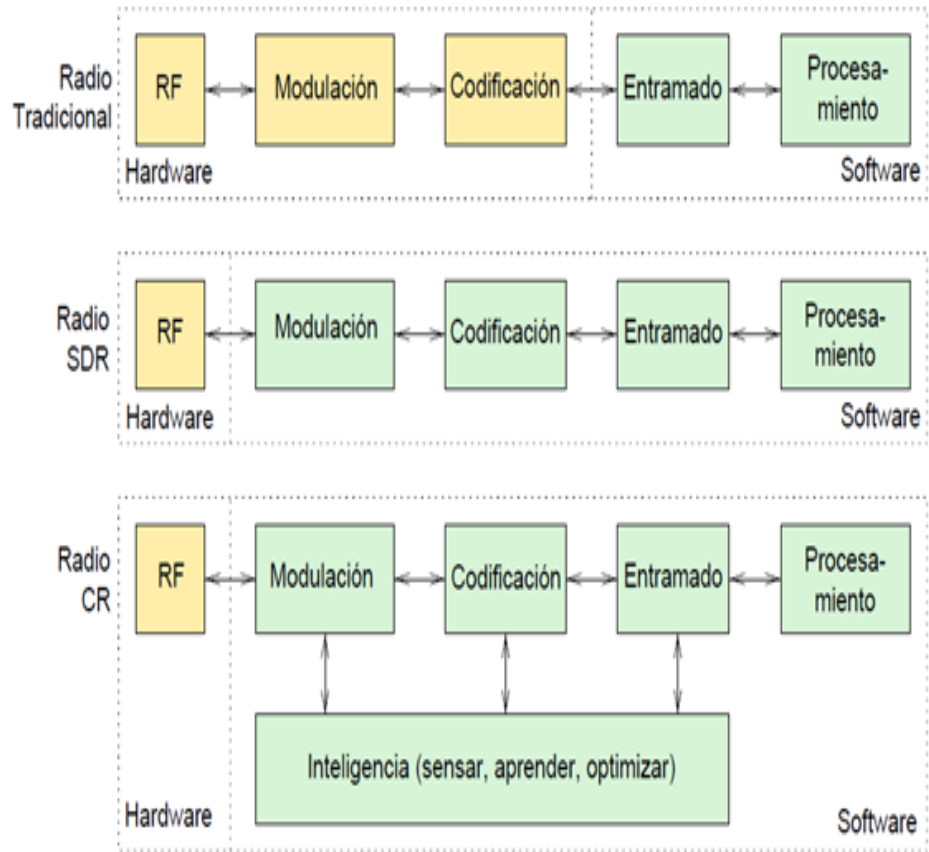
El objetivo primordial del proceso de aprendizaje de un sistema de radio cognitiva es la de permitir mejorar su rendimiento utilizando información recopilada de las acciones y resultados tomadas en el pasado. Para realizar esta meta, se utilizan modelos y algoritmos que evalúan cada acción, de forma autónoma, y es tomada por el CR, el cual tiene como fin, optimizar de manera permanente, los parámetros de operación de este.

- Radios definidos por software: *Software-Defined Radio* (SDR)

Según el Informe UIT-R SM.2152 un SDR: “(...) consiste en un transmisor y/o receptor radioeléctrico que utiliza una tecnología que permite fijar o modificar mediante programas informáticos los parámetros de funcionamiento de RF, incluidos, entre otros, la gama de frecuencias, el tipo de modulación o la potencia de salida, salvo los cambios de los parámetros de funcionamiento que se producen durante el funcionamiento normal preinstalado y predeterminado de un sistema radioeléctrico con arreglo a una especificación del sistema o a una norma (...)” (Sector de las radiocomunicaciones de la UIT, 2009, p.1)

Al utilizar los radios definidos por software, en buena medida, facilita el diseño y la implementación de los sistemas de radio cognitivo. En la Figura N°6, se puede apreciar una comparación entre un equipo de radio tradicional, un equipo de radio definido por software y un equipo de radio cognitiva incorporando SDR.





**Figura 6:** Comparación funcional de los distintos tipos de equipos de RF

Fuente: Hernández, P. y Carro, G. Principios, normas y soluciones de Radio Cognitiva 2016, p. 5

#### i) Normalización para Radio Cognitiva

En este punto se presentarán dos estándares de la IEEE, los cuales implementan funciones de Radio cognitiva y sus características. El fin de estos estándares es el incremento de la cobertura de los servicios de banda ancha. Los estándares IEEE son:

- IEEE 802.22.- Dirigidas a redes regionales inalámbrica (WRAN).
- IEEE 802.11af. - Dirigidas a redes de área local inalámbrica (WLAN).

La red WRAN nace como un estándar de radio cognitiva desde su creación, siendo reconocido como el primer estándar inalámbrico de CR. Las redes WLAN

y WMAN se basan en estándares existentes, agregando funciones que ayudarán a que estos se conviertan en estándares para sistemas de radio cognitiva.

En el caso del IEEE 802.11af se trata de extender el uso de las WLAN IEEE 802.11 a las bandas de frecuencia comúnmente atribuidas al servicio de televisión. En el caso del estándar IEEE 802.16, en su enmienda IEEE 802.16h, se agrega la posibilidad de operar en bandas de frecuencia exentas de licenciamiento. (Hernández, P. y Carro, G. 2016, p. 10)

j) Estándar IEEE 802.22 WRAN

El estándar IEEE 802.22 se formó en octubre de 2004, sobre la operación no licenciada en bandas atribuidas a radiodifusión de televisión. Esta reglamentación está sujeta al uso de dispositivos no licenciados en los llamados White space o también llamados espacios en blanco de televisión, bajo la cláusula de no introducir interferencias en los servicios licenciados (cliente primario) o autorizados en dichas bandas.

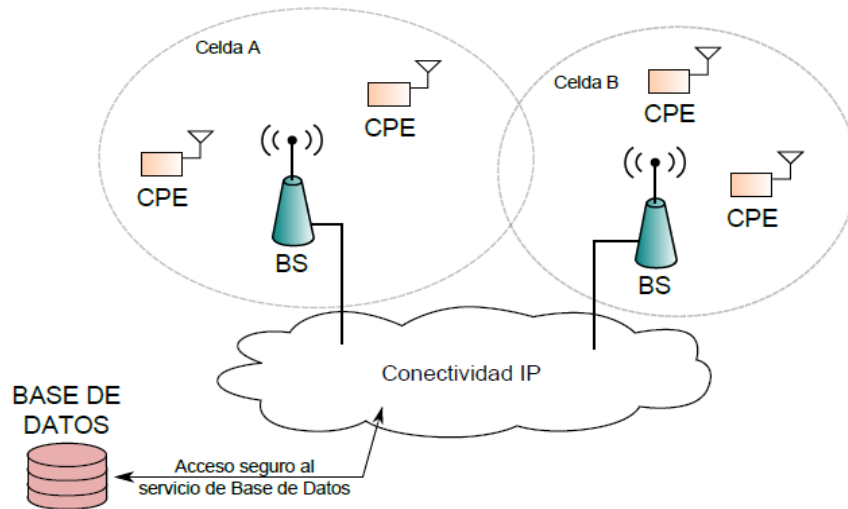
Este estándar tiene por objeto permitir el despliegue de redes de área regional para promover la competencia en servicios de banda ancha inalámbrica, promoviendo alternativas a la banda ancha cableada, y extendiendo el alcance de dichos sistemas inalámbricos en áreas geográficas diversas, incluyendo áreas rurales escasamente pobladas. (Hernández, P. y Carro, G. 2016, p. 12)

- Topología IEEE 802.22

El estándar IEEE 802.22 se caracteriza por topología, el cual define una interfaz inalámbrica del tipo punto-multipunto donde una radio base (BS) gestiona varios equipos de usuario (CPE) dentro de su área de cobertura. Cada estación base podría realizar un servicio de no mayor a 512 CPE y cuenta con la posibilidad de aplicar mecanismos de calidad de servicio (QoS) para cada uno de estos.

Por otro lado, las estaciones base que se encuentran asociadas a esta topología punto-multipunto requiere una base de datos del espectro radioeléctrico, el cual mantiene un mapa de la utilización de las frecuencias utilizadas en la

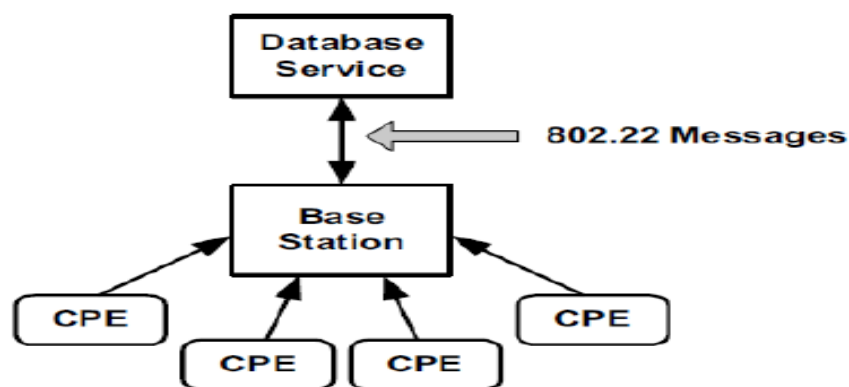
zona de cobertura y provee la información requerida para la autorización o no del funcionamiento del sistema de radio cognitiva bajo ciertas condiciones. En la figura 7 se muestra de forma gráfica lo antes expuesto.



**Figura 7:** Topología de red IEEE 802.22

Fuente: Hernández, P. y Carro, G. Principios, normas y soluciones de Radio Cognitiva 2016, p. 11

Cabe destacar que la radio base (BS) tiene el control sobre los parámetros de operación de todos sus terminales (CPE) asociados que se encuentran en su cobertura o también llamados celdas. Además, para esta topología, es comúnmente apreciar que el sistema de base de datos del espectro radioeléctrico se encuentre en interacción continua con la estación base, tal como muestra en la figura 8.



**Figura 8:** Relación con una base de datos externa en IEEE 802.22

Fuente: Hernández, P. y Carro, G. Principios, normas y soluciones de Radio Cognitiva 2016, p. 12

Al inicializar el funcionamiento del sistema de radio cognitiva, aplicando esta topología, se debe de registrar la BS a la misma base de datos como un servicio fijo, para luego registrar a la totalidad de su CPE asociados. La asociación de los CPE está sujeta a la aprobación de la base de datos, ya que al momento de su registro va a depender de la ubicación geográfica y otros parámetros. Por otro lado, se recomienda que la estación base debe de consultar a la base de datos por la información del canal, para que esta pueda enviar cualquier actualización sobre la información del canal en cualquier momento del día.

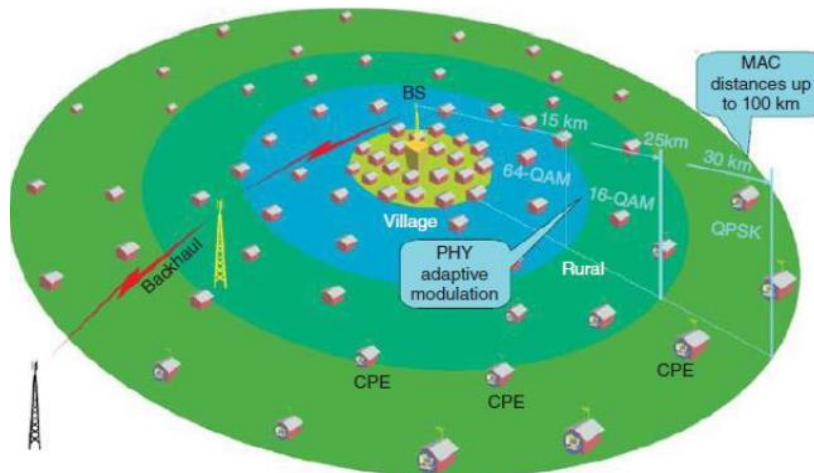
La seguridad en los mensajes entre la base de datos y los demás nodos es un punto crítico para el correcto funcionamiento del sistema, por lo que dicha mensajería se transmite mediante *Secure Sockets Layer* (SSL). Además, la autenticación de todos los dispositivos se realiza de forma segura con protocolos *Extensible Authentication Protocol - Transport Layer Security* (EAP-TLS) o *Extensible Authentication Protocol - Tunneled Transport Layer Security* (EAPTTLS), y el formato de los mensajes de autenticación debe adecuarse al servicio que preste la base de datos, por ejemplo, *radius* o *diameter*. (Hernández, P. y Carro, G. 2016, p. 12)

- Capas Físicas del estándar IEEE 802.22

El requerimiento primordial para la comunicación de radio del estándar 802.22 es la facilidad de adaptarse, ya que este debe de operar en bandas de frecuencias en donde el usuario primario debe ser resguardado contra cualquier interferencia.

Dado que este estándar trabaja de forma no licenciada y cada BS posee un área de cobertura extensa, la coexistencia con otras celdas con el mismo estándar también es un punto que debe manejar y tomar en cuenta. Por otro lado, en cuestiones de alcance, usando este estándar, se puede alcanzar un radio de 33km. Sin embargo, se pueden lograr radios de cobertura de hasta

100 km, como se aprecia en la figura 9, mediante el uso de algoritmos, mayor potencia Transmisión PIRE y una mayor altura para la antena.



**Figura 9:** Distribución física de red punto-multipunto

Fuente: Hernández, P. y Carro, G. Principios, normas y soluciones de Radio Cognitiva 2016, p. 13

El estándar soporta un esquema adaptivo de modulaciones que incluye QPSK, 16QAM y 64QAM y códigos de convolución de tasa de codificación 1/2, 3/4 y 2/3. Estas características aportan la flexibilidad necesaria, pudiendo ofrecer desde unos pocos Kbps por sub-canal, hasta 19 Mbps en todo un canal de TV. La capa física implementa a su vez técnicas de *Orthogonal Frequency Division Multiple Access* (OFDMA), tanto en el flujo descendente (*downstream*) como en el ascendente (*upstream*). Esto permite un manejo dinámico del ancho de banda, modulación y codificación para servir a los distintos CPE mediante la asignación de una o varias subportadoras a los mismos. (Hernández, P. y Carro, G. 2016, p. 13)

- Censado y gestión del ERE

Teniendo en consideración los roles usuales de una radio base, la estación base con el estándar IEEE 802.22 no solo se encargará de manejar la función del censado de la ERE, sino que también, con el fin de no causar alguna interferencia con los usuarios primarios, esta solicitará a sus CPE asociados que realicen censados periódicas dentro del canal de funcionamiento. En este caso, se requiere de dos antenas instaladas en el CPE: una antena direccional

para la comunicación con la estación base y la otra antena de característica omnidireccional para el trabajo de sensado del ERE en la zona. Cabe recalcar que esta última antena debe ser instalada en la intemperie.

Por otro lado, la función de gestor de espectro es crucial para un CRS. El estándar IEEE 802.22 se caracteriza por incluir esa función lógica llamada *Spectrum Manager* (SM). Esta función se encuentra asignada en la estación base y se encarga de las siguientes tareas tales como: acceder al servicio de base de datos del ERE, hacer cumplir las políticas regulatorias, manejar el conjunto de canales, clasificar y seleccionar los canales, decidir cambios de canales para los CPE, garantizar la auto coexistencia con otros sistemas IEEE 802.22 y controlar las asociaciones con los CPE.

k) Estándar IEEE 802.11af

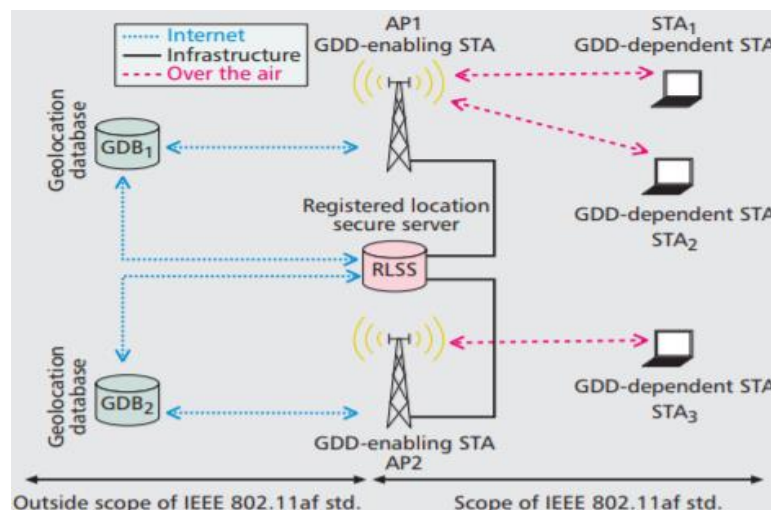
Según Hernández y Carro (2016, p. 17) “(...) El estándar IEEE 802.11 para redes de área local inalámbrica, en inglés WLAN, permite el acceso a servicios de banda ancha de forma inalámbrica y se ha vuelto de uso masivo en los últimos tiempos (...)” Por tal motivo se le conoce por el nombre White-Fi, haciendo alusión al conocido nombre wifi usado para referirse al IEEE 802.11. Para ello se vale de técnicas de CR así como también del uso de bases de datos de geolocalización.

Por otro lado, este estándar, también conocido como super wifi, se diferencia de la familia 802.11 primordialmente por el uso de una base de datos de geolocalización (GDB) que permite delimitar la presencia de interferencias con otros canales en uso por usuarios primarios. Su rango de operación se encuentra en la banda de 470-710 MHz y su arquitectura de diseño ha sido enfocado para un radio de cobertura de 0 a 1 km como máximo.

- Topología IEEE 802.11af

En el estándar IEEE 802.11af se utiliza la modalidad punto-multipunto, donde se identifican cuatro clases de equipos, tal cual como se muestra en la figura 10.

- ❖ Bases de datos de geolocalización (GDB).
- ❖ Servidor seguro de ubicaciones registradas (RLSS).
- ❖ Estaciones (STA).
- ❖ Puntos de acceso (AP-STA).



**Figura 10:** Arquitectura de una red TVWS con el estándar 802.11af

Fuente: Flores, A., Guerra, R.& Knightly, E. IEEE 802.11af: A Standard for TV White Space Spectrum Sharing 2013, p.4

Las estaciones se pueden clasificar como dependientes (*dependent*) o habilitantes (*enabling*) respecto a una GDB. Las estaciones dependientes son las que dependen de la información a ser entregada desde la GDB para iniciarse en la red y mantenerse en ella. Las estaciones habilitantes son aquellas que, habiendo recibido la información sobre el ERE disponible proveniente de la GDB, tienen la autoridad de controlar a otras estaciones dependientes de la misma GDB. (Hernández, P. y Carro, G. 2016, p. 17)

En el diseño que se muestra en la gráfica anterior se observa que los AP1 y AP2 están funcionando como estaciones habilitantes (*enabling STA*),

mientras que los clientes finales funcionan como estaciones dependientes. Eso quiere decir que los AP obtendrán información de la base de datos de geolocalización (GDB) sobre cuál sección del ERE utilizarán. Además, en función a la información recopilada, las APs están autorizadas a controlar a las estaciones de usuario (dependientes) para que operen en dicho espectro de frecuencia.

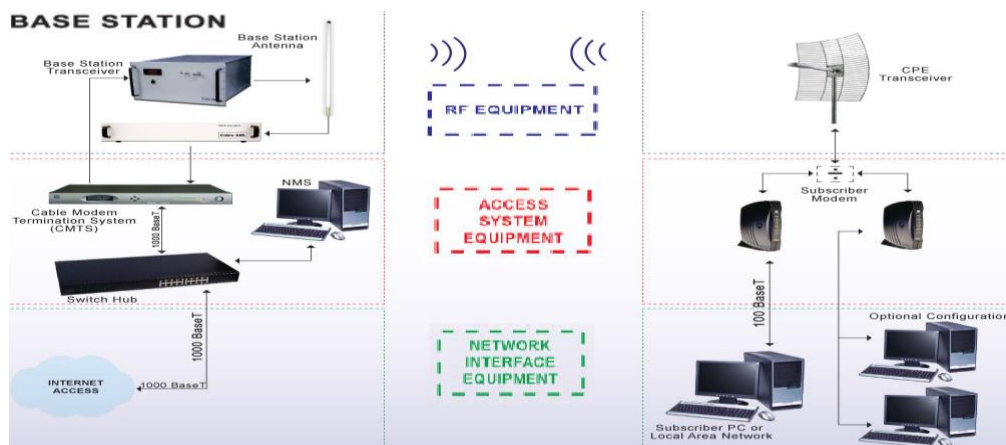
### 2.2.2. Acceso inalámbrico a Internet

Cuando nos referimos al término Inalámbrico estamos refiriéndonos al medio por el cual se realiza la conexión entre el usuario final y el operador que brinda el servicio. En cuanto al Acceso representa nos referimos a las diferentes aplicaciones que nos provee el operador siendo en nuestro caso el acceso de banda ancha a internet.

El acceso inalámbrico a Internet será en breve mayor y más rápido gracias a una decisión adoptada por la Comisión Europea para poner a disposición de las redes locales un amplio espectro radioeléctrico en el conjunto de la Unión Europea. Estas redes, más conocidas como ‘Wi-Fi’ (Wireless Fidelity), permiten conectarse a Internet desde computadores portátiles y los estudios de mercado auguran que su número de usuarios aumentará considerablemente en los tres próximos años. En este momento, son 120 millones de personas quienes usan el llamado wireless o conexión sin hilos --de las cuales 25 millones están en la Europa occidental-- pero podrían llegar a los 500 millones, e incluso más, en tan sólo tres años. Estos datos demuestran que las redes radioeléctricas locales son ya tan atractivas para los consumidores como los teléfonos móviles (Lukor, 2008).

En la figura 11 se presenta una arquitectura de acceso inalámbrico de banda ancha en la cual nos muestra una idea general de los equipos involucrados y en qué etapa de esta arquitectura se encuentran.





**Figura 11:** Arquitectura de Acceso inalámbrico de banda ancha

Fuente: Cable AML, Internet Inalámbrico Introducción y Características, 2017

La primera capa corresponde a los equipos empleados por los usuarios para acceder a la red y navegar por internet. Estos dispositivos de navegación de los usuarios permiten usar periféricos de entrada de datos e imágenes, así como renderizar las respuestas y visualizarlas a través de pantallas u otros dispositivos de salida.

En la segunda capa encontramos los dispositivos de entrada y salida de información a la red. Estos son los switches que permiten interconectar diferentes dispositivos o crear redes locales y de salida a la WAN como routers y módems. En la última capa apreciamos los equipos de transmisión RF que permiten transmitir datos a través del aire para interconectar diferentes estaciones base.

#### a) Interface de Red

La capa de interfaz de red TCP/IP formatea los datagramas IP de la capa de red en paquetes que las tecnologías de red específicas pueden interpretar y transmitir. Una interfaz de red es el software específico de red que se comunica con el controlador de dispositivo específico de red y la capa IP a fin de proporcionar a la capa IP una interfaz coherente con todos los adaptadores de red que puedan estar presentes.

La capa IP selecciona la interfaz de red apropiada basándose en la dirección de destino del paquete que se debe transmitir. Cada interfaz de red tiene una dirección de red. La capa de interfaz de red es responsable de añadir o eliminar

cualquier cabecera de protocolo de capa de enlace necesaria para entregar un mensaje a su destino. El controlador de dispositivo de adaptador de red controla la tarjeta adaptadora de red. (IBM. 2020)

b) Ancho de Banda

En las conexiones inalámbricas necesitamos una capacidad para transmitir datos que nos permita utilizar diferentes aplicaciones como VoIP, streaming, acceso a internet, entre otros. Es precisamente la capacidad de acceso para poder aceptar estos servicios lo que se define como banda ancha que es la velocidad de transmisión que llega al router.

c) Velocidad de operación de la red Wifi

La velocidad se definirá como la rapidez de transmisión de los dispositivos a través de la red WIFI. Además, la velocidad máxima teórica es indicada en las especificaciones de los dispositivos de acceso en los cuales el protocolo de la norma IEEE 802.11 hace referencia al tipo de conexión y las letras que acompañan a la numeración nos da una idea del máximo de velocidad que podemos adquirir (Fernández, 2021). En la tabla 3 se especifica la velocidad máxima de un router, el cual va a depender de los protocolos de la norma IEEE que se apliquen.

**Tabla 3**

*Tabla de la velocidad del router dependiendo del estándar inalámbrico*

<b>ESTANDAR IEEE</b>	<b>BANDAS</b>	<b>VELOCIDAD MAXIMA TEORICA</b>
802.11a	5Ghz	54Mbps
802. 11b	2.4Ghz	11Mbps
802. 11g	2.4Ghz	54Mbps
802. 11n (WIFI 4)	2.4Ghz	600Mbps
802. 11ac (WIFI 5)	5Ghz	1.3Gbps

802. 11ax  
(WIFI 6)

2.4Ghz y 5Ghz

10Gbps

---

Fuente: XATAKA, cómo saber velocidad máxima teórica su router de Wifi

La velocidad experimenta una serie de variaciones por diferentes factores como las antenas del dispositivo, la distancia, la saturación por la cantidad de usuarios que acceden al mismo tiempo limitando el ancho de banda, entre otros.

#### d) Sistema de Acceso

Los sistemas de acceso inalámbrico (WAS - Wireless Access Systems) se definen como conexiones de radiocomunicaciones de usuario final para redes centrales privadas o públicas. Las tecnologías utilizadas hoy en día para realizar el acceso inalámbrico incluyen sistemas celulares, sistemas de telecomunicaciones sin cables y sistemas de redes inalámbricas de área local. Los avances tecnológicos y el acceso competitivo están impulsando la revolución hacia la infraestructura de acceso inalámbrico.

Tradicionalmente, la componente de la red más difícil de construir y más costosa de mantener ha demostrado ser la red de área local, independientemente de que se trate de una economía desarrollada o en desarrollo, esto obedece a que los requerimientos de conectividad son los mismos para todos, más adelante explicamos sobre los componentes de este tipo de red. Los sistemas de redes de área local inalámbricos (WLAN - Wireless Local Area Network) públicos y privados están surgiendo rápidamente como una tecnología de acceso preferida. Junto con la instalación de la IMT-2000 (International Mobile Telecommunications), las WLAN ofrecen a los operadores la oportunidad de ampliar el tamaño global del mercado y su posición competitiva para la prestación de servicios de datos (Unión Internacional de Telecomunicaciones, 2006).

#### e) Frecuencia de operación WIFI

La conexión de los dispositivos a través de WIFI se da en dos frecuencias estándar. Una de ellas es la de 2.4Ghz (802.11b/g/n) y la otra es de 5Ghz

(802.11a/n/ac). En la tabla 4 nos muestra las frecuencias mencionadas con sus ventajas y desventajas en relación con la recepción y transmisión de la data entre dispositivos que se encuentran conectados en una red Wifi.

**Tabla 4**

*Frecuencias y potencia de la señal Wi-Fi*

<b>FRECUENCIAS</b>		
	<b>VENTAJAS</b>	<b>DESVENTAJAS</b>
<b>2.4 GHz</b>	Accesible desde distancias mayores. Compatible con muchos dispositivos.	Frecuencia atestada por todos los dispositivos que admite
<b>5 GHz</b>	Mucho más ancho de banda. Suele tener menos interferencia porque la frecuencia no esta tan atestada.	Disponibles para distancias más cortas. No es compatible con la misma cantidad de dispositivos.

Fuente: Ayuda Fiber de Google, conceptos avanzados sobre redes

### 2.3. Definición de términos básicos

- Espacios Blancos de Televisión (*Television White Space – TVWS*)

Los espacios blancos de televisión son tecnologías que aprovechan las frecuencias de canales sin uso en la banda UHF para ofrecer acceso inalámbrico de banda ancha.

- Estación Base (Base Station – BS)

La estación base se ubica en la superficie terrestre y es encargada de gestionar el servicio de transmisión y/o recepción entre dispositivos clientes.

- Radio Cognitiva

Modalidad de transmisión en donde las redes como los puntos de enlaces inalámbricos modifican sus parámetros de transmisión/recepción para lograr la funcionalidad eficiente sin interferir con comunicaciones licenciadas.

- Ondas Radioeléctricas

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

- Espectro Radioeléctrico

Se denomina espectro electromagnético a la distribución energética del conjunto de las ondas electromagnéticas y constituye un subconjunto de ondas electromagnéticas u ondas hertzianas fijadas convencionalmente por debajo de 3000 GHz, que se propagan por el espacio sin necesidad de una guía artificial.

- Plan Nacional de Atribución de Frecuencias

Norma donde se encuentran atribuidas las frecuencias para los diferentes servicios de telecomunicaciones del Perú.

- Topología

Estructura física o diseño de un sistema para el intercambio de información o datos.

- Redes regionales inalámbrica (*Wireless Regional Area Network – WRAN*)

Tecnología de comunicación para uso de partes del espectro de radio frecuencias para lograr cobertura a áreas de mayor cobertura usualmente desatendidas

- 802.11af

Permite la operación de una red de área local inalámbrica usando los espacios blancos no usados de la banda de TV de VHF y UHF en el espectro radioeléctrico, cuyo rango de operación va entre los 54 MHz y 790 MHz.

- Estándar IEEE 802.22

Estándar para redes regionales inalámbricas en donde se hace uso de los espacios libres de televisión.

- Acceso inalámbrico

Se denomina acceso inalámbrico a la conexión(es) radioeléctrica(s) entre el usuario final y una red básica.

- Banda ancha

Se conoce como banda ancha a cualquier tipo de red con elevada capacidad para transportar información que incide en la velocidad de transmisión de esta.

- Dispositivos de espacios blanco (*White Space Device - WSD*)

Es un dispositivo de banda ancha que se utiliza para detectar canales de espectro de televisión no utilizados que no tienen requisitos de licencia de transmisión exclusivos, como frecuencia ultra alta (UHF) (300-3000 MHz) y frecuencia muy alta (VHF) (30 - 300 MHz).

- Punto de acceso (Access Point – AP)

Un punto de acceso es un dispositivo que crea una red de área local inalámbrica (WLAN), normalmente en una oficina o un edificio de grandes dimensiones. Un punto de acceso se conecta a un router, switch o hub por un cable Ethernet y proyecta una señal Wi-Fi en un área designada.

- Terminal de apertura muy pequeño (Very Small Aperture Terminal - VSAT)

Una VSAT es una estación terrestre de satélite de dos vías con una antena parabólica pequeña.

- Instituto de Ingeniería Eléctrica y Electrónica (*Institute of Electrical and Electronics Engineers – IEEE*)

La IEEE es la organización profesional técnica más grande del mundo dedicada al avance y desarrollo de la tecnología en beneficio de la humanidad.

## CAPÍTULO III: METODOLOGÍA DEL ESTUDIO

### 3.1. Tipo y nivel de investigación

#### 3.1.1. Tipo de investigación

En nuestro proyecto utilizamos la investigación práctica aplicada, al encontrarnos con el problema de poder brindar acceso inalámbrico a internet en una zona rural, que actualmente se cataloga como una necesidad social práctica, la cual se debe resolver utilizando nuestro conocimiento y búsqueda de nuevos aportes que nos permitan aplicarlo en la solución del problema. Para esta solución se desarrolló el diseño de un sistema TVWS en base a radio cognitiva que permitirá garantizar el acceso a internet inalámbrica a un sector de la población del distrito de Santillana.

- Investigación aplicada

Según Tamayo (2006) “(...) La forma de investigación aplicada se le denomina también activa o dinámica (...)” ya que depende de sus descubrimientos y aportes teóricos; es el estudio o aplicación de la investigación a problemas concretos, en circunstancias o características concretas; esta forma de investigación se dirige a su aplicación inmediata y no al desarrollo de teorías.

- Investigación práctica aplicada

Son experiencias de investigación con propósitos de resolver o mejorar una situación específica o particular, para comprobar un método o modelo mediante la aplicación innovadora y creativa de una propuesta de intervención, en este caso de índole Orientadora, en un grupo, persona, institución o empresa que lo requiera. (Vargas, Z. 2009, p. 162)

#### 3.1.2. Nivel de investigación

Según el nivel de profundización que estamos realizando en nuestro estudio, el nivel de investigación se caracteriza por ser descriptivo, ya que estamos describiendo las características de la realidad de nuestro problema con el fin de entender a fondo la problemática y poder entender la naturaleza del mismo. Además, nuestros resultados no arrojaron un valor cualitativo debido a que no se

trata de medir el nivel o grado de un fenómeno, sino de entender mejor el cómo o porqué está sucediendo este problema.

### 3.2. Diseño del sistema TVWS

#### 3.2.1. Consideraciones para el diseño del sistema TVWS

El despliegue de TVWS busca dar una solución efectiva a los centros poblados que no poseen acceso a internet para el ámbito educacional. Esta población está conformada por el número de alumnos y docentes que cuentan con algún tipo de dispositivo electrónico que se pueda conectar por medio de WIFI (Laptops, PCs, tablets, celulares, tablets brindados por la MINEDU, etc.) en el distrito de Santillana - Ayacucho.

##### a) Infraestructura existente para acceso a internet en Intranet MINEDU

En cuanto al punto de acceso a internet que se utilizará para la estación base (BS) del sistema TVWS, se tomará una infraestructura ya existente y consiste en una estación remota VSAT. Esta estación remota ya se encuentra implementada en el puesto de Salud de la plaza principal Nuevo Rodeo, centro poblado de San José de Secce, el cual se encuentra a una distancia cercana a la municipalidad de Santillana. Por otro lado, la metodología del diseño y análisis de esta estación remota Satelital, no formarán parte de la investigación de esta tesis, más sí se considerarán los parámetros de conexión (velocidad de subida y bajada) como se muestra en la figura 12.

N°	URBEO	REGIÓN	PROVINCIA	DISTRITO	LOCALIDAD	ENTIDAD BENEFICARIA	SECTOR	TPO DE ENTIDAD	DIRECCIÓN	TECNOLOGÍA	ESTADO	FECHA DE INSTALACIÓN	# ACCESOS	VELOC. DE BAJADA	VELOC. DE SUBIDA	% ASEG.
752	50460014	AYACUCHO	HUANTA	SANTILLANA	MARICARACCAY	MARICARACCAY	MIDIS	TAMBO	MARICARACCAY	VSAT	INSTALADO	JUNIO 2015	1	2 Mbps	0.512 Mbps	35%
753	0504060001	AYACUCHO	HUANTA	SANTILLANA	SAN JOSE DE SECCE	VISCATAN	MINGA	PUESTOS DE SALUD O POSTAS DE SALUD	PLAZA PRINCIPAL DE NUEVO RODEO	VSAT	INSTALADO	MARZO 2017	1	0.512 Mbps	2 Mbps	35%

AYACUCHO	HUANTA	SANTILLANA	SAN JOSE DE SECCE
----------	--------	------------	-------------------

0.512 Mbps	2 Mbps	35%
------------	--------	-----

**Figura 12:** VSAT instaladas en el distrito de Santillana, Huanta.

Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones, COMPROMISO OPERADORES CONSOLIDADO TDP - El Perú Primero. pp. 45-46



Sin embargo, para el dimensionamiento de la capacidad de transmisión de datos antes de la aplicación del sistema TVWS, se tomó como referencia a la totalidad usuarios de la IE Juan Figueroa de Geri ubicada en el centro poblado. Marccaraccay, ubicada en el distrito de Santillana, el cual también cuenta con una estación remora VSAT. Este colegio Estatal cuenta con 65 alumnos y 7 docentes, como se muestra en la figura 13, los cuales tienen acceso a internet y a información educativa de la red MINEDU por medio de la estación remota VSAT instalada dentro del área de la institución.



**Figura 13:** Detalles del I.E Juan Figueroa de Ger, Santillana, Ayacucho

Fuente: ESCALE. Estadística de la calidad educativa. MINEDU, 2021

Actualmente, la IE Juan Figueroa de Geri cuenta con una estación remota VSAT, como se muestra en la figura 12, la cual posee una velocidad de acceso con un overbooking de (1 a 4) de 2Mbps, eso quiere decir que se garantiza el acceso a internet con una velocidad del 25% por enlace en caso todos los usuarios estuviesen accediendo a internet al mismo tiempo, lo cual es demasiado bajo. Sin embargo, para la presente tesis se empleará (teóricamente) un enlace dedicado para el sector educación con un

overbooking 1:1 a 2Mbps, en otras palabras, se garantiza el 100% de la velocidad.

- Cálculo del ancho de banda para el acceso a internet

En primer lugar, se realizó los cálculos considerando que todos los periféricos (laptops, tablets y PCs) se encuentran conectados a internet o a la red MINEDU en simultaneo. Además, se consideró el mismo ancho de banda del enlace VSAT que se encuentra en este centro educativo de 2Mbps.

Para el caso de 2 Mbps : 2048 Kbps

$$\frac{\text{Ancho de banda total}}{\text{Número total de equipos inalámbricos}} = \frac{2048}{72} = 28.44 \text{ Kbps} \quad (1)$$

Número total de equipos inalámbricos      72

Es decir, con los 72 periféricos inalámbricos accediendo a internet, cada uno podría navegaría con un ancho de banda promedio de 28.44 Kbps. Así mismo, se procedió a realizar los cálculos con distintos anchos de banda hasta 6 Mbps que se muestran en la Tabla N° 5:

**Tabla 5**

*Ancho de banda máximo para 72 periféricos inalámbrico usando internet*

Ancho de banda(Kbps)	Ancho de banda por cada periférico (Kbps)
2 Mbps : 2048	28.44
3 Mbps : 3072	42.66
4 Mbps : 4096	56.88
6 Mbps : 6144	85.33

Fuente: Elaboración Propia

Cabe mencionar que los cálculos realizados anteriormente son para casos ideales, ya que es muy difícil que los 65 alumnos y 7 docentes accedan a internet al mismo tiempo. Por esta razón, para efectos de esta tesis, se planteará elaborar un plan de horarios para las instituciones educativas puedan asegurar que el número determinado de equipos inalámbricos (en este caso, 20 equipos) puedan navegar por internet sin complicaciones.

Por otro lado, este acceso a internet estará disponible para las instituciones educativas las cuales se encuentren dentro de la cobertura del sistema TVWS, cuenten con la implementación de los equipos CPE de CARLSON TECHNOLOGIES y no se encuentren en la cobertura de algún servicio de telefonía con redes 3G o 4G. En la Tabla 6 se realizan los cálculos en base a 20 equipos inalámbricos.

**Tabla 6**

*Ancho de banda máximo para 20 periféricos inalámbrico usando internet*

Ancho de banda(Kbps)	Ancho de banda por cada periférico (Kbps)
2 Mbps : 2048	102.4
3 Mbps : 3072	153.6
4 Mbps : 4096	204.8
6 Mbps : 6144	307.2

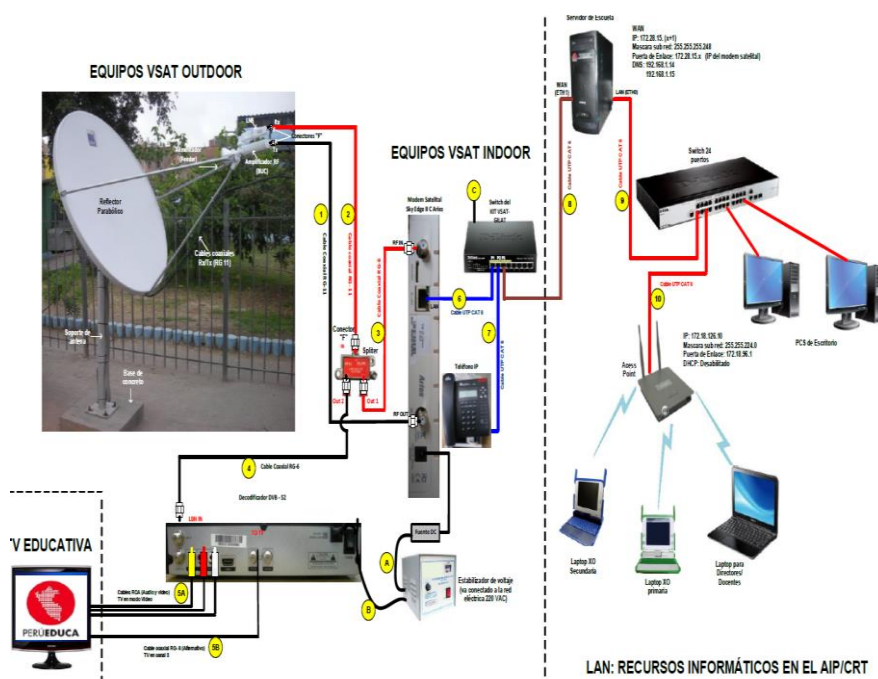
Fuente: Elaboración Propia

Se puede concluir que para el acceso a internet se pueden emplear un ancho de banda desde 2 Mbps (real para el enlace VSAT) teniendo en cuenta el acceso a internet por horarios. Además, con estos datos se pudo estimar cuáles serán las velocidades que son proporcionadas por la Estación Cliente (CPE) a los usuarios beneficiarios, los cuales podrán hacer uso de internet y la red MINEDU (centro de datos de la MUNEDU) con una velocidad aceptable.

b) Arquitectura estación remota satelital red MINEDU

La red satelital del MINEDU se desarrolla íntegramente en un ámbito rural donde los operadores de telecomunicaciones no han desarrollado hasta el momento soluciones de conectividad terrestre. Los servicios de conectividad que las instituciones educativas reciben por esta plataforma tienen como objetivo permitir el acceso al sistema de información del MINEDU, servicio de internet y televisión educativa, así como de otros servicios complementarios tales como: Telefonía IP, IP TV y Videoconferencia. (Guía para el uso, cuidado y mantenimiento de las estaciones remotas VSAT del MINEDU en las IIEE a nivel nacional. 2017, p 4).

En cuanto a la red Satelital de la MINEDU, en la figura 14 se muestra la arquitectura de cómo está conformada la estación remota y su conectividad entre su áreas y periféricos.



**Figura 14:** Arquitectura la estación remota satelital MINEDU

Fuente: MINEDU, guía para el uso, cuidado y mantenimiento de las estaciones remotas VSAT del MINEDU en las IIEE a nivel nacional, 2017. p. 4

Por otro lado, la plataforma de conectividad satelital de la RED MINEDU soporta una arquitectura totalmente abierta y flexible, soportando una amplia gama de aplicaciones de datos, vídeo y servicios multimedia. (MINEDU,

licitación pública No. 0003–2005-ED, adquisición estaciones remotas VSAT, 2012. pp 29-30)

Entre las aplicaciones que puede soportar tenemos:

- Capacidad de video conferencia.
- Capacidad de V o IP
- Acceso al Portal Pedagógico Peruano.
- Conexión a un Servidor de video Digital, para ser accesado desde las estaciones remotas.
- Servicios de web casting.
- Conexión a un canal dedicado de video, bajo los Protocolos DVB / MPEG-2, a 4 Mbit/s.
- Conexión sin inconvenientes con otros sectores del gobierno.

Cabe mencionar que en la estación terrena o estación maestra (HUB) del Ministerio de Educación cuenta con una central de datos (Centro de Datos de la DIGETE), el cual se encarga de suministrar contenidos y herramientas digitales vitales para la enseñanza escolar por medio de la red MINEDU. Además, esta central de datos cuenta con una conexión a internet, el cual es administrado por el OPTENET. Este cumple como filtro de contenido centralizado y cuya función principal es controlar el acceso ciertas páginas web que nos brinda el operador que nos proporciona acceso a internet. En otras palabras, el acceso a internet que se brinda por medio de la red de la MINEDU hacia las estaciones remotas VSAT es dedicado para el ámbito estudiantil, en el cual se encuentra plataformas y contenidos digitales que no se encuentran en la central de datos de la DIGETE. (DATeduca. 2014)

Por otro lado, por parámetros (rangos) satelitales para el enlace con el HUB principal que se encuentra en la sede principal de la MED, según la adjudicación de la Licitación Internacional, desarrollado en el 2003 por la OEI son: (MINEDU, licitación pública No. 0003–2005-ED, adquisición estaciones remotas VSAT, 2012. pp 29-30)

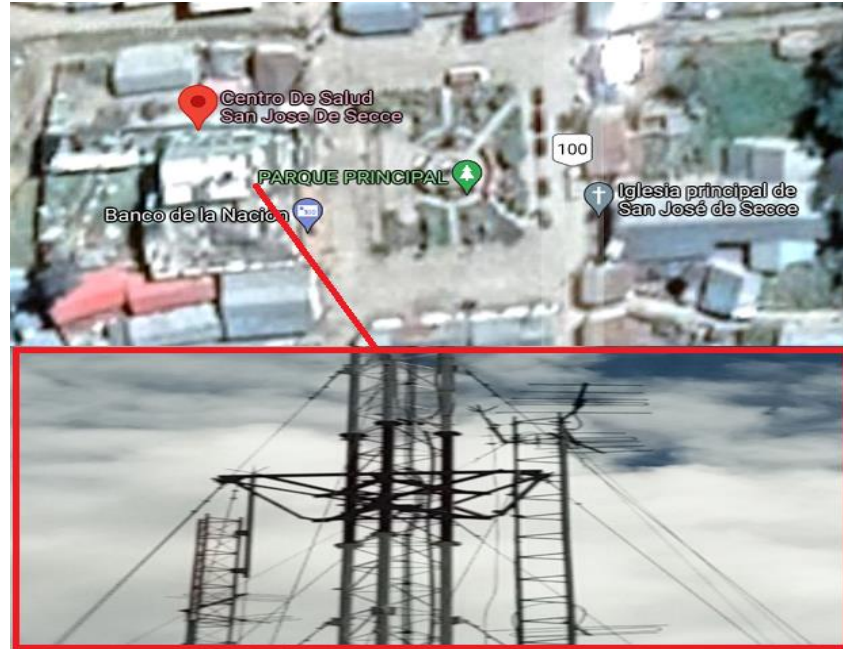
- DVB Compliance: ETS 300–421 Satellite Frame Structure (DVB-S), de la marca HNS. y tiene las siguientes características:
- Frecuencia: Ku-band
- Modulación: QPSK
- Relación de Símbolos: 1.25, 5, 10, 20–30 Msps (Symbol rates of .5 Msps steps from 20 Msps to 30 Msps)
- Relación de Bits: Combinations of symbol rates and code rates up to 48 Mbps (60 Mbps with 8PSK).
- Eb/N0: 6.8, 6.4, 5.9, 5.4, and 4.9 dB

c) Ubicación de la Estación Base

La ubicación de la estación base (BS TVWS - Principal) ha sido seleccionada en base a los siguientes criterios:

- Infraestructura. – La ubicación de la estación base se eligió en base a la infraestructura ya implementada de una estación remota satelital ubicada en los exteriores del puesto de salud del Centro poblado San José de Secce. En la figura 15 se aprecia la ubicación de la estación terrena y las torres ventadas de 21 metros, las cuales se encuentran instaladas en el 3er piso de la Municipalidad de Santillana. En estas torres ventadas ya se encuentran instaladas otras antenas para los diferentes servicios de radio y televisión análoga.

Por otro lado, en la figura 15 se muestra una vista satelital de las locaciones ya antes mencionadas y la distancia que hay entre los Indoor de la estación base y la estación remota satelital. Cabe mencionar que la distancia recorrida del cable de red es de 80 metros.



**Figura 15:** Ubicación de estación remota VSAT y Torres de ventadas instaladas en la Municipalidad de Santillana

Fuente: Google Earth: Distrito de Santillana, Huanta, Ayacucho.

- Terreno. - La diversidad de los terrenos y alturas que existe en el distrito nos ha permitido tener pocas opciones con respecto al terreno a utilizar para la implementación de la estación base. Para la propuesta de despliegue se han considerado los sectores con alturas menores o iguales a 3500 m.s.n.m. en un rango de los 10 kilómetros de distancia alrededor de la estación base ubicada en la municipalidad de Santillana, es decir, se consideró cubrir a la mayor cantidad de receptores CPE's que se encuentren en el rango de alturas y distancias ya mencionadas.

En la figura 16 se muestra la imagen satelital de la ubicación la Municipalidad de Santillana (ubicación de la antena transmisora CARLSON) y el perfil de elevación tomando en consideración el centro poblado que se encuentra más distante de la municipalidad de Santillana, confirmando lo accidentado del distrito con alturas de hasta 4423 m.s.n.m.



**Figura 16:** Mapa geográfico del distrito de Santillana, vista satelital

Fuente: Google Earth: Distrito de Santillana, Huanta, Ayacucho.

En base a los criterios anteriormente descritos, se obtuvo 5 escenarios potenciales para la estación base TVWS, sin embargo, en la mayoría de los casos, estos escenarios no cuentan con la implementación de una estación remota Satelital, punto de energía, cercanía con alguna torre ventada mayor a 20 metros para la implementación de la antena sectorial y del personal de seguridad necesaria para resguardar los equipos TVWS. Por ende, se optó por la ubicación de la estación base en el 3er piso del local de la Municipalidad de Santillana, Centro poblado de San José de Secce. En la tabla 7, se presentan los datos de ubicación de la estación base y la estación remota satelital respectivamente. Además, se le asigna los nombres a la estación base y estación satelital que serán utilizadas para la simulación, nombres de los locales asignados para su implementación y las coordenadas en latitud y longitud (DMS).



**Tabla 7**

*Datos de Ubicación de la estación base TVWS y estación remota satelital*

<b>NOMBRE DE LA ESTACIÓN TVWS</b>	<b>UBICACIÓN</b>	<b>COORDENADAS</b>
BS TVWS (principal)	Municipalidad de Santanilla - Centro	Latitud: 12°45'58.41"S
	Poblado San José de Secce	Longitud: 74°15'11.23"O
<b>NOMBRE DE LA ESTACION REMOTA SATELITAL</b>	<b>UBICACION</b>	<b>COORDENADAS</b>
Red Satelital	Centro de Salud San José de Secce	Latitud: -
		12.766033025818517
		Longitud: -
		74.25330274515728

Fuente: Propia – Software EXCEL

d) Canales potenciales para el uso de TVWS

Para fines de la operación de trabajo para del sistema TVWS, usando radio cognitiva, se tomó las bandas IV y V del Plan Nacional de Atribución de Frecuencias (PNAF), en el cual se encuentran asignados los servicios de televisión Digital (UHF) como se detalla en la Tabla 8. Las frecuencias de estas bandas se tomarán en consideración como parte de los parámetros para la simulación de cobertura de la antena transmisora CARLSON de la estación base TVWS ubicada en la Municipalidad de Santillana.

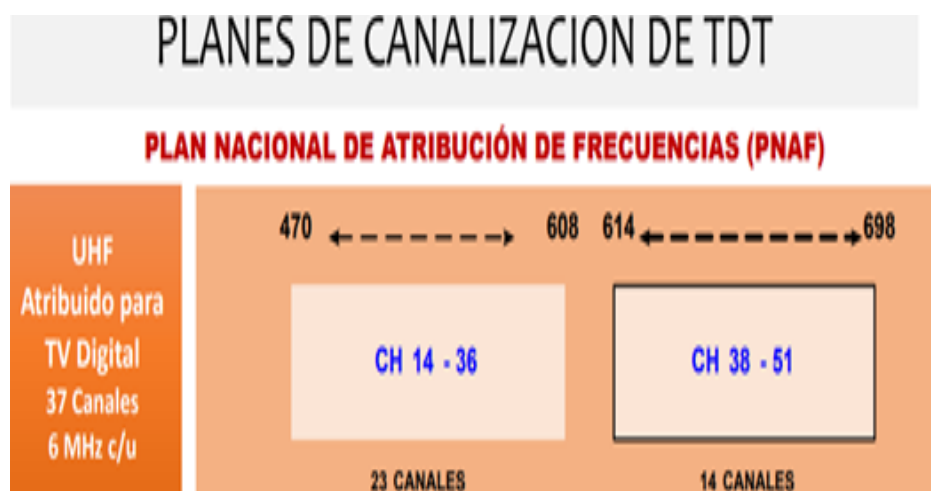
**Tabla 8**

*Banda de frecuencia para televisión VHF y UHF*

Televisión VHF	Televisión UHF
<b>Banda I</b>	<b>Banda IV</b>
54 - 72 MHz	500 - 608 MHz
76 - 88 MHz	614 - 644 MHz
<b>Banda III</b>	<b>Banda V</b>
174 - 216 MHz	644 - 686 MHz

Fuente: Plan Nacional de Atribución de frecuencias, 2008, p.40

Para lo relacionado al rango de frecuencias en la que va a operar el sistema de Radio Cognitiva TVWS, estas se encuentran descritas en la banda VI y V y están divididas en 37 canales que poseen un ancho de banda 6 MHz cada uno, de esta forma la distribución de canales se estableció según las bandas mencionadas en los planes de canalización de TDT como se aprecia en la figura 17.



**Figura 17:** Canalización de TDT en la banda UHF

Fuente: Planes de canalización de TDT, PNAF (2017)

- Canales licenciados

Un tema de gran importancia, y que se mencionó en el capítulo anterior, es respecto a los canales autorizados o también llamados licenciados. Estos canales en UHF asignados al distrito de Santillana son parte del plan de canalización de la TDT y están aprobados por la resolución RVM N° 221-2011-MTC/03. Además, en ella, se establece la máxima potencia de 250 watts que podrá utilizar la estación (Figura N° 18). Estos canales y parámetros de transmisión estarán considerados en la base de datos del sistema TVWS con radio cognitiva, con el fin de no utilizar estas frecuencias.

RADIODIFUSIÓN		PRIVADOS					
TELEVISIÓN UHF							
Localidad: <b>CHACA-SAN JOSE DE SECCE</b>							
Plan Aprobado por RVM N° 588-2020-MTC/03 (24/12/2020)							
La máxima e.r.p. para las estaciones de televisión digital terrestre (ISDB-T) es de: 0.25 KW.							
Canalización	5	DEPARTAMENTO	PROVINCIA	DISTRITO - CENTRO POBLADO			
Autorizadas	0	AYACUCHO	HUANTA	CHACA			
Cautelar	0	AYACUCHO	HUANTA	SANTILLANA			
Reservado Estado	1						
Disponibilidad	4						
Trámite	0						
		N°	Canal	Canal Virtual	Razon Social	Indicativo	Estado
		1	15				
		2	19				
		3	23				
		4	27				
		5	31				

**Figura 18:** Lista de frecuencias autorizadas para la Localidad de San José de Secce

Fuente: Registro Nacional de Frecuencias <https://rnf.mtc.gob.pe/Television>

e) Selección de equipos para la estación base Indoor y Outdoor

- Análisis competitivo

En la Figura 19 se muestra la comparación entre las principales marcas de fabricantes de equipos para operar con espacios blancos de televisión.

Se puede apreciar que en cuanto precio y alcance la mejor opción viene siendo los equipos de la marca Carlson.

Manufacturer	Range	Bonding Channels	Max Mbps	Manuf. Antennas	GPS	CPE Price
Carlson Gen 2	14 km	No	16 Mbps	Yes	No	\$400
<b>Carlson Gen 3</b>	<b>14 km</b>	<b>Yes</b>	<b>60 Mbps</b>	<b>Yes</b>	<b>Yes</b>	<b>\$250</b>
KTS	8 km	No	3 Mbps	Yes	No	\$900
Adaptrum	10 km	No	14 Mbps	No	No	\$800
6harmonics	6 km	No	12 Mbps	No	No	\$800
Redline	8 km	No	20 Mbps	Yes	Yes	\$2000+



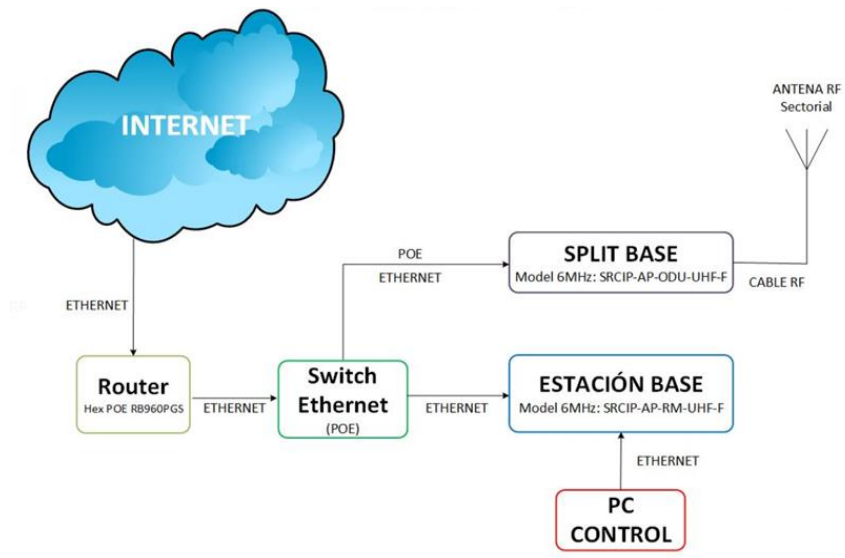
**Figura 19:** Análisis competitivo equipos TVWS

Fuente: Plan de lanzamiento Carlson 3G (2016)

f) Diseño de la estación base

La estación base comprende desde el puerto de red para el acceso a la red MINEDU y/o el acceso a internet (brindada por el Modem de la estación remota satelital VSAT) hasta la salida de la señal de TVWS por una antena de RF como se muestra en la figura 20. El Switch perteneciente a la BS es el encargado de realizar la conexión entre un computador de control, la Estación Base Carlson y el Split Base (Base Dividida).

El computador de control, que forma parte de la estación base, permitirá la configuración del dispositivo de radio, el cual tendrá la función de un servidor que se encargará de almacenar la información que la recopila la estación Base durante el censado del espectro radioeléctrico de la zona por medio de geolocalización y de recibir información actualizada proveniente del proveedor la base de datos de espacios en blanco asociados con la empresa CARLSON WIRELESS TECHNOLOGIES. La antena sectorial seleccionada se conectará al dispositivo Split Base Radio, este último con el fin primordial de ser intermediario entre el switch y la antena. Esta conexión logra disminuir la distancia del cable RF y, por ende, disminuye las pérdidas en dB para la transmisión de la señal TVWS.



**Figura 20:** Diagrama de una estación Base con equipos CARLSON

Fuente: Elaboración Propia – Software VISIO 2019

- Equipos seleccionados para la estación base

- Estación Radio Base:

La radio de banda ancha de espacio en blanco Rural Connect® TV Modelo 6MHz : SRCIP-AP-RM-UHF-F que se aprecia en la figura 21 está diseñada para utilizar el espectro de "espacio en blanco" en las frecuencias de 470-608 MHz (canales de TV 14-36) y 614-698 MHz (canales de TV 38-51) para proporcionar velocidad de banda ancha para aplicaciones en las que las soluciones tradicionales de microondas no proporcionan un rendimiento de RF adecuado.



**Figura 21:** Rural Connect TV Modelo 6MHz: SRCIP-AP-RM-UHF-F

Fuente: RuralConnect® TV White Space Radio Installation & User Guide (2013, p. 7)

➤ Split Base (Base Dividida)

En la figura 22 se muestra el equipo que servirá para la transmisión y recepción de la señal RF en la estación base.



**Figura 22:** CLIENT MODEL NO. 6MHz: SRCIP-AP-ODU-UHF-F

Fuente: Rural Connect® TV White Space Radio Installation & User Guide (2013, p. 7)

➤ Switch Ethernet (SB/CPE)

Para la implementación de la Indoor de la estación base se consideró el switch Cisco SG250X-24 (24 Gigabit Ethernet Ports, 4 10 Gigabit Ethernet (2 x 10GBase-T + 2 x SFP+), el cual es administrable y lo podemos apreciar en la figura 23. Este equipo posee 24 puertos 10/100/1000 Mbps POE+. Entre las ventajas que presenta este switch es que su administración elimina la complejidad del proceso de instalación utilizando la interfaz de proceso de configuración basada en navegador del dispositivo, en otras palabras, las actualizaciones y mejoras se realizan a través de la red permitiendo tener una fácil administración sobre todo para su uso en sitios remotos.



**Figura 23:** Switch CISCO modelo Cisco SG250X-24

Fuente: Productos y servicios CISCO: Switches inteligentes Cisco de la serie 250 (2020)

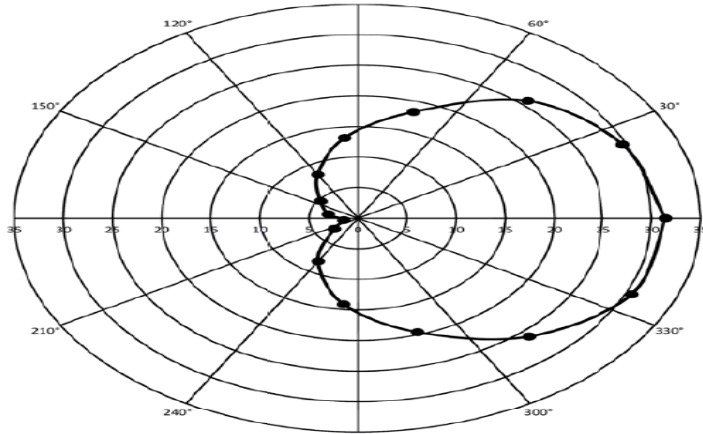
➤ Antena sectorial (SB)

Diseñada para una alta ganancia, esta antena sectorial de banda ancha que se muestra en la figura 24, soporta climas muy adversos. La alta relación de adelante hacia atrás es una característica importante para su uso en sitios de base de múltiples antenas. La antena no requiere ningún ajuste o ajuste de campo en toda la banda de TV UHF. En cuanto al Patrón de radiación de la Antena sectorial CARLSON, esta se muestra en la figura 25.



**Figura 24:** Sector Antenna for Rural Connect

Fuente: Carlson Wireless. Datasheet Sector Antenna for Rural Connect. (2014, p. 1)



**Figura 25:** Patrón de radiación de la Antena sectorial CARLSON

Fuente: Carlson Wireless. Datasheet Sector Antenna for Rural Connect. (2014, p. 1)

➤ PC Control (SB/CPE)

En cuestiones de requerimientos mínimos que debe tener la PC CONTROL tanto para la estación Base como para la estación Cliente, el manual de la empresa CARLSON WIRELESS TECHNOLOGIES menciona lo siguiente:

Carlson Wireless Technologies, Inc. (2013, p. 9) “(...) Necesitará una computadora IBM compatible con PC (o una máquina virtual equivalente) equipada con lo siguiente (...)”:

- Microsoft Windows 7 o superior
- Microsoft .NET Framework 4.5
- Al menos 512 megabytes (MB) de RAM
- Teclado y mouse (u otro dispositivo señalador compatible)
- Adaptador de pantalla y monitor (resolución de 1024x768 o superior)
- Adaptador de red Ethernet de 100/1000 Mbps

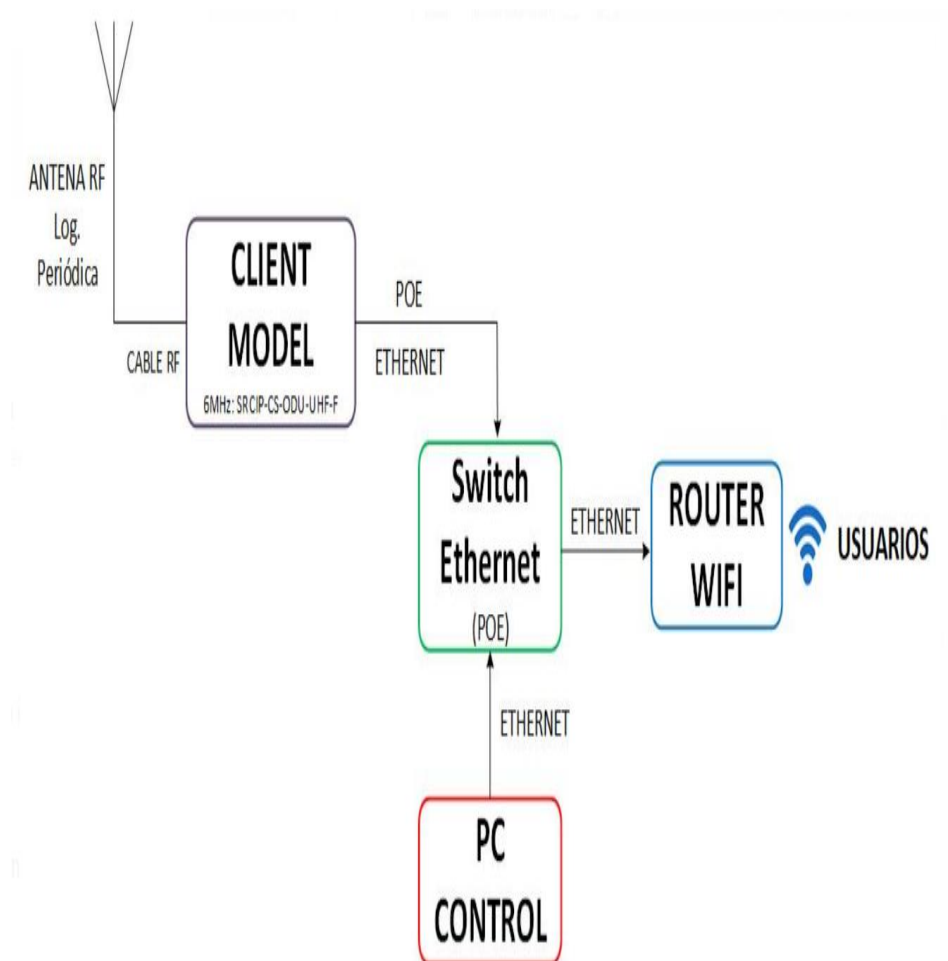
g) Diseño de la estación base CPE (Cliente)

La implementación requerida para la estación del cliente (CPE) es muy parecida a la estación base, con la única diferencia que el acceso a internet que se proporcionará al usuario final será realizado mediante un router Wifi



que será parte del sistema outdoor del CPE como se observa en la figura 26, el cual permitió una conexión inalámbrica con los periféricos de los clientes finales (Laptops, tablets, celulares, etc.).

Por otro lado, la computadora (PC CONTROL) que se encuentra asignada a la Indoor de la estación del cliente, y como ya se mencionó en el marco teórico referente a las características de cómo opera los equipos de radio cognitiva, esta PC mantiene siempre una comunicación constante entre la estación base y Estación cliente. Mediante esta computadora se realizó la configuración de los dispositivos del sistema, así como de realizar un monitoreo permanente de las interacciones entre la estación cliente y la base de datos.



**Figura 26:** Diagrama de una estación Cliente CPE con equipos CARLSON

- Equipos para la estación base outdoor

- Estación Radio Cliente:

La radio de banda ancha de espacio en blanco Rural Connect® TV Modelo 6MHz : SRCIP-CS-ODU-UHF-F que se muestra en la figura 27, está diseñada para operar en conjunto con la radio base (SB) modelo 6MHz SRCIP-AP-RM-UHF-F bajo los parámetros ya mencionados en la página 45.



**Figura 27:** Rural Connect® TV Modelo 6MHz : SRCIP-CS-ODU-UHF-F

Fuente: RuralConnect® TV White Space Radio Data sheet Products

- Split Base CPE Unit (Base Dividida)

En la figura 28 se muestra el equipo que servirá para la transmisión y recepción de la señal RF en la estación cliente.



**Figura 28:** CLIENT MODEL NO. 6MHz : SRCIP-CS-ODU-UHF-F

Fuente: RuralConnect® TV White Space Radio Installation & User Guide (2013, p. 7)

➤ Antena Periódica Sectorial (CPE)

La antena direccional logarítmica periódica es conocida por sus capacidades consistentes de ancho de banda amplio. Esta antena muestra una ganancia muy plana en toda la banda en pruebas de largo alcance. Su pequeño tamaño hace que las instalaciones sean fáciles y discretas. En la figura 29 se muestran los parámetros más resaltantes de la antena en mención.



**Figura 29:** Log Periodic Directional UHF Antenna for Rural Connect® CPE

Fuente: Carlson Wireless. Datasheet Log Periodic Directional UHF Antenna for RuralConnect® CPE (2014, p. 1)

➤ Router (CPE)

Para el enrutamiento y direccionamiento de los equipos conectados a la terminal de usuario, se ha colocado como opción el router gigabit ethernet RB960PGS de cinco puertos que se aprecia en la figura 30. Entre sus características destacan la presencia de un puerto USB y uno SFP para conectividad a través de fibra óptica. Además cuenta con dos puertos con capacidad PoE que permite alimentar otros dispositivos.

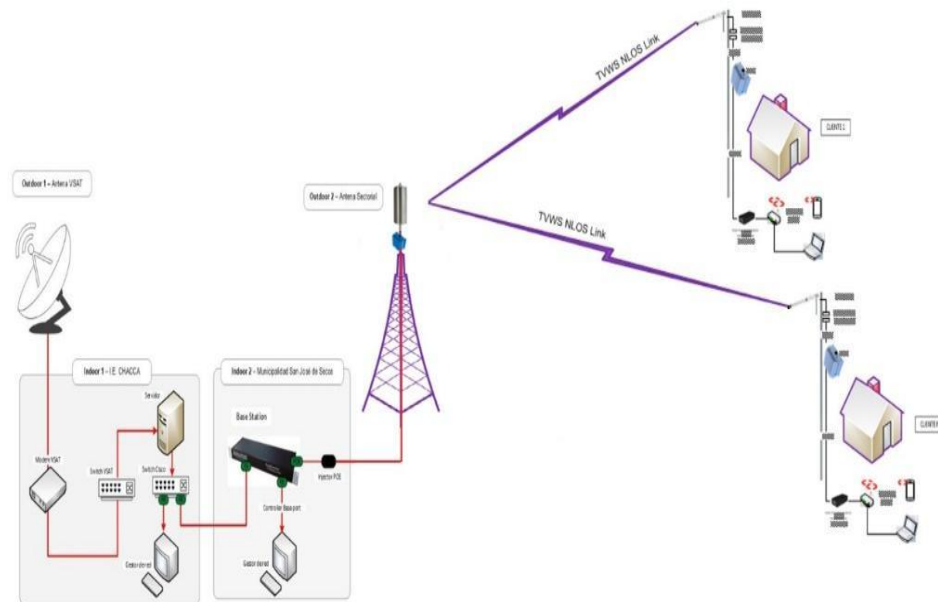


**Figura 30:** Router Mikrotik hex PoE RB960PGS

Fuente: Sitio web Mikrotik

#### h) Arquitectura del diseño del sistema TVWS

En la siguiente figura 31, se presenta la arquitectura de diseño del sistema TVWS para el distrito de Santillana. En este diseño se consideró los Indoor y outdoor de la estación base (BS) y la estación Cliente (CPE). Además, se adiciona algunos equipos e instalaciones complementarias que se suelen aplicar en proyectos de esta índole, tales como: pozo a tierra con resistencia de 3 ohm, pararrayos en el extremo superior de la torre ventada y estabilizador de energía tanto para la estación base como para la estación del cliente.



**Figura 31:** Arquitectura del diseño TVWS para la Municipalidad de Santillana, Ayacucho.

Fuente: Elaboración Propia – Software VISIO 2019

### 3.3. Parámetros de diseño del sistema TVWS

- Velocidad requerida para usuario final

Para cuestiones de planificación de red y velocidades para conexión para el acceso a internet al usuario final, se ha tomado en cuenta que la ITU considera que un servicio de banda ancha se encuentra a velocidades de al menos 256 kbps. Sin embargo, para determinar una capacidad óptima al sistema es necesario una estimación real de los servicios que se encuentran involucrados mediante el uso de internet (voz, datos y video). Entre los servicios más importantes, el servicio de videollamada es el que requiere una mayor velocidad tanto de subida como de bajada (UP/DOWN) para su funcionamiento. Tomando en consideración los requerimientos mínimos de velocidad para una video llamada, se asumió que los otros servicios requieren una menor velocidad para su operación.

Cabe mencionar, para detallar lo explicado anteriormente, que la empresa Microsoft, proveedora de servicios de audio y video a través de Skype, recomienda el uso de velocidades de transmisión y recepción de al menos 500 kbps para videollamadas de alta calidad como se aprecia en la figura 32. Además, se ha establecido que la velocidad de descarga mínima por usuario requerida para los servicios en telecomunicaciones es de 512 kbps y de subida de 512 kbps. Con esta relación o un overbooking de 1 a 1, se puede garantizar una conexión de banda ancha a los usuarios finales y una óptima operación de los servicios de voz, data y video.

Tipo de llamada	Velocidad de descarga /carga mínima	Velocidad de descarga /carga recomendada
Llamadas	30 kbps/30 kbps	100 kbps/100 kbps
Videollamadas / Pantalla compartida	128 kbps/128 kbps	300 kbps/300 kbps
Videollamadas (alta calidad)	400 kbps/400 kbps	500 kbps/500 kbps
Videollamadas (HD)	1,2 Mbps/1,2 Mbps	1,5 Mbps/1,5 Mbps
Videollamadas grupales (3 personas)	512 kbps/128 kbps	2 Mbps/512 kbps

**Figura 32:** MICROSOFT. ¿Cuánto ancho de banda necesita Skype ?. 2017

Fuente: <https://support.skype.com/es/faq/FA1417/cuanto-ancho-de-banda-necesita-skype>

- Sobresuscripción

La sobreescripción del canal es la capacidad de compartir el ancho de banda del canal para optimizar el uso del mismo ya que es poco probable que los usuarios hagan uso de la velocidad máxima asignada al canal simultáneamente. Para no disminuir la calidad del uso de aplicaciones a través del canal es necesario establecer el número máximo de usuarios que se pueden conectar simultáneamente al canal bajo parámetros específicos que permitan un correcto desempeño de las aplicaciones que se utilizan. En nuestro caso de estudio consideramos una relación de sobreescripción de 1:4.

- Número de usuarios beneficiados por un canal típico de 2 MHz

Con el uso de 2Mbps/2Mbps por usuario y una relación de sobreescripción de 4:1, se ha visto la necesidad de encontrar la cantidad de usuarios que puede verse beneficiados con el uso de un canal típico de 2 MHz.

El máximo throughput alcanzado sin pérdidas por el cliente TVWS es 40 Mbps, premisa que permitirá obtener el número usuarios por canal con la ayuda de la ecuación siguiente:

$$N = \frac{C \times S}{r} \quad (2)$$

Donde:

$N$  = Número de usuarios por canal

$C$  = Capacidad del canal

$S$  = Sobreescripción

$r$  = Capacidad de usuario

$$N = \frac{40\text{Mbps} \times 1}{2\text{Mbps}}$$

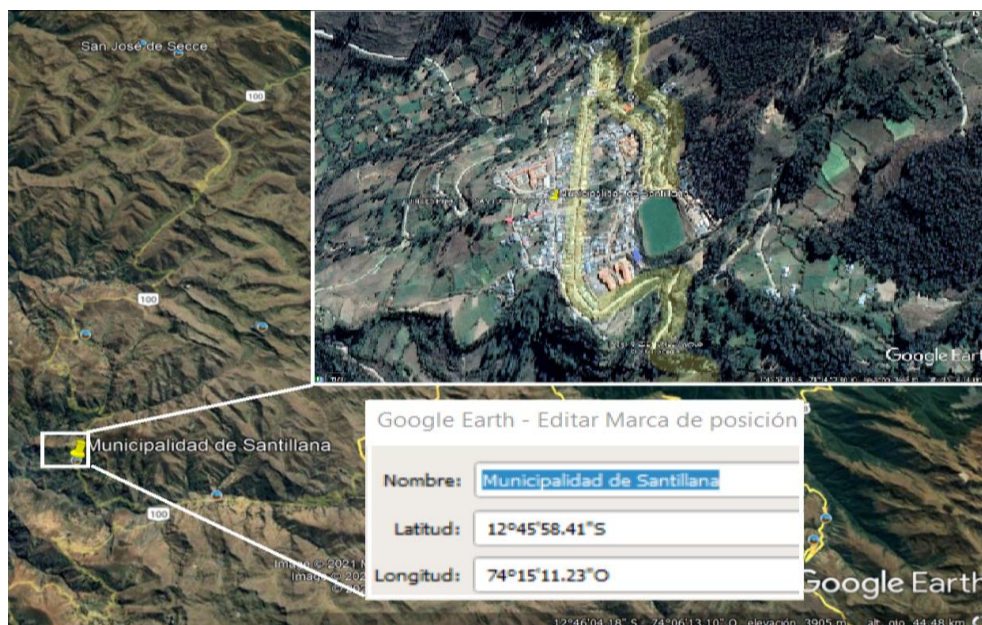
$N = 20$  usuarios

Los 20 usuarios que podrán verse beneficiados por el uso de un canal de 2MHz, representan 20 estudiantes o dispositivos que pueden conectarse inalámbricamente a internet.

- Ubicación Geográfica de la estación Base (SB) y estaciones Clientes (CPE)

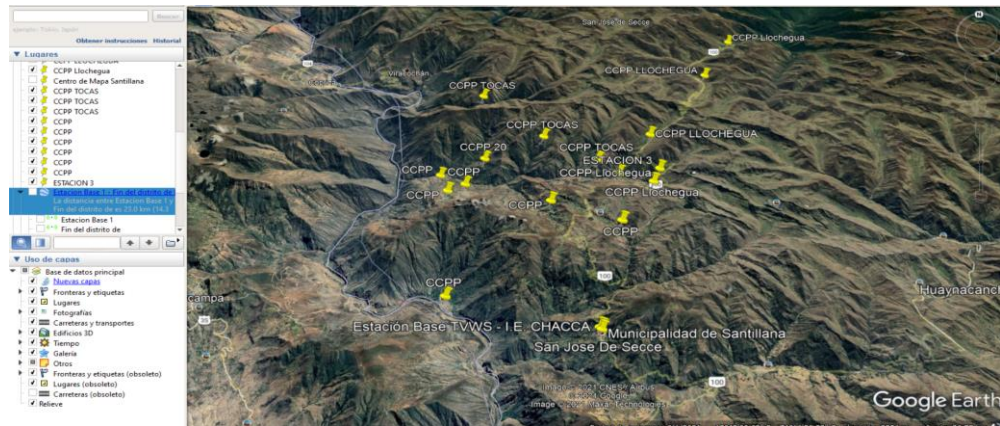
Para delimitar el alcance o cobertura TVWS utilizando equipos Carlson y cuya ubicación de este mismo se muestra en la figura 33, se procedió, en primer lugar, a ubicar las coordenadas geográficas y alturas de los 101 centros poblados del distrito de Santillana como se muestra en el Anexo 6. Sin embargo, para efectos de esta tesis, se hizo énfasis a solo los 20 centros poblados que poseen instituciones educativas.

Por medio del software GOOGLE EARTH, se procedió a ubicar y confirmar los 20 centros poblados, previamente mencionados, para luego agregarlos en el software XIRIO como un punto de interés en donde estarán instalados los CPE's y luego obtener el nivel de recepción de la señal TVWS. En la figura 34 se muestra a ubicación de los 20 centros poblados que poseen una institución educativa.



**Figura 33:** ubicación geográfica de la estación Base

Fuente: Google Earth Software de escritorio: Distrito de Santillana, Huanta, Ayacucho.



**Figura 34:** Ubicación geográfica de los centros poblados del distrito de Santillana

Fuente: Software Google Earth

En la tabla 9 se muestra la lista de los 20 centros poblados que se encuentran ubicados en el distrito de Santillana y que se encuentran distribuidos alrededor de la localidad de San José de Secce (Municipalidad de Santillana). Estos puntos de interés se muestran con sus respectivas coordenadas geográficas y sus alturas (m.s.n.m.)

**Tabla 9**

*Banda de frecuencia para televisión*

<b>CENTRO POBLADO</b>	<b>LATITUD</b>	<b>LONGITUD</b>	<b>ELEVACIÓN (METROS)</b>
CCPP 1	12°44'25.45"S	74°18'19.71"O	2157.070
CCPP 2	12°46'20.50"S	74°15'04.86"O	3158.338
CCPP 3	12°47'08.72"S	74°13'19.84"O	3172.968
CCPP 4	12°47'12.26"S	74°14'52.94"O	2833.116
CCPP 5	12°46'24.50"S	74°15'56.72"O	2537.765
CCPP 6	12°44'52.53"S	74°16'45.44"O	3294.888
CCPP 7	12°44'33.71"S	74°16'30.52"O	3494.227
CCPP 8	12°45'03.53"S	74°15'21.05"O	3077.566
CCPP 9	12°46'17.19"S	74°14'31.64"O	3588.715
CCPP 10	12°42'01.23"S	74°13'39.65"O	3907.000
CCPP 11	12°41'32.65"S	74°13'27.01"O	3911.000
CCPP 12	12°41'24.97"S	74°14'13.55"O	3464.000



CCPP 13	12°40'52.05"S	74°14'49.07"O	3581.000
CCPP 14	12°39'56.45"S	74°16'03.98"O	3684.000
CCPP 15	12°37'51.60"S	74°17'34.96"O	3433.000
CCPP 16	12°43'14.19"S	74°14'30.39"O	3844.000
CCPP 17	12°42'16.94"S	74°16'00.00"O	3486.000
CCPP 18	12°41'27.91"S	74°17'56.34"O	3375.000
CCPP 19	12°41'39.41"S	74°18'19.93"O	3321.000
CCPP 20	12°40'19.96"S	74°17'32.06"O	3048.000

---

Fuente: Elaboración propia – Software Excel

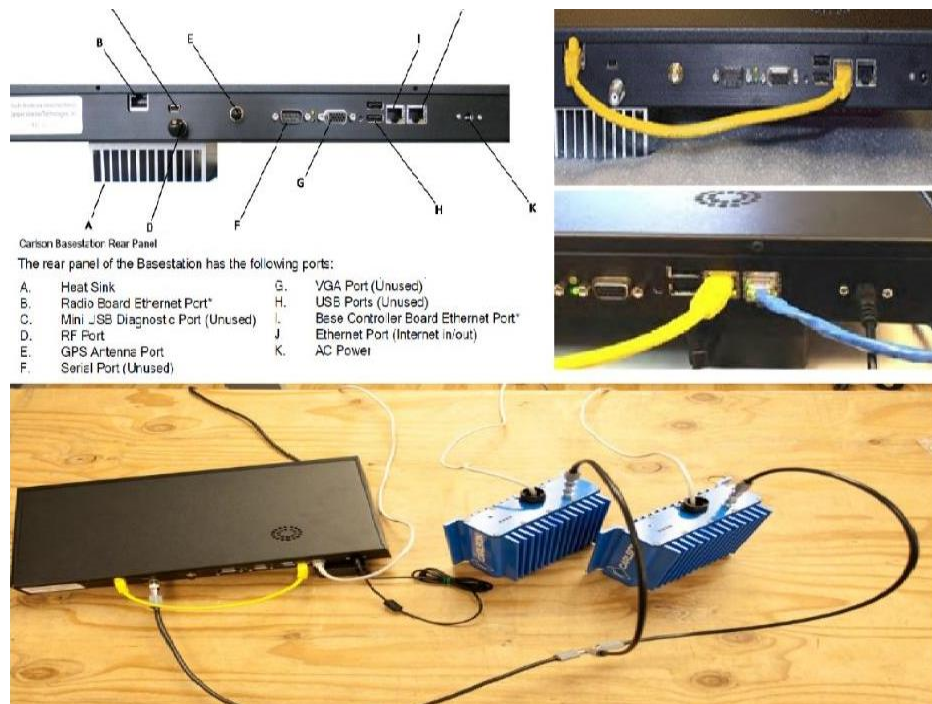
### 3.4. Técnicas e instrumentos de simulación

#### 3.4.1. Prueba y operatividad de los equipos TVWS Carlson y periféricos

Para el inicio de operación de los equipos Carlson y poder acceder al registro de base de datos de TVWS certificado, se requiere de una calibración previa de la estación de radio base y los CPE Unit. Por otro lado, de acuerdo con el manual de operación de Carlson, es necesario tener una lista y mapa de canales permitidos específicos para las ubicaciones de la estación base y CPE.

- Prueba de la estación base RuralConnect y CPE's

Antes de implementar las unidades RuralConnect en las locaciones establecidas, es importante familiarizarse con su operación y verificar su funcionalidad. En la figura 35 se presenta el modo de conexión de los equipos para verificar su estado de funcionamiento y operatividad entre ellos, utilizando los accesorios con los que incluye los equipos (Cables RF, conectores, atenuadores e inyectores POE).



**Figura 35:** Conexionado y prueba de la radio estación base RuralConnect y CPE's

Fuente: Installation & User Guide, RuralConnect TV White Space Radio (2013, pp. 11-17)

De acuerdo con la guía de instalación y operación RuralConnect TV White Space Radio, las instrucciones detalladas de la conexión antes de su instalación en sus locaciones serían las siguientes:

- Conexión ethernet entre los puertos B e I (puerto Ethernet de la radio al puerto Ethernet de la placa controladora base).
- Para el acceso a internet, realizar una conexión ethernet del puerto J de la unidad radio base a una red habilitada DHCP, en este caso un switch.
- Conexión Ethernet entre el switch y cada unidad CPE (si en caso el switch no tiene puertos POE, se opta por usar inyectores POE con la potencia necesaria para energizar a cada CPE)
- Conexión con cable coaxial con el puerto RF de la unida base y los puertos RF de cada CPE por medio de un divisor RF.
- Conectar la fuente de alimentación de la unidad Base.

Esperar aproximadamente de 3 a 5 minutos para que el sistema inicialice.

- Configuración de la estación base y estación Cliente Carlson

Para la operación y funcionalidad de los equipos se requiere realizar una serie de verificaciones en el Centro de operación y administración o también llamado OMC (Operation & Management Center) por medio del navegador web <http://omc.neul.com>. Para este procedimiento, se tiene que contar ya con un usuario y contraseña administrada por la empresa CARLSON. En la figura 36 nos muestra los accesos a las pestañas una vez ingresando al OMC. Para la verificación de los equipos se seleccón la pestaña STATIONS.



**Figura 36:** Fichas de acceso directo del Centro de operación y administración (OMC)

Fuente: Installation & User Guide, RuralConnect TV White Space Radio (2013, p. 12)

En la opción STATIONS, como se ve en la figura 37, se puede apreciar un listado de estaciones que, para este caso, solo se visualiza uno "CSB00069".

**Stations**

Drag a column header and drop it here to group by that column

ID	Name	Guid	Description	RIS	After-boot System	Type Id	Last reported ...	Changeable	Controllable	Versions
820	CSB00069	c90d5766-bbb9-4240-a6ff-83088ccc8d05	Carlson Base 69 (Arcata Trial)	X	UMS 2013-03-R11		less than 1m ago	✓	✓	Firmware: 16831 Variant:CW7B5C Pkg: 346 Variant:NMAC041211_1454 Stack: 1.0.16430.0

Displaying items 1 - 1 of 1

---

Station Properties: CSB00069

**Basestation Details**

Name	CSB00069	Whitespace Provider	FixedChannelPropertyWhitespaceDatabase				
Description	Carlson Base 69 (Arcata Trial)	Channel Allocations	Frequency	Bandwidth	Max Tx Power	Start Time	Expiry Time
StationGuid	c90d5766-bbb9-4240-a6ff-83088ccc8d05		539 MHz	SixMHz	Infinity	2013-04-05 15:21:11Z	2013-04-06 15:12:10Z
/AfterBootSystem	UMS 2013-03-R11		<a href="#">Force WSDB Query</a>				
Set for Reboot	<a href="#">Reboot</a>						

[Refresh](#) [Open in New Window](#)

[Health](#) [System Images](#) [Fingerprints](#) [Properties](#) [Activity](#) [Messages](#) [Audit Log](#)

**Figura 37:** Listado y Detalles de estaciones

Fuente: Installation & User Guide, RuralConnect TV White Space Radio (2013, p. 12)

Para concluir con la verificación de la operatividad y funcionalidad de las estaciones, se procede a ingresar a la pestaña “Messages”, para lo cual se abrirá una ventana como la que se muestra en la figura 38. En esta se puede visualizar los ID de las estaciones, las fechas y horas que se generaron los mensajes, las inicializaciones de cada base y sus conexiones.

## Messages

Current System Time (UTC): 2013-04-05 15:42:34 UTC

Drag a column header and drop it here to group by that column				
ID	Generated	Received	Code	Message
602767	2013-04-04 23:17:44Z	2013-04-04 23:17:44Z	0	Completed Initialization.
602768	2013-04-04 23:17:41Z	2013-04-04 23:17:44Z	0	Radio Connected!

**Figura 38:** Listado de mensajes de confirmación

Fuente: Installation & User Guide, RuralConnect TV White Space Radio (2013, p. 12)

- Configuración de localización y verificación del control de la estación base/CPE

Para realizar la verificación de coordenadas geográficas de la estación base y CPE's, ubicados estos en sus respectivas locaciones, se procede a ingresar a la pestaña de “Propiedades” seguidamente a "Entidades de la estación" y posteriormente seleccionar la pestaña desplegable "Propiedades heredadas" como se muestra en la figura 39. Es en esta pestaña en donde se mostrará la información de localización. Estas coordenadas geográficas se determinarán con una precisión de  $\pm 50$  metros mediante una ubicación geográfica incorporada en el equipo.



## Station Entities

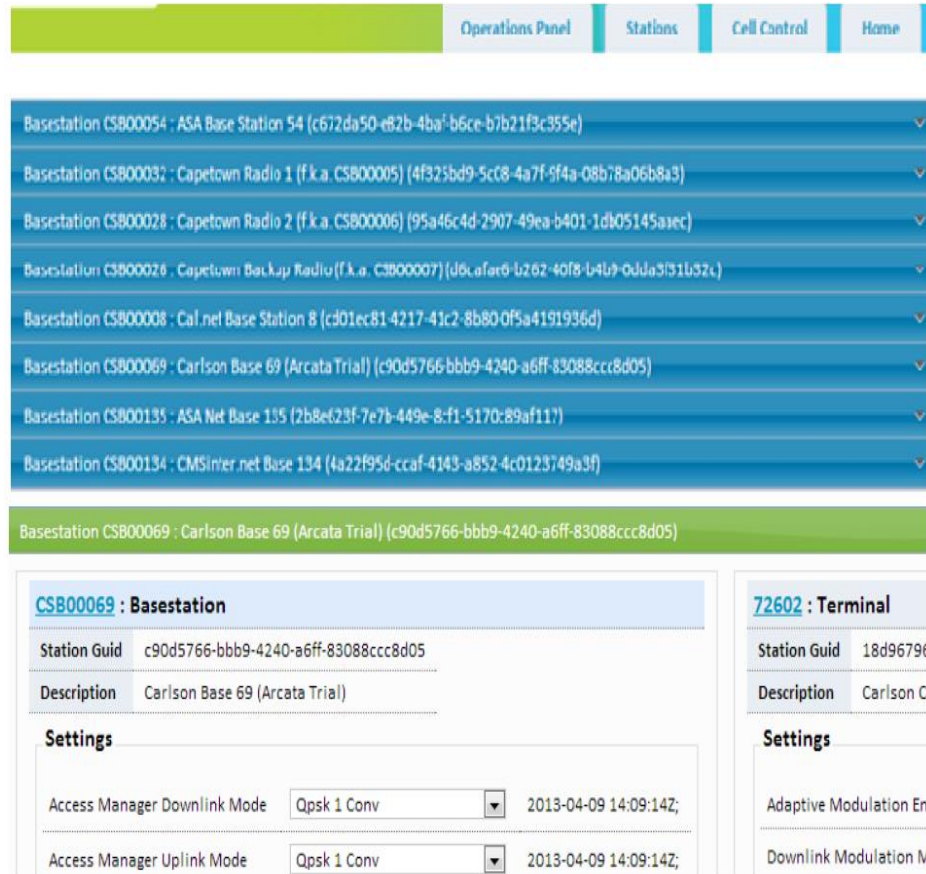


latitude	40.88377
longitude	-124.1053

**Figura 39:** visualización de localización de la estación base CARLSON

Fuente: Installation & User Guide, RuralConnect TV White Space Radio (2013, p. 13)

Para la verificación y control de la estación base y CPE Carlson, es necesario ingresar a la pestaña “CELL CONTROL”, en esta pestaña se puede visualizar la estación base como sus estaciones clientes activos y asociados a la misma estación base como se puede apreciar en la figura 40. Para poder acceder a las configuraciones de parámetros de transmisión y recepción, solo es necesario seleccionar la estación base de la lista de equipos que se muestra en la pestaña CELL CONTROL. Ya seleccionando el equipo en mención, se tiene un acceso de administrador para cambiar los parámetros tanto de transmisión como de recepción. De igual modo, es necesario configurar con los mismos parámetros las estaciones clientes (CPE).



**Figura 40:** Control de la estación base y CPE Carlson

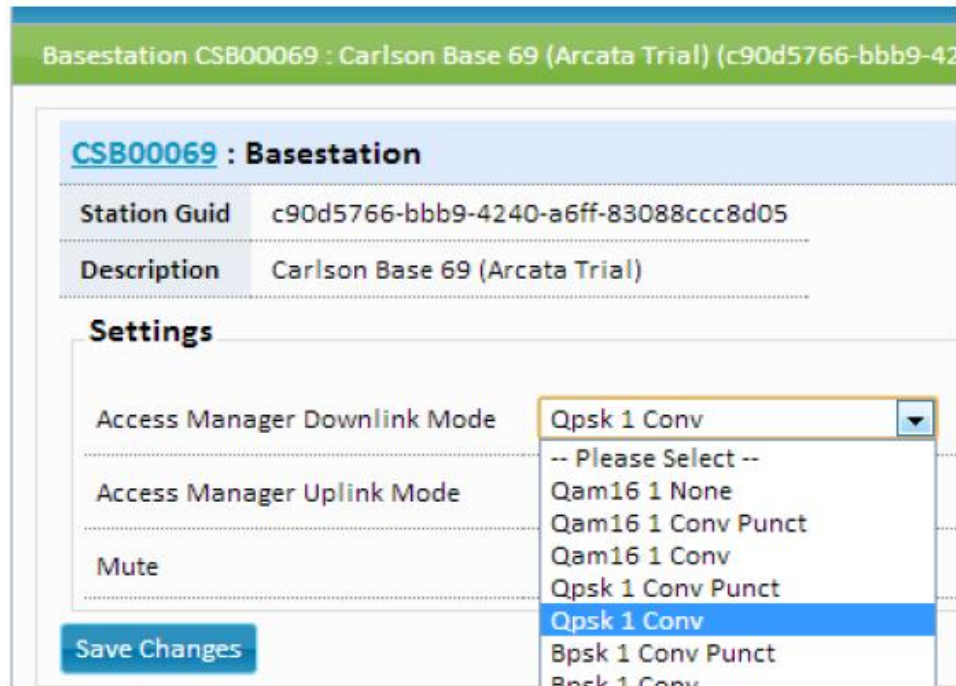
Fuente: Installation & User Guide, RuralConnect TV White Space Radio (2013, p. 14)

- Modos de modulación

El rendimiento de cada enlace de RF está determinado por la calidad de la señal y el modo de modulación utilizado. Estos menús desplegables le permiten seleccionar el modo de modulación tanto para el enlace ascendente como el enlace descendente de cada CPE. Solo puede cambiar la configuración de una estación a la vez. (Carlson Wireless Installation & User Guide, 2013, p. 21)

Por otro lado, los tipos de modulación para velocidades de bits más alta son los que se encuentran al inicio de la lista, como se muestra en la figura 41, seguidos por las modulaciones más simples, las cuales se usan más para solucionar problemas de enlaces de radiofrecuencia con errores y/o señales deficientes. Cabe resaltar que las relaciones señal-ruido entre la estación base

y el CPE más fuertes permitirán el uso de modos de modulación más altos, proporcionando un mayor rendimiento.



**Figura 41:** Modos de modulación de la estación base y CPE Carlson

Fuente: Installation & User Guide, RuralConnect TV White Space Radio (2013, p. 21)

Por otro lado, para el acceso a internet, la estación base se conecta a Internet a través de un puerto Ethernet estándar, donde obtiene automáticamente una dirección IP de un servidor DHCP, como ya se había mencionado. La estación Codifica datos de la conexión Ethernet para su transmisión a una o más unidades CPE. En forma simultánea, decodifica las transmisiones de los CPE y las envía a Internet. (Carlson Wireless Installation & User Guide, 2013, p. 14)

- Detalles de la estación base

En los detalles de la estación se visualiza el nombre de la estación de radio, descripción, dirección IP y, entre otros parámetros, el proveedor de la base de datos de espacios en blanco y el "AfterBootSystem", la cual es utilizada para inicializar la estación base con el OMC. Además, se muestra en la primera pestaña, el estado del equipo, la última fecha y hora informadas de la situación

de cada interfaz de control y el canal actual en operación como se muestra en la figura 42.

### Basestation 1661 Details

Name	CSB00524	Whitespace Provider	SpectrumBridgeTestWsdB
Description	FCC Testing Base 524	AfterBootSystem	UMS 2013W23
StationGuid	498edecd-fa34-4b01-8e71-72fed3015f94		
IP Address	65.125.25.69		

Channel Allocations	Frequency	Bandwidth	Max Tx Power	Start Time	Expiry Time
	587 MHz	SixMHz	Infinity	2013-11-21 15:04:51Z	2013-11-23 15:05:51Z
	593 MHz	SixMHz	Infinity	2013-11-21 15:04:51Z	2013-11-23 15:05:51Z

Current Channel	587 MHz
Last WSDB Activity Timestamp	2013-11-21 15:05:50Z
Last WSDB Activity Result	Success
Last WSDB Registration	2013-11-18 19:21:34Z

**Figura 42:** Detalles de la estación Base y asignaciones de canales

Fuente: Installation & User Guide, RuralConnect TV White Space Radio (2013, p. 23)

### 3.4.2. Software para la simulación XIRIO

Realizar una simulación de cobertura de un sistema TVWS involucra muchos aspectos del cual el software de simulación debe de estar acorde de los requerimientos, adaptaciones y especificaciones de los equipos seleccionados tales como parámetros de transmisión/recepción, lista de antenas para la simulación al igual que sus características y modelos de propagación, entre otras. La primera opción que se consideró para el diseño TVWS fue el uso del software de escritorio Radio Mobile. Este software de simulación (tanto en su versión de escritorio y online) se caracteriza por ser gratuito y opera bajo datos de elevación de terreno y que estos son descargados desde una base de datos de la NASA. Cabe resaltar que el funcionamiento de este programa se basa bajo el modelo de propagación de Longley-Rice, el cual no considera los efectos causados por la



vegetación y edificaciones, quedando descartado para el uso de la simulación de este diseño.

A comparación del software Radio Mobile, el software XIRIO cuya presentación se ve en la figura 43, es una herramienta que permite realizar cálculos radioeléctricos aplicando una mayor cantidad de parámetros transmisión y recepción, el uso de sistemas de información geográfica, modelos de propagación reconocidos y una lista de antenas con sus comportamientos radioeléctricos para elegir, entre otras cosas.



**Figura 43:** XIRIO. Simulador profesional de cobertura radioeléctrica.

Fuente: Página oficial <https://www.xirio-online.com/web/>

### 3.4.3. Modelo de propagación de OKUMURA HATA

Para el caso de esta simulación, de carácter empírico, se tomó el modelo de propagación de Okumura Hata, ya que es uno de los modelos más utilizados para la predicción de la pérdida de propagación o el nivel de atenuación media en áreas urbanas y rurales en relación de la frecuencia de operación, la distancia entre transmisor (estación Base) y receptor (CPE) y las alturas de sus antenas.

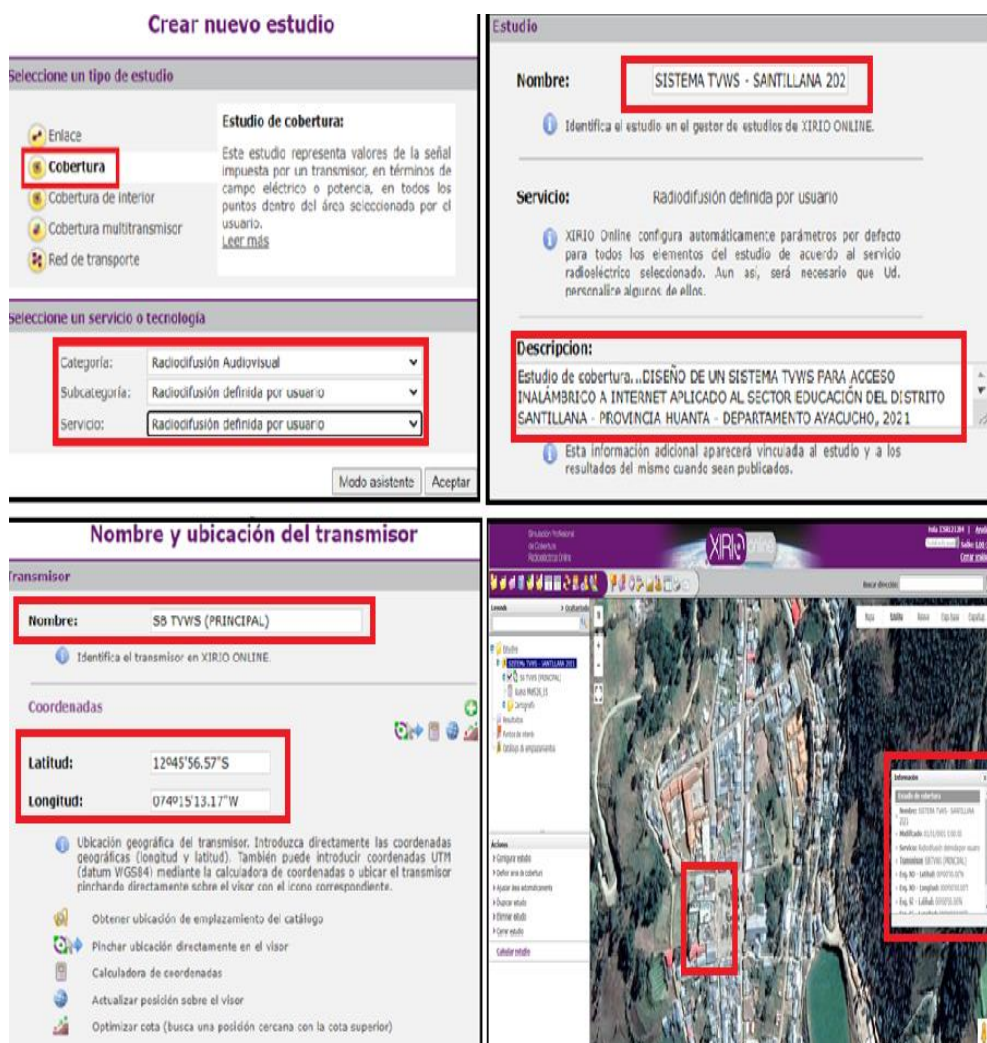
El principal resultado que proporciona el modelo es el valor mediano de la pérdida básica de propagación, en función de la frecuencia, la distancia, y las alturas de las antenas de la estación base y el móvil, aunque éste no incluye ninguno de los factores de corrección por tipo de trayecto, los cuales sí están en el modelo de Okumura, las ecuaciones propuestas por Hata tienen un importante valor práctico.(Manual Software XIRIO)

### 3.5. Procedimiento para la simulación del estudio de cobertura

#### 3.5.1. Procedimiento de simulación con software XIRIO

- Creación de nuevo estudio de cobertura en XIRIO

Para la creación del diseño del sistema TVWS y poder visualizar los alcances que tiene este mismo por medio del software XIRIO, se asignó nombres, configurar un conjunto de los parámetros de estudio y elementos que intervienen en el mismo, tomando en consideración los valores adecuados (reales) para el tipo de simulación a realizar que se aprecian en la figura 44.



**Figura 44:** Creación de nuevo estudio – Nombre del estudio/descripción - ubicación de Base TVWS

Fuente: Software XIRIO

- Configuración del área geográfica y método de propagación de la señal

Los métodos de cálculo de Xirio están basados en una serie de modelos básicos o estándares, generalmente promovidos por recomendaciones de carácter internacional, a los que se añade la posibilidad de configurar determinados parámetros para un ajuste más preciso debido a circunstancias concretas de la planificación. Los parámetros a configurar en la ventana correspondiente al método de cálculo dependen del método de propagación básico seleccionado por el usuario. (Manual Software XIRIO)

Una vez seleccionado el tipo de estudio, se presentan diferentes opciones que nos permite realizar una configuración más personalizada o como comúnmente se le dice “de manera avanzada” para los parámetros de estudio que se ven en la figura 45, tales como: transmisor a utilizar, parámetros de recepción, cartografía, propiedades de la antena transmisora/receptora, etc.

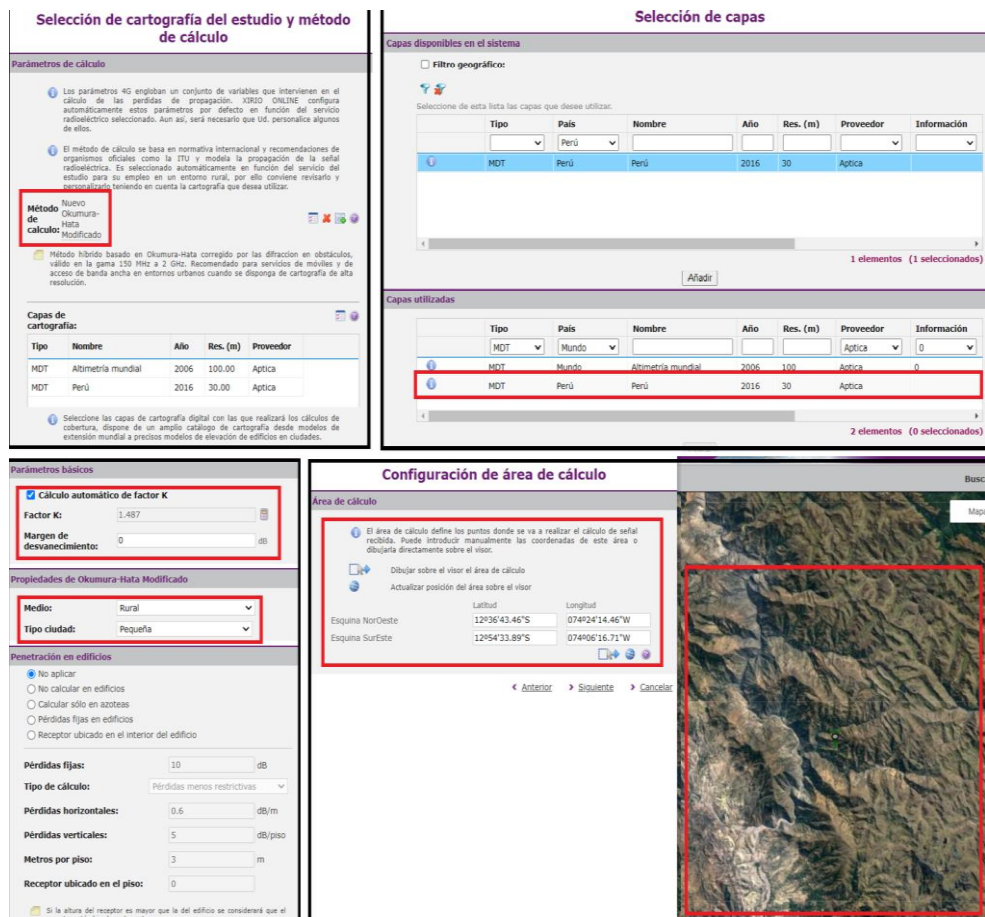


Figura 45: Configuración del área geográfica y método de propagación de la señal

Fuente: Software XIRIO

- Configuración de parámetros de transmisión y propiedades de las antenas

En esta etapa se procede a configurar los parámetros esenciales con el concepto típico de transmisor y receptor de radiofrecuencia. En otras palabras, se contempla parámetros de radio del Tx/Rx, asignación de nombres, ubicación, sistema radiante y los parámetros específicos de emisión recepción, propiedades de las antenas a usar, entre otros tal como se muestra en la figura 46.

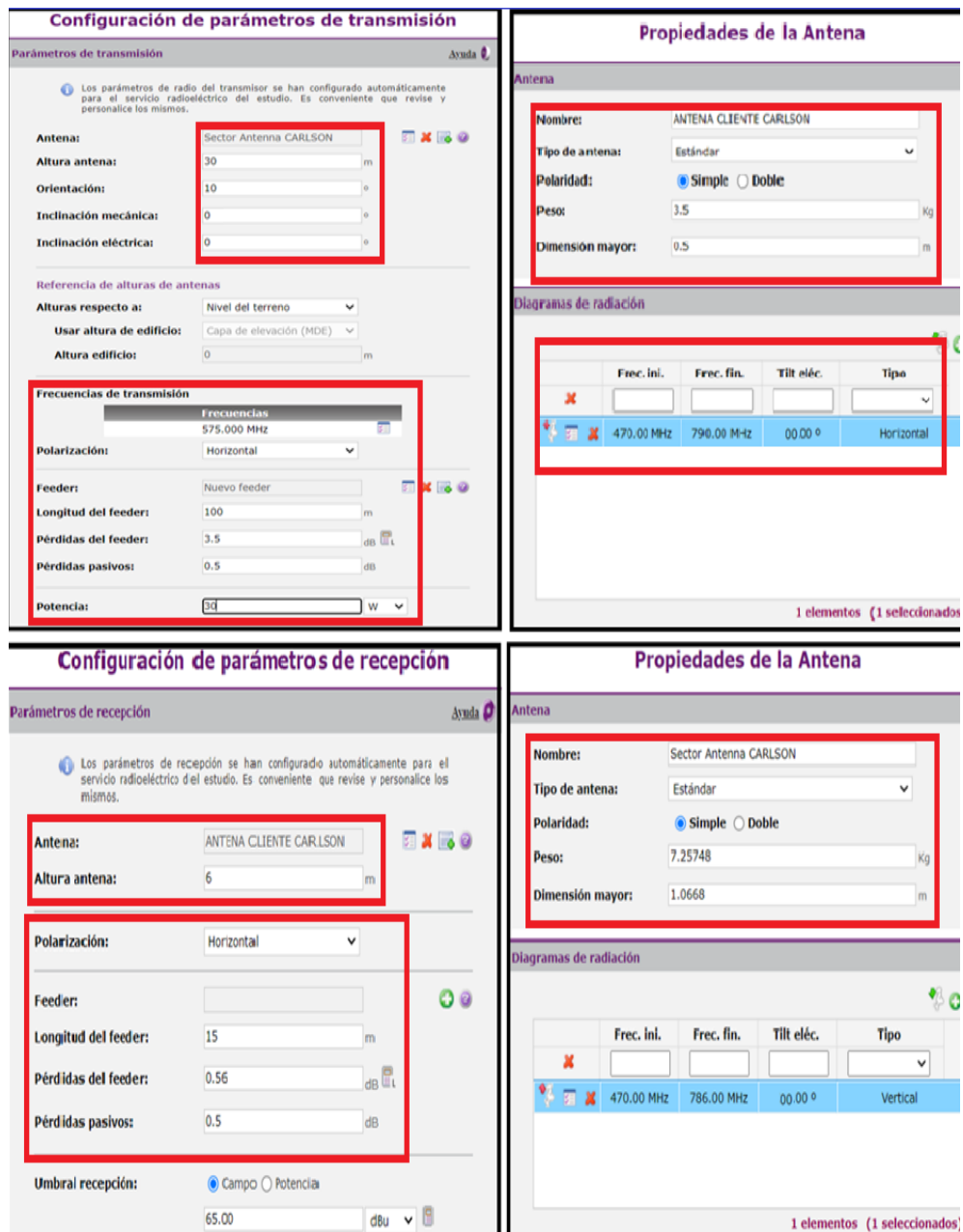


Figura 46: creación de nuevo estudio TVWS

Fuente: Software XIRIO

En la figura 47, se puede apreciar la opción que nos permite establecer los diferentes rangos de nivel de la señal recibida. A cada rango se le asigna un color característico para posteriormente visualizarlo en los resultados de simulación. En el caso de la simulación del sistema TVWS, se consideró tres intervalos, los cuales, el primero representa el límite inferior de umbral de recepción y el tercero el óptimo umbral de recepción proveniente del servicio elegido.



**Figura 47:** Configuración de los rangos de señal

Fuente: Software XIRIO

### 3.5.2. Calculo teórico de perdida de propagación mediante el modelo de OKUMURA HATA

El modelo de Okumura-Hata está restringido a los siguientes límites:

- $f$ : 150 a 1500 MHz
- $h_b$ : 30 a 200 m
- $h_m$ : 1 a 10 m
- $d$ : 1 a 20 km

El modelo de Okumura-Hata expresa la pérdida básica de propagación,  $L_b$ , de la siguiente manera:

$$L_b = 69.55 + 26.16 \log \log f - 13.82 \log \log h_b - a(h_m) \quad (3)$$

$$+(44.9 - 6.55 \log \log h_b) \log \log d_m$$

Donde  $a(h_m)$  es un factor de corrección que depende de la altura del móvil (CPE) y que se calcula como sigue:

Para áreas urbanas (para ciudades pequeñas o medianas):

$$a(h_m) = (1.1 \log \log f - 0.7)h_m - (1.56 \log \log f - 0.8) \quad (4)$$

Ecuación 3 en 2

$$L_b = 69.55 + 26.16 \log \log f - 13.82 \log \log h_b - (1.1 \log \log f - 0.7)h_m - (1.56 \log \log f - 0.8) + (44.9 - 6.55 \log \log h_b) \log \log d_m \quad (a)$$

Ecuación (a) en 5

Pérdida de propagación para áreas rurales:

$$L_b = L_b(\text{urbano}) - 4.78 \log \log (f)^2 + 18.33 \log \log f - 40.94 \quad (5)$$

En la tabla 8 se aprecia las pérdidas de propagación para cada CPE tomando en consideración las fórmulas de Okumura Hata vistas previamente para áreas Rurales, frecuencia de operación, la distancia entre transmisor/receptor y las alturas de sus antenas.

**Tabla 10**

*Pérdida (dB) de propagación por cada CPE Teórico (dB)*

	<b>Elevación (m.s.n.m.)</b>	<b>Distancia (m) a la SB</b>	<b>Pedidas dB (teórico)</b>
CCPP 1	2157.070	6350	122.84
CCPP 2	3158.338	716	89.45
CCPP 3	3172.968	4008	115.8
CCPP 4	2833.116	2346	107.61
CCPP 5	2537.765	1584	101.6
CCPP 6	3294.888	3476	113.62

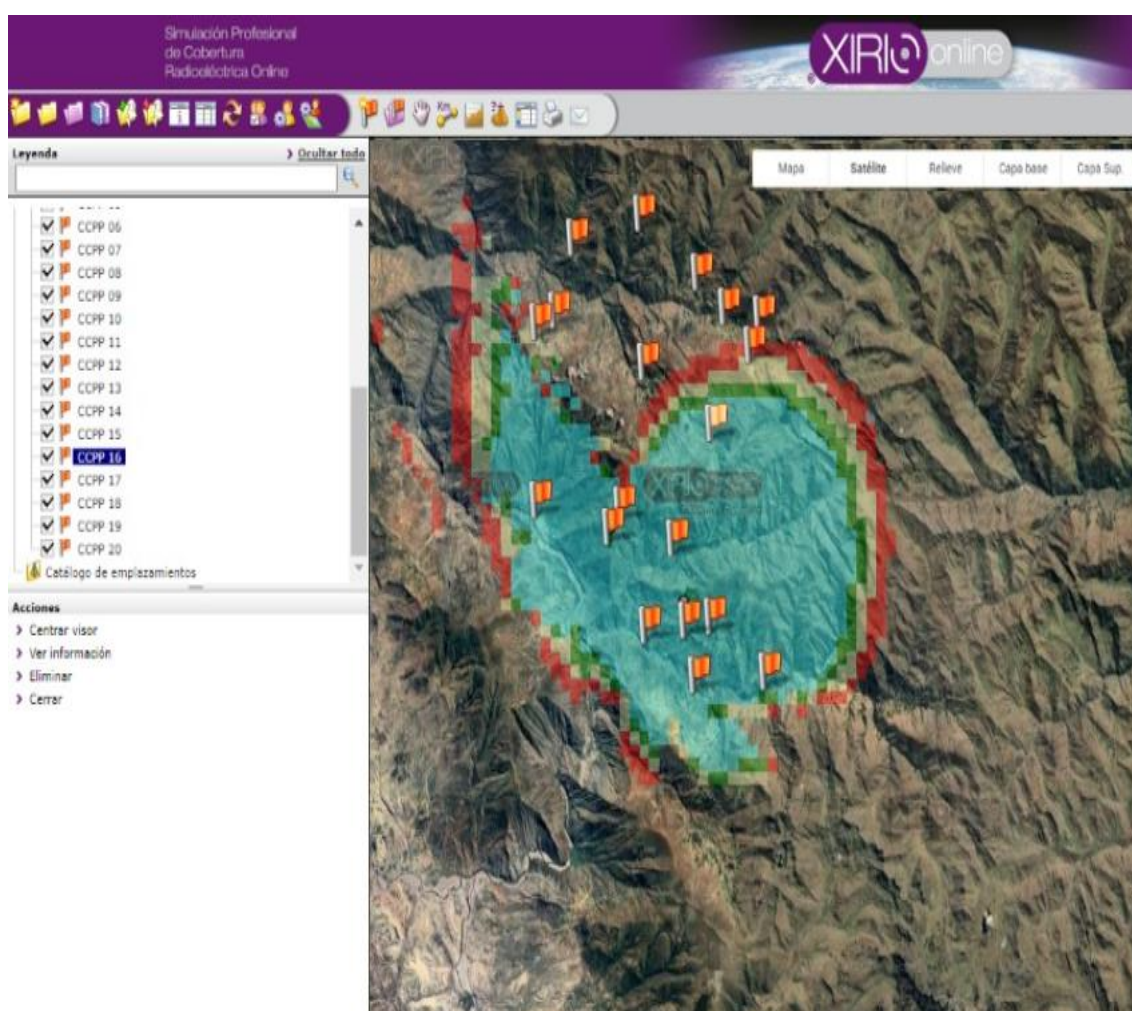
CCPP 7	3494.227	3567	114.02
CCPP 8	3077.566	1703	102.71
CCPP 9	3588.715	1339	99.03
CCPP 10	3907.000	7791	125.97
CCPP 11	3911.000	8748	131.28
CCPP 12	3464.000	8576	130.94
CCPP 13	3581.000	9431	128.89
CCPP 14	3684.000	11230	131.62
CCPP 15	3433.000	15570	136.56
CCPP 16	3844.000	5190	122.21
CCPP 17	3486.000	6953	124.23
CCPP 18	3375.000	9678	129.29
CCPP 19	3321.000	9773	129.44
CCPP 20	3048.000	11220	131.55

Fuente: Elaboración Propia – Software Excel

## CAPÍTULO IV: PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

### 4.1. Resultados de simulación de la cobertura de la estación base TVWS

Una vez creado el transmisor de la estación base en el nuevo estudio en el software Xirio con los parámetros de transmisión y características de la antena, como se muestra en el anexo 3 y 4, y definida la zona con las ubicaciones geográficas de la SB y los CPE's, se obtuvo la cobertura TVWS con el canal 31 en UHF como se muestra en la figura 48.



**Figura 48:** Resultado de cobertura de la estación base

Fuente: Software XIRIO



4.2. Comparación de resultados teóricos versus simulados de la potencia recibida en cada CPE

**Tabla 11**

Potencia recibida por cada CPE Teórico

	<b>Elevación (m.s.n.m.)</b>	<b>Distancia (m) a la SB</b>	<b>Potencia Recibida dBm (teórico)</b>	<b>Potencia recibida dBu (Simulado)</b>
CCPP 1	2157.070	6350	-77.2	78.6
CCPP 2	3158.338	716	-43.8	100.7
CCPP 3	3172.968	4008	-70.1	sin Señal
CCPP 4	2833.116	2346	-62.1	76.13
CCPP 5	2537.765	1584	-55.9	85.63
CCPP 6	3294.888	3476	-68	78.26
CCPP 7	3494.227	3567	-68.4	74.51
CCPP 8	3077.566	1703	-57.1	72.47
CCPP 9	3588.715	1339	-53.4	83.62
CCPP 10	3907.000	7791	-80.3	sin Señal
CCPP 11	3911.000	8748	-82.1	sin Señal
CCPP 12	3464.000	8576	-81.8	sin Señal
CCPP 13	3581.000	9431	-83.2	sin Señal
CCPP 14	3684.000	11230	-85.9	sin Señal
CCPP 15	3433.000	15570	-90.9	sin Señal
CCPP 16	3844.000	5190	-75.8	sin Señal
CCPP 17	3486.000	6953	-78.6	sin Señal
CCPP 18	3375.000	9678	-86.9	sin Señal
CCPP 19	3321.000	9773	-83.8	sin Señal

CCPP 20	3048.000	11220	-85.9	sin Señal
---------	----------	-------	-------	-----------

---

Fuente: Elaboración propia – Software Excel

## CONCLUSIONES

1. Elegimos la banda de frecuencia UHF ya que es la que está permitida y normada por el MTC para este tipo de aplicaciones. Dentro de esta banda de frecuencias verificamos las que se encuentran libres para su uso ya que varias de ellas ya se encuentran asignadas. Antes de la implementación final nos corresponde obtener la autorización respectiva para su uso por parte de la entidad de gobierno correspondiente.
2. Elegimos el estándar IEEE 802.22 que corresponde para las aplicaciones de los espacios libres de televisión. Así mismo utilizamos el estándar IEEE 802.11af, cuya normatividad corresponde a los equipos Carlson utilizados en el diseño.
3. En el diseño del proyecto de sistema TVWS utilizamos la arquitectura de tecnologías inalámbricas Carlson que aprovecha los canales de televisión sin utilizar, de la banda de frecuencias UHF. En cuanto a la topología de red eligió por conveniencia equipos que posean puertos PoE de forma que redujo el cableado de alimentación.

Por lo tanto, siendo el distrito de Santillana una zona sumamente accidentada, es necesario utilizar un software de simulación, en nuestro caso el software Xirio online, donde se puede evaluar la cobertura y conectividad del acceso inalámbrico. Asimismo, los espacios blancos de televisión permiten tener una opción de acceso inalámbrico económica y viable con respecto a otras tecnologías de acceso a internet como la fibra óptica o enlaces satelitales.

## **RECOMENDACIONES**

1. Es recomendable conocer y evaluar la normatividad que da el MTC para el uso de los espacios blancos de televisión a fin de usar las bandas permitidas para prueba y posteriormente para su implementación.
2. Para realizar las simulaciones es recomendable optar por programas pago personalizados en donde las características reales de los equipos puedan ser implementadas.
3. Se recomienda realizar un estudio de campo en sitio previo, para evaluar las características del área de implementación a fin de poder establecer parámetros de humedad, temperatura y otros que puedan afectar la calidad de la señal o desempeño de los equipos.
4. Para la etapa de implementación se recomienda utilizar un analizador de espectros y de velocidad de conexión a internet a fin de poder medir en diferentes puntos del terreno la calidad de la señal.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arévalo, E. (2019) *Diseño y despliegue de infraestructura TVWS para la mejora de servicios de conectividad y aplicaciones con Internet de las Cosas*. (Informe de proyecto). U.S. Agency for International Development. El Salvador.
- Cuevas, J. (2017) *Espacios blancos de la TV para zonas rurales*. Instituto Federal de Telecomunicaciones. CPRLATAM Conference, Cartagena, Colombia, June 22-23rd, 2017 in coordination with CLT2017, June 22-23rd, 2017. 9 páginas.
- Cisco (2020) *Hoja de datos de los conmutadores inteligentes Cisco de la serie 250 - Productos y servicios* [Consultado: 25, mayo, 2021] <https://www.cisco.com/c/en/us/support/routers/catalyst-ir1835-rugged-router/model.html?dtid=ossdc000283>
- Cisco (2020) *Hoja de datos de los routers Cisco Catalyst IR1800 Rugged Series - Productos y servicios* [Consultado: 14, junio, 2021] <https://www.cisco.com/c/en/us/products/collateral/switches/250-series-smart-switches/datasheet-c78-737061.html>
- DATeducu. (2014, enero 24). Descripción para la instalación y configuración de la conexión satelital – VSAT / AIP-CRT [Video]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=HRpWH6by2NE&t=136s>
- Mikrotik (2017) *Hoja de datos PoE hexadecimal RB960PGS* [Consultado: 18, 08, 2021] <https://mikrotik.com/product/RB960PGS#fndtn-specifications>
- Espinal, A. (2018) *Alternativas de acceso a internet para establecimientos educativos rurales oficiales sin cobertura en los municipios no certificados en Antioquia*. (Tesis Magister). Universidad Pontificia Bolivariana Postgrados Escuela de ingenierías. Medellín, Colombia.
- Fernandes, Yúbal (2021) *Cómo saber la velocidad máxima teórica que puede dar tu router WiFi ?* [Consultado: 25, mayo, 2021] <https://www.xataka.com/basics/como-saber-velocidad-maxima-teorica-que-puede-dar-tu-router-wifi>
- Gomez, C. (2013). GSR13 Discussion Paper. TV White Spaces: Managing Spaces or Better Managing Inefficiencies? [Consultado: 30, mayo, 2021]

[http://www.itu.int/en/ITU-T/Conferences/GSR/Documents/GSR\\_paper\\_WhiteSpaces\\_Gomez.pdf](http://www.itu.int/en/ITU-T/Conferences/GSR/Documents/GSR_paper_WhiteSpaces_Gomez.pdf)

Hernandez, R., Fernandez, C. y Baptista, P. (2010) *Metodología de la investigación*. McGRAW-HILL. Séptima edición.

Hernandez, P. y Carro, G. (2016) *Principios, normas y soluciones de Radio Cognitiva*. (Version 2.0) Facultad de Ingeniería de la Universidad de la República.

IBM (2020) Interfaces de red TCP/IP [Consultado: 30, mayo, 2021] <https://www.ibm.com/docs/es/aix/7.2?topic=protocol-tcpip-network-interfaces>

Lukor (2008). *Redes WiFi*. [Recuperado el 16 de abril de 2008 del sitio web] <http://www.lukor.com>

Plan Nacional de Atribución de Frecuencias, PNAF. (2008) *Servicios de Telecomunicaciones - DGAT – MTC*. Perú. [Consultado: 30, mayo, 2021] Disponible en: [https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/469789/pnaf\\_act\\_feb08.pdf](https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/469789/pnaf_act_feb08.pdf)

Pérez, W. (2017) *Metodología para la localización de TV WHITE SPACE en las zonas rurales del distrito Metropolitano de Quito mediante el uso del software de planificación de red ICS DESIGNER*. (Tesis Pregrado). Escuela Politécnica Nacional. Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica. Quito, Ecuador.

MICROSOFT. (2017). *Cuanto ancho de banda necesita Skype ?* Obtenido de <https://support.skype.com/es/faq/FA1417/cuanto-ancho-de-banda-necesita-skype>

Tafur, J. (2017) *Análisis de soluciones tecnológicas que utilicen el uso compartido de espectro y propuestas técnicas para su implementación en el marco normativo peruano*. (Tesis Magister). Pontificia Universidad Católica del Perú, Escuela de Posgrado. Lima, Perú.

Tamayo, M (2006). *El Proceso de la investigación Científica*. Limusa Noriega Editores, México. [libro en línea]. [Consultado: 30, mayo, 2021] Disponible en: <http://virtual.urbe.edu/tesispub/0088963/cap03.pdf>

Sector de Radiocomunicaciones (15 de junio de 2011). *Sistemas de acceso inalámbrico (WAS), incluyendo la banda ancha*. Unión Internacional de Telecomunicaciones. <https://www.itu.int/net/ITU-R/index.asp?category=study-groups&rlink=rwp8a-was&lang=es>

- Sector de las radiodifusiones de la UIT (2009). Definiciones de sistema radioeléctrico determinado por programas informáticos (RDI) y sistema radioeléctrico cognoscitivo (SRC). Informe UIT-R SM.2152. [Consultado: 15, agosto, 2021] Disponible en: [https://www.itu.int/dms\\_pub/itu-r/opb/rep/R-REP-SM.2152-2009-PDF-S.pdf](https://www.itu.int/dms_pub/itu-r/opb/rep/R-REP-SM.2152-2009-PDF-S.pdf)
- Vásquez, D. (2018) *Análisis y propuesta técnica para el despliegue e implementación de Tv White Space en Ecuador*. (Tesis Pregrado). Universidad de las Fuerzas Armadas. Sangolquí, Ecuador.
- Bonet, M. y García, M. (2016). *El imperio del aire: espectro radioeléctrico y radiodifusión*. Editorial UOC. [libro en línea]. [Consultado: 15, junio, 2021] Disponible en: <https://elibro.net/es/lc/bibliourp/titulos/58583>
- Castro, M. (2003). *El proyecto de investigación y su esquema de elaboración*. (2ª.ed.). Caracas: Uyapal. [Consultado: 15, junio, 2021] Disponible en: <http://tesisdeinvestig.blogspot.com/2012/01/poblacion-y-muestra.html>
- Kinnear, T. y Taylor, J. (1998). *Investigación de Mercados: Un enfoque aplicado*. V edición. [Recuperado: 20, Julio, 2015] Disponible en: [http://catarina.udlap.mx/u\\_dl\\_a/tales/documentos/lemg/lemaitre\\_w\\_n/capitulo3.pdf](http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lemg/lemaitre_w_n/capitulo3.pdf)
- More, J. y Argandoña, D. (2019) *Estado del espectro radioeléctrico en el Perú y recomendaciones para promover su uso en nuevas tecnologías*. (DOCUMENTO DE TRABAJO GPRC) Gerencia de Políticas Regulatorias y Competencia y Subgerencia de Análisis Regulatorio - OSIPTEL. Lima, Perú.
- Vargas, Z. (2009) *LA INVESTIGACIÓN APLICADA: UNA FORMA DE CONOCER LAS REALIDADES CON EVIDENCIA CIENTÍFICA*. Revista Educación 33(1), 155-165, ISSN: 0379-7082, 2009, Universidad de Costa Rica San José, Costa Rica. Recibido 1-VII-2008 • Aceptado 18-XI-2008 • Corregido 8-VI-2009
- Vásquez, L. (2021) *Acceso sostenible al internet y a las tecnologías: Experiencia y tareas pendientes en el sector Educación en el estado de emergencia nacional*. (SERIE INFORMES N° 005-2021-DP/AMASPPI) Defensoría del Pueblo. Lima, Perú. [Consultado: 15, junio, 2021] Disponible en: <https://www.defensoria.gob.pe/wp-content/uploads/2021/05/Informe-de-Adjunt%C3%ADa-005-2021-Acceso-sostenible-al-internet-y-a-las-tecnolog%C3%ADas.pdf>

Carlson Wireless Technologies. Radios Digitales de Alto Rendimiento. [Consultado: 04, julio, 2021] Disponible en: <https://carlsonwireless.com/products/>

MINEDU, Guía para el uso, cuidado y mantenimiento de las estaciones remotas VSAT del MINEDU en las IIEE a nivel nacional. [Consultado: 09, mayo, 2021] Disponible en: <http://www.ugellaconvencion.gob.pe/lc/documentos2017/guc3ada-para-el-uso-cuidado-y-mantenimiento-de-las-estaciones-remotas-vsats-del-minedu-en-las-iiee-a-nivel-nacional.pdf>

MINEDU, LICITACIÓN PÚBLICA No. 0003–2005-ED, ADQUISICIÓN ESTACIONES REMOTAS VSAT. [Consultado: 13, mayo, 2021] Disponible en: <http://www.minedu.gob.pe/transparencia/xtras/BasesLPN0003-2005-EDSEACE.pdf>

MINEDU, ESCALE. Estadística de la calidad educativa. MINEDU, 2021

[Consultado: 14, agosto, 2021] Disponible en:

<http://sigmed.minedu.gob.pe/mapaeducativo/mapassee.aspx>

Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC), COMPROMISO OPERADORES CONSOLIDADO TDP - El Peru Primero. [Consultado: 16, octubre, 2021] Disponible en: <http://www.ugellaconvencion.gob.pe/lc/documentos2017/guc3ada-para-el-uso-cuidado-y-mantenimiento-de-las-estaciones-remotas-vsats-del-minedu-en-las-iiee-a-nivel-nacional.pdf>



## ANEXOS

Anexo 1: Matriz de Consistencia Interna.

5. - MATRIZ DE CONSISTENCIA								
DISEÑO DE UN SISTEMA TVWS PARA ACCESO INALÁMBRICO A INTERNET APLICADO AL SECTOR EDUCACIÓN DEL DISTRITO SANTILLANA - PROVINCIA HUANTA - DEPARTAMENTO AYACUCHO, 2021								
PROBLEMA	OBJETIVO	HIPOTESIS		DIMENSIONES	INSTRUMENTO	INDICADOR	Tipo de investigación	Metodología
<b>PROBLEMA GENERAL:</b>	<b>OBJETIVO GENERAL:</b>	<b>HIPOTESIS GENERAL:</b>						
¿Qué diseño de sistema TVWS viabilizará el acceso inalámbrico a internet para el sector educación en el distrito de Santillana, Provincia de Huanta, Departamento de	Diseñar de un sistema TVWS para acceso inalámbrico a internet aplicado al sector educación del Distrito Santillana - Provincia Huanta - Departamento Ayacucho,	Un adecuado diseño de un sistema TVWS permitirá el acceso inalámbrico a internet aplicado al sector educación del Distrito Santillana - Provincia Huanta -						
<b>PROBLEMAS ESPECIFICOS</b>	<b>OBJETIVOS ESPECIFICOS</b>	<b>HIPOTESIS ESPECIFICAS</b>	<b>VARIABLE INDEPENDIENTE</b>	<b>DIMENSIONES</b>	<b>INSTRUMENTO</b>	<b>INDICADOR</b>		
1.- ¿Qué espectro de frecuencias libres permitirá el acceso inalámbrico a internet aplicado al sector educación del Distrito Santillana, Provincia de Huanta, Departamento de Ayacucho, 2021?	1.- Diseño de un sistema TVWS utilizando el espectro de frecuencias libres para acceso inalámbrico a internet aplicado al sector educación del Distrito Santillana - Provincia Huanta -	1.- Un adecuado diseño de sistema TVWS utilizando el espectro de frecuencias libres permitirá el acceso inalámbrico a internet aplicado al sector educación del Distrito Santillana - Provincia	Sistema TVWS	- espectro de frecuencias libres	MTC, PNAF	RANGO DE FRECUENCIAS	Aplicada	Descriptiva
2.- ¿Qué estándar Inalámbrico permitirá la implementación de un Sistema TVWS para el acceso inalámbrico a internet aplicado al sector educación del Distrito Santillana, Provincia de Huanta,	2.- Diseño de un sistema TVWS utilizando estándares Wireless para acceso inalámbrico a internet aplicado al sector educación del Distrito Santillana - Provincia Huanta - Departamento Ayacucho,	2.- El adecuado diseño de sistema TVWS utilizando estándares Wireless permitirá el acceso inalámbrico a internet aplicado al sector educación del Distrito Santillana - Provincia Huanta -		- estándares Inalámbricos	IEEE	NORMAS		
3.- ¿Qué infraestructura Wireless de Sistema TVWS permitirá el acceso inalámbrico a internet aplicado al sector educación del Distrito Santillana, Provincia de Huanta, Departamento de Ayacucho, 2021?	3.-Diseño de un sistema TVWS aplicando Infraestructura Wireless para acceso inalámbrico a internet aplicado al sector educación del Distrito Santillana - Provincia Huanta - Departamento Ayacucho,	3.- Un adecuado diseño del sistema TVWS aplicando Infraestructura Wireless permitirá un acceso inalámbrico a internet aplicado al sector educación del Distrito Santillana - Provincia Huanta -		- Infraestructura Wireless	Fichas técnicas del proveedor	parámetros de diseño		
			<b>VARIABLE DEPENDIENTE</b>	<b>DIMENSIONES</b>	<b>INSTRUMENTO</b>	<b>INDICADOR</b>		
			2.- ACCESO INALÁMBRICO A INTERNET	velocidad	Speedtest	Mbps		
				distancia	patrón de radiación	Km		



CLIENT STATION

## RuralConnect® TV White Space Radio

**FASTER SPEED, BETTER COVERAGE and LOWER COST  
TV WHITE SPACE BROADBAND RADIO**

Imagine rural broadband where it's never been before, bringing telemedicine, distance learning and residential connectivity to last-mile locations. RuralConnect uses vacant TV frequencies (TV White Space Spectrum : 470 to 698 Mhz domestically | 470 to 790 Mhz internationally) to bring wireless broadband to homes, businesses, and municipal sites. TV frequencies penetrate foliage and weave around hills and other barriers that render microwave or Wi-Fi inoperable.

### FCC-Approved

The Federal Communications Commission (FCC) has certified the RuralConnect TV white space (TVWS) radio system for use with the Spectrum Bridge TV white spaces database. This FCC certification brings to market an unparalleled ability to provide truly affordable long distance, non line of sight (NLOS) high speed wireless connectivity.



BASE STATION

### APPLICATIONS:

- Rural Broadband Internet Access
- Community Hotspot Backhaul
- Nomadic Broadband
- NLOS backhaul and middle mile
- VoIP/SIP Networks
- Video Surveillance & Security
- Mobile Command Unit
- Home Networks
- M2M SCADA Communications:
  - Smart Grid & Metering
  - Traffic Signal Communications
  - Oil & Gas Well and Pipeline Monitoring
- Wind Farms

### BASE MODEL NO.

- 6MHz : SRCIP-AP-RM-UHF-F
- 8MHz : SRCIP-AP-RM-UHF-F-8

### SPLIT BASE MODEL NO.

- 6MHz : SRCIP-AP-ODU-UHF-F
- 8MHz : SRCIP-AP-ODU-UHF-F-8

### CLIENT MODEL NO.

- 6MHz : SRCIP-CS-ODU-UHF-F
- 8MHz : SRCIP-CS-ODU-UHF-F-8

### FEATURES:

#### The Beachfront Spectrum Advantage

The RuralConnect is a software-defined radio designed to support access to vacant television bands. In 2010, the FCC made these unoccupied TV channels available for unlicensed broadband with range and propagation superior to microwave.

#### Greater Throughput, Lower Latency and Higher Reliability

With data speeds up to 20 Mb/s (16 Mb/s US) OTA, the RuralConnect offers the throughput necessary for today's Internet needs. Advanced receiver technology blocks nearby high-power cellular TV signals from interfering. Examples of different distances and modulation settings to show throughputs and link margin are shown on a chart on the back.

#### Multiple Applications

The RuralConnect can be used to create point-to-point and point-to-multipoint networks.

#### Remote Management and Diagnostics

The RuralConnect is operated over an easy-to-use, comprehensive cloud-based management system that provides a centralized platform for efficient and securely managed network operations.

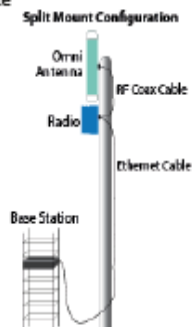
#### Better than 900MHz

TV White Space offers up to 220MHz of new spectrum to help alleviate the advance of 900MHz smart meters.

#### Base Available with Indoor or Split Mount Cabinetry

All indoor: Typically installed in building or outdoor cabinet, this model incorporates the radio in the rack mountable enclosure. This is a typical configuration for backhaul radios.

**Split mount option:** To eliminate RF cable loss, a split base option is available. This includes a pole-mountable ODU and a rack mount cabinet. This special configuration is beneficial because it shortens the distance from antenna to radio through the RF Coax Cable, which increases throughput.




**SYSTEM SPECIFICATIONS**

Frequency Bands	UHF 470-698 MHz (US) UHF 470-790 MHz (ETSI)
Channel Spacing	6 MHz (US), 8 MHz (ETSI)
Modulation	16QAM, QPSK, BPSK
OTA Data Rates	(6MHz) 4, 6, 8, 12, and 16 Mb/s (8MHz) 5, 7.5, 10, 15, 20 Mb/s
Data Rate Control	Adaptive or fixed
Receive Interface	Proprietary technology is used to reduce co-channel interference
RX Sensitivity	-93 dBm for 10-6 BER using QPSK 1/2 -86 dBm for 10-6 BER using 16QAM 1/2 -80 dBm for 10-6 BER using 16QAM
RX Blocking Resistance	-50 dBm TV transmission on chan N+2 -20 dBm cellular station transmissions
RX Max Signal Operating Mode	-16 dBm with full linearity TDD (Time Division Duplexing)

**NETWORK SPECIFICATIONS**

Typical Client Loading Management	10 clients with 4Mb/1.6Mb res SLA Cloud-based browser using https interface
End-to-End Latency	100-120 ms

**REGULATORY SPECIFICATIONS**

FCC ID'S	OPA-RC2-BS and OPA-RC2-CPE
ACP and Spectrum Mask	Meets FCC and ETSI specifications

**ENVIRONMENTAL SPECIFICATIONS**

Operating Temperature	-30° to 55° C
Operating Humidity	Up to 95%, non-condensing
Shock and Vibration	MIL-STD-810

**BASE STATION**

RF Transmit Power	+26dBm (+23dBm US) within +/- 1dB
Antenna Connector	"F" type female 75 Ohms

**MECHANICAL SPECIFICATIONS**

	ALL INDOOR	SPLIT BASE (+CPE SPECS)
Unit Dimensions	16.75" x 10.5" x 3"	16.75" x 7" x 1.75"
Enclosure Material	Painted steel	Painted steel
Weight	6 lbs	3.5 lbs
Mounting	19 inch EIA 2 unit rack	Base in rack CPE on mast

**POWER - INDOOR RACK MOUNT**

Voltage	100-240 VAC, 50-60 Hz
Current	Tx: 30W, Rx: 15W, Idle: 13W
Connector	Coaxial DC Adaptor 24 VDC

**CLIENT STATION**

RF Transmit Power	+25dBm (+23dBm US) within +/- 1dB
Antenna Connector	"F" type female 75 Ohms

**MECHANICAL SPECIFICATIONS**

Unit Dimensions	7.5" x 3.25" x 9"
Enclosure Material	Painted anodized aluminum
Weight	5 lbs 8 oz
Mounting	Outdoor on mast or wall

**POWER - OUTDOOR TOWER MOUNT**

Voltage	100-240 VAC, 50-60 Hz or 12-24 VDC
Current	Tx: 24W, Rx: 10W, Idle: 8W
Connector	POE

Below are examples of different distances and modulation settings to show throughputs and link margin in a 6 MHz US channel. (Values for 8 MHz ETSI channels are approximately 25% greater.)

Downlink TCP/IP	OTA rate in Mb/s	Modulation	Distance in mi	Base Ant Gain in dBi	CPE Ant Gain in dBi	RF Cable loss in dB	Frequency in MHz	ERP in dBm (Client)	Rx Threshold in dBm	Link Margin in dB
2-3	4	BPSK	16	5	9	2.0	574	32	-96	22.9
2-3	4	QPSK 1/2	14	5	9	2.0	685	32	-93	19.6
3-4	6	QPSK 3/4	10.4	5	12	2.0	573	36	-91	24.7
5-6	8	16QAM 1/2	5.2	5	10	2.0	695	34	-86	22.0
7-8	12	16QAM 3/4	3.7	5	12	2.0	590	36	-84	26.4
10-11	16	16 QAM	2.4	5	11	2.0	490	35	-80	28.8

Model No.	Type	Beamwidth	Polarity	Frequency	Gain	Impedance	Connector	Weight	Dimensions
053-470-786-5-2B-V	Omni	360 Deg	Vertical	470-786 MHz	6 dBi	75 ohm	F (F)	25 lbs	42" x 6" dia.
053-470-786-75-10	Sector	90 Deg	V or H	470-786 MHz	10 dBi	75 ohm	F (F)	8 lbs	14" x 36"
057-470-786-8-F	Directional	45 Deg	Vertical	470-786 MHz	8 dBi	75 ohm	F (F)	2 lbs	14" x 15"
057-470-698-15-7	Directional	35 Deg	Vertical	470-786 MHz	11 dBi	75 ohm	F (F)	7 lbs	12" x 60"
057-470-786-13-F	Directional	15 Deg	Vertical	470-786 MHz	13 dBi	75 ohm	F (F)	8 lbs	14" x 50"



## GEN 3 RURALCONNECT® SPECIFICATIONS

Below are examples of different distances and modulation settings to show throughputs and link margin in a single 6 MHz channel. With an additional radio module in the client station, use of two 6 MHz channels would deliver end-user throughputs ~twice that of the 6 MHz channel. Note that the OTA data rate has to be divided between uplink and downlink, e.g., if 80/20, then 24 Mbps = 19 DL and 5 UL. To understand how many CPE's can be used with a Base station, divide the base station capacity by the number of CPE's multiplied by the contention ratio (typically 6). For example, Base cap = 24 x 3 = 72Mbps. 48 CPEs x 6 = 72/244 = 2.5Mbps for 48 active CPE's.

Modulation and Coding	OTA Data Rate in Mbps	Range in km*	Base Ant Gain in dBi	CPE Ant Gain in dBi	Frequency in MHz	Base EIRP in dBm	Free Space Loss in dB	RX Signal in dBm	CPE Sens in dBm	Link Margin in dB**	Rayleigh Fading %
QPSK 3/4	5.4	33	7.8	10.3	569	28.5	118.0	-79.7	-96.4	16.7	98.66
16 QAM 3/4	10.8	16	7.8	10.3	545	28.5	111.3	-73.0	-89.4	16.4	98.55
64QAM 5/6	18	5.0	7.8	10.3	521	28.5	100.8	-62.5	-79.1	16.6	98.61
256QAM5/6	24	2.5	7.8	10.3	473	28.5	94.0	-55.7	-72.2	16.5	98.60

\*The distance is optimized for 98% availability

\*\* If the path is unobstructed

### GENERAL SYSTEM SPECIFICATIONS

<b>System Architecture</b>	3 Independent IEEE 802.11af Base Station Radios
<b>Aggregate Data Capacity</b>	72 Mbps
<b>Frequency Bands</b>	UHF 470-696 MHz (US)
<b>Channel Spacing</b>	6 MHz (US)
<b>Round Trip Ping Latency</b>	2-3 channel aggregation optional 5-35 ms, depending on user load
<b>Data Rate Control</b>	Adaptive or fixed
<b>ACP and Spectrum Mask</b>	Meets FCC and ETSI specifications
<b>Standardization</b>	IEEE 802.11af Fully Compliant

### BASE STATION

<b>RF Transmit Power</b>	+21dBm within +/- 1dB
<b>Antenna Connector</b>	3 F-type female 75 Ohms
<b>POWER - OUTDOOR TOWER MOUNT</b>	
<b>Voltage</b>	100-240 VAC, 50-60 Hz or 24-48 VDC
<b>Power</b>	Idle: 4W; Rx: 8W, Tx: 20W
<b>Connector</b>	RJ45 POE

### MECHANICAL SPECIFICATIONS

<b>Unit Dimensions</b>	7.5" x 3.25" x 9"
<b>Enclosure Material</b>	Painted anodized aluminum
<b>Weight</b>	6 lbs. 4 oz.
<b>Mounting</b>	1" to 2" vertical mast

### NETWORK SPECIFICATIONS

<b>RX Blocking Resistance</b>	-48 dB TV transmission on chan N+2 -20 dBm cellular station transmissions
<b>Operating Mode</b>	CSMA (TDMA optional)
<b>User Ports</b>	10/100 baseT Ethernet
<b>Management</b>	Web-based, SNMP (NMS & Billing opt)

### ENVIRONMENTAL SPECIFICATIONS

<b>Operating Temperature</b>	-30° to 55° C
<b>Operating Humidity</b>	Up to 95%, non-condensing
<b>Shock and Vibration</b>	MIL-STD-810
<b>Security</b>	WPA2 - PSK (156 AES)

### CPE CLIENT STATION

<b>RF Transmit Power</b>	+21dBm within +/- 1dB
<b>Antenna Connector</b>	F type female 75 ohm
<b>POWER</b>	
<b>Voltage</b>	100-240 VAC, 50-60 Hz or 24-48 VDC
<b>Power</b>	Idle: 3.8W, Rx: 6.5W, Tx: 10.3W
<b>Connector</b>	RJ45 POE

### MECHANICAL SPECIFICATIONS ODU

<b>Unit Dimensions</b>	7.5" x 3.25" x 9"
<b>Enclosure Material</b>	Painted anodized aluminum
<b>Weight</b>	5 lbs. 8 oz.
<b>Mounting</b>	1" to 2" vertical mast

### U.S. Patent No. 9,859,844 on RuralConnect® Gen 3

Prior to FCC equipment certification, RuralConnect® Gen 3 will be available in U.S. only under FCC-approved experimental licenses. The RuralConnect® Gen 3 products have not been authorized as required by the rules of the Federal Communications Commission. This device is not, and may not be, offered for sale or lease, or sold or leased, until authorization is obtained. Accordingly, a conditional sales contract between Carlson Wireless and service-provider customers, wholesalers, or retailers is permitted under FCC rules provided that delivery is contingent upon compliance with the applicable FCC equipment authorization and technical requirements. In 2013, Carlson Wireless obtained FCC equipment certifications for its RuralConnect® Gen 2 devices.



Carlson Wireless Technologies, Inc.  
3134 Jacobs Ave, Suite C  
Eureka, CA 95501 USA

T: +1 707.443.0100

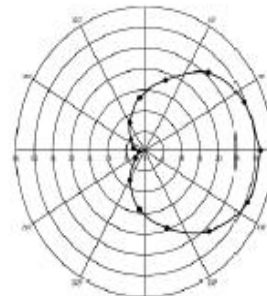
E: info@carlsonwireless.com  
www.carlsonwireless.com

Anexo 4: Data Sheet Especificaciones Antena Sectorial para RURALCONNECT CARLSON.



Sector Antenna for RuralConnect®

Frequency Range	470 - 786 MHz		
Gain	9 dBi averaged over 90 degrees		
VSWR	1:1.5		
Active Elements	15, 5/16" diameter		
Radiation Pattern	E plane: 90 degrees +0/-3 dB H plane: 30 degrees +/- 1 dB		
Dimensions	14" x 12" x 42"		
Front-to-Back Ratio	25 dB min.		
Polarization	Linear : Horizontal or vertical		
Shipping Weight	16 lbs.		
Carton Dimensions	7" x 18" x 40"		
Connector	75 ohm - F male with 3' pigtail 50 ohm - BNC male with 3' pigtail		
Impedance	75 ohm (50 ohm option also available)		
Materials	Aluminum and stainless steel		
Operating Temp.	-60 to 75 degrees Celsius		
Wind Surface Area	Surface Area	100 mph	120 mph
with no ice	1.16 sq ft.	29.77 lbs	42.86 lbs
with 1/2 in. ice	1.93 sq ft.	49.35 lbs	71.07 lbs



Designed for high gain, this wideband sectorial antenna is fully operational in very adverse climates. The high front-to-back ratio is an important feature for use in multiple antenna base sites. The antenna does not require any field tuning or adjustments over the entire UHF TV band.

The antenna comes equipped with a 3-foot RF lead, fixed at the rear of the mounting pipe.

Stainless steel mounting brackets to fit 1-inch to 2-inch NPS masts are included.

Carlson Part Number  
50 ohm: 053-470-786-50-10  
75 ohm: 053-470-786-75-10

**UPS Shippable!**



"UPS in shield design is a registered trademark of United Parcel Service of America, Inc. used by permission."



Carlson Wireless Technologies, Inc.  
2700 Foster Avenue  
Arcata, CA 95521 USA

T: +1 707.822.7000  
F: +1 707.822.7010  
E: info@carlsonwireless.com

Specs subject to change without notice  
US patent pending  
Last Updated:1-31-14



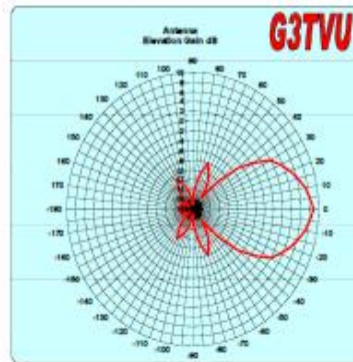
Made in USA



## Log Periodic Directional UHF Antenna for RuralConnect® CPE

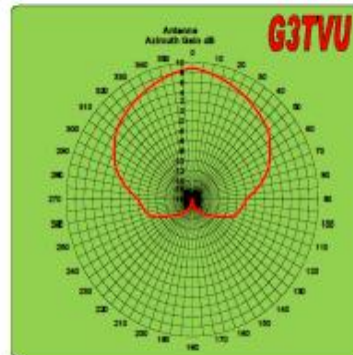


ELEVATION



Frequency Range	470 - 786 mHz
Gain	9 dBi
VSWR	1.5:1
Active Elements	10, 5/16" diameter
Radiation Pattern	35° vertical, 30° horizontal
Maximum Height	14"
Maximum Length	15"
Polarization	Linear : Vertical or horizontal
Shipping Weight	4 lbs.
Connector	F connector
Impedance	75 ohm
Wind Rating	125 mph
Wind Load	12 lbs
Front to Back Ratio	20 dB
Power Rating	20 Watts

AZIMUTH



The log periodic directional antenna is known for its consistent wide bandwidth capabilities. This antenna displays a very flat gain across the band in long-range testing. Its small size makes for easy and unobtrusive installations.

Carlson Part Number: 057-470-786-8-F

**UPS Shippable!**



"UPS in shield design is a registered trademark of United Parcel Service of America, Inc. used by permission."

Anexo 6: Coordenadas geográficas y alturas de los 101 centros poblados del distrito de Santillana, Ayacucho.

	<b>Nombre CC.PP.</b>	<b>Latitud</b>	<b>Longitud</b>	<b>Elevacion (m.s.n.m.)</b>	<b>Centro educativo</b>	<b>Tipo</b>
<b>CCPP 1</b>	Allpachaca	12° 44' 55.2" S	74° 13' 32" W	3729	no	
<b>CCPP 2</b>	Ajopucro	12° 42' 51.7" S	74° 14' 26.8" W	3984	no	
<b>CCPP 3</b>	Anapata	12° 44' 48.4" S	74° 14' 6.2" W	3629	no	
<b>CCPP 4</b>	Antacucho	12° 46' 0.4" S	74° 12' 7.7" W	3849	no	
<b>CCPP 5</b>	Antapallpa	12° 44' 6.5" S	74° 16' 39.1" W	3664	no	
<b>CCPP 6</b>	Anya	12° 47' 0.3" S	12° 47' 0.3" S	2733	no	
<b>CCPP 7</b>	<b>Aranhuay</b>	<b>12° 41' 31.1" S</b>	<b>74° 17' 54.5" W</b>	<b>3391</b>	<b>si</b>	<b>ini/pri/sec</b>
<b>CCPP 8</b>	Ayampi	12° 44' 4.5" S	74° 18' 20.9" W	2286	no	
<b>CCPP 9</b>	Buena Vista	12° 45' 29.9" S	74° 15' 7.5" W	3469	en proyecto	
<b>CCPP 10</b>	Canrara	12° 45' 53.4" S	74° 15' 26.7" W	3069	no	
<b>CCPP 11</b>	Carhuancho	12° 41' 20.9" S	74° 13' 19.7" W	3773	no	
<b>CCPP 12</b>	<b>Ccachir</b>	<b>12° 41' 25.3" S</b>	<b>74° 15' 19.1" W</b>	<b>3559</b>	<b>si</b>	<b>inicial</b>
<b>CCPP 13</b>	Ccehuarayoc	12° 43' 4.1" S	74° 19' 30.4" W	3464	no	
<b>CCPP 14</b>	Ccochaca	12° 43' 11.7" S	74° 14' 57.7" W	4049	no	
<b>CCPP 15</b>	Ceramayo	12° 41' 26.8" S	74° 10' 14.7" W	3856	no	
<b>CCPP 16</b>	Chachaspucro	12° 45' 40.8" S	74° 14' 49.7" W	3597	no	
<b>CCPP 17</b>	Chajanjahuyajo	12° 39' 5.6" S	12° 39' 5.6" S	3912	no	
<b>CCPP 18</b>	Chichumichi	12° 36' 1" S	74° 10' 11.8" W	3624	no	
<b>CCPP 19</b>	Choquejchja	12° 40' 59.1" S	74° 10' 29.5" W	3890	no	
<b>CCPP 20</b>	Chuñuna	12° 35' 42.2" S	74° 11' 33.8" W	3844	no	
<b>CCPP 21</b>	Cochaca	12° 41' 26" S	74° 15' 47.3" W	3517	no	
<b>CCPP 22</b>	Comun Capilla	12° 41' 52.5" S	74° 16' 49.8" W	3310	no	
<b>CCPP 23</b>	Coril	12° 43' 16.9" S	74° 16' 51" W	3905	no	
<b>CCPP 24</b>	Cruz Pampa	12° 47' 53.5" S	74° 11' 4.9" W	3829	no	
<b>CCPP 25</b>	Cruzjasa	12° 48' 51.9" S	74° 10' 59" W	4063	no	
<b>CCPP 26</b>	Cuchocorral	12° 39' 3.2" S	74° 11' 49.4" W	4020	no	
<b>CCPP 27</b>	Cuchpio	12° 45' 27.5" S	74° 12' 47.6" W	4111	no	
<b>CCPP 28</b>	<b>Cullupuquio</b>	<b>12° 45' 28.7" S</b>	<b>74° 15' 11.4" W</b>	<b>3387</b>	<b>si</b>	<b>inicial</b>
<b>CCPP 29</b>	Estopampa	12° 39' 58.4" S	74° 16' 3.4" W	3679	no	
<b>CCPP 30</b>	Fundo Acobambilla	12° 42' 16.2" S	74° 15' 58.8" W	3489	no	
<b>CCPP 31</b>	Fundo Ayrac	12° 46' 35.4" S	74° 16' 16.5" W	2777	no	
<b>CCPP 32</b>	Fundo Chico Cancha	12° 46' 3.7" S	74° 13' 35.4" W	3862	no	
<b>CCPP 33</b>	<b>Fundo Putis</b>	<b>12° 35' 35.8" S</b>	<b>74° 10' 31.3" W</b>	<b>3458</b>	<b>si</b>	<b>pri/sec</b>
<b>CCPP 34</b>	Habaspata	12° 45' 27.9" S	74° 16' 33" W	2663	no	

<b>CCPP 35</b>	Hacienda Rompadera	12° 40' 53.1" S	74° 13' 58" W	3806	no	
<b>CCPP 36</b>	<b>Huachocacca</b>	<b>12° 42' 8.8" S</b>	<b>74° 19' 6" W</b>	<b>3355</b>	<b>si</b>	<b>primaria</b>
<b>CCPP 37</b>	Huarancayoc	12° 45' 59.9" S	74° 16' 9.4" W	2550	no	
<b>CCPP 38</b>	Huayanay	12° 40' 31.6" S	74° 18' 22.2" W	2522	no	
<b>CCPP 39</b>	Huayjohuasi	12° 37' 0.3" S	74° 9' 37.4" W	3657	no	
<b>CCPP 40</b>	Huayllapunco	12° 43' 26.3" S	74° 13' 48.1" W	4002	no	
<b>CCPP 41</b>	Huayrapampa	12° 39' 0.9" S	74° 17' 58.5" W	3644	no	
<b>CCPP 42</b>	Ichpana	12° 43' 3.1" S	74° 16' 42.8" W	3904	no	
<b>CCPP 43</b>	Isca Era	12° 46' 1.6" S	74° 16' 33.7" W	2356	no	
<b>CCPP 44</b>	Ismunay	12° 46' 6.3" S	74° 14' 55.2" W	3389	no	
<b>CCPP 45</b>	Janobamba	12° 45' 41.8" S	74° 15' 23.5" W	3128	no	
<b>CCPP 46</b>	Jasarayac	12° 41' 47.2" S	74° 13' 51.7" W	3823	no	
<b>CCPP 47</b>	Jashamarca	12° 43' 9.7" S	74° 15' 43.3" W	3881	no	
<b>CCPP 48</b>	Jasipata	12° 42' 13.1" S	74° 19' 18" W	3285	no	
<b>CCPP 49</b>	Jotjotay	12° 40' 56.9" S	74° 9' 21.8" W	3958	no	
<b>CCPP 50</b>	Lango Chico	12° 46' 23.4" S	74° 14' 2.4" W	3644	no	
<b>CCPP 51</b>	<b>Laupay</b>	<b>12° 43' 13.4" S</b>	<b>74° 14' 30.8" W</b>	<b>3831</b>	<b>si</b>	<b>ini/pri</b>
<b>CCPP 52</b>	Lirio	12° 47' 48.6" S	74° 13' 29.7" W	3630	no	
<b>CCPP 53</b>	Llecapampa	12° 47' 25.9" S	74° 15' 31" W	3441	no	
<b>CCPP 54</b>	Llulluchapata	12° 36' 27.9" S	74° 9' 3.7" W	3510	no	
<b>CCPP 55</b>	Lorefundo	12° 45' 19.3" S	74° 13' 55.5" W	4123	no	
<b>CCPP 56</b>	Mallao / Malcao	12° 47' 24.5" S	74° 13' 52.1" W	3147	no	
<b>CCPP 57</b>	<b>Marccaraccay</b>	<b>12° 41' 24.9" S</b>	<b>74° 14' 25.1" W</b>	<b>3599</b>	<b>si</b>	<b>ini/pri/sec</b>
<b>CCPP 58</b>	<b>Marccari</b>	<b>12° 44' 24.8" S</b>	<b>74° 18' 18.6" W</b>	<b>2203</b>	<b>si</b>	<b>ini/pri/sec</b>
<b>CCPP 59</b>	Mashuacancha	12° 36' 27.8" S	74° 11' 34.6" W	3688	no	
<b>CCPP 60</b>	<b>Masingana</b>	<b>12° 40' 52" S</b>	<b>74° 15' 30.9" W</b>	<b>3295</b>	<b>si</b>	<b>ini/pri/sec</b>
<b>CCPP 61</b>	<b>Mosocllaqta</b>	<b>12° 40' 20.2" S</b>	<b>74° 17' 33.1" W</b>	<b>3061</b>	<b>si</b>	<b>ini/pri</b>
<b>CCPP 62</b>	Mullaca	12° 46' 36.2" S	74° 13' 19.5" W	3748	no	
<b>CCPP 63</b>	Ninabamba	12° 46' 13.4" S	74° 16' 30.3" W	2344	no	
<b>CCPP 64</b>	<b>Nuevo Progreso</b>	<b>12° 42' 25.9" S</b>	<b>74° 19' 47.6" W</b>	<b>3275</b>	<b>si</b>	<b>ini/pri</b>
<b>CCPP 65</b>	<b>Occopecca</b>	<b>12° 44' 55.9" S</b>	<b>74° 16' 46.1" W</b>	<b>3243</b>	<b>si</b>	<b>primaria</b>
<b>CCPP 66</b>	<b>Ocopja</b>	<b>12° 44' 36.5" S</b>	<b>74° 16' 44.8" W</b>	<b>3368</b>	<b>si</b>	<b>inicial</b>
<b>CCPP 67</b>	Ojoya	12° 43' 30" S	74° 17' 21.9" W	3340	no	
<b>CCPP 68</b>	Pacchac	12° 44' 25.4" S	74° 12' 18.9" W	4019	no	
<b>CCPP 69</b>	Pacgrepata	12° 47' 31.6" S	74° 11' 11" W	4281	no	
<b>CCPP 70</b>	Palcapampa	12° 49' 27.9" S	74° 10' 6.9" W	4137	no	
<b>CCPP 71</b>	Pampahuasi	12° 36' 30.7" S	74° 9' 22.9" W	3655	no	
<b>CCPP 72</b>	Pamparayoc	12° 39' 56.7" S	74° 9' 53.3" W	3961	no	



<b>CCPP 73</b>	Pargara	12° 48' 23.5" S	74° 10' 1.4" W	3790	no	
<b>CCPP 74</b>	Parobamba	12° 39' 15.2" S	74° 10' 44.5" W	3930	no	
<b>CCPP 75</b>	<b>Picas</b>	<b>12° 46' 23.5" S</b>	<b>74° 14' 27.2" W</b>	<b>3642</b>	<b>si</b>	<b>ini/pri</b>
<b>CCPP 76</b>	Pisccohuilca	12° 44' 54.5" S	74° 15' 23.7" W	3196	no	
<b>CCPP 77</b>	Pisqacawilca / Piscahuilca	12° 44' 2.7" S	74° 14' 56.1" W	4020	no	
<b>CCPP 78</b>	Porospata	12° 46' 23.7" S	74° 9' 43.6" W	4055	no	
<b>CCPP 79</b>	Pucapampa	12° 43' 29.5" S	74° 14' 29.6" W	3832	no	
<b>CCPP 80</b>	Punco	12° 43' 7.4" S	74° 17' 41.5" W	3435	no	
<b>CCPP 81</b>	Qatompampa	12° 43' 42.5" S	74° 16' 33.4" W	3937	no	
<b>CCPP 82</b>	Quisuarpuco	12° 46' 40.3" S	74° 11' 40.6" W	3694	no	
<b>CCPP 83</b>	Rayanhuasi	12° 38' 49.4" S	12° 38' 49.4" S	3867	no	
<b>CCPP 84</b>	<b>Rodeo</b>	<b>12° 37' 33.6" S</b>	<b>74° 11' 40.4" W</b>	<b>3825</b>	<b>si</b>	<b>ini/pri</b>
<b>CCPP 85</b>	Rumichaca	12° 38' 39.9" S	74° 11' 3.9" W	3906	no	
<b>CCPP 86</b>	Sañoq	12° 42' 20.3" S	74° 15' 56.8" W	3535	si	ini/pri
<b>CCPP 87</b>	Sacsahuilca	12° 49' 5" S	74° 9' 8.2" W	4155	no	
<b>CCPP 88</b>	<b>San José de Secce</b>	<b>12° 45' 58.2" S</b>	<b>74° 15' 10.4" W</b>	<b>3283</b>	<b>si</b>	<b>ini/pri/sec</b>
<b>CCPP 89</b>	<b>San Juan de Huancas</b>	<b>12° 40' 8.9" S</b>	<b>74° 13' 29.6" W</b>	<b>3810</b>	<b>si</b>	<b>ini/pri</b>
<b>CCPP 90</b>	Sanan	12° 45' 21" S	74° 15' 2.4" W	3388	no	
<b>CCPP 91</b>	<b>Santa Rosa de Araujo</b>	<b>12° 41' 36.6" S</b>	<b>74° 18' 18.5" W</b>	<b>3314</b>	<b>si</b>	<b>ini/pri</b>
<b>CCPP 92</b>	Santiago	12° 43' 14.7" S	12° 43' 14.7" S	4300	no	
<b>CCPP 93</b>	Silloma	12° 42' 27.4" S	12° 42' 27.4" S	3342	no	
<b>CCPP 94</b>	Suramucco	12° 42' 45.7" S	74° 18' 5.1" W	3510	no	
<b>CCPP 95</b>	Tejahuasi	12° 35' 27.9" S	12° 35' 27.9" S	3689	no	
<b>CCPP 96</b>	<b>Tocas Qesera</b>	<b>12° 41' 58.7" S</b>	<b>74° 13' 46.1" W</b>	<b>3949</b>	<b>si</b>	<b>ini/pri</b>
<b>CCPP 97</b>	Torongana	12° 47' 32.7" S	74° 15' 23.3" W	3530	no	
<b>CCPP 98</b>	Tororo	12° 43' 5.1" S	74° 18' 11.6" W	3099	no	
<b>CCPP 99</b>	Tranca	12° 41' 39.9" S	74° 18' 25.7" W	3409	no	
<b>CCPP 100</b>	Uchuhuasi	12° 46' 2.9" S	74° 15' 23.2" W	3122	no	
<b>CCPP 101</b>	Vista Alegre	12° 39' 56.3" S	74° 16' 6.9" W	3678	no	