



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN TELECOMUNICACIONES
Y REDES

**“ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD DEL DISEÑO DE UN RADIO
ENLACE APLICANDO TECNOLOGÍA WRAN PARA BRINDAR
SERVICIO DE DATOS EN LA PARROQUIA TENIENTE HUGO
ORTIZ (PASTAZA)”**

TRABAJO DE TITULACIÓN

Tipo: PROYECTO TÉCNICO

Presentado para optar el grado académico de:

INGENIERA EN ELECTRÓNICA, TELECOMUNICACIONES Y REDES

AUTORA: JALENI MAGALI OCAMPO OCAMPO

DIRECTOR: ING. PAÚL DAVID MORENO AVILÉS PhD

Riobamba-Ecuador

2019

© 2019, Jaleni Magali Ocampo Ocampo

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Yo, Jaleni Magali Ocampo Ocampo, declaro que el presente trabajo de titulación es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autora asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación; El patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 01 de agosto de 2019



Jaleni Magali Ocampo Ocampo

160055303-4



Scanned with
CamScanner




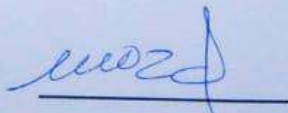
ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA

ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN TELECOMUNICACIONES Y REDES

CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA, TELECOMUNICACIONES Y REDES

El Tribunal del trabajo de titulación certifica que: El trabajo de investigación: Tipo: Proyecto Técnico "ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD DEL DISEÑO DE UN RADIO ENLACE APLICANDO TECNOLOGÍA WRAN PARA BRINDAR SERVICIO DE DATOS EN LA PARROQUIA TENIENTE HUGO ORTIZ (PATAZA)", realizado por la señorita JALENI MAGALI OCAMPO OCAMPO, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del trabajo de titulación. El mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

NOMBRE	FIRMA	FECHA
Ing. Washington Luna DECANO DE LA FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA		<u>01/08/2019</u>
Ing. Patricio Romero DIRECTOR DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA, TELECOMUNICACIONES Y REDES		<u>01/08/2019</u>
Ing. David Moreno DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN		<u>4/08/2019</u>
Ing. Franklin Moreno MIEMBRO DEL TRIBUNAL		<u>01-08-2019</u>

DEDICATORIA

A mis padres Segundo y Vilma, quienes son los auspiciantes de este logro. Con su ejemplo y dedicación aprendí valores de humildad, respeto, dedicación, responsabilidad, sencillez y constancia; valores que me ayudaron a terminar este ciclo de mi vida. Por su apoyo sin condición durante este tiempo de preparación personal y profesional. Hoy, puedo decir un Dios les pague y un gracias eterno por estar conmigo siendo mi pilar fundamental en todo momento. Decir que este logro no es mío, sino nuestro.

Jaleni

AGRADECIMIENTO

Al Creador por haberme permitido tener la oportunidad de vivir tantos momentos de los cuales me quedan los instantes vividos; de los momentos buenos me llevo la experiencia y de los malos lecciones y aprendizajes. Por ponerme a lo largo del camino personas que me acompañaron en este largo viaje. Personas que sin esperarlos llegaron y se quedaron en mi vida. Amistades que sin esperar nada a cambio, me dieron ánimos para salir de momentos que parecían no tener salida.

A mis abuelitos Jaime y Rosa, que siempre estuvieron pendientes de mí. Por brindarme su cariño y apoyo en todo momento.

A mis padres que con su amor incomparable y esfuerzo incansable me apoyaron en todo momento, fueron mi combustible para seguir avanzando y lograr este objetivo.

A mi tutor, Ing. Paúl Moreno por guiarme a desarrollar el trabajo de titulación.

A Diego, por colaborar en esta investigación.

A todas las personas que forman parte de mi vida, Dios les pague por todo.

Jaleni.

TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	xii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiii
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xvi
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xvii
RESUMEN	xviii
ABSTRACT	xviii
INTRODUCCIÓN	5
CAPÍTULO I	
1. MARCO TEÓRICO.....	6
1.1 Redes Inalámbricas.	6
<i>1.1.1 Ventajas de las redes inalámbricas</i>	<i>6</i>
<i>1.1.2 Desventajas de las redes inalámbricas</i>	<i>7</i>
1.2 Tecnologías Inalámbricas	7
<i>1.2.1 WBAN (IEEE 802.15.6)</i>	<i>8</i>
1.2.1.1 Niveles de WBAN.....	8
1.2.2 WPAN (IEEE 802.15.x).....	9
1.2.2.1 Bluetooth (IEEE 802.15.1)	9
1.2.2.2 Zigbee (IEEE 802.15.4).....	10
<i>1.2.3 WLAN (IEEE 802.11)</i>	<i>11</i>
1.2.3.1 Wi-Fi (IEEE 802.11)	12
<i>1.2.4 WMAN (IEEE 802.16)</i>	<i>14</i>
1.2.4.1 WiMax (IEEE 802.16).....	14
1.2.4.2 Diferencias entre Wi-Fi y WiMAX.....	15
<i>1.2.5 WRAN (IEEE 802.22)</i>	<i>16</i>
1.2.5.1 Radio Cognitiva.....	17
1.2.5.2 Topología de una red WRAN.....	20

1.2.5.3	Aplicaciones de WRAN	21
1.2.5.4	CAPA PHY.....	22
1.2.5.5	CAPA MAC	23
1.3	Conectividad a internet en áreas rurales.....	24
<i>1.3.1</i>	<i>Conectividad a internet en áreas rurales a nivel mundial.....</i>	<i>24</i>
<i>1.3.2</i>	<i>Conectividad a internet en áreas rurales del Ecuador</i>	<i>25</i>
<i>1.2.3</i>	<i>Conexión a internet en Pastaza.....</i>	<i>27</i>
<i>1.2.4</i>	<i>Interconectividad Rural en Pastaza</i>	<i>28</i>
CAPÍTULO II		
2.	MARCO METODOLÓGICO	30
2.1	Planificación de la metodología.....	30
<i>2.1.1</i>	<i>Tipo de Investigación.....</i>	<i>30</i>
2.1.1.1	Según el objetivo: Investigación Aplicativa	30
2.1.1.2	Según el nivel de profundización: Investigación Descriptiva.....	30
<i>2.1.2</i>	<i>Enfoque de Investigación</i>	<i>31</i>
2.1.2.1	Enfoque Cuantitativo	31
<i>2.1.3</i>	<i>Fuente de Investigación</i>	<i>31</i>
2.1.3.1	Investigación Primaria.....	31
<i>2.1.4</i>	<i>Técnica de recolección y análisis de información</i>	<i>31</i>
<i>2.1.5</i>	<i>Población y muestra.</i>	<i>31</i>
2.2	Metodología para el diseño de simulación y prototipo del radio enlace.	32
<i>2.2.1</i>	<i>Consideraciones para el diseño de la red de la Parroquia rural Tte. Hugo Ortiz....</i>	<i>34</i>
2.3	Determinación de la muestra y encuesta.	34
<i>2.3.1</i>	<i>Tamaño de la muestra</i>	<i>34</i>
2.3.1.1	Tasa de Crecimiento	34
2.3.1.2	Población proyectada.....	35
<i>2.3.2</i>	<i>Ejecución de la encuesta</i>	<i>36</i>
2.4	Estudio Técnico.....	46
<i>2.4.1</i>	<i>Selección de los puntos de inatación para la BS y CPEs</i>	<i>47</i>

2.4.2	<i>Selección de la frecuencia de operación</i>	47
2.4.2.1	Sensado.....	48
2.4.3	<i>Diseño de antenas transmisora y receptora</i>	50
2.4.4	<i>Presupuesto de enlace para la simulación de la red</i>	51
2.4.4.1	Pérdidas en conectores.....	52
2.4.4.2	Pérdidas en el cable coaxial.....	52
2.4.4.3	Pérdida de trayectoria en el espacio libre	52
2.4.4.4	Pérdidas causadas por el margen de desvanecimiento.....	53
2.4.4.5	Potencia en Recepción.....	54
2.5	Simulación de cobertura de la red WRAN	54
2.5.1	<i>Configuración parámetro iniciales en Radio Mobile</i>	55
2.5.2	<i>Perfil del enlace, resultados radioeléctricos y cobertura obtenida</i>	58
2.5.2.1	Enlace Estación Base – CPE La Florida.....	58
2.5.2.2	Enlace Estación Base – CPE Casco Parroquial	59
2.5.2.3	Enlace Estación Base – CPE Alishungo	60
2.5.2.4	Enlace Estación Base – CPE Allishungo.....	61
2.5.2.5	Enlace Estación Base – CPE San Pablo de Allishungo	62
2.5.2.6	Enlace Estación Base – CPE Mariscal Sucre.....	63
2.5.2.7	Enlace Estación Base – CPE Palma Roja	64
2.5.2.8	Enlace Estación Base – CPE San Miguel del Llandia.....	65
2.5.2.9	Enlace Estación Base – CPE Llandia	66
2.5.2.10	Enlace Estación Base – CPE La Unión	67
2.5.2.11	Enlace Estación Base – CPE Boayacu.....	68
2.6	Requerimientos para el prototipo WRAN	69
2.7	Diseño e implementación del sistema de comunicación en Simulink mediante la tarjeta USRP B-210	69
2.7.1	<i>Diseño del transmisor para WRAN</i>	71
2.7.2	<i>Diseño del receptor para WRAN</i>	72
2.8	Infraestructura, equipos y dispositivos disponibles para implementar una red WRAN	73

2.8.1	<i>Elementos que conforman la Estación Base de una red WRAN</i>	74
2.8.1.1	Convertor de fibra óptica a ethernet.....	75
2.8.1.2	Enrutador	75
2.8.1.3	Conmutador	76
2.8.1.4	Servidor DNS y Caché	76
2.8.1.5	Servidor de Base de Datos.....	77
2.8.1.6	Equipo transmisor.....	77
2.8.1.7	Antena para estación base.....	78
2.8.2	<i>Elementos que conforman el equipo receptor</i>	78
2.8.2.1	Antena de recepción	79
2.8.2.2	Equipo receptor.....	79
2.8.2.2	Punto de Acceso	80
2.9	Análisis económico del enlace propuesto.	80
 CAPÍTULO III		
3.	PRUEBAS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS	84
3.1	Resultados radioeléctricos de propagación de la Simulación en Radio Mobile ...	84
3.2	Verificación del funcionamiento del diseño transceptor	86
3.2.1	<i>Validación del sistema de transmisión y recepción</i>	87
3.2.1.1	Pruebas de validación	87
3.2.1.2	Implementación del sistema	88
3.2	Validación del prototipo respecto al BER.	89
3.2.1	<i>Calibración de la tarjeta USRP B-210</i>	89
3.2.2	<i>Consideraciones de configuración de parámetros en la tarjeta USRP B210.</i>	90
3.3	Distancias alcanzadas respecto al BER y nivel de recepción.	91
3.3.1	<i>Resultado de mediciones y rendimiento a 200 m.</i>	91
3.3.2	<i>Resultado de mediciones y rendimiento a 300 m.</i>	92
3.3.3	<i>Resultado de mediciones y rendimiento a 500 m.</i>	94
3.4	Análisis de resultados	95
3.5	Alcance y limitaciones	97

<i>3.5.1 Alcances</i>	97
<i>3.5.2 Limitaciones</i>	98
CONCLUSIONES	99
RECOMENDACIONES	99
GLOSARIO	
BIBLIOGRAFÍA	
ANEXOS	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1:	Características de la capa física del estándar IEEE 802.11 y sus variantes.....	13
Tabla 2-1:	Características del estándar IEEE 802.16.....	14
Tabla 3-1:	Equipos disponibles para radio cognitiva.....	19
Tabla 4-1:	Especificaciones de la capa PHY para WRAN.	23
Tabla 1-2:	Número de personas encuestadas parroquia Teniente Hugo Ortiz.	36
Tabla 2-2:	Personas que residen en Teniente Hugo Ortiz.....	37
Tabla 3-2:	Personas que consideran importante el uso de internet.....	38
Tabla 4-2:	Medios por el que usan internet.....	39
Tabla 5-2:	Frecuencia con que los usuarios ingresan a internet.	40
Tabla 6-2:	Consumo de internet en un periodo de tiempo.	41
Tabla 7-2:	Satisfacción con respecto al servicio de internet.	42
Tabla 8-2:	Aceptación para acceso a internet desde el hogar.	43
Tabla 9-2:	Tarifas para el servicio de internet inalámbrico.	44
Tabla 10-2:	Conformidad de tarifas ofertadas.	45
Tabla 11-2:	Base de datos del registro de una estación base.....	47
Tabla 12-2:	Base de datos del registro de los CPEs.....	47
Tabla 13-2:	Rango de frecuencias en la provincia de Pastaza.....	48
Tabla 15-2:	Base de datos para el gestor del ERE.....	49
Tabla 15-2:	Datos iniciales para el cálculo del presupuesto del enlace.	51
Tabla 16-2:	Composición y valores del margen de desvanecimiento.....	53
Tabla 17-2:	Parámetros de la modulación OFDM.....	70
Tabla 18-2:	Presupuesto económico del radio enlace para la BS con tarjeta USRP B210	80
Tabla 19-2:	Presupuesto económico del radio enlace para la CPE con USRP B-210.....	81
Tabla 20-2:	Presupuesto económico del radio enlace para la BS con equipos Adaptrum	82
Tabla 21-2:	Presupuesto económico del radio enlace para la CPE con equipo Adaptrum	83
Tabla 1-3:	Resultados radioeléctricos de propagación de Radio Mobile.....	85
Tabla 2-3:	Análisis de resultados.....	96

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1:	Características capa física del estándar IEEE 802.11.....	9
Figura 2-1:	Interconexión de dispositivos con Bluetooth.....	10
Figura 3-1:	Aplicaciones para Zigbee.....	11
Figura 4-1:	Esquema de una red Wi-Fi.....	13
Figura 5-1:	Esquema interactiva de redes inalámbricas.....	15
Figura 6-2:	Elementos que conforman una red WRAN.....	16
Figura 7-1:	Esquema de detección de espectro de RC.....	17
Figura 8-1:	Topología red IEEE802.22.....	20
Figura 9-1:	Interacción de la BS con la base de datos.....	20
Figura 10-1:	Aplicación en área rural de la tecnología WRAN.....	21
Figura 11-1:	Esquema de la capa MAC intra trama.....	24
Figura 1-2:	Diagrama de bloques del sistema de un prototipo con tecnología WRAN.....	32
Figura 2-2:	Diagrama de bloque de la planificación del radio enlace.....	33
Figura 3-2:	Diseño del diagrama para el sensado radioléctrico.....	48
Figura 4-2:	Sendado del espectro de 500 -560 MHz.....	49
Figura 5-2:	Modelo antena Yagi a 551 MHz.....	50
Figura 6-2:	Lóbulo de radiación de la antena.....	50
Figura 7-2:	Esquema de conexión para tecnología WRAN.....	51
Figura 8-2:	Parámetros iniciales del radio enlace.....	55
Figura 9-2:	Configuración de la topología.....	56
Figura 10-2:	Unidades que conforman la red WRAN.....	56
Figura 11-2:	Parámetros de los elementos de la red Teniente Hugo Ortiz.....	57
Figura 12-2:	Cobertura de la red WRAN en la Parroquia Teniente Hugo Ortiz.....	57
Figura 13-2:	Cobertura BS-CPE La Florida.....	58
Figura 14-2:	Enlace de radio desde BS – CPE La Florida.....	59
Figura 15-2:	Cobertura BS-CPE Casco Parroquial.....	59
Figura 16-2:	Enlace Estación Base – CPE Casco Parroquial.....	60
Figura 17-2:	Cobertura BS-CPE Alishungo.....	60
Figura 18-2:	Enlace Estación Base – CPE Alishungo.....	61
Figura 19-2:	Cobertura BS-CPE Allishungo.....	61
Figura 20-2:	Enlace Estación Base – CPE Allishungo.....	62
Figura 21-2:	Cobertura de BS-CPE San Pablo de Allishungo.....	62
Figura 22-2:	Enlace Estación Base – CPE San Pablo de Allishungo.....	63

Figura 23-2:	Cobertura BS-CPE Mariscal Sucre	63
Figura 24-2:	Enlace Estación Base – CPE Mariscal Sucre.....	64
Figura 25-2:	Cobertura BS-Palma Roja.....	64
Figura 26-2:	Enlace Estación Base – CPE Palma Roja	65
Figura 27-2:	Cobertura BS-CPE San Miguel del Llandia	65
Figura 28-2:	Enlace Estación Base – CPE San Miguel Llandia	66
Figura 29-2:	Cobertura BS-CPE Llandia.....	66
Figura 30-2:	Enlace Estación Base – CPE Llandia.....	67
Figura 31-2:	Cobertura BS-CPE La Unión.....	67
Figura 32-2:	Enlace Estación Base – CPE La Unión.....	68
Figura 33-2:	Cobertura BS-CPE Boayacu	68
Figura 34-2:	Enlace Estación Base – CPE Boayacu.....	69
Figura 35-2:	Diagrama de bloques del emisor y receptor del sistema.	70
Figura 36-2:	Especificaciones para Modulación y Demodulación OFDM.....	71
Figura 37-2:	Diseño del transmisor para el enlace WRAN.	72
Figura 38-2:	Diseño del transmisor en Simulink	72
Figura 39-2:	Diseño del receptor para el enlace WRAN.	73
Figura 40-2:	Diseño del receptor en Simulink.....	73
Figura 41-2:	Elementos que conforman la estación base.....	74
Figura 42-2:	Caseta para instalar lo equipos de la estación base.....	75
Figura 43-2:	Convertor de fibra óptica a ethernet.	75
Figura 44-2:	Enrutador Cisco Catalyst 2960-L.....	76
Figura 45-2:	Conmutador Cisco Catalyst 3850 24 XU.....	76
Figura 46-2:	Servidor Dell para DNS y Caché	77
Figura 47-2:	Equipo transmisor modelo ACRS2 B1000	77
Figura 48-2:	Antena BS	78
Figura 49-2:	Elementos que conforman un equipo de cliente	78
Figura 50-2:	Antena para el cliente.....	79
Figura 51-2:	Equipo receptor.....	79
Figura 52-2:	Punto de acceso TP-Link	80
Figura 1-3:	Funcionamiento del diseño transmisor-receptor en Simulink.....	86
Figura 2-3:	Espectro OFDM de la señal transmitida	86
Figura 3-3:	Perfil del terreno en el que se realizarpa el enlace	87
Figura 5-3:	Posición del receptor.....	88
Figura 4-3:	Posición del transmisor	88
Figura 7-3:	Ubicación del receptor	88
Figura 6-3:	Ubicación del transmisor	88

Figura 9-3:	Receptor instalado.....	89
Figura 8-3:	Transmisor instalado.....	89
Figura 10-3:	Calibración tarjeta USRP B210	90
Figura 11-3:	Captura de recepción de paquetes con errores	91
Figura 12-3:	Espectro de OFDM receptada a 200m	91
Figura 13-3:	Paquetes de bits recibidos.	92
Figura 14-3:	Cálculo del BER de la señal recibida.....	92
Figura 15-3:	Mensaje recibido a 300 m.	93
Figura 16-3:	Espectro OFDM recibido a 300 m	93
Figura 17-3:	Tasa del BER en recepción	94
Figura 18-3:	Paquetes recibidos a 500m.....	94
Figura 19-3:	Espectro OFDM recibido a 500 m	95

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-1:	Conectividad a internet a nivel mundial	25
Gráfico 2-1:	Acceso a internet en hogares del Ecuador.	26
Gráfico 3-1:	Personas que utilizan internet	27
Gráfico 4-1:	Porcentaje de población por provincias que usan internet	28
Gráfico 5-1:	Densidad de servicio internet banda ancha fija por provincia.	28
Gráfico 6-2:	Porcentaje de personas encuestadas por comunidad.	37
Gráfico 2-2:	Población que reside en Tte. Hugo Ortiz.	38
Gráfico 3-2:	Población que considera importante el uso de internet.	39
Gráfico 4-2:	Medios por el que usan internet las personas de Tte. Hugo Ortiz.	40
Gráfico 5-2:	Periodicidad de los usuarios para ingresar a internet.	41
Gráfico 6-2:	Porcentaje de la frecuencia que usan internet por horas.	42
Gráfico 7-2:	Población satisfecha con el servicio de internet que disponen.	43
Gráfico 8-2:	Aceptación de internet inalámbrico en el hogar.	44
Gráfico 9-2:	Rango de tarifas para internet inalámbrico.	45
Gráfico 10-2:	Porcentaje de satisfacción por tarifa propuesta.	46

ÍNDICE DE ANEXOS

- Anexo A.** Encuesta realizada
- Anexo B.** Hoja de especificaciones técnicas del cable coaxial RG-58
- Anexo C.** Hoja de especificaciones técnicas Conversor TP-Link
- Anexo D.** Hoja de especificaciones técnicas Entutorador Cisco Catalyst 2960-
- Anexo E.** Hoja de especificaciones técnicas Conmutador Cisco 3850-24XU-L
- Anexo F.** Hoja de especificaciones Servidor DNS y Caché DELL
- Anexo G.** Hoja de especificaciones del equipo transmisor ACRS2-B1000
- Anexo H.** Hoja de especificaciones de la antena para BS
- Anexo I.** Hoja de especificaciones de la antena para cliente
- Anexo J.** Algoritmo de eliminación de errores causado por la USRP B-210

RESUMEN

En este trabajo de titulación se desarrolló un prototipo para analizar la factibilidad de un radio enlace para brindar servicio de datos a la Parroquia Teniente Hugo Ortiz, ubicada en la provincia de Pastaza, para lo cual se utilizó la tarjeta USRP B-210 facilitada por la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH). Se utilizó metodologías de investigación aplicada e investigación descriptiva, en la primera se empleó los conocimientos teóricos para llevar a cabo el desarrollo del diseño para el sistema de comunicación, la segunda permitió describir la realidad de la comunidad en estudio y analizar las características y comportamiento que ofrece el sistema implementado. Para generar, procesar, transmitir y recibir la señal se utilizó el software Simulink. Se realizó pruebas de campo mediante pruebas de distancia en donde se determinó el alcance del radio enlace diseñado. Luego se determinó la capacidad de recepción; se comprobó que el mensaje emitido puede llegar hasta el receptor a una distancia de hasta 300 m desde el transmisor, la distancia alcanzada está limitada por la ganancia del transmisor de 50 dBm y la sensibilidad del equipo receptor de menos 76 dBm, además de la conexión del cable de Bus Universal en serie (USB) entre la tarjeta USRP B-210 y la computadora. Con el desarrollo de este prototipo se pudo determinar que el diseño de un radio enlace es posible siempre y cuando se disponga de equipos con buenas características de Radio Definida por Software (SDR) para no tener limitaciones de alcance. Se recomienda realizar un prototipo a base de hardware para disponer de mejores características y llevar a cabo pruebas más reales.

PALABRAS CLAVES: <TECNOLOGÍA Y CIENCIA DE LA INGENIERÍA>, <TELECOMUNICACIONES>, <RADIO ENLACES>, <RED INALÁMBRICA DE ÁREA REGIONAL (WRAN)>, <TARJETA USRP (SOFTWARE-HARDWARE)>, <SIMULINK (SOFTWARE)>, <PASTAZA (PROVINCIA)>.



ABSTRACT

In this thesis Project, a prototype was developed to analyze the feasibility of a radio link to provide data service to the Teniente Hugo Ortiz Parish, located in the province of Pastaza, for which the USRP B-210 card provided by the Higher Polytechnic School of Chimborazo (ESPOCH). We used methodologies of application research and descriptive research, in the first theoretical knowledge was used to carry out the development of the design for the communication system, the second allowed to describe the reality of the community under study and analyze the characteristics and behavior that offers the system implementing. The Simulink software was used to generate, process, transmit and receive the signal. Field tests were carried out through distance tests where the range of the designed radio link was determined. Then the reception capacity was determined; it was verified that the emitted message can reach up to 300 m from the transmitter, the distance reached is limited by the gain of the transmitter of 50 dBm and the sensitivity of the receiving equipment of less 76 dBm, in addition to the connection of the Universal Bus cable in series (USB) between the USRP B-210 card and the computer. With the development of this prototype it was possible to determine that the design of a radio link is possible as long as equipment with good characteristics of Radio Defined by Software (SDR) is available to have no scope limitations. It is recommended to make a prototype based on hardware to have better features and to carry out more real tests.

KEY WORDS: <TECHNOLOGY AND SCIENCE OF ENGINEERING>, <TELECOMMUNICATIONS>, <RADIO LINKS>, <WIRELESS REGIONAL AREA NETWORK (WRAN)>, <USRP CARD (SOFTWARE-HARDWARE)>, <SIMULINK (SOFTWARE)>, <PASTAZA (PROVINCE)>



ANTECEDENTES

Fue el italiano Guglielmo Marconi (1874-1937) quien concibió la idea de las transmisiones por radio (1901), inventó el telégrafo inalámbrico logrando transmitir a una distancia de 3200 Km (Stallings, 2005, pág.12).

Según el autor Martínez (2002) mencionó en la Revista RED que la radio fue el primer medio masivo de comunicación inalámbrica y a poco más de 100 años de su invención, las comunicaciones móviles han demostrado ser una alternativa a las redes cableadas para ofrecer nuevos servicios que requieren gran ancho de banda, pero con otros beneficios como la movilidad y la ubicuidad, estar comunicado en cualquier lugar, en cualquier momento.

La comunicación inalámbrica es aquella que se puede realizar sin el uso de medios guiados entre un emisor y un receptor utilizando el espectro electromagnético; así una conexión a internet mediante WI Fi es una comunicación inalámbrica mientras que una conexión mediante una red LAN (Red de Área Local) no lo es.

En la actualidad se puede hablar de la revolución tecnológica de las comunicaciones inalámbricas, algo equivalente a lo que representó en su momento el internet, el teléfono, la electricidad, la computadora, etc. que admitieron nuevos modelos de profesión.

En lo que conlleva a la difusión de las tecnologías móviles. Prieto (2015) afirma:

“En la actualidad, más de un 75% de la población tiene un contrato de telefonía móvil. Esto quiere decir que la telefonía móvil de voz cuenta con más de 5000 millones de usuarios en 212 países diferentes.

Por otra parte, más del 60% de la población mundial se conecta a internet con una conexión inalámbrica.”

Es así que las comunicaciones por medios no confinados han llegado a ser una parte fundamental de la mayoría de personas en el mundo. Solo hace falta instalar una tarjeta de red inalámbrica en los dispositivos involucrados, realizar una pequeña configuración y ya podemos disponer de una red inalámbrica. Es más rápido y flexible que instalar una red alámbrica.(Camargo, 2009, p.3-4)

Pueden ser clasificadas según el alcance, refiriéndose a la distancia máxima entre las dos partes de una comunicación inalámbrica (emisor-receptor):

- » WBAN (Wireless Body Area Network): IEEE 802.15.6, cubre distancias de 1 a 2 m, velocidad menor entre 1Kbps y 10Mbps.
- » WPAN (Wireless Personal Area Network): IEEE.802.15 (Bluetooth, Zigbee), cubre distancias inferiores a los 10m., velocidad máxima de 10Mbps.
- » WLAN (Wireless Local Area Network): IEEE 802.11, (Wi-Fi), cubre distancias de unos cientos de metros, velocidades de hasta 600 Mbps.
- » WMAN (Wireless Metropolitan Area Network): IEEE 802.16 (Wi-Max) puede alcanzar de 4 a 10Km., alcanza una velocidad de aproximadamente 70Mbps.
- » WWAN (Wireless Wide Area Network): IEEE 802.20 (GSM, GPRS), cubre distancias menores a 15km, la capacidad bordea los 300 Mbps.
- » WRAN (Wireless Regional Area Network): IEEE802.22 (Wi-FAR), puede llegar a cubrir una distancia de 30 a 50Km., la capacidad es de 20Mbps (Prieto, 2015, pág. 11-20).

Actualmente en las zonas rurales del Ecuador y el mundo, una gran parte de la población no tienen acceso a internet de alta velocidad (> 1 Mbps), más de la mitad de las personas vive en áreas rurales sin acceso a banda ancha, aparte de servicios como televisión abierta, radio difusión y dependiendo de la operadora: con telefonía móvil. La IEEE, una asociación encargada de promover la innovación de la tecnología a nivel mundial anunció en el año 2011 el lanzamiento del estándar IEEE 802.22 WRAN, la tecnología que lo representa es Wi-FAR, este estándar está encargado de brindar servicio inalámbrico de banda ancha a largas distancias en zonas rurales con baja densidad poblacional.

Se eligió la región amazónica para aplicar el estándar debido a que esta zona presenta una serie de factores, tanto, ambientales, climáticos, ecológicos y la topografía del terreno que pueden conllevar un análisis diferente de la forma en la que se propaga la señal del estándar. Un parámetro a considerar es la atenuación por vegetación, al situarnos en la Amazonía

FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

a conectividad a internet en zonas rurales de la región amazónica es muy baja a diferencia de las zonas urbanas, una de los principales inconvenientes es la falta de infraestructura al presentar altos costos de conexión y mantenimiento para los proveedores de servicios de internet; limitando rentabilidad para las empresas de telecomunicaciones. Del mismo modo hay que tener en cuenta el constante cambio de los factores climáticos que presenta esta zona.

SISTEMATIZACIÓN DEL PROBLEMA

¿Será posible satisfacer las necesidades de acceso a datos a la población de la zona rural?

¿Realmente la tecnología WRAN es capaz de alcanzar 50 Km de cobertura en zonas rurales de la Amazonía ecuatoriana?

¿Cuáles serán los factores geográficos y ambientales que pueden intervenir en la propagación de la señal y en el servicio de banda ancha que ofrece la tecnología WRAN?

¿El estándar IEEE 802.22 WRAN será la solución óptima para brindar el servicio de datos en áreas rurales de la Amazonía?

JUSTIFICACION DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

JUSTIFICACIÓN TEÓRICA

El estándar WRAN (Wireless Regional Area Network) basada en las radios cognitivas y la operabilidad de usuarios sin licencia en las bandas libres de TV analógica entre los 54 y 862 MHz, ofrece el servicio de acceso inalámbrico de banda ancha en zonas rurales, tecnología que aprovecha la banda de frecuencia de TV de las bandas UHF y VHF, sabiendo que el espectro radioeléctrico es un recurso natural limitado y de esta manera poder generar un servicio de conectividad a las comunidades de áreas rurales (Ian Poole, 2010, p.1).

La IEEE 802.22 WRAN es un estándar que ofrece internet inalámbrico a largas distancias hasta 50 Km de cobertura a línea de vista y con una velocidad de transmisión de 22Mbps, aprovecha la disposición de los espacios en blanco de la televisión analógica (TVWS) y los canales de televisión que quedan en libres al migrar a TDT, sin interferir la recepción de canales que se encuentren en operación. La comunicación que establece es de punto a multipunto, conformado por una estación base (BS) con distintos equipos de instalaciones del cliente (CPE, Customer Povided Equipment) ubicados dentro de una celda, de esta manera el estándar IEEE 802.22 brinda una comunicación segura y confiable de alta velocidad de datos a lugares desatendidos y sin servicio de internet (Castro del Portillo, Perdomo, Lavandera y Morales, 2017, pág. 2).

JUSTIFICACIÓN APLICATIVA.

Existen lugares en Ecuador y el mundo en donde la densidad poblacional es muy escasa, por lo que no disponen de tecnología inalámbrica de banda ancha debido a que las empresas no están dispuestas a brindar el servicio ya sea por fibra óptica, XDSL (Digital Subscriber Line), entre otras. No resulta rentable para ninguna empresa dado el bajo número de usuarios que habría para contratar el servicio.

Al no disponer de proveedores que brinden el servicio de banda ancha por encontrarse en áreas alejadas de la zona de operabilidad de éstas debido a los procesos de implementación y falta de infraestructura para llevar el servicio por medios guiados significaría un costo bastante elevado, sin embargo, hay la posibilidad de brindar servicio de internet de manera inalámbrica siendo la opción más viable debido a la poca inversión y buen rendimiento que podría llegar a tener la red. La solución mejor considerada es aplicar el estándar IEEE 802.22 WRAN.

OBJETIVOS

OBJETIVOS GENERALES

Analizar la factibilidad del diseño de un radio enlace aplicando tecnología WRAN para brindar servicio de datos en la parroquia Teniente Hugo Ortiz (Pastaza).

OBJETIVOS ESPECIFICOS

- » Investigar las tecnologías que brindan servicio de internet inalámbrico y los factores que pueden producir interferencia en la transmisión.
- » Analizar los equipos y dispositivos disponibles para las características que exige la tecnología WRAN.
- » Realizar un estudio técnico mediante una simulación con las características de los equipos y recomendaciones del estándar IEEE 802.22.
- » Analizar el rendimiento del radio enlace debido a las interferencias locales.
- » Efectuar un análisis económico de los elementos necesarios para llevar a cabo la implementación.

INTRODUCCIÓN

Las redes inalámbricas han logrado tener un gran auge en las comunicaciones debido a las múltiples ventajas que ofrecen: no permanecer en un lugar determinado y poder movilizarse sin perder conexión del servicio resulta de gran beneficio y comodidad para el usuario, este detalle ha ayudado en gran medida al desarrollo de las telecomunicaciones destacándose las redes móviles y las redes inalámbricas como Wi-Fi, Wi-Max, Outernet, WRAN (Castro del Portillo A, Perdomo L, Lavandera I, 2017, p. 1-4).

En el año 2004 la IEEE, institución encargada de la normalización y desarrollo en áreas técnicas de comunicación, empezó a desarrollar un nuevo estándar de tecnología inalámbrica. El estándar fue nombrado como IEEE 802.22 WRAN y se basa en el desarrollo de una red física fundamentada en la radio cognitiva, RC; esta técnica permite detectar y medir el espectro radioeléctrico de señales preestablecidas y la capa de control de acceso al medio (MAC) para el uso de dispositivos libres de licencia en el espectro asignado al servicio de televisión y radiodifusión, que aprovecha los canales en desuso llamados espacios en blancos (Cordeiro et al., 2005, p. 2-4). En julio del 2011 se define el estándar proporcionando un mayor alcance y un mejor aprovechamiento del espectro radioeléctrico (Castro del Portillo A, Perdomo L, Lavandera I, 2017, p 3-5). WRAN fue diseñada para brindar servicio de conectividad inalámbrica, alcanzando largas distancias a bajo costo de manera inalámbrica a zonas rurales aisladas de las tecnologías existentes, donde la densidad poblacional es relativamente baja

Existen diversas investigaciones enfocadas en el estándar 802.22 que fueron realizadas en países como Colombia, Bangladesh, Cuba, Estados Unidos, Japón, Sudáfrica y Ecuador en los cuales existen el análisis de disponibilidad de los espacios en blanco de televisión (TV White Space, TVWS) mediante censado espectral hasta el desarrollo de prototipos de hardware y prueba de campos de estos. Son demostraciones de los esfuerzos realizados a nivel mundial, con el propósito de determinar el nivel de factibilidad de esta tecnología en varias aplicaciones.

El desarrollo del presente trabajo se realizará en la provincia de Pastaza en la parroquia rural Teniente Hugo Ortiz, que presenta baja densidad poblacional y cuenta con 1187 habitantes (GAD Parroquial “Teniente Hugo Ortiz”, 2015); requerimientos que especifica previamente el estándar para su aplicación. El aporte que se dará con la investigación será ofrecer una posible solución a la falta del servicio de internet a la zona antes mencionada con el análisis de factibilidad del diseño de un radio enlace para brindar servicio de banda ancha a este lugar.

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO

1.1 Redes Inalámbricas.

En los últimos 15 años ha habido cambios impresionantes en las comunicaciones. Va quedando atrás la época en que éstas se realizaban a través de tecnologías por medios guiados. La tecnología ha evolucionado en este ámbito y en la actualidad las redes inalámbricas se han hecho muy populares por su gran beneficio en la movilidad y una alternativa de comunicación. Este método es utilizado por muchas razones. Por ejemplo, el estilo de vida actual, la necesidad de mantener la conectividad a internet en cualquier parte desde un dispositivo móvil (Bates, 2003, pp.4-5)

Las redes inalámbricas pueden ser usadas para varios propósitos: permite el acceso remoto a usuarios con dispositivos móviles a una red, en los lugares en los que no se dispone de infraestructura cableada y este tipo de redes son escalables, por lo tanto, ofrecen la expansión de la red cuando se requiera. (Salazar, 2015, p6).

1.1.1 Ventajas de las redes inalámbricas

Entre las múltiples ventajas de las redes inalámbricas a corto y largo plazo, se tiene:

- » **Movilidad:** Permite la conectividad permanente a internet sin importar la ubicación.
- » **Flexibilidad:** Dentro de la zona de cobertura de la red inalámbrica los nodos se pueden ampliar o modificar.
- » **Accesibilidad:** Los equipos portátiles y la mayoría de teléfonos móviles vienen incluidos con la tecnología Wi-Fi para conectarse directamente a una red inalámbrica
- » **Eficiencia:** Transferencia más rápida de información.
- » **Escalabilidad:** Las redes inalámbricas se pueden ampliar con los elementos existentes.
- » **Fácil configuración:** Al no tener que colocar cables la instalación puede ser más rápida y rentable.
- » **Costos:** Las redes inalámbricas resultan más fáciles y económicas de instalar. La ausencia de cableado reduce el costo. Además, no hace falta mantenimiento de cableado.
- » **Robustez:** Ante eventos inesperados como un sismo, erupción volcánica u otro desastre natural, una red inalámbrica no se verá afectada y la comunicación no es interrumpida.

Además de versatilidad y comodidad. Son algunas de las ventajas que se puede mencionar respecto a las redes inalámbricas, pero también presentan desventajas (CISCO, 2014, p. 2), (Salazar, 2015, pp. 35-36).

1.1.2 Desventajas de las redes inalámbricas

Este tipo de comunicación puede presentar inconvenientes como:

- » **Interferencias:** Las redes inalámbricas presentan más inestabilidad que las redes cableadas, pueden resultar afectadas por ondas electromagnéticas o aparatos electrónicos cercanos e interrumpidas por edificios, vegetación, fenómenos meteorológicos y otros factores (Ramírez y Díaz, 2008, p. 4).
- » **Restricciones:** Al operar en espacios del espectro radioeléctrico muy saturados las redes deben regirse a las especificaciones del uso de éste que existe en cada país.
- » **Seguridad:** Por un lado, se habla de la integridad de la información que se transmite habiendo la posibilidad de robo de datos y por otra parte este tipo de transmisión puede interferir con otras redes de comunicación (emergencia: policía, bomberos, hospitales).

La industria inalámbrica ha cambiado de una manera extraordinaria. Como muestra de ello, se puede hablar de protocolos y estándares que proveen de mayor velocidad de transmisión, mayor ancho de banda, así como la capacidad para transmitir datos, voz y videos a través de la red, alcanzando velocidades de hasta 1300 Mbps como en el caso del estándar de WI-Fi IEEE 802.11 ac (Meden, 2014, p.20)

1.2 Tecnologías Inalámbricas

Actualmente las redes inalámbricas están presentes en todo lugar imaginable; en instituciones públicas y privadas, estaciones de buses, hogares, empresas, lugares de distracción, vehículos públicos, entre otros.

Las tecnologías inalámbricas se pueden dividir por el tipo de información que transmiten: voz, datos y video; por su movilidad: fijas y móviles; por la forma de transmitir la información: luz, radio y microondas. Si se procede a profundizar en todas las tecnologías inalámbricas existentes resultaría demasiado extenso. Para el desarrollo de este capítulo se analizará las tecnologías que resultan más conocidas y utilizadas (Rivera, 2004, p.1).

Según el área de aplicación y el alcance de la señal se pueden clasificar en cinco grupos específicos:

1.2.1 WBAN (IEEE 802.15.6)

Esta tecnología corresponde a la Red Inalámbrica de Área Corporal (WBAN, Wireless Body Area Network), fue diseñada para la inter comunicación de distintos dispositivos de baja potencia y su aplicación es altamente aprovechada en el campo de la medicina, utilizados en el cuerpo humano para aplicaciones diferentes como; implementación de sensores de tamaño reducido, sistema de monitoreo en tiempo real para observar las actividades de los órganos vitales de forma remota, aplicaciones de control y autenticación (Villegas, 2017, p.44), (Arefin, Ali y Haque, 2017, pp.53-64).

Las WBANs han permitido desarrollar la tecnología wearable (Wearable Technology, WT), este término hace referencia a dispositivos desarrollados para llevar en las prendas de vestir, como complemento o como parte de algún dispositivo. La WT puede desempeñar muchas de las tareas de ordenadores o dispositivos móviles y son más sofisticados ya que incorporan sensores para interactuar con el cuerpo y con el entorno, como se muestra en la Figura 1-1 (Luque, 2016, p.3).

1.2.1.1 Niveles de WBAN

El sistema WBAN dispone de varios niveles de comunicación que están divididos en tres tipos:

- 1. Comunicaciones Intra-WBAN:*** El rango que cubre no es mayor a 2 metros con respecto al cuerpo humano.
- 2. Comunicaciones Inter-WBAN:*** El rango es de 2 a 100 metros y se interconecta la WBAN con diferentes redes.
- 3. Comunicaciones Beyond-WBAN:*** Es una comunicación para áreas metropolitanas, su uso es para temas médicos (Villegas, 2017, pp.11-13)

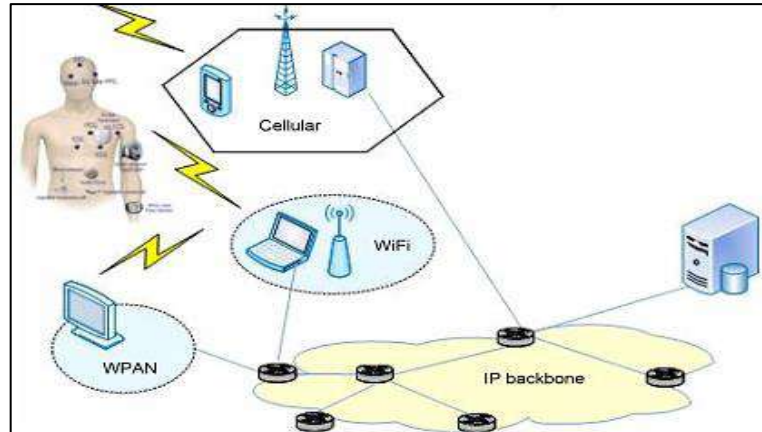


Figura 1-1: Características capa física del estándar IEEE 802.11

Fuente: (Arefin, Ali y Haque 2017, p.1)

1.2.2 WPAN (IEEE 802.15.x)

Las redes inalámbricas de área personal, WPAN (Wireless Personal Area Network), son redes que cubren distancias no mayores a 10 metros permitiendo una comunicación directa a corta distancia, se utiliza para conectar dispositivos portátiles personales como auriculares, mouse, micrófonos, impresoras, teclados, módem y otros elementos. La comunicación entre dispositivos es punto a punto que normalmente no requiere de altas tasas de transmisión de datos esto conlleva a tener flexibilidad de red, representa bajo costo y bajo consumo de energía (Olivares, 2009, p.31), (Archundia, 2003, pp-1-3).

Las tecnologías más representativas a este estándar son Bluetooth y Zigbee:

1.2.2.1 Bluetooth (IEEE 802.15.1)

Es una de las tecnologías inalámbricas de las WPAN más conocida. El estándar IEEE 802.15.1 es una solución de WPAN para tasas de transmisión desde 3Mbps que ofrece la versión 2.0 hasta 32Mbps de la versión 4.0 y un alcance de hasta 100 metros (De la Cruz et al., 2010, pp.6-10).

Su principal aplicación es aumentar la efectividad de las comunicaciones de corta distancia en la transferencia de datos y voz, tanto en áreas de trabajo como en los espacios públicos y oficinas, por la capacidad de atravesar obstáculos como paredes, con el objetivo de gestionar tareas de periféricos y realizar intercambios de archivos. Se observa la comunicación entre distintos dispositivos en la Figura2-1 con tecnología WPAN (García, 2014, pp.64-65).

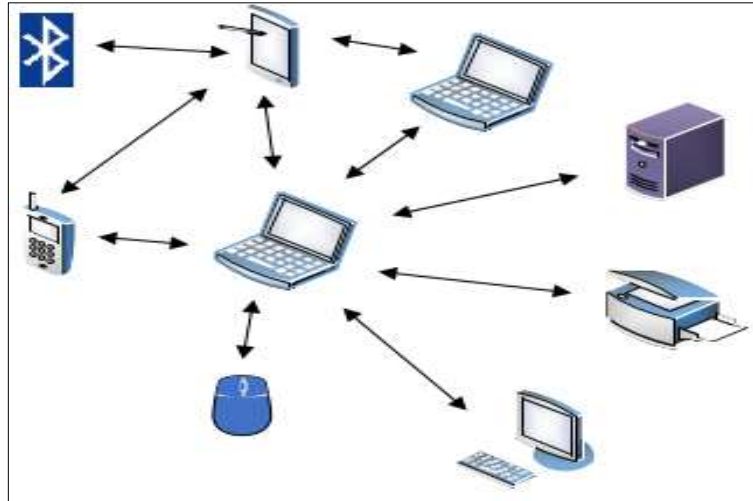


Figura 2-1: Interconexión de dispositivos con Bluetooth

Fuente: (Tituña María, 2010)

1.2.2.2 Zigbee (IEEE 802.15.4)

Esta tecnología está basada en el estándar IEEE 802.15.4 de las WPANs y tiene como objetivo las aplicaciones que requieren comunicaciones seguras con baja tasa de transferencia de datos (250kpbs) y maximización de la vida útil de sus baterías por su bajo consumo de energía (Tolomeo, 2015, p.61).

Este estándar fue diseñado para ser utilizado en aplicaciones que requieren de comunicaciones inalámbricas sencillas, de corto alcance y limitada potencia.

La principal función de ZigBee es crear una topología de red jerárquica para que los dispositivos se comuniquen entre ellos para ser usado dentro de dispositivos de automatización del hogar (domótica), de edificios (inmótica), control industrial, periféricos de PC y sensores médicos (Vera, Barbosa y Pabón, 2017, p.5-6).

En la Figura 3-1 se observan algunas de las aplicaciones que tiene Zigbee, en el área donde mejor se ha desarrollado es en la domótica.



Figura 3-1: Aplicaciones para Zigbee

Fuente: (Tolomeo, 2015)

Las redes WPAN son tecnologías que abarcan básicamente la comunicación entre dispositivos de corto alcance, este tipo de conexiones no alcanzan para abastecer a una zona rural por la ubicación y distancia que esta área representa.

1.2.3 WLAN (IEEE 802.11)

La creación del estándar IEEE 802.11 para las tecnologías de redes inalámbricas de área local WLAN (Wireless Local Area Network), ha generado un gran impacto en el alcance que ésta presenta, permitiendo establecer conexiones inalámbricas dentro de un área local (es decir, una universidad, un edificio corporativo, un campus empresarial, una vivienda, un aeropuerto), (Ahuja et al., 2010, p.26), (Banerji y Chowdhury, 2013,p.5) las redes inalámbricas han logrado mucho reconocimiento porque satisfacen la creciente necesidad de información a cualquier hora y lugar (Abrahamsson y Wessman, 2004, p.17)

Estas redes ofrecen tasas de transmisión desde los 11 Mbps a 800 Mbps aproximadamente que logran cubrir distancias de aproximadamente 100 m. en línea de vista (LOS) (International Centre for Theoretical Physics, 2012, p.4).

Las redes WLAN fueron diseñadas originalmente para el ámbito empresarial. Sin embargo, en la actualidad su aplicación es extensa y se puede encontrar en una gran variedad de escenarios, tanto en el ámbito residencial como en entornos públicos. Las aplicaciones más comunes son:

- » **Residencial:** una línea de teléfono que finaliza en un router ADSL al que se conecta un punto de acceso (AP) para formar una red WLAN que proporciona cobertura a varias computadoras del hogar.

- » **Redes corporativas:** una serie de APs distribuidos en distintas áreas de la empresa conforman una red autónoma o complementan a una red LAN. Son aplicaciones de alto tráfico de datos y altas exigencias a nivel de seguridad.
- » **Acceso público a internet:** Restaurantes, cafeterías, bares, tiendas. Normalmente el establecimiento ofrece el servicio a los usuarios para sus dispositivos y puedan navegar a cambio de adquirir algún servicio que el lugar ofrece.
- » **Redes libres** en instituciones educativas, instituciones administrativas, parques: este tipo de WLANs otorgan acceso público de *banda ancha de manera gratuita, sin ánimos de lucro*. Necesita múltiples APs para garantizar la cobertura en el área de interés. Esta concepción se está extendiendo a pueblos y ciudades pequeñas gestionados por las autoridades competentes.
- » **Hotspots:** es una zona de cobertura en el que un punto de acceso o varios proveen servicios de red mediante un proveedor de servicio de internet inalámbrico (WISP). Se encuentran en lugares públicos, como aeropuertos, bibliotecas, centros de convenciones, hoteles u otros. Este servicio se puede brindar de manera gratuita o pagando una cantidad de dinero que depende del proveedor.
- » **Acceso a internet desde medios de transporte público:** Compañías de transporte terrestres o aéreas ofrecen acceso Wi-Fi dentro de la unidad, que termina en un enlace satelital con la red de internet.
- » **Acceso de banda ancha en entornos rurales** con difícil acceso (Camargo, 2009, p.65).

1.2.3.1 Wi-Fi (IEEE 802.11)

Es una de las tecnologías más representativas del estándar IEEE 802.11. Wi-Fi nació de la necesidad de definir un mecanismo de conexión inalámbrica que sea compatible entre varios dispositivos tales como computadoras, impresoras, acceso a datos y donde ha tenido más auge en el uso de internet (Hernández, 2017, p.88).

En la Tabla 1-1 se presenta la descripción de las características de las capas físicas del protocolo 802.11 y sus variantes.

Tabla 1-1: Características de la capa física del estándar IEEE 802.11 y sus variantes

Características del estándar IEEE 802.11 xx			
Estándar	Velocidad Máx.	Alcance (m)	Frecuencia
802.11	2Mbps	-	2.4 GHz
802.11 b	11 Mbps	90 m	2.4 GHz
802.11 a	54 Mbps	10-30 m	5 GHz
802.11 g	54 Mbps	50 m	2.4 GHz
802.11 n	300 Mbps 600 Mbps	70 m	2.4 GHz - 5 GHz
802.11 ac	1.3 Gbps	70 m	2.4 GHz - 5.5 GHz
802.11 ad	7 Gbps	10 m	2.4 GHz - 5 GHz - 60 GHz
802.11 af	27 Mbps	> 1 Km	54MHz - 790 MHz
802.11 ah	40 Mbps	1 Km	900 MHz

Fuente: (Alcocer, 2016)

Realizado por: Jalení Ocampo, 2019

Según las especificaciones de este estándar no es suficiente para cubrir áreas muy grandes como un área rural, es un estándar que alcanza hasta 1 Km de distancia sin ningún tipo de interferencia u obstáculo. En la Figura 4-1 se presenta un esquema ideal de una red inalámbrica Wi-Fi.

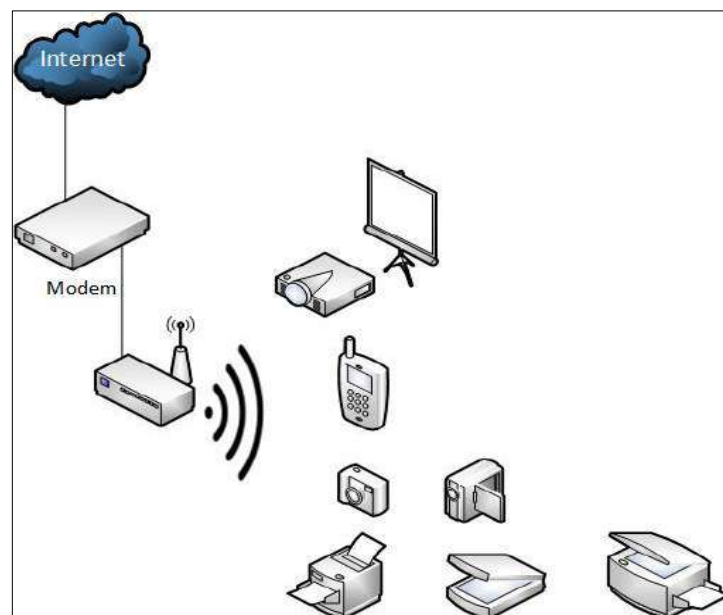


Figura 4-1: Esquema de una red Wi-Fi.

Realizado por: Jalení Ocampo, 2019

1.2.4 WMAN (IEEE 802.16)

Este grupo de trabajo se formó con el fin de crear un estándar inalámbrico fijo basado en la tecnología de línea de vista (LOS), para proporcionar servicio a las empresas que operan en lugares donde no era factible instalar infraestructura física de fibra o cobre. Este estándar es conocido como 802.16 de la IEEE. El estándar tuvo como objetivo proporcionar acceso inalámbrico a velocidades similares a DSL de 1.5 Mbps en Down Link y 384 Kbps en Up Link (Thiel, 2013, p.3).

1.2.4.1 WiMax (IEEE 802.16)

La tecnología representativa de la familia del estándar IEEE 802.16 es WiMax (Interoperabilidad Mundial para Acceso por Microonda) y fueron diseñados para cubrir necesidad de las redes inalámbricas de áreas metropolitanas WMANs (Wireless Metropolitan Area Networks) desarrollando dos tipos de aplicaciones: fijas y móviles.

Originalmente, se desarrolló para antenas con visión directa en la banda de 10 GHz a 66 GHz posteriormente se incluyó la banda de 2 GHz a 11GHz sin la necesidad de visión directa (R.J 2007, pp.2-3), los demás cambios se observan en la Tabla 2-1.

Tabla 2-1: Características del estándar IEEE 802.16.

Características del estándar IEEE 802.16 xx				
Estándar	Velocidad Máx.	Alcance (m)	Frecuencia	Aplicación
802.16	32 - 144 Mbps	2 - 5 km	10 GHz - 66 GHz	LOS Fijo
802.16 a	75 Mbps	40 - 70 km	2 GHz - 11 GHz	NLOS Fijo
802.16 b	75 Mbps	5-10 km	5 GHz - 6 GHz	NLOS Fijo
802.16 e	15Mbps	2 - 5 km	2 - 6 GHz	NLOS Fijo y Móvil

Fuente: (R.J, 2007)

Realizado por: Jalení Ocampo, 2019

Los promotores de este proyecto perseguían la ambiciosa meta que WiMAX sea la tecnología inalámbrica que unifique el mundo de la telefonía móvil y las redes de datos. Este estándar puede ser utilizado para la última milla, conexiones de banda ancha, conectividad de gran velocidad. Para las empresas, el costo puede reducirse hasta 10 veces en el caso de emplear un enlace E1 o T1 (Gamboa, 2007, p.34).

1.2.4.2 Diferencias entre Wi-Fi y WiMAX.

Wi-Fi: Sistema de corto alcance de hasta unos cientos de metros entre el punto de acceso y el usuario (Martínez, 2011a, p.44). Opera principalmente en el interior de entornos residenciales y empresariales, con el objetivo de soportar redes locales inalámbricas. Estas redes pueden extenderse por áreas extensas y en exteriores. Los receptores pueden ser fijos o móviles personales, por lo que el consumo debe ser reducido.

WiMAX: Sistemas de largo alcance entre la estación base terminales próximos. Opera en la banda sin licencia ISM (Industrial, Científica y Médica) y el receptor, usa la banda con licencia, por lo que puede transmitir mayor potencia y aumentar considerablemente el área de cobertura (Martínez, 2011). Se usa principalmente en exteriores, realizando una distribución de conectividad a empresas y edificios. Los terminales son fijos y móviles similar a un teléfono móvil (Gamboa, 2007).

En la Figura 5-1 se observa la inter operabilidad entre los distintos estándares de conexión inalámbrica. En el exterior se tiene la conexión de la red WMAN que puede ser desde otra ciudad hasta una vivienda en el que opera WLAN.

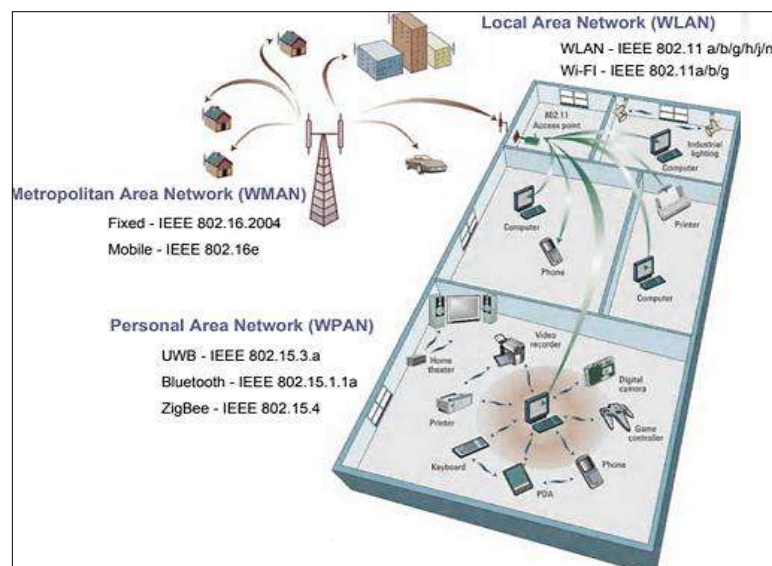


Figura 5-1: Esquema interactiva de redes inalámbricas

Fuente: (R.J, 2007)

Usualmente se confunde la tecnología Wi-Fi con WiMAX, son similares más no iguales. La primera se encarga de brindar conectividad a áreas pequeñas y la segunda para largas distancias con plataformas distintas.

1.2.5 WRAN (IEEE 802.22)

El estándar IEEE 802.22 conocido como WRAN, está destinado a lograr conexiones de banda ancha inalámbrica a larga distancia. Es una tecnología encaminada a proveer acceso de banda ancha a sitios rurales y remotos, principalmente donde el desarrollo de otra tecnología resulta muy costoso. Es el primer estándar a nivel mundial en adoptar el concepto de Radio Cognitiva (CR, Cognitive Radio) como técnica de acceso al medio, usando eficientemente el espectro radioeléctrico. Para su funcionamiento se basa en la utilización de los canales de televisión abierta que están en desuso en los fragmentos de las bandas de VHF (Very High Frequency) y UHF (Ultra High Frequency). Este estándar opera en las bandas de 54 MHz y 862 MHz mediante técnicas de detección y administración del espectro, buscando canales de televisión tanto analógicos como digitales que no estén en uso para ser utilizados (Chouinard, 2010, pp.2-11).

Los espacios en blanco de televisión (TVWS, TV White Space) o ruido blanco, hacen referencia a los canales que están libres de los canales de televisión en uso, estos canales son reservados para evitar interferencia entre canales de televisión.

En la Figura 6-1, se ilustra los elementos que conforman una red WRAN; una estación base que proporciona servicio de banda ancha a los equipos de clientes (CPE) avanzado y de suscriptor, a través de conectividad directa o conectividad *multi-hop*. Un equipo avanzado en las instalaciones de cliente (A-CPE), puede proporcionar conectividad multi-hop para los equipos de suscriptor S-CPE, permitiendo mejorar la confiabilidad de la conexión entre las A-BS y los S-CPE y reducir la sobrecarga de administración de la red de los A-BS, así como ampliar la cobertura del servicio de WRAN (IEEE Standards Association, 2015,p.2).

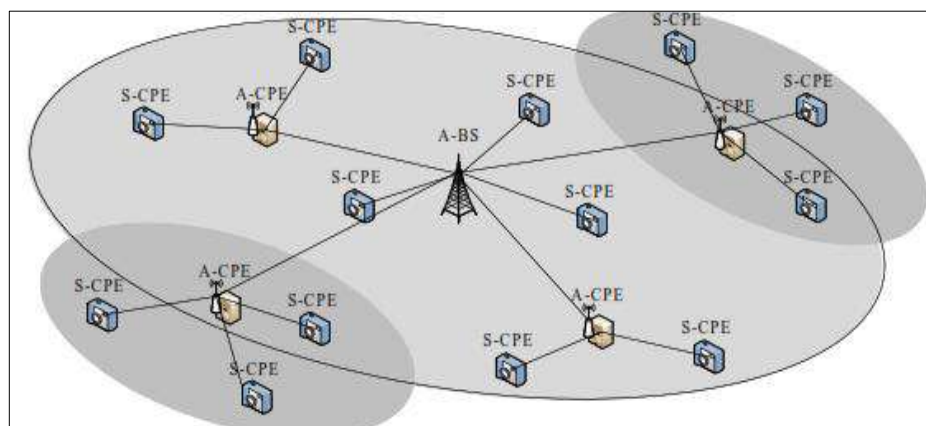


Figura 6-2: Elementos que conforman una red WRAN.

Fuente: (IEEE Standards Association, 2015)

1.2.5.1 Radio Cognitiva

Esta tecnología es la base del estándar IEEE 802.22. La radio cognitiva surge como una novedosa técnica para las comunicaciones inalámbricas con el potencial de cambiar la forma ineficiente que es utilizado actualmente el espectro radioeléctrico, por lo que las técnicas de acceso dinámico al espectro constituyen un elemento clave en la implementación de esta tecnología (Bordón López y Montejo Sánchez, 2015, p.42).

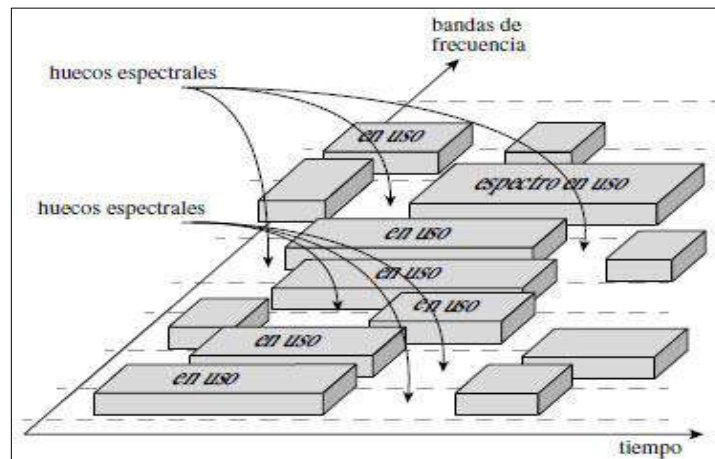


Figura 7-1: Esquema de detección de espectro de RC.

Fuente: (Pedraza, Forero y Páez, 2012)

La radio cognitiva detecta el espectro no utilizado, creando un canal de comunicación para utilizar este canal y hacerlo de tal manera que no interfiera con los dispositivos nativos, que son aquellos que tienen licencia (autorizados) para posteriormente ser utilizado, como se observa en la Figura 7-1. Los dispositivos con tecnología de RC reconocen su medio ambiente y utilizan los recursos disponibles en frecuencias y ancho de banda, independientemente de la tecnología que ofrezca y use el servicio.

Las características de radio cognitiva están basadas en la detección y gestión del espectro, la coexistencia, la geo-localización y la seguridad (Sierra, 2015, p.30).

Las características principales de un dispositivo de este tipo son:

- » **Capacidad cognitiva:** Tecnología necesaria para capturar la información de su entorno de radiofrecuencia e identificar las partes del espectro radioeléctrico que no estén siendo utilizadas.

» **Auto reconfiguración:** Tecnología necesaria para que el dispositivo pueda variar, de manera dinámica, son parámetros relacionados con la transmisión o recepción (frecuencia, potencia, modulación, codificación, etc.), de acuerdo con su entorno (Aguilar y Navarro, 2011, pp.32-33).

Los dispositivos IEEE 802.22 deben ser capaces de detectar señales de bajas relaciones señal a ruido con precisión, a continuación, se especifican los umbrales para desocupar un canal ante la presencia de las siguientes señales:

- » *Televisión Analógica (NTSC):* $-94dBm$ en el pico de la portadora.
- » *Televisión Digital:* $-116dBm$ sobre un canal de $6MHz$.
- » *Micrófonos inalámbricos:* $-107dBm$ en un ancho de banda de $200kHz$ (Aguilar y Navarro, 2011, pp.32-33).

Productos para RC autorizados por la FCC

En el mercado existe varios productos inalámbricos autorizados por la Comisión Federal de Comunicaciones (FCC, Federal Communications Commission) que utilizan radio cognitiva. Estos dispositivos presentan ciertas características y son usadas por diferentes tecnologías. La Tabla 3-1, muestra el modelo de dispositivo, fabricante, topología, banda de operación, frecuencia de operación, entre otras características que cada una presenta.

En el siguiente cuadro se tiene algunos equipos y dispositivos disponibles con características técnicas para ciertas tecnologías que hacen uso de los canales libres de televisión y radiodifusión. Se puede nombrar algunos como Wi-Fi (IEEE 802.11 af), Wi-Max (IEEE 802,16h) y Wi-Far (IEEE 802.22).

La compañía *Adaptrum* ofrece los equipos de transmisión y recepción necesarios para la ejecución de una red Wi FAR, con las especificaciones del protocolo IEEE 802.22 para poner en marcha una red física en cualquier punto rural del planeta.

Estos equipos fueron partícipes de proyectos a nivel mundial e instalados en zonas rurales de países como: Reino Unido, Puerto Rico, Malawi, Colombia, Jamaica, Kenia, India, entre otros.

Se puede encontrar varios casos de estudio en el siguiente enlace: <https://www.adaptrum.com/CaseStudy>, en donde se detalla el proceso y los resultados que se obtuvieron al realizar la implementación de WRAN como por ejemplo:

- » EEUU (Virginia, MBC está brindando cobertura a aproximadamente 1,000 hogares en dos condados).

» Namibia del Norte (MDB conectó 28 escuelas rurales con servicio de internet y servicios piloto de voz, video y datos para mejorar la educación).

Tabla 3-1: Equipos disponibles para radio cognitiva

DATOS GENERALES									
Fabricante	ADAPTRUM	6HARMONICS	CARLSON WIRELESS TECH.	CARLSON WIRELESS TECH.	KOOS TECHNICAL SERVICES	KOOS TECHNICAL SERVICES	MELD TECHNOLOGY	METRIC SYSTEM CORP	RUNCOM TECHNOLOGIES
Modelo del equipo	ACRS 2.0 BS y CPE	GWS-3000	Rural Connect BS (indoor)	Rural Connect CPE	AWR	AWR-US-U-100	MT300 Pico Broadcaster	Raptor K Part Number 50739	RNU4000BS Base Station
FCC ID	A2UACRS20F	2AASTGWS-3000	OPA-RC2-BS	OPA-RC2-CPE	ZBGAWR-1	ZBGAWR2UHF	OKVMT300	2ABCU-50739	XYMBTSTVWS-1
Clase de dispositivo	BS/CPE	BS/CPE	BS	BS/CPE	BS/CPE	BS/CPE	ATSC Station	BS	BS
Topología	P-PM	P-P P-PM	P-P P-PM	P-PM	P-PM	P-PM	P-PM	P-P P-MP P-P en cadena Mesh	P-MP
Tasa de datos agregadas UL/DL	1-16 Mbps (6MHz)	1-16 Mbps (6MHz)	1-16 Mbps (6MHz)	1-16 Mbps (6MHz)	1,5 O 3,1 Mbps	3,125 Mbps		1-6Mbps	
Latencia del sistema			100-120ms	100-120ms					
DATOS DE USO DE ERE									
Tecnología	TDD OFDM		TDD	TDD	TDD	Half-Duplex simplex		Half-Duplex SF o DF	WIMAX
Modulación	64 QAM, 16 QAM, QPSK		16 QAM, QPSK, BPSK	16 QAM, QPSK, BPSK	2 FSK, SOQPSK	SOQPSK	VSB		16 QAM, QAM, QPSK
Banda de operación	UHF	UHF	UHF	UHF	VHF	UHF	UHF	VHF/UHF	VHF/UHF/SHF
Frecuencia de operación	470 MHz - 698MHz	473 MHz - 695 MHz	470 - 698 MHz (US) 470-790MHz (ETSI)	470 - 698 MHz (US) 470-790MHz (ETSI)	173 A 213 MHz	470 MHz - 698MHz	512-596 MHz; 620-698MHz	174 MHz-216MHz 470 MHz - 599 MHz 620 - 698 MHz	470 MHz- 698 MHz 700 MHz - 750 MHz 1,6 GHz - 1,8 GHz 2,3GHz - 2,7 GHz 3,3 GHz- 3,8 GHz 4,9 GHz - 5,0 GHz 5,0 GHz - 5,15 GHz 5,7 GHz - 5,8 GHz 5,9 GHz - 6,4 GHz
Ancho de banda de canal	6,7 y 8 MHz	6 y 8 MHz	6 y 8 MHz	6 y 8 MHz	6 MHz	6 MHz			3,5 MHz, 5 MHz, 7MHz, 8,75 MHz, 10 MHz, 20 MHz
"Channel bonding"								Si	
DATOS DE RADIO-FRECUENCIA									
Potencia de transmisión (mW)	20 dBm	20 dBm	26 dBm	25 dbm	20 dBm	21 dbm	11.52 dbm	Adoptiva 28 dBm / 28.8 dBm	24 dBm p/antenna en TVWS band
Diversidad								Tx/Rx diversity MIMO	MIMO A/B STC MRC
Emisión en canales adyacente	-50 dBm								
Conexión antena externa	SMA hembra		F hembra 75 Ohms	F hembra 75 Ohms	N hembra 50 Ohms			F hembra 75 Ohms	
CARACTERÍSTICAS DEL EQUIPO									
Dimensiones, sin soporte (cm)	21.59 x 19.05 x 3.81	30.5 x 30.5 x 8.5	42.54 x 26.67 x 7.62	19.05 x 8.25 x 22.86	10.16 x 12.7 x 3.56	8.25 x 13.97 x 4.06	Variable, min. 2 racks		39 x 24 x 12
Volumen cúbico eq. (L)	1,567	1,907	8,645	3,593	0,459	0,468		0	11,232
Peso	1.66 Kg		2.72 Kg	2.49 Kg	0.4 Kg	5.44 Kg			5 Kg
Alimentación	48V DC PoE	DC PoE	100-240 VAC, 50-60 Hz	100-240 VAC, 50-60 Hz 12-24 VDC	+9 to 14 VDC	+12 to 24 VDC	DC adapter	+12 to 24 VDC	-36 to 72 VDC
Interfaz de datos/control	10/100 Ethernet					10/100 BT Ethernet	Ethernet Serial USB	10/100/100 BT Ethernet USB	2x10/100BT, Optional 1xGE and optical interface SX/LX
Soporte PoE	Si	Si		Si		Si			
Resistencia ambiente		IP67							IP66
Temperatura operación			-30 a 55 °C	-30 a 55 °C	-30 a 55 °C	-30 a 60 °C			-40 °C a 55 °C
Humedad máx operación			95%, non-condensing	95%, non-condensing	95%, non-condensing	95%, non-condensing			95%, non-condensing

Fuente: (Hernández, 2016, p.29)

1.2.5.2 Topología de una red WRAN

El estándar IEEE 802.22 especifica que la red debe operar sobre una topología *punto – multipunto* (*P-MP*), compuesta por celdas, donde cada una de estas está conformada por una Estación Base (BS), también llamados puntos de acceso (AP, Access Point) la cual gestiona un determinado número de equipos de usuarios (CPE, Customer Provided Equipment) dentro de su área de cobertura. Es importante señalar que cada BS, podrá servir hasta 512 CPEs, fijos o móviles, y cuenta con la posibilidad de aplicar mecanismos de calidad de servicio (QoS) (Hernández, 2016, p.11-12). Además de estos dos equipos, se requiere de una base de datos de ERE (Espectro Radio Eléctrico), este mantiene un mapa de utilización del ERE y provee información necesaria para autorizar o no la operación de sistema bajo ciertas especificaciones.

En la Figura 8-1 se muestra de forma esquemática de lo antedicho.

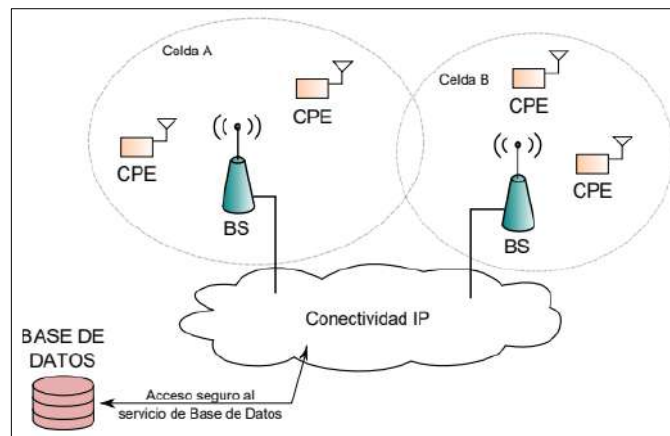


Figura 8-1: Topología red IEEE802.22

Fuente: (Hernández, 2016)

Es importante señalar que la estación base tiene el control sobre los parámetros de operación de sus suscriptores asociados. Esto significa que la interacción del sistema con la base de datos del ERE se realice entre la base de datos y la BS, como se muestra en la Figura 9-1.

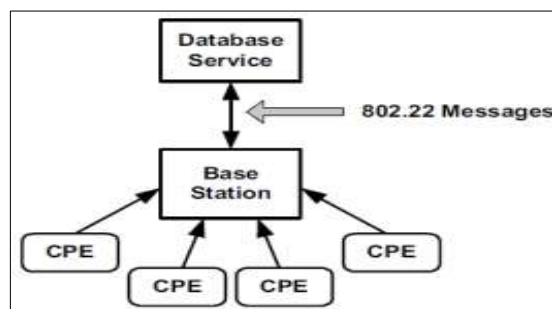


Figura 9-1: Interacción de la BS con la base de datos

Fuente: (Hernández, 2016)

1.2.5.3 Aplicaciones de WRAN

Esta tecnología fue desarrollada con la finalidad de brindar servicio de banda ancha inalámbrica en áreas rurales y países en desarrollo donde es más frecuente que exista canales de TV sin ocupar. Permitiendo a los proveedores de servicio de internet inalámbrico (WISP, Wireless Internet Service Provider) ofrecer servicio de internet con menos transmisores que los sistemas celulares convencionales, entre otras aplicaciones se tiene servicio de telemedicina, disminución de la brecha digital, monitorización de fábricas, conectividad permanente de la comunicación en caso de un desastre natural, monitoreo del medio ambiente, banda ancha para emergencia, entre otras.

Una aplicación típica puede ser la cobertura del área rural alrededor de un poblado, como se ilustra en la Figura 10-1, dentro de un radio de 10-30 km de la estación base (BS) dependiendo de su PIRE (Potencia Isotrópica Radiada Equivalente) y la altura de la antena (Gonzales, Rodríguez y Gato, 2017, pp.2-3).

De acuerdo con el Dr. Apurva N. Mody, presidente del grupo de trabajo IEEE 802.22, otras aplicaciones que tiene WRAN son: servicio de triple play, descargas para el móvil, monitoreo de infraestructura crítica, protección de borde en la red, infraestructura de emergencia para banda ancha, monitoreo del medio ambiente, servicio médico remoto (Mody, 2013, pp.19-20)

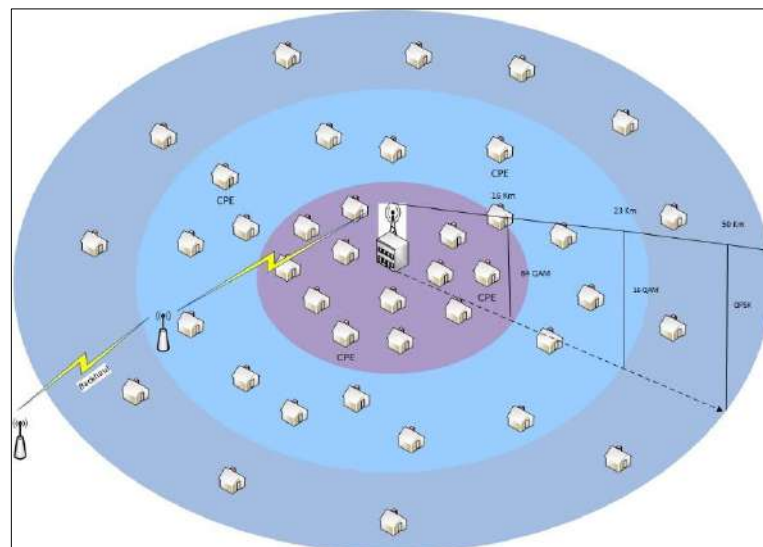


Figura 10-1: Aplicación en área rural de la tecnología WRAN

Fuente: (Sierra, 2015)

1.2.5.4 CAPA PHY

En este apartado se especifica las tecnologías básicas para la estandarización de la capa física (PHY) para los sistemas WRAN. La especificación es para un sistema que utiliza canales vacíos para proporcionar comunicación inalámbrica (Ravipati et al., 2016, p.4).

La capa Física debe brindar flexibilidad para adaptarse a cada situación en particular y en el momento exacto, por otra parte, las posibilidades de transmitir de un sistema 802.22 tanto en frecuencia como en tiempo varía de forma aleatoria. Esto quiere decir que no es posible estimar qué frecuencias estarán disponibles en cada instante ni durante cuánto tiempo (Delgado y Rodriguez, 2016, p.3).

El estándar plantea una modulación basada en la Multiplexación por División de Frecuencias Ortogonales (OFDM), por tanto, aporta robustez frente a defectos comunes de las WRANs como el desvanecimiento por trayectos múltiples y la selectividad en frecuencia. Otro aspecto a considerar son las ventajas que ofrece este esquema de modulación, como el incremento de la eficiencia durante su operación logrando transferencias de datos muy altos. En cambio, para brindar acceso a múltiples usuarios (CPEs) se propone la utilización de Acceso Múltiple por División de Frecuencias Ortogonales (OFDMA), tanto para el enlace ascendente (uplink) como para el enlace descendente (downlink). Se complementa con la utilización de varios esquemas de modulación para cada señal OFDMA como QPSK, 16-QAM y 64-QAM con relación de codificación convolucional de 1/2, 3/4 y 2/3. Todos los parámetros descritos son los que la BS deberá determinar, para cada CPE, dependiendo de las condiciones que cada usuario experimente en la recepción y transmisión de las señales debido a su posición geográfica respecto a la BS (Delgado y Rodriguez, 2016, p.3-4).

De la Parte 22: Radio Cognitivo Inalámbrico, Control de Acceso al Medio (MAC) y Especificaciones de la capa (PHY): Políticas y Procedimientos para la operación en las bandas de operación de la IEEE, especifica que dentro de la estructura OFDM para WRAN, el estándar determina ciertos parámetros respecto a la estructuración de los símbolos y posición de las subportadoras. Así, se tiene un tamaño de FFT de 1024 subportadoras, de éste se toman 192 subportadoras de guarda incluyendo la subportadora DC, 833 subportadoras son usadas para subportadoras de datos y pilotos. Existen 52 sub canales y están conformados por 16 subportadoras y 4 símbolos OFDMA: de donde se obtiene 48 subportadoras de datos y 16 posiciones piloto.

En la Tabla 4-1 se muestra los principales parámetros que estipulan el desempeño de un sistema IEEE 802.22.

Tabla 4-1: Especificaciones de la capa PHY para WRAN.

ESPECIFICACIONES DE LA CAPA PHY PARA WRAN	
Cobertura	30 km.
Banda de frecuencias	54-862 MHz
Ancho de banda por canal	6,7 o 8 MHz
Tasa de transferencia de datos	4,54 a 22,69 Mbps
Eficiencia espectral	0,76 a 3,78 bit/s/Hz
Modulación	QPSK,16-QAM, 64 QAM
Código de corrección de errores	Código convolucional
EIRP Transmitida	4 W máximo por CPE, 4 W máximo por BS.
Acceso al medio	OFDMA
Dimensión de la FFT	1024
Máximo retardo de propagación (μs)	25 a 60
Modos de Prefijo Cíclico	1/4, 1/8, 1/16, 1/32
Esquema de comunicación	TDD
Tasa de codificación	1/2, 3/4, 2/3, 5/6
Duración de símbolo(μs)	228,571

Fuente:(Delgado y Rodriguez, 2016)

Realizado por: Ocampo, Jaleni; 2019

1.2.5.5 CAPA MAC

La MAC incluye capacidades de radio cognitiva por lo que tiene que ser muy dinámico y flexible con el fin de responder rápidamente a los cambios en el entorno operativo (Cordeiro et al., 2005, p.5), impidiendo errores en la transmisión. Esta capa garantiza que no habrá interferencias con los operadores de TV y otros sistemas de la familia 802. La MAC también proporciona una compensación en retrasos ocurridos debido a larga distancia de la estación base (Sibilla y Oliveira, 2011, pp.129-136), para la correcta operación de la MAC deben implementar ciertas condiciones como: control de acceso a la red e inicialización, monitoreo y gestión del espectro.

La capa MAC se compone de dos estructuras, la supertrama y la tramas como muestra el Figura 11-1, emplea una estructura de datos organizada en supertramas las cuales a su vez están compuestas de 16 tramas cada una de 10 ms. En los encabezados de estas supertramas, la BS a través de los canales disponibles envía información que será de utilidad para todo CPE que quiera

sincronizarse con la BS a fin de establecer una comunicación. En este sentido, cuando un CPE se enciende, escaneará todo el espectro para detectar los canales libres de transmisiones de usuarios licenciados. En estos canales recibirá mediante el análisis de estos encabezados toda la información de la red que necesita para asociarse a la BS.

Por otro lado, en cada trama la BS gestionará el flujo de datos descendentes (downstream) y ascendente (upstream), intercambiando con los CPEs datos de la comunicación (payload), tareas de medición y monitoreo, procedimientos de coexistencia, entre otros.

La BS utilizará además encabezados de control de las tramas (Control Frame Headers) u otros mensajes dedicados de la capa MAC, para solicitar a los usuarios cambiar de canal ante la detección de un usuario licenciado. De igual forma, los CPEs podrán utilizar de un usuario licenciado con mensajes de alta prioridad (Urgent Co-existence Situation –UCS) u otros de más baja prioridad (Delgado y Rodriguez, 2016).

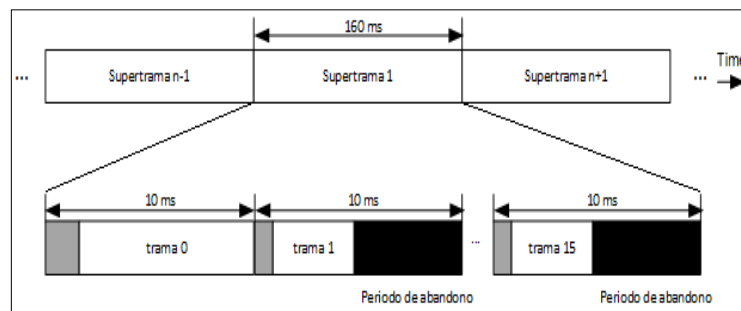


Figura 11-1: Esquema de la capa MAC intra trama

Fuente:(Apurva, 2011)

Realizado por: Ocampo, Jaleni; 2019

1.3 Conectividad a internet en áreas rurales

1.3.1 Conectividad a internet en áreas rurales a nivel mundial.

De acuerdo a una encuesta realizada en el año 2015 y publicada en la revista Time, el 73% de las personas en el mundo; aproximadamente unos 5,1 mil millones de personas no tienen acceso a internet de alta velocidad (> 1 Mbps), el 49,5% de los 7 mil millones de personas en el mundo (unos 3.5 mil millones) vive en zonas rurales sin acceso a internet.

Proporcionar acceso de banda ancha a zonas rurales de forma inalámbrica es una oportunidad significativa y de mucho beneficio, debido que instalar redes de fibra óptica y/o tecnología ADSL en zonas remotas representa un gasto considerablemente alto respecto a la baja densidad de

población y baja demanda que esto significa. La tecnología Wireless es la solución más viable económicamente.

Para Irina Bokova (2015, p. 13) Directora General de la UNESCO cita: “El mercado no ha resuelto el abismo digital entre el año 2000 y 2015, y es posible que no lo resuelva entre el 2015 y 2030 sin un nuevo enfoque”, el desafío de la conectividad y la brecha digital siguen siendo una causa de analfabetismo digital en el ámbito educativo, social, cultural y tecnológico.

En el Gráfico 1-1 que se tiene sobre índices estadísticos a nivel mundial se observa que el 78.3% de personas en países desarrollados tienen conexión a internet respecto a un 8% en países menos desarrollados datos que fueron proyectados para el año 2014 (Mody, 2016, p.22).

PMDs: Países menos desarrollados (48 países)

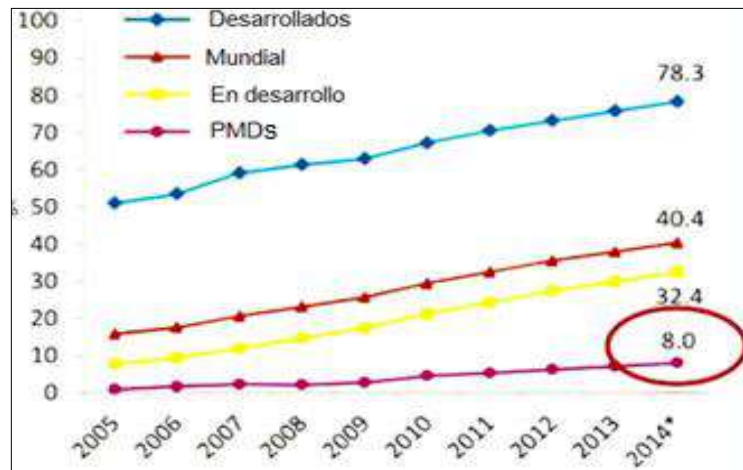


Gráfico 1-1: Conectividad a internet a nivel mundial

Fuente: ITU World Telecommunication/ICT Indicators database

1.3.2 Conectividad a internet en áreas rurales del Ecuador

De acuerdo con el diario *el telégrafo*, Ecuador tiene acceso a internet desde hace 27 años cuando Marcel Laniado de Wind (+), fundador del banco de Pacífico conoció la existencia de la red de comunicación (internet) producto de sus viajes al extranjero aportando significativamente al desarrollo digital del país. Desde 1992 Ecuador ha tenido un crecimiento significativo en lo que se refiere a conectividad a internet y tecnológico (Mite, 2017, p.1).

Hoy en día se dispone de varios ISPs (Proveedores de Servicio de Internet) como CNT, Claro, Movistar, Telconet, Punto Net, entre otras que se han impuesto en el mercado para brindar servicio de internet, pero todo esto se tiene dentro de una zona urbana donde se tiene más

infraestructura por disposición de mercado resultando más rentable ofrecer este servicio para las empresas proveedoras.

Es así que existe una clara diferencia entre el porcentaje de población con acceso a internet urbano (46,1 %) en relación a la rural (16,6 %), entre los factores que causan estas diferencias se encuentran las dificultades geográficas y la falta de rentabilidad que representa para las empresas privadas el realizar inversiones en áreas de poco poder adquisitivo (ARCOTEL, 2014, p.37).

En los datos reflejados según la Arcotel en el Gráfico 2-1 se tiene que para el año 2017 la conexión a internet en el área urbana tuvo un crecimiento de 5,3% respecto al año 2012 y para el área urbana 12,2%. La diferencia de conexión a internet entre el área urbana y rural es de 30.5% resultando ser un valor significativamente alto, a nivel nacional se observa que un 37,2 % de los hogares tienen acceso a internet.

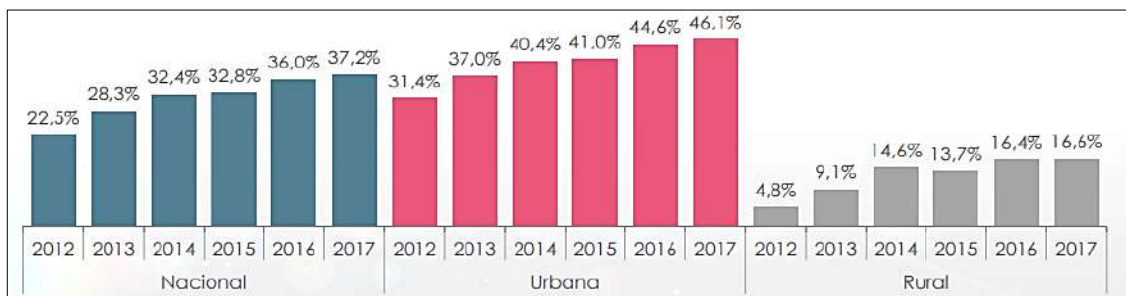


Gráfico 2-1: Acceso a internet en hogares del Ecuador.

Fuente: (ENEMDU-TIC, 2017)

En el Gráfico 3-1, se observa el porcentaje de personas que utilizan internet a nivel nacional, se puede ver que el 58,3% de la población desde los 5 años en adelante, ha utilizado internet en los últimos 12 meses. Se tiene que el área urbana utiliza el servicio el 66,9% de internet frente al 39,6% del área rural. La diferencia entre el área urbana y rural es de 27,3% que representa un porcentaje significativo respecto a la diferencia de conectividad en esta área.



Gráfico 3-1: Personas que utilizan internet

Fuente: (ENEMDU-TIC, 2017)

1.2.3 Conexión a internet en Pastaza

Las alternativas de conexión para entornos rurales en Pastaza son varias, depende de muchos factores entre los que se tiene los requerimientos de la población, el área a ser cubierta, el coste de implementación, la topología de la red, entre otros. Es por eso que la tecnología DSL no están físicamente disponibles, y si lo están la velocidad y cobertura de estas no proveen el mejor servicio, se tiene así mismo la conectividad mediante fibra óptica que, aunque mejora tanto velocidad como cobertura, es más costosa. En lugar de estas opciones de conectividad inalámbrica puede ser el costoso enlace satelital (Radicelli y Cardona, 2015, p.5).

En el año 2017, el Diario Digital Amazónico *Noti Amazonía* publicó: “la Corporación Nacional de Telecomunicaciones (CNT) instaló internet satelital en 5 parroquias fronterizas de la provincia de Pastaza con una inversión de \$97 mil dólares. La capacidad del servicio es de hasta 4 computadoras por zona con una velocidad de 2Mbps. Estas cinco parroquias son de acceso aéreo, alejadas de la ciudad, y sin medios de comunicación, tan solo de la vía fluvial o aérea”, inversión que resulta ser una gran apoyo en el ámbito de la tecnología y la comunicación (Noti Amazonía, 2017).

En la Gráfico 4-1, se observa que para el año 2017 el 50,2 % de la población de la Amazonía tiene acceso a internet según el INEC, teniendo en cuenta que es una región e incluye las provincias de Napo, Pastaza, Sucumbíos, Orellana, Zamora Chinchipe y Morona Santiago.

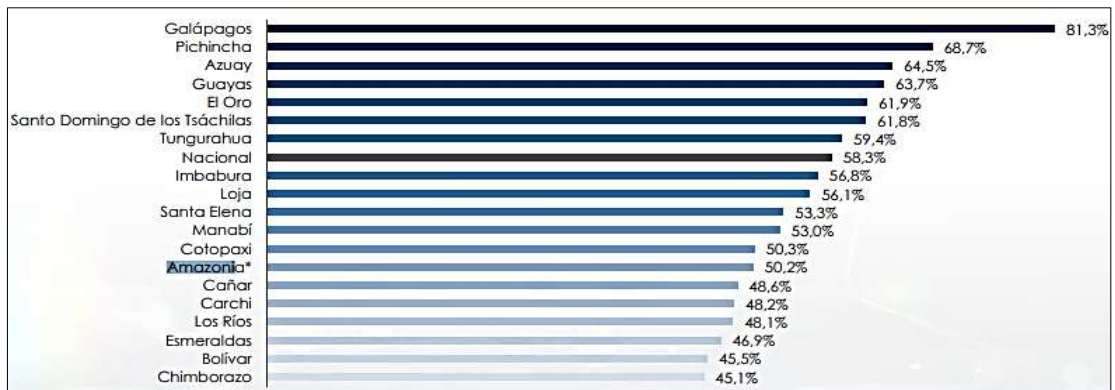


Gráfico 4-1: Porcentaje de población por provincias que usan internet

Fuente: (ENEMDU-TIC, 2017)

Para el proveedor de servicio CNT, en Pastaza existe un 33,69% de abonados que cuentan con el servicio de internet fijo y como se puede notar el único proveedor de servicio es CNT y no existe otro operador que pueda ofrecer internet, reduciendo la posibilidad de llegar a otros lugares como zonas apartadas de la ciudad, como se ilustra en el Gráfico 5-1.

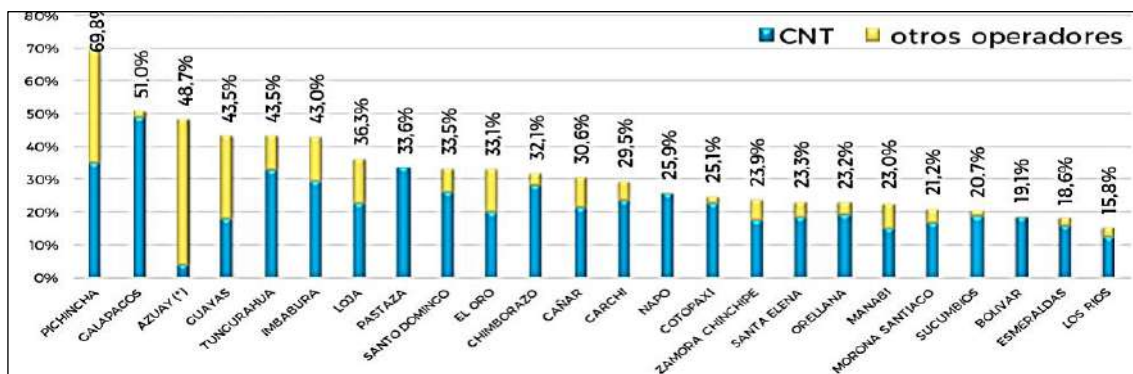


Gráfico 5-1: Densidad de servicio internet banda ancha fija por provincia.

Fuente: (CNT, 2017)

Los datos expuestos anteriormente reflejan las conexiones a internet fijo, mas no inalámbricas. En lo que respecta al área urbana no hay mucho problema porque se sabe que cuentan con internet inalámbrico por defecto, pero en las zonas rurales solo se cuenta con el servicio de datos que ofrecen operadores como Claro, Movistar, CNT que representan un costo por el servicio adquirido.

1.2.4 Interconectividad Rural en Pastaza

En las zonas rurales aisladas de países en vías de desarrollo que son el contexto vital de más de la mitad de población mundial, su casi total carencia de infraestructura de comunicación y acceso a la información es generalizada. La pretensión de brindar a estas zonas la conectividad a datos y

banda ancha ha sido en los últimos tiempos una preocupación muy alta de los agentes internacionales multilaterales de desarrollo, considerándose en algunos casos como un servicio básico (Camacho, 2011, p.11).

Se ha visto la necesidad de realizar este estudio para brindar servicio de datos en un área rural de la provincia de Pastaza por motivos de ámbito social. La población que habita en zonas alejadas y áreas rurales remotas, se enfrentan a retos sin precedentes como el cambio de la economía, contextos políticos, degradación ambiental y a presiones demográficas.

Otro aspecto importante a considerar es el hecho de que muchos niños y jóvenes de las zonas rurales no tienen acceso a internet, siendo más caótica su situación para conocer temas sobre la realidad del país debido a que no cuentan con disposición inmediata a internet, de modo que algunos se ven en la obligación y necesidad de movilizarse a zonas urbanas que cuentan con herramientas electrónicas y tecnologías de comunicación en donde pueden ilustrarse. Un mejor acceso a la comunicación e información está directamente ligado al desarrollo social y económico del país. El desarrollo participativo depende completamente de la investigación y acceso inmediato a la información.

En este proyecto se analizará la posibilidad de poder otorgar un servicio inalámbrico para un sector rural de la provincia de Pastaza mediante la tecnología WRAN, conocida como Súper Wifi, conociendo que el presidente de Microsoft, Brad Smith ha manifestado a la revista New York Times que esta es “la mejor solución para llegar al 80% de la población, que no tiene ancho de banda”. La idea es aplicar esto en 12 estados del país norteamericano, entre ellos Arizona, Kansas y Nueva York, brindando acceso a unos dos millones de estadounidenses de zonas remotas (Soto, 2017).

CAPÍTULO II

2. MARCO METODOLÓGICO

Este capítulo incluye un análisis de necesidad para determinar la aceptación que tiene el proyecto para brindar el servicio de datos en la Parroquia Teniente Hugo Ortiz. Además, está compuesto de dos partes: se desarrolló un prototipo mediante el cual se realizó pruebas de campo para analizar los parámetros de la tecnología WRAN en la zona propuesta para el estudio, este se efectuó utilizando las tarjetas USRP B210 junto al software Simulink y por otra parte se simuló en Radio Mobile para ver la factibilidad y determinar si el diseño del radio enlace es viable. Para cumplir con estos requerimientos se aplicó las metodologías necesarias para el cumplimiento de los objetivos propuestos.

2.1 Planificación de la metodología.

2.1.1 Tipo de Investigación

Los tipos de investigación seleccionados para satisfacer los requerimientos planteados son:

2.1.1.1 Según el objetivo: Investigación Aplicativa

La principal característica del estándar IEEE 802.22 es brindar el servicio de datos usando los canales libres de televisión analógica y digital y radio difusión mediante la radio cognitiva a zonas rurales con baja densidad poblacional. Al dirigirse a un sector rural con falta de servicio de internet se busca solucionar este problema mediante la posible implementación de la tecnología WRAN que está enfocado a brindar internet a zonas sin infraestructura de telecomunicaciones.

2.1.1.2 Según el nivel de profundización: Investigación Descriptiva

Se utilizó este tipo de investigación para realizar la descripción de cómo se realizó el diseño del radio enlace y el respectivo prototipo para efectuar las pruebas correspondientes y analizar la factibilidad del estándar IEEE 802.22 en campo.

2.1.2 Enfoque de Investigación

2.1.2.1 Enfoque Cuantitativo

Para determinar la cantidad de personas que están dispuesta a adoptar esta tecnología se realizó una encuesta a una muestra de la población para establecer si existe la necesidad de otorgar este servicio a la comunidad de la zona en estudio.

2.1.3 Fuente de Investigación

2.1.3.1 Investigación Primaria.

Se obtuvo información directamente de las personas entrevistadas que habitan en la zona, mediante una encuesta dirigida a la población involucrada, se analizó los datos obtenidos con parámetros estadísticos.

2.1.4 Técnica de recolección y análisis de información

Por observación directa, utilizando el prototipo diseñado para probar el comportamiento de la señal emitida respecto a los factores ambientales que presenta la zona, se obtuvo datos y la información necesaria para realizar las pruebas que determinó si el diseño del radio enlace bajo las especificaciones del estándar es factible.

2.1.5 Población y muestra.

El proyecto está dirigido a una zona específica, por esta razón fue necesario involucrar a personas en un rango de edad de 10 a 50 años, el rango se estableció considerando que son personas que estén interesadas en adquirir esta tecnología y dispuestas a colaborar con la investigación.

Se tomó en cuenta todos los datos que proyectó las pruebas de campo realizadas con el prototipo de radio enlace diseñado para realizar la tabla de resultados.

2.2 Metodología para el diseño de simulación y prototipo del radio enlace.

Para realizar el prototipo, se diseñó tanto del transmisor como del receptor del radio enlace, para esto se estableció un diagrama de bloques que presenta la estructura del sistema propuesto, en donde muestra los componentes que requirió el sistema de comunicación inalámbrica para su funcionamiento.

En la Figura 1-2, se muestran los elementos que intervinieron en el sistema de comunicación. El primer dispositivo es una computadora que se encargó de generar la señal y procesar los datos como dictamina el estándar IEEE 802.22. Luego se tiene la tarjeta USRP B210, ésta se encargó de elevar la frecuencia de banda base a pasa banda y viceversa y transmitir o recibir la señal. Por último, se contó con un poste con soporte de sujeción para la antena tipo Yagi de 551 MHz de transmisión y recepción.

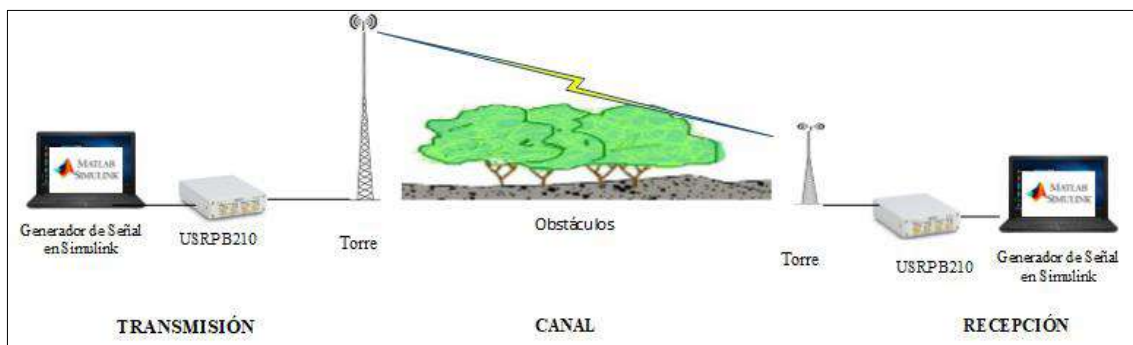


Figura 1-2: Diagrama de bloques del sistema de un prototipo con tecnología WRAN

Realizado por: Ocampo, Jaleni; 2019

En la Figura 2-2 se presenta un algoritmo que sirvió de guía para realizar la simulación del radio enlace, en el que se detalló los puntos a considerar para la planificación de un radio enlace y saber si el diseño propuesto resulta factible con las consideraciones tomadas.

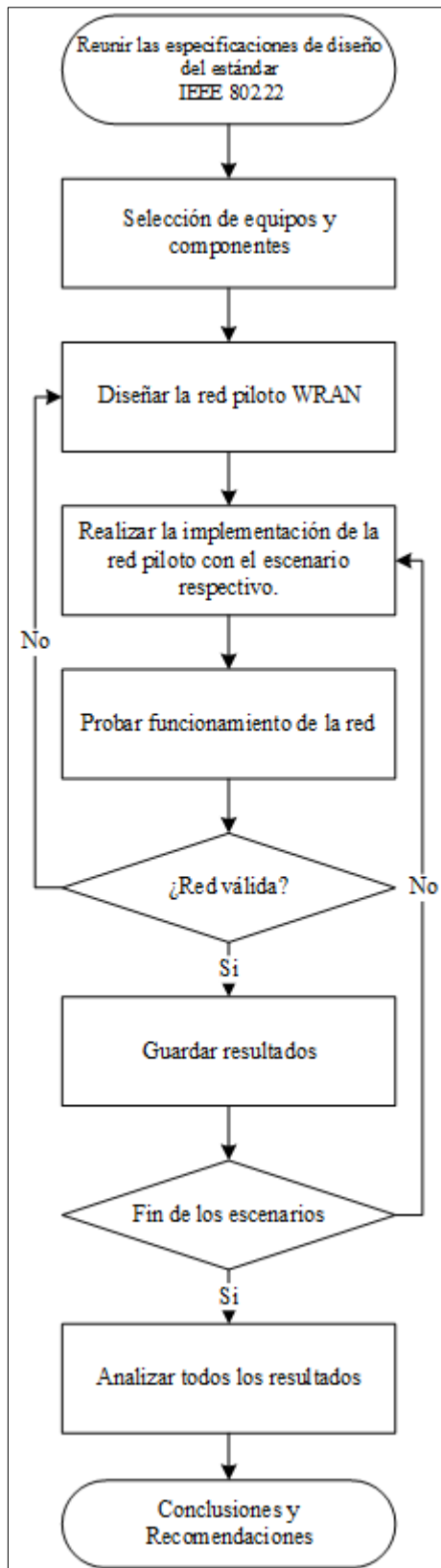


Figura 2-2: Diagrama de bloque de la planificación del radio enlace

Realizado por: Ocampo, Jaleni; 2019

Fuente: (Naula López, 2015)

2.2.1 Consideraciones para el diseño de la red de la Parroquia rural Tte. Hugo Ortiz.

En la zona que se propuso para el desarrollo del trabajo de investigación, se describe como una zona montañosa y un escenario característico para el que fue creado el estándar IEEE 802.22, debido a particularidades del terreno como la topografía, la poca tecnología implantada en el lugar y el tipo de servicio que dispone la zona rural.

Para el desarrollo de la investigación se realizó un reconocimiento de la realidad que presenta la parroquia sobre infraestructura en el ámbito de las telecomunicaciones. Se determinó que la parroquia cuenta con 11 comunidades, dentro de la cual existe dos infocentros: el primero se encuentra en el casco parroquial y cuenta con 5 computadoras y el segundo se encuentra en la Comunidad La Unión del Llandia y ésta cuenta con 10 computadoras. Este análisis evidenció que el lugar no dispone de infraestructura tecnológica disponible para todos los usuarios.

2.3 Determinación de la muestra y encuesta.

Según el INEC (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos) en el año 2010 la parroquia contaba con 1048 habitantes. Para el año 2015 según el “PLAN DE DESARROLLO Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL DE LA PARROQUIA RURAL TENIENTE HUGO ORTIZ”, residían 1187 habitantes.

2.3.1 Tamaño de la muestra

Para determinar el número de población que representó a la población total se procedió a calcular la tasa de crecimiento.

2.3.1.1 Tasa de Crecimiento

Es importante determinar la cantidad de habitantes que existen en la actualidad para saber al número de personas que se beneficiarían con el servicio.

La fórmula para el cálculo correspondiente es la siguiente:

$$P_t = P_0(1 + r)^t \text{ Ecuación 1-2}$$

Donde:

P_t : Último dato obtenido de población.

P_0 : Población inicial obtenida
 r : Tasa de crecimiento poblacional (%)
 t : Periodo en años entre P_t y P_0

Aplicando la fórmula anterior se obtiene una tasa de crecimiento de 6% anual aproximadamente.

2.3.1.2 Población proyectada.

La expresión que se requirió para calcular la población proyectada para el año 2019 es la siguiente:

$$M_i = P_t (1 + r)^n \quad \text{Ecuación 2-2}$$

Donde:

M_i : año a ser encontrado
 P_t : último dato conocido de la población.
 r : tasa de crecimiento poblacional (%)
 n : rango de años transcurridos desde $M_i - P_t$

Para el año en curso la cantidad aproximada de habitantes es de 1498 personas.

Por lo tanto, considerando a la población que asiste a un centro educativo, poseen un dispositivo móvil o un computador y utilizan internet o en su defecto acuden a los infocentros que se encuentran en las dos comunidades de la parroquia. El tamaño de la muestra se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$n = \frac{N * Z_{\alpha}^2 * p * q}{e^2 * (N - 1) + Z_{\alpha}^2 * p * q} \quad \text{Ecuación 3-2}$$

Donde:

N : tamaño de la población (1498)
 n : tamaño de la muestra
 Z : valor tabla de distribución normal a 95% de confianza
 p : probabilidad de éxito
 q : probabilidad de fracaso
 e : Tolerancia de error 6%

El tamaño de la muestra fue de aproximadamente 227 personas encuestadas con un nivel de confianza del 95% y una tolerancia de error de $\pm 6\%$.

2.3.2 Ejecución de la encuesta

La realización de la encuesta se llevó a cabo en las unidades educativas y hogares de las comunidades de la parroquia. El cuestionario realizado a las personas entrevistadas se puede ver en el **Anexo A**.

Una vez ejecutada la encuesta se procedió a realizar el análisis correspondiente de la información para el estudio de los resultados obtenidos que proyectará las necesidades del lugar respecto al acceso a internet.

Se obtuvo la siguiente información para las preguntas propuestas:

1. Datos Iniciales

a. ¿A qué comunidad de la parroquia pertenece usted? Marque con una X.

Tabla 1-2: Número de personas encuestadas parroquia Teniente Hugo Ortiz.

Comunidad	Encuestados	Porcentaje
San Pablo de Allishungo	33	14%
Llandia	11	5%
Boayacu	48	20%
Gavilán del Anzu	5	2%
San Miguel del Llandia	7	3%
La Mariscal	13	5%
Unión del Llandia	19	8%
Allishungo	5	2%
Palma Roja	8	3%
El Dorado	11	5%
Casco Parroquial	47	20%
Otros Lugares	32	13%
Total	239	100%

Realizado por: Ocampo, Jaleni; 2019

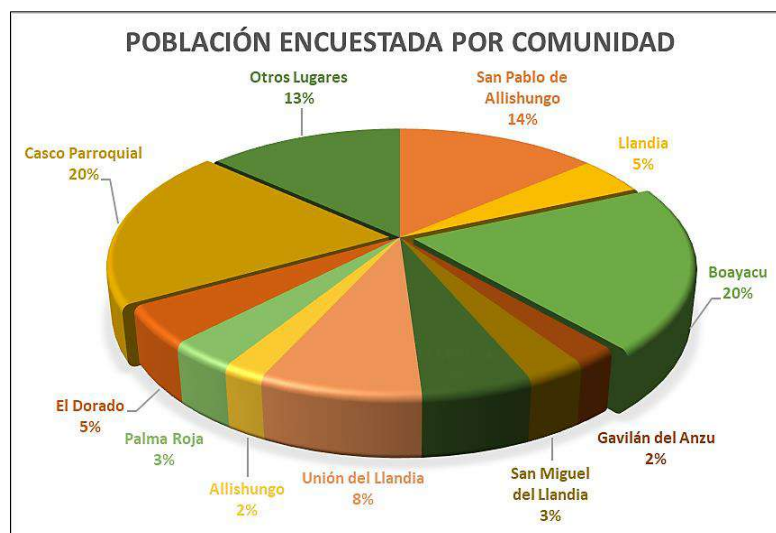


Gráfico 6-2: Porcentaje de personas encuestadas por comunidad.

Realizado por: Ocampo, Jaleni; 2019

Con relación al Gráfico 1-2, se puede observar el porcentaje de personas que fueron encuestadas en cada comunidad, es importante señalar que se encuestó a personas que estaban en la parroquia pero que no pertenecen al lugar y se las catalogó como *otros lugares*. La ilustración anterior indica que las comunidades que presentan mayor cantidad de personas encuestadas son Boayacu y el casco parroquial con el 20%, respectivamente. Las comunidades que presentan un menor número de encuestados son Allishungo y Gavilán del Anzu con el 2% cada una.

2. ¿Reside actualmente en la Parroquia Teniente Hugo Ortiz?

Con respecto a la segunda pregunta, se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 2-2: Personas que residen en Teniente Hugo Ortiz.

Opción	Encuestados	Porcentaje
Si	214	90%
No	25	10%
Total	239	100%

Realizado por: Ocampo, Jaleni; 2019



Gráfico 2-2: Población que reside en Tte. Hugo Ortiz.

Realizado por: Jalení Ocampo, 2019

Respecto a los resultados mostrados en la Gráfico 2-2, se tuvo que el 90% de las personas encuestadas residen en la parroquia Teniente Hugo Ortiz, y el 10% se traslada de otros lugares por varias razones, como laborales o educativas. Cabe destacar que más adelante se trabajó solamente con el porcentaje de personas que pertenecen a esta parroquia.

3. ¿Es necesario para usted el uso de internet?

En la siguiente pregunta se analizó la cantidad de personas que consideran importante el uso de internet.

Tabla 3-2: Personas que consideran importante el uso de internet

Opción	Encuestados	Porcentajes
Si	237	99%
No	2	1%
Total	239	100%

Realizado por: Ocampo, Jalení; 2019



Gráfico 3-2: Población que considera importante el uso de internet.

Realizado por: Ocampo, Jaleni; 2019

Del Gráfico 3-2 se pudo deducir que casi toda la muestra encuestada está de acuerdo en que internet resulta una herramienta fundamental en la actualidad y consideraron importante el uso de internet el 99% de las personas. El 1% fueron personas que manifestaron que no les interesaba el servicio, porque no disponían de ningún tipo de dispositivo con el que pudiesen acceder a internet y también tenían edades avanzadas por lo que no les llamaba la atención, comentaron.

4. ¿Con que medio accede al consumo de internet?

Una vez conseguida la cantidad de personas que usan internet, se averiguó con qué medio acceden a internet.

Tabla 4-2: Medios por el que usan internet.

Opción	Encuestados	Porcentaje
Infocentros	72	30%
Celular	102	43%
Cyber	20	8%
Ninguno	43	18%
Total	237	100%

Realizado por: Ocampo, Jaleni; 2019



Gráfico 4-2: Medios por el que usan internet las personas de Tte. Hugo Ortiz.

Realizado por: Jalení Ocampo, 2019

De acuerdo a las personas encuestadas mostradas en el Gráfico 4-2, el 43% de la muestra dijo que usa un dispositivo celular para acceder a internet, el 30% manifestó que acude a uno de los dos Infocentros con los que cuenta esta parroquia, el 18% expresó que no puede acceder a internet por ningún medio; esto se debe a que la comunidad no cuenta con servicio de cobertura celular puesto que están ubicados en lugares remotos y no resulta posible movilizarse hasta un Cyber o Infocentros, mientras que el 9% indicó que acude a un cyber; esto ocurre por parte de los estudiantes que se quedan después de las clases escolares a consultar en un centro de cómputo.

5. ¿Con que frecuencia UD utiliza el servicio de internet?

Una vez obtenido el porcentaje de personas que usan internet mediante un determinado medio, se llevó a cabo la interpretación del tiempo que ocupan.

Tabla 5-2: Frecuencia con que los usuarios ingresan a internet.

Opción	Encuestados	Porcentaje
Diariamente	92	47%
Semanalmente	95	49%
Mensualmente	7	4%
Total	194	100%

Realizado por: Ocampo, Jalení; 2019



Gráfico 5-2: Periodicidad de los usuarios para ingresar a internet.

Realizado por: Ocampo, Jaleni; 2019

De acuerdo a los datos obtenidos en el Gráfico 5-2, se dedujo que los habitantes de la parroquia acceden con mucha frecuencia a internet, el 49% afirmó navegar en internet por lo menos una vez a la semana, esto ocurre debido a que no tienen la disponibilidad de hacerlo todos los días o por no poseer recursos económicos para contratar servicio de datos en sus dispositivos, el 47% de las personas manifestaron que acceden a internet diariamente. Las personas que utilizan internet cada mes representan el 4%.

Desde este punto de vista, las personas que logran acceder a internet tienen cierto grado de dificultad para conseguir ingresar diariamente como lo hace una persona que reside en una zona urbana, sin ningún tipo de problema o complicación de cobertura u otro factor que afecte el acceso a un servicio básico, así considerado desde el año 2015 por el Código Orgánico de la Economía Social del Conocimiento, la Creatividad y la Innovación (INGENIOS), en Ecuador.

6. ¿Cuántas horas aproximadamente consume internet?

Esta pregunta depende de la respuesta anterior, respecto a lo que contestaron; se sabe cuánto tiempo permanecen las personas en internet; mensual, semanal o diariamente.

Tabla 6-2: Consumo de internet en un periodo de tiempo.

Opción	Encuestados	Porcentaje
Menos de 5 horas	145	75%
5 a 15 horas	39	20%
15 a 24 hora	10	5%
Total	194	100%

Realizado por: Ocampo, Jaleni; 2019

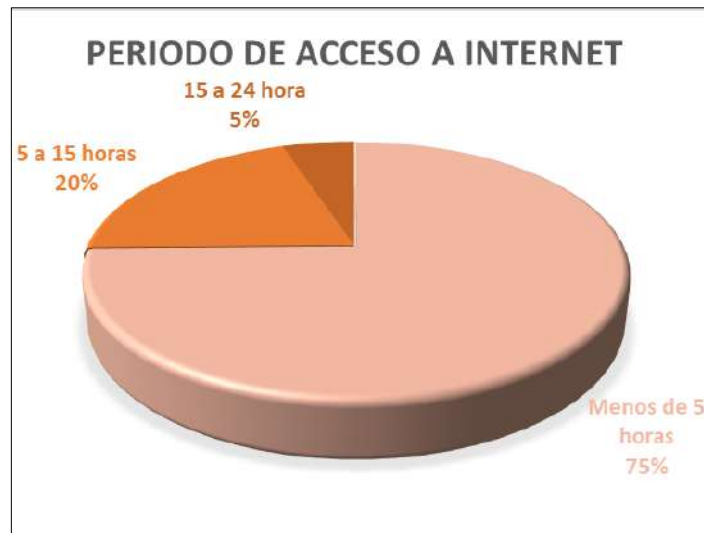


Gráfico 67-2: Porcentaje de la frecuencia que usan internet por horas.

Realizado por: Ocampo, Jaleni; 2019

Continuando con el análisis de las preguntas del cuestionario ejecutado, se observa en el Gráfico 6-2 que el 75% de la población encuestada representa a los usuarios que acceden a internet en un periodo menor a 5 horas, es la opción de menos horas, y es la opción más elegida debido a que las personas al pertenecer a un área rural deben cumplir con otras tareas durante el día como trabajos en el campo, por ejemplo. El 20% de la población encuestada manifiesta que ingresa de 5 a 15 horas a internet y un porcentaje del 5% navega en internet, de 15 a 24 horas.

7. ¿Se siente conforme con la clase de servicio que le ofrece sus actuales proveedores de acceso a internet?

Con esta pregunta se supo si las personas se sienten conformes con el servicio que reciben de los diferentes proveedores de servicio ya sea gubernamental o privadas.

Tabla 7-2: Satisfacción con respecto al servicio de internet.

Opción	Encuestados	Porcentajes
Si	143	74%
No	51	26%
Total	194	100%

Realizado por: Ocampo, Jaleni; 2019



Gráfico 7-2: Población satisfecha con el servicio de internet que disponen.

Realizado por: Ocampo, Jaleni; 2019

Este ítem tiene implícito parte de la satisfacción de los usuarios respecto a la QoS que ellos reciben, por cuánto señala la opinión que tuvieron los habitantes de la parroquia acerca del servicio de internet. Y en efecto, en el Gráfico 7-2 se puede ver que, el 74% opinó que se siente conforme con el tipo de servicio que disponen. Refiriéndose así al servicio de datos a los que pueden acceder mediante contratación a un ISP móvil. Por otro lado, un 26% opinó que no se siente satisfecho con el tipo de servicio que dispone para navegar en internet; esto se refiere a que hay muchas personas que deben movilizarse hasta los Infocentros para poder ingresar a internet y estos lugares resultan estar muy alejados de sus hogares.

8. ¿Le gustaría acceder a internet inalámbrico en la comodidad de su hogar?

Esta pregunta se formuló para tener la seguridad de que las personas estén dispuestas a acogerse a otra tecnología desde sus hogares.

Tabla 8-2: Aceptación para acceso a internet desde el hogar.

Opción	Encuestados	Porcentaje
Si	230	97%
No	7	3%
Total	237	100%

Realizado por: Ocampo, Jaleni; 2019



Gráfico 8-2: Aceptación de internet inalámbrico en el hogar.

Realizado por: Ocampo, Jaleni; 2019

Un número muy importante de personas afirmó que les gustaría tener el servicio en sus hogares y se puede apreciar en el Gráfico 8-2, en donde el 97% de personas están de dispuestas a contratar el servicio de internet para su hogar. Tan solo el 3% de personas encuestadas mostraron desinterés en obtener un servicio de internet inalámbrico en sus viviendas.

9. ¿Estaría UD de acuerdo a pagar mensualmente una de las siguientes tarifas por un servicio de internet ilimitado?

Esta pregunta se la formuló con el fin de saber si las personas interesadas estarían dispuestas en pagar por un servicio y confirmar el nivel de interés en ellas.

Tabla 9-2: Tarifas para el servicio de internet inalámbrico.

Opción	Encuestados	Porcentaje
3Mbps	124	52%
5Mbps	21	9%
10Mbps	16	7%
15Mbps	8	3%
Ninguno	68	29%
Total	237	100%

Realizado por: Ocampo, Jaleni; 2019

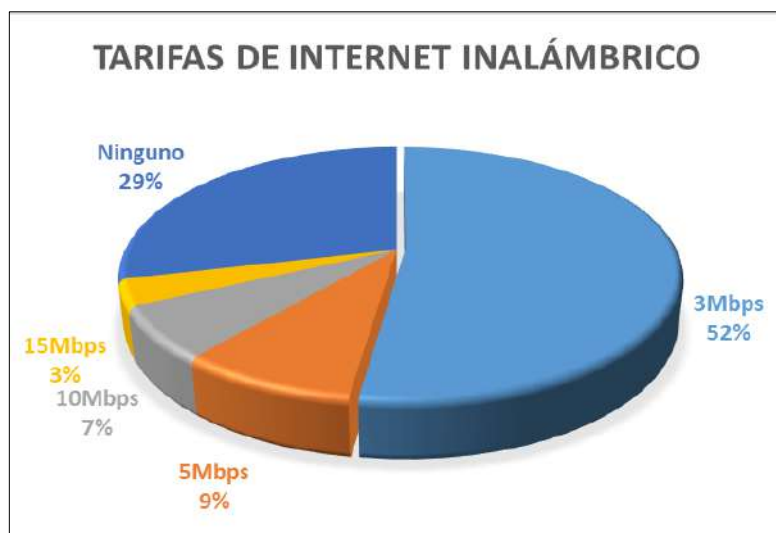


Gráfico 98-2: Rango de tarifas para internet inalámbrico.

Realizado por: Ocampo, Jaleni; 2019

En esta pregunta existen cinco opciones que dispone de diferentes ofertas de tarifas para internet. Luego de ejecutar la encuesta se concluyó según el Gráfico 9-2, que aproximadamente la mitad de las personas estuvieron dispuestas a contratar el plan de 3Mbps. Luego se tuvo que el 9 % prefiere contratar el plan de 5Mbps, el 7% prefiere contratar el plan de 10 Mbps, tan solo el 3% estuvieron dispuestas a pagar por un servicio de 15Mbps, casi la tercera parte de las personas encuestadas no estuvieron de acuerdo en pagar ningún valor por el servicio.

10.¿Está conforme con estos precios?

Por último,

Tabla 10-2: Conformidad de tarifas ofertadas.

Opción	Encuestados	Porcentaje
Si	169	71%
No	68	29%
Total	237	100%

Realizado por: Ocampo, Jaleni; 2019

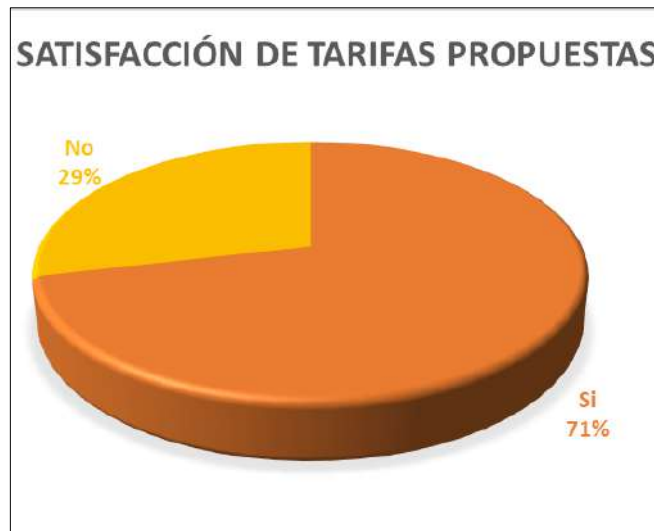


Gráfico 10-2: Porcentaje de satisfacción por tarifa propuesta

Realizado por: Ocampo, Jaleni; 2019

En el Gráfico 10-2 se tiene que básicamente un 71% de la población mencionó que está de acuerdo con las tarifas propuesta. Por el contrario, el 29% no estuvo de acuerdo, si se compara con el gráfico anterior es la misma cantidad de personas que no estuvieron de acuerdo en pagar ningún monto por el servicio.

En efecto, al llevar a cabo la encuesta y entrevistar directamente a las personas residentes en la parroquia Teniente Hugo Ortiz y en las comunidades, ayudó mucho con la socialización para conocer sobre la realidad y el interés que tuvieron las personas en adquirir un servicio básico y que no han podido acceder por la falta de infraestructura para brindar servicio de internet en estos lugares, una de las formas que se puede dar una solución es implantando la tecnología WRAN que ofrece múltiples beneficios como la optimización del espectro radioeléctrico, transmisión de señal sin línea de vista y baja inversión en la implementación

2.4 Estudio Técnico

En este apartado se realizó un estudio técnico para realizar el presupuesto de enlace necesario para llevar a cabo la implementación de un prototipo considerando los requerimientos del estándar y tomando en cuenta los parámetros que presenta esta zona como: el clima, el tipo de terreno, problemas atmosféricos, entre otros.

2.4.1 Selección de los puntos de inatación para la BS y CPEs

Se eligió los puntos de los extremos del radio enlace mediante la geolocalización, parte fundamental de la radio cognitiva, tecnología característica de WRAN, este sistema se rige en la geolocalización y sensado constante del espectro radioeléctrico. Para este fin se creó una base de datos local con la ayuda de Google Earth en donde se registró la geolocalización de la estación base y los CPEs de la red. El registro de la BS se tiene en la Tabla 11-2.

Tabla 11-2: Base de datos del registro de una estación base

	Id_BS	Nombre BS	Latitud	Longitud	Altura	Haga clic para agregar
+	1	BS Teniente Hugo Ortiz	-1,371965	-77,9536	1050	

Realizado por: Ocampo, Jaleni; 2019.

El registro de los suscriptores se puede ver en la Tabla 12-2

Tabla 12-2: Base de datos del registro de los CPEs

	Id_CPE	Nombre	Latitud	Longitud	Altura	Haga clic para agregar
+	1	CPE Alishungo	-1,380083	-77,94625	1081,3	
+	2	CPE La Florida	-1,380832	-77,96804	1061	
+	3	CPE Casco Parroquial	-1,373069	-77,95351	1038,8	
+	4	CPE Palma Roja	-1,356959	-77,93908	1057,4	
+	5	CPE Palma Roja	-1,356959	-77,93908	1057,4	
+	6	CPE San Miguel del Llandia	-1,36083	-77,9599	1039,1	
+	7	CPE San Pablo de Allishungo	-1,356766	-77,93189	1048,6	
+	8	CPE Allishungo	-1,377242	-77,948	1060	
+	9	CPE Mariscal Sucre	-1,364733	-77,94665	1055,2	
+	10	CPE Llandia	-1,346015	-77,96729	1062,5	
+	11	CPE La Unión	-1,339735	-77,97027	1077,9	
+	12	CPE Boayacu	-1,334185	-77,97059	1104,9	

Realizado por: Ocampo, Jaleni; 2019.

2.4.2 Selección de la frecuencia de operación.

Para la selección de la frecuencia de operación se creó una base de datos local en donde se tiene los canales de operación para la provincia de Pastaza; posteriormente realizó el sensado del espectro radioeléctrico para determinar las frecuencias disponibles.

En la Tabla 13-2 se tiene los canales atribuidos para la provincia.

Tabla 13-2: Rango de frecuencias en la provincia de Pastaza

Rango ERE Pastaza						
Id_Rango	Canal	Frecuencia Inic	Frecuencia f	Frecuencia I	Banda	
1	2	54	57	60	VHF	
2	4	66	69	72	VHF	
3	5	76	79	82	VHF	
4	7	174	177	180	VHF	
5	9	186	189	192	VHF	
6	11	198	201	204	VHF	
7	13	210	213	216	UHF	
8	19	500	503	506	UHF	
9	21	512	515	518	UHF	
10	23	536	539	542	UHF	
11	25	536	539	542	UHF	
12	27	548	551	554	UHF	
13	29	560	563	569	UHF	
14	31	572	575	578	UHF	
15	33	596	599	602	UHF	
16	35	596	599	602	UHF	
17	39	620	623	626	UHF	
18	41	632	635	639	UHF	
19	43	644	647	650	UHF	
20	45	656	659	662	UHF	
21	47	672	675	678	UHF	
22	49	680	683	686	UHF	
*	(Nuevo)					

Realizado por: Ocampo, Jalení; 2019

2.4.2.1 Sensado

El siguiente requerimiento de WRAN es el sensado del ERE, en donde se observó el espectro de RF para determinar qué canal de televisión estuvo disponible. Para lo cual se realizó un sistema de sensado diseñado en Simulink junto con una tarjeta USRP B-210. El esquema se puede observar en la Figura 3-2.

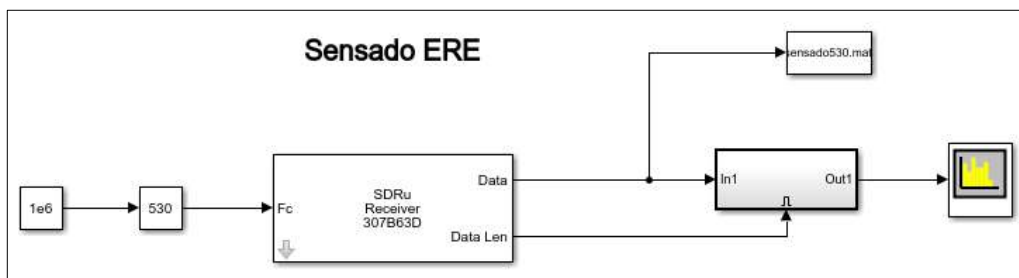


Figura 3-2: Diseño del diagrama para el sensado radioléctrico

Realizado por: Ocampo, Jalení; 2019

El resultado del sensado realizado se tiene en la Figura 4-2, en donde se pudo observar que uno de los canales libres era 551 MHz, con la que se procederá a realizar los cálculos necesarios para el estudio técnico del radio.

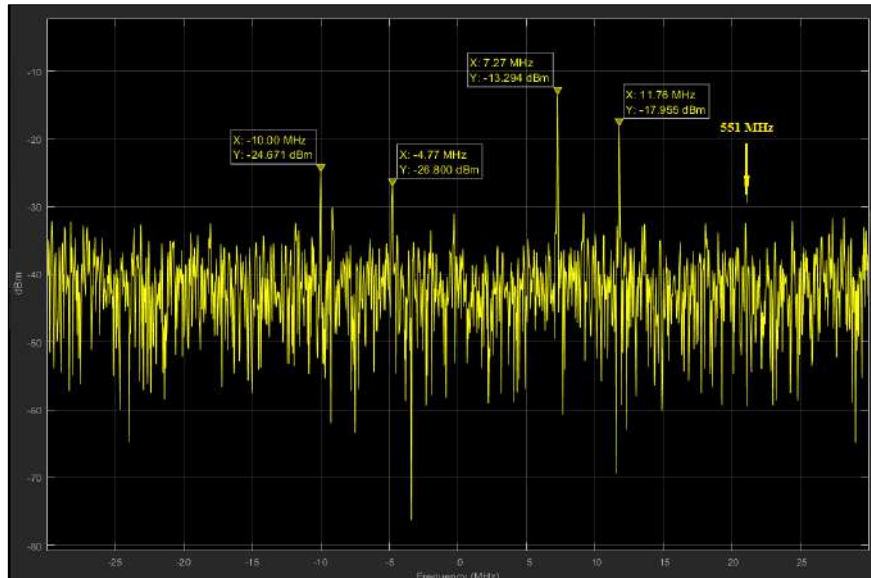


Figura 4-2: Sendado del espectro de 500 -560 MHz

Realizado por: Ocampo, Jaleni; ,2019

Respecto a la base de datos generada se observa en la Tabla 14-2 que el canal que se encuentra libre después del sensado no está ocupado dentro de la provincia.

Tabla 15-2: Base de datos para el gestor del ERE

Gestor ERE		
Id_ERE	Frecuencia	Estado
1	57	Ocupado
2	69	Ocupado
3	79	Ocupado
4	177	Ocupado
5	189	Ocupado
6	201	Ocupado
7	213	Ocupado
8	503	Disponible
9	515	Ocupado
10	539	Ocupado
11	539	Disponible
12	551	Disponible
13	563	Disponible
14	575	Disponible
15	599	Disponible
16	599	Disponible
17	623	Disponible
18	635	Disponible
19	647	Disponible
20	659	Disponible
21	675	Disponible
22	683	Disponible

Realizado por: Ocampo, Jaleni; 2019

2.4.3 Diseño de antenas transmisora y receptora.

Para evaluar el desarrollo del prototipo se diseñó dos antenas tipo Yagi con el software MMANA-GAL, herramienta que ayudó en la construcción de las antenas que están basadas en el método del momento según los creadores del algoritmo (Mori, Schewelew y Gontcharenko, 2012). El diseño de las antenas que fueron las mismas para el transmisor y receptor estuvieron constituidas por 9 elementos y con una ganancia de 4,55 dBi. En la Figura 5-2 se muestra un modelo del diseño de la antena a utilizar.

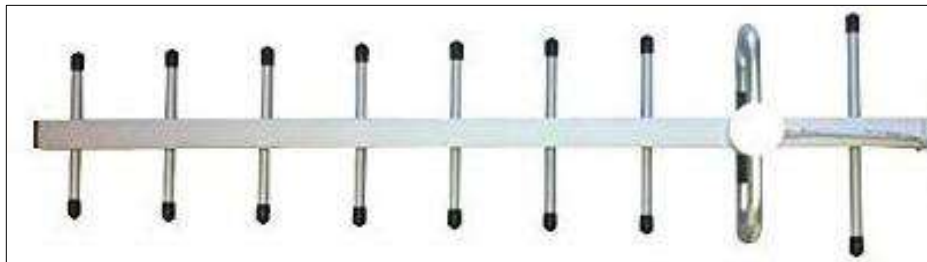


Figura 5-2: Modelo antena Yagi a 551 MHz

Fuente: <https://www.amazon.es>

Las antenas Yagi presentan varias características a considerar para un enlace punto a punto como: ganancia y directividad, construcción sencilla y económica, entre otras ventajas, por lo que se consideró este modelo para realizar las pruebas de campo. En la Figura 6-2, se muestra el diagrama del lóbulo de radiación que tiene la antena que se usó en las pruebas.

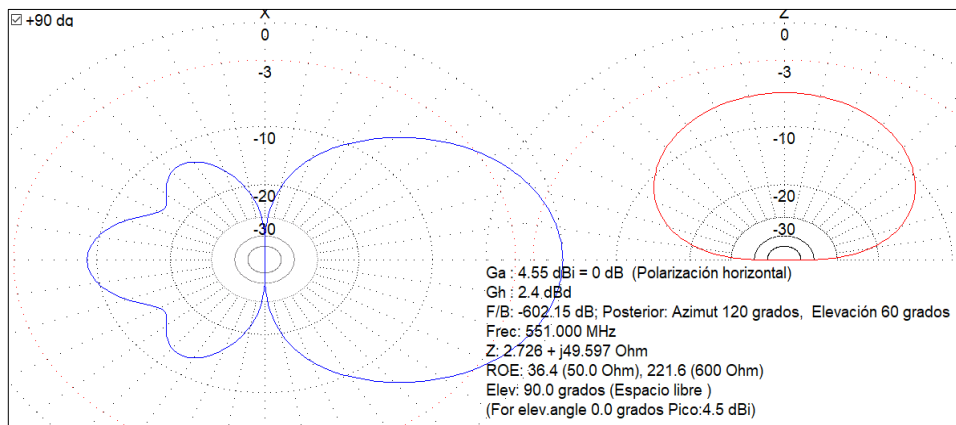


Figura 6-2: Lóbulo de radiación de la antena.

Fuente: Software Mmana-Gal.

2.4.4 Presupuesto de enlace para la simulación de la red.

Para realizar la simulación del radio enlace, se consideró ciertos parámetros técnicos que son necesarios especificar para lograr una simulación con valores aproximados a los reales.

Las distancias entre las comunidades no sobrepasaron los 4,6 km. Por lo que se consideró colocar una estación base en el centro poblado de la parroquia y un CPEs ubicado en cada una de las comunidades.

El esquema que se seguirá se muestra en la Figura 7-2.

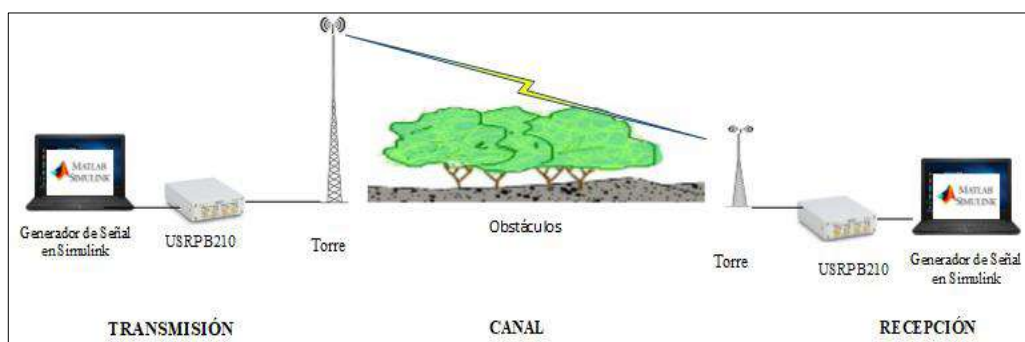


Figura 7-2: Esquema de conexión para tecnología WRAN

Realizado por: Ocampo, Jaleni; 2019.

Para realizar los cálculos y establecer el presupuesto del enlace se dispuso de parámetros iniciales, como la frecuencia sensada para canalizar la señal de datos, la potencia del equipo de transmisión, las ganancias de las antenas, y las pérdidas en los conectores, los valores de los parámetros indicados se tienen en la siguiente Tabla 15-2.

Tabla 15-2: Datos iniciales para el cálculo del presupuesto del enlace.

Datos iniciales de elementos	
Frecuencia de Operación	551 MHz
Potencia máxima alcanzada por USRP	50 dBm
Ganancia Tx y Rx	4,55 dBi
Sensibilidad USRP	-76dBm
Atenuación coaxial RG-58	0,39dB/m
Pérdida en conectores	0,09 dB

Realizado por: Ocampo, Jaleni; 2019

2.4.4.1 Pérdidas en conectores.

En el transmisor y receptor se tuvo cuatro conectores tipo SMA-SMA macho para cable coaxial RG-58, conectados entre la USRP y la antena; cada uno tiene una pérdida de 0,09 dB, por lo que:

$$L_{C_T} = L_{C_{Tx}} + L_{C_{Rx}} \quad \text{Ecuación 4-2}$$

Donde:

L_{C_T} : Pérdida total en conectores.

$L_{C_{Tx}}$: Pérdida de conectores en transmisión.

$L_{C_{Rx}}$: Pérdida de conectores en recepción.

Como resultado se tiene que la pérdida total que representan los conectores en el sistema de comunicación es de 0,36 dB.

2.4.4.2 Pérdidas en el cable coaxial.

Se utilizó cable coaxial tipo RG-58 de 50 Ω , la pérdida que presenta el conductor es de 0,39 dB/m, ver **Anexo B**. La cantidad de cable que se utilizó es de 10 m, por esta razón la pérdida del cable fue de:

$$L_C = \frac{0,39 \text{ dB}}{m} * 10m \quad \text{Ecuación 5-2}$$

Con respecto a la atenuación que presentó el cable coaxial en el enlace es de 3,9 dB.

2.4.4.3 Pérdida de trayectoria en el espacio libre

Por otra parte, para predecir las pérdidas de propagación que se produjo al irradiarse la onda por el espacio libre y en línea recta, sin tomar en cuenta las pérdidas de absorción y reflexión.

Se utiliza la siguiente fórmula.

$$L_p = 32,4 + 20 \log(f_{MHz}) + 20 \log(d_{km}) \quad \text{Ecuación 6-2}$$

Donde:

f : frecuencia de operación en MHz

d : distancia en el transmisor y receptor en km.

El valor de la frecuencia de operación es de 551 MHz, se consideró la distancia mas lejana entre la BS y el terminal La Unión que fue de 4,6 Km. De modo que la pérdida que presenta la trayectoria para el peor de los casos, es de 100,48 dB.

2.4.4.4 Pérdidas causadas por el margen de desvanecimiento.

Se tomó en cuenta el margen de desvanecimiento para calcular el límite del nivel máximo de pérdidas que presenta la transmisión a causa de los fenómenos atmosféricos como la lluvia y tormentas eléctricas, además del tipo de terreno del área a cubrir. Este valor se obtiene mediante la Ecuación 6-2.

$$Fm_{(dB)} = 30 \log(d) + 10 \log(6ABf) - 10 \log(1 - R) - 70 \quad \text{Ecuación 6-2}$$

En la Tabla 16-2 se puede observar las variables a considerar de la ecuación antes escrita.

Tabla 16-2: Composición y valores del margen de desvanecimiento.

Término	Pondera	Factores	Valores
	La		
* 30 log d	diversidad modal	d Distancia	La distancia visual entre antenas en km
		A Factor de rugosidad	4= espejos de agua, ríos muy anchos, etc 3= sembrados densos, pastizales, arenales 2= bosques (la propagación va por encima) 1= terreno normal
* 10log(6ABf)	El entorno de propagación	B Factor climático	1= áreas marinas o con condiciones de peor mes, anualizados 0,5 =áreas tropicales calientes y húmedas. 0,25=áreas mediterráneas de clima normal 0,125= áreas montañosas de clima seco y fresco
		f frecuencia	la frecuencia especificada en GHz.
10log(1-R)	El objetivo de confiabilidad	R Confiabilidad	La confiabilidad esperada o convenida, como un decimal (0,9999)

Fuente: (Reátegui, 2010, pp. 56-57)

Donde los valores que se tomó para el reemplazo de las variables de la ecuación son: distancia entre las antenas: 4,6 km, el factor de rugosidad es 2; por tratarse de una zona boscosa, el factor climático se toma el valor de 0.125; destinada para zonas montañosas, la frecuencia de operación fue de 0,551 GHz y la confiabilidad que se dio al sistema es de 0,9999.

De manera que el resultado que se obtiene según los factores que presenta la zona de análisis es de 0,414 dB.

2.4.4.5 Potencia en Recepción.

Se calculó la potencia que presenta el enlace en recepción y saber si la sensibilidad del equipo receptor es suficiente para que la señal llegue hasta éste.

$$P_{Rx} = P_{Tx} - L_{CT} - L_c - L_p - F_m + G_{Tx} + G_{Rx} \quad \text{Ecuación 7-2}$$

Donde:

P_{Tx} : Potencia de transmisión.

L_{CT} : Pérdida total en conectores.

L_c : Pérdida en el cable coaxial

L_p : Pérdida de trayectoria en el espacio libre

F_m : Pérdidas causadas por el margen de desvanecimiento.

G_{Tx} : Ganancia de la antena de transmisión

G_{Rx} : Ganancia de la antena de recepción

$$P_{Rx} = 50dB - 0,36 dB - 3,9 dB - 108.5dB - 0.414dB + 4.55 dBi + 4.55dBi$$

$$P_{Rx} = -54.074 dB$$

La sensibilidad de la USRP B-210 fue de -76dB, y la potencia de recepción del cálculo de potencia fue de 54,074 dBm. Por lo que se determinó que el equipo transmisor pudo ser usado para la implementación.

2.5 Simulación de cobertura de la red WRAN.

Para analizar la cobertura del radio enlace se realizó una simulación que se llevó a cabo en el software Radio Mobile, que permitió tener una predicción ideal del rendimiento de red y la calidad del radioenlace.

Radio Mobile es una herramienta gratuita de simulación muy utilizada con la que se puede analizar y comprobar el funcionamiento de un sistema de comunicaciones, por otra parte, permite verificar la factibilidad de transmisión de diversos sistemas de radio enlace y redes a diseñar. Opera en el rango de 20 MHz a 20 GHz con mapas en tres dimensiones de las áreas en las que se realiza la simulación. La performance de los elementos transmisores y receptores puede ser especificada mediante parámetros de sensibilidad, potencia, ganancia, parámetros de antena, y otras especificaciones que se requiera (Díaz Rodríguez, 2017, pp. 68-70).

2.5.1 Configuración parámetro iniciales en Radio Mobile

Los parámetros iniciales que se configuró se presenta en la Figura 8-2, se observa el ancho de banda, los modos estadísticos fijados y clima seleccionado.

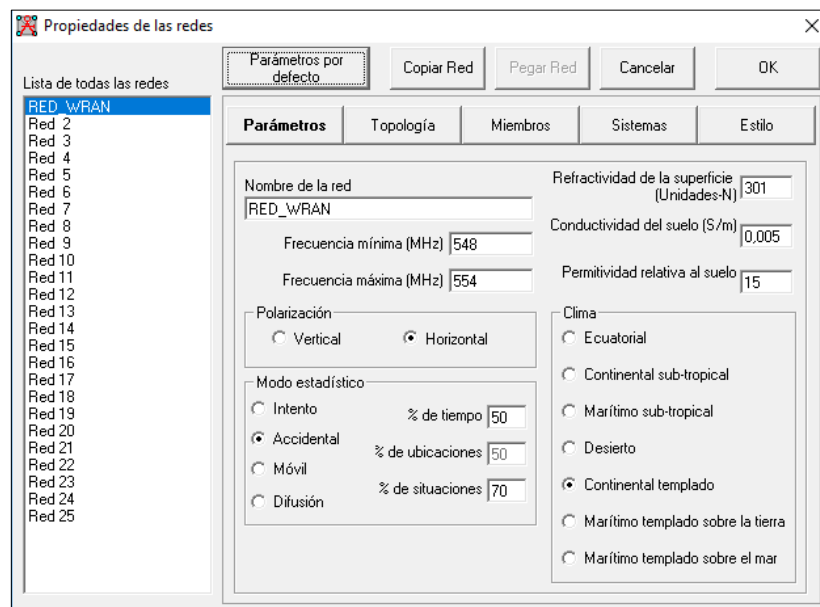


Figura 8-2: Parámetros iniciales del radio enlace

Realizado por: Ocampo, Jalení; 2019

En la siguiente configuración se tomó en cuenta la topología que se eligió respecto a lo que se requiere para la radio, en la Figura 9-2 se observa las configuraciones realizadas.

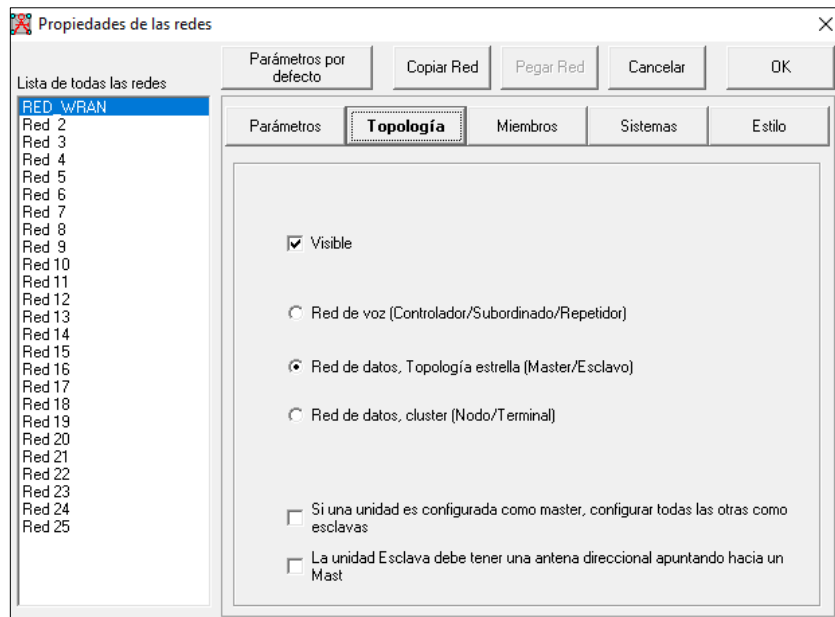


Figura 9-2: Configuración de la topología

Realizado por: Ocampo, Jalení; 2019

En la Figura 10-2, se fijó las unidades que formaron parte de la red, cada CPE corresponde a una comunidad de la Parroquia Teniente Hugo Ortiz, se consideró una altura de 15 m para la estación base y de 5 m para los usuarios.

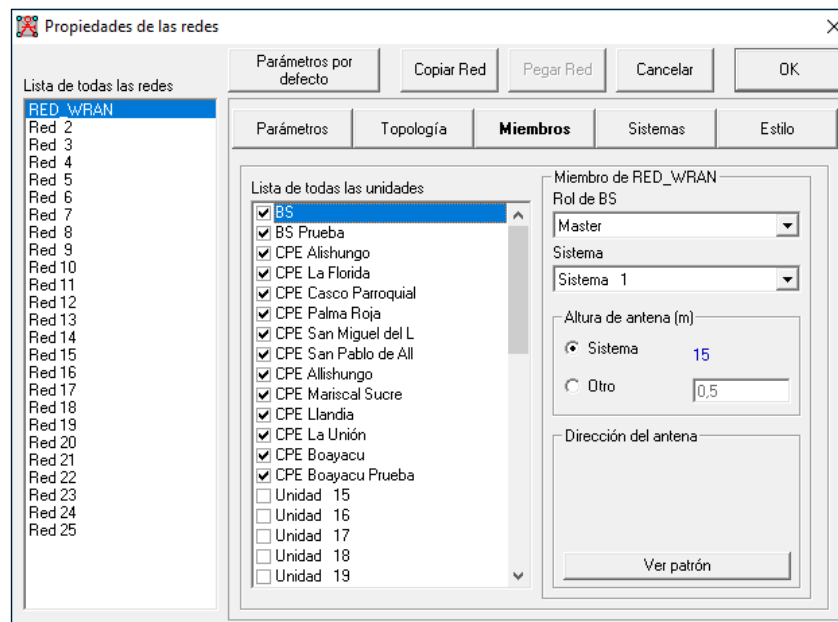


Figura 10-2: Unidades que conforman la red WRRAN

Realizado por: Ocampo, Jalení; 2019

Para las propiedades del sistema, se fijó valores en las variables requeridas que previamente se calculó en el apartado anterior, se usó una antena omnidireccional, mas no para la práctica. En la Figura 11-2 se observan los valores propuestos para la simulación.

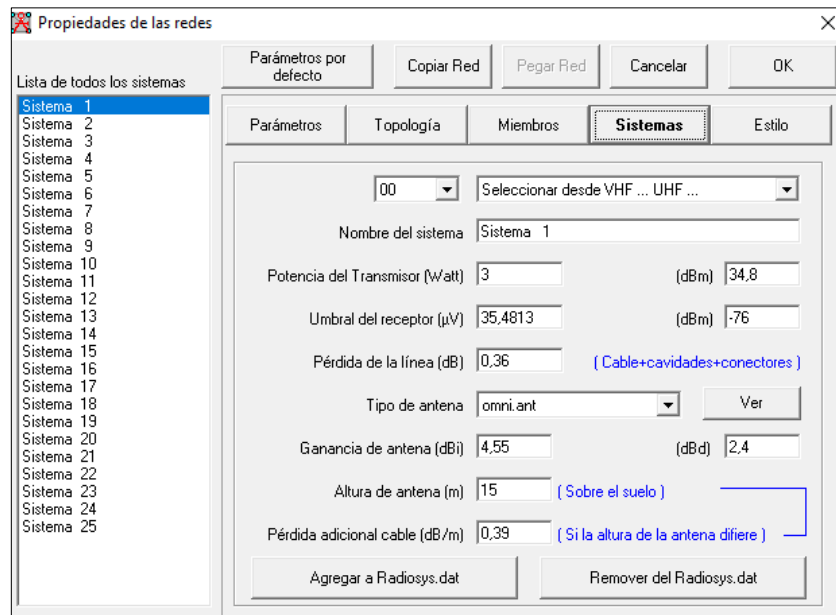


Figura 11-2: Parámetros de los elementos de la red Teniente Hugo Ortiz.

Realizado por: Ocampo, Jaleni; 2019.

Una vez que se definió los valores requeridos para la simulación del enlace en Radio Mobile, se obtiene el patrón de radiación general para el sistema, en la Figura 12-2, se muestra la cobertura que tiene el radio para todas los CPEs especificados.

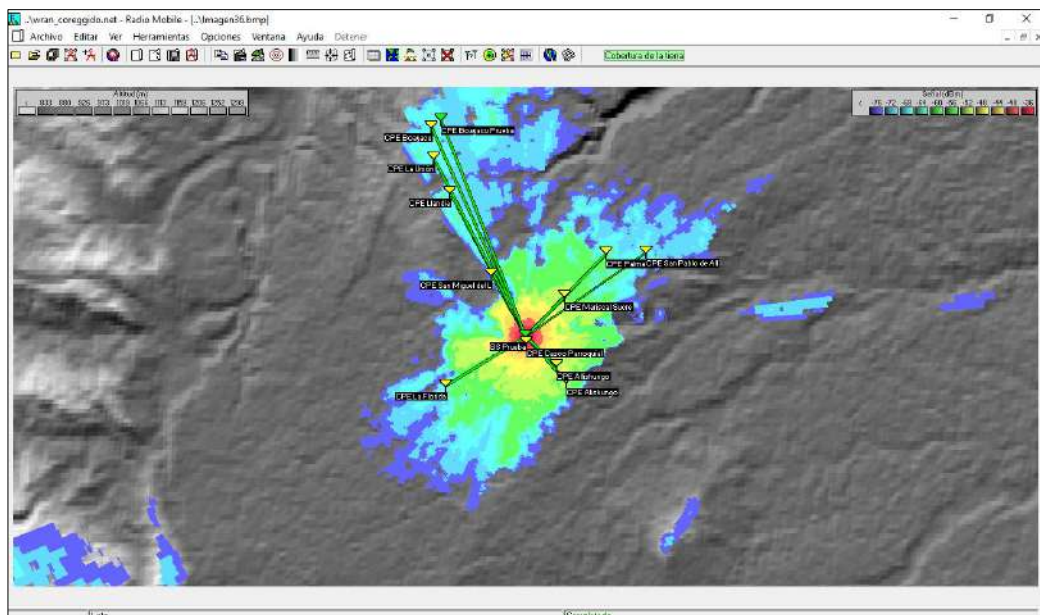


Figura 12-2: Cobertura de la red WRAN en la Parroquia Teniente Hugo Ortiz

Realizado por: Ocampo, Jaleni; 2019

2.5.2 Perfil del enlace, resultados radioeléctricos y cobertura obtenida

En el botón *Enlace de radio*, se obtiene una perspectiva del perfil del enlace generado. Se observan los resultados que cada conexión BS-CPE presenta; como las generadas por la propagación en el espacio libre, pérdidas por obstrucción del terreno, pérdidas por vegetación para entornos rurales, además el nivel de campo recibido y el margen con respecto al umbral que éste presenta.

También se evidenció la cobertura que cada CPE presenta respecto a la estación base. A continuación, se detalla la simulación que corresponde a cada comunidad.

2.5.2.1 Enlace Estación Base – CPE La Florida

La cobertura que resulta de la simulación para el CPE La Florida fue buena debido a que la radiación que tuvo la antena fue suficiente para llegar a esta comunidad, ver en la Figura 13-2.

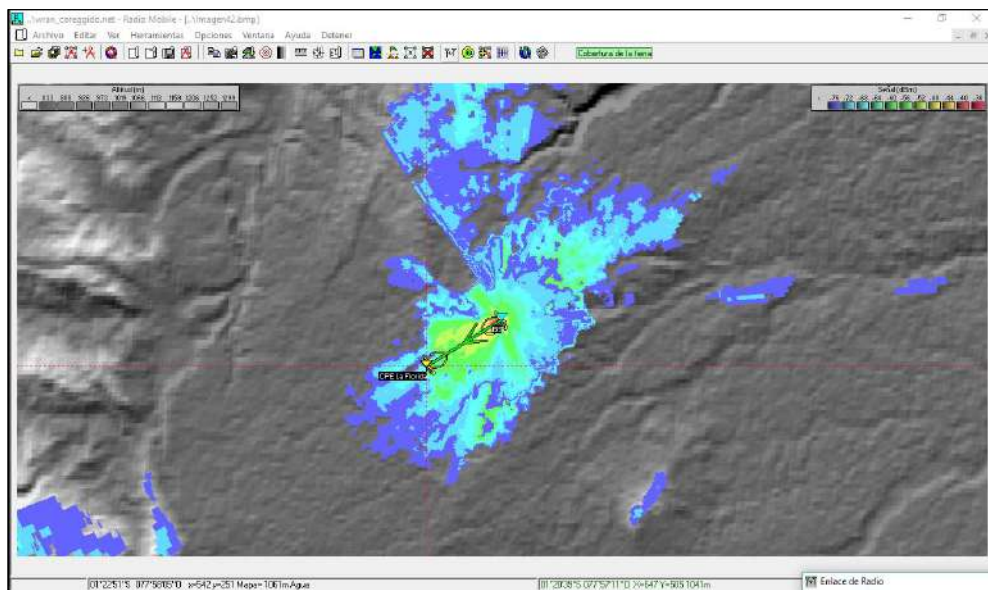


Figura 13-2: Cobertura BS-CPE La Florida

Realizado por: Ocampo, Jaleni; 2019

En la Figura 14-2, se muestra el perfil topográfico y los resultados radioeléctricos de propagación de la simulación. Para el CPE La Florida se obtuvo una línea de vista considerable y los demás parámetros del enlace, aceptables.

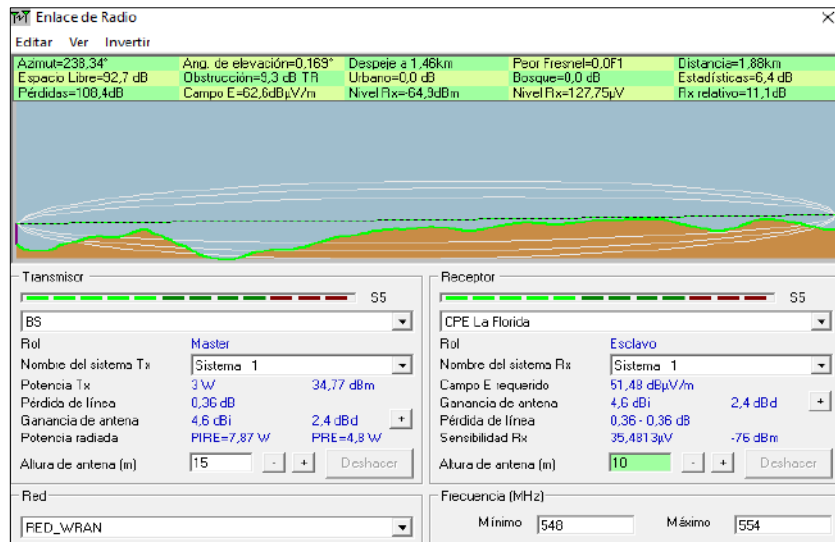


Figura 14-2: Enlace de radio desde BS – CPE La Florida

Realizado por: Ocampo, Jaleni; 2019

2.5.2.2 Enlace Estación Base – CPE Casco Parroquial

Del mismo modo se obtuvo la cobertura desde la estación base al CPE Casco Parroquial, en esta zona se colocó la antena transmisora, por lo tanto, presenta buen alcance como muestra la Figura 15-2.

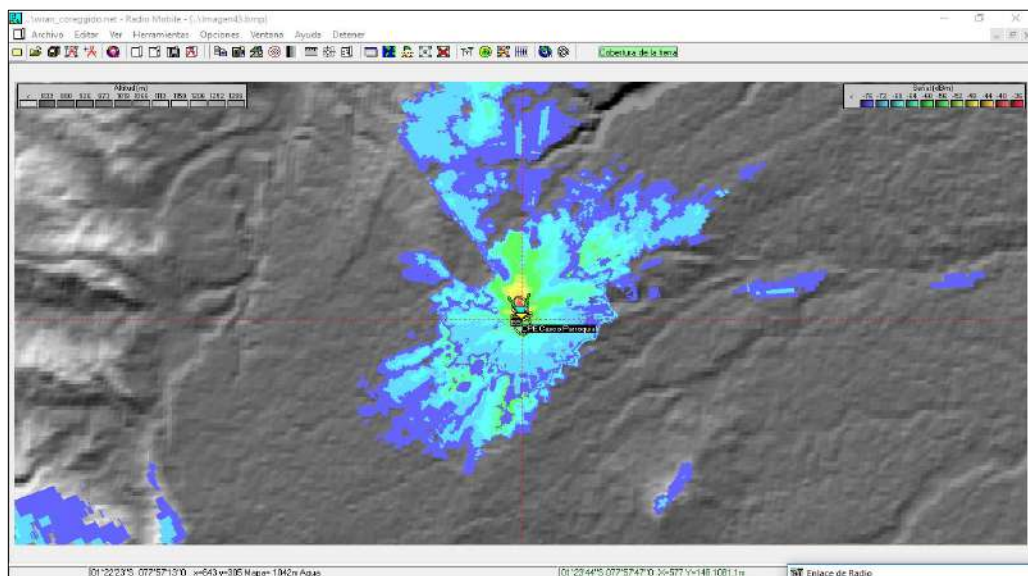


Figura 15-2: Cobertura BS-CPE Casco Parroquial

Realizado por: Ocampo, Jaleni; 2019

En lo que respecta al perfil topográfico y parámetros radioeléctricos los valores que resultaron fueron eficaces para este enlace, las características que presentó el enlace se pueden ver en la Figura 16-2.

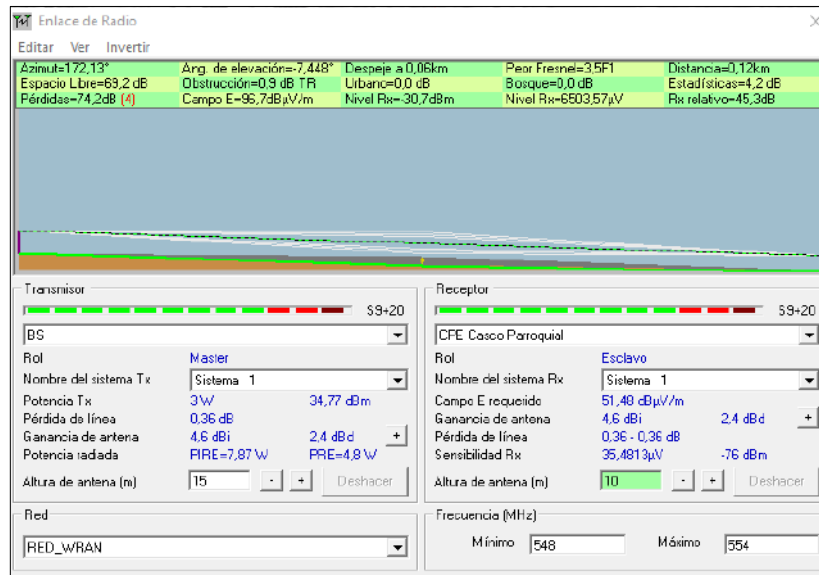


Figura 16-2: Enlace Estación Base – CPE Casco Parroquial

Realizado por: Ocampo, Jalení; 2019

2.5.2.3 Enlace Estación Base – CPE Alishungo

De la misma manera se realizó el análisis de cobertura para la comunidad de Alishungo, en la Figura 17-2 se tiene el patrón de radiación de este enlace.

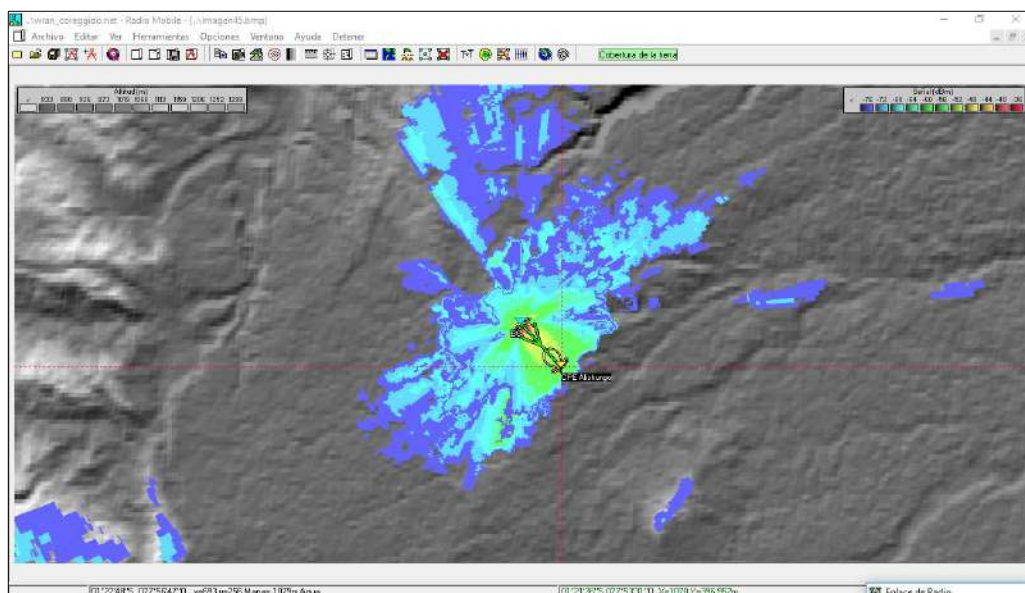


Figura 17-2: Cobertura BS-CPE Alishungo

Realizado por: Ocampo, Jalení; 2019

En la simulación de los parámetros radioeléctricos se obtuvo resultados admisibles para este radio, contando con línea de vista directa, como se muestran en la Figura 18-2.

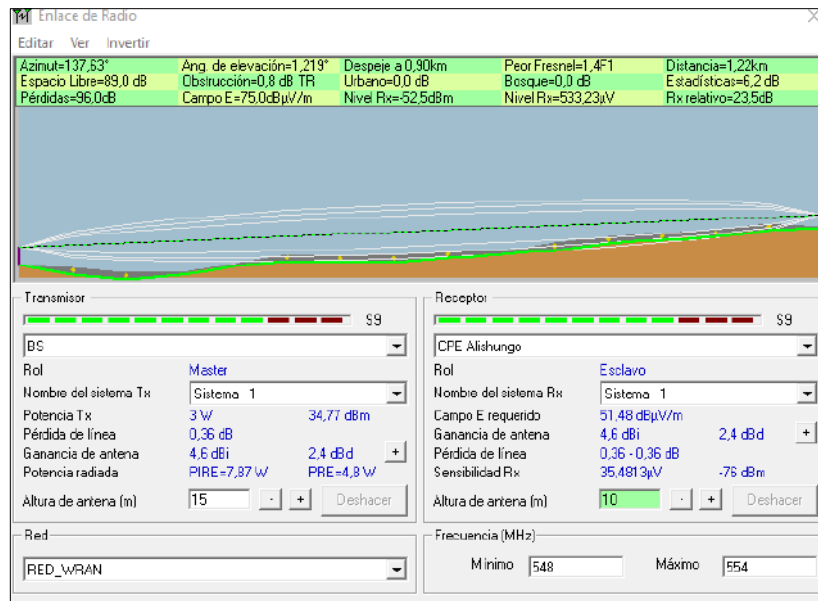


Figura 18-2: Enlace Estación Base – CPE Alishungo

Realizado por: Ocampo, Jaleni; 2019

2.5.2.4 Enlace Estación Base – CPE Allishungo

Así mismo en la Figura 19-2, se puede observar que la cobertura del radioenlace para la comunidad de Allishungo fue muy buena.

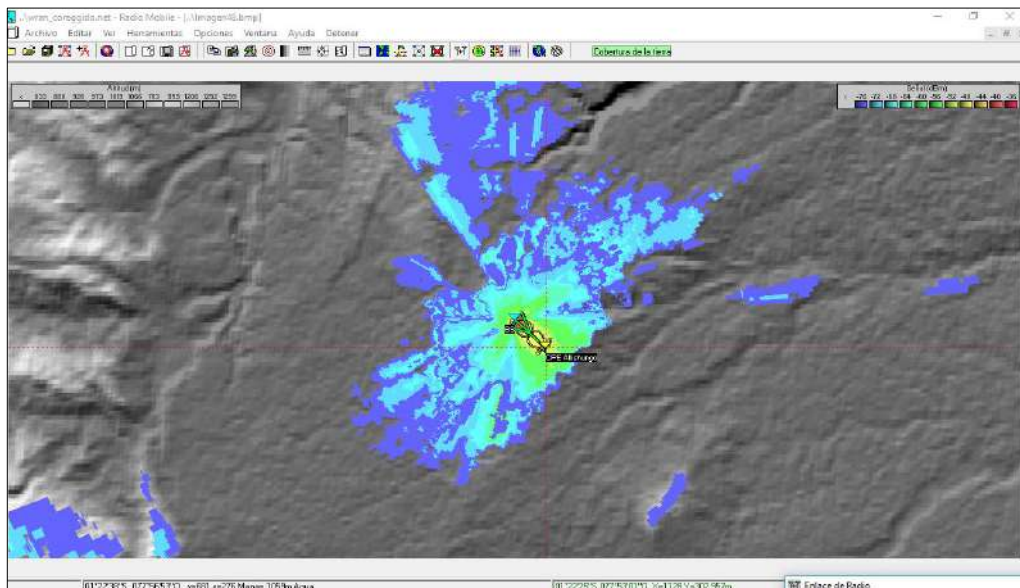


Figura 19-2: Cobertura BS-CPE Allishungo

Realizado por: Ocampo, Jaleni; 2019

En la Figura 20–2 se observan los resultados de propagación de la simulación para la comunidad Allishungo, donde los valores que presenta la zona de Fresnel y campo eléctrico resultaron buenos.

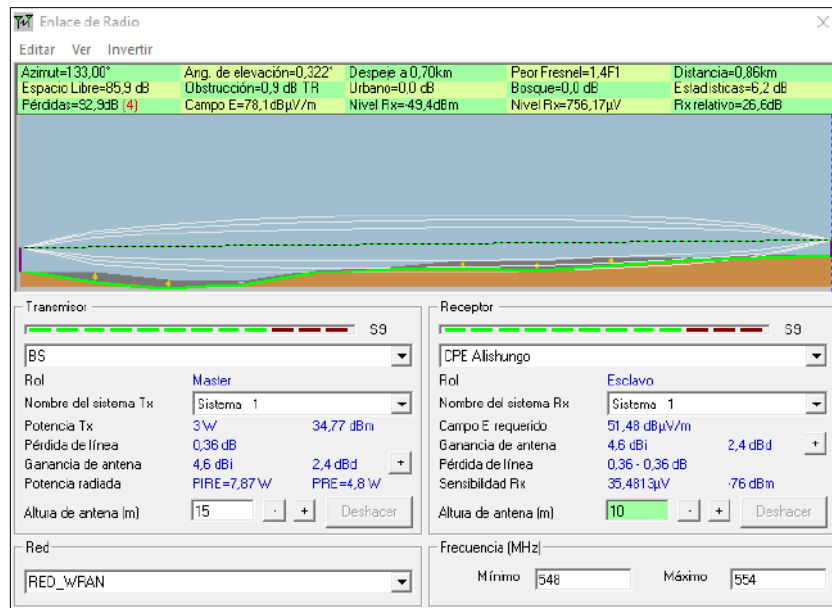


Figura 20-2: Enlace Estación Base – CPE Allishungo.

Realizado por: Ocampo, Jalení; 2019.

2.5.2.5 Enlace Estación Base – CPE San Pablo de Allishungo

La cobertura que generó Radio Mobile para la comunidad San Pablo de Allishungo se muestra en la Figura 21-2.

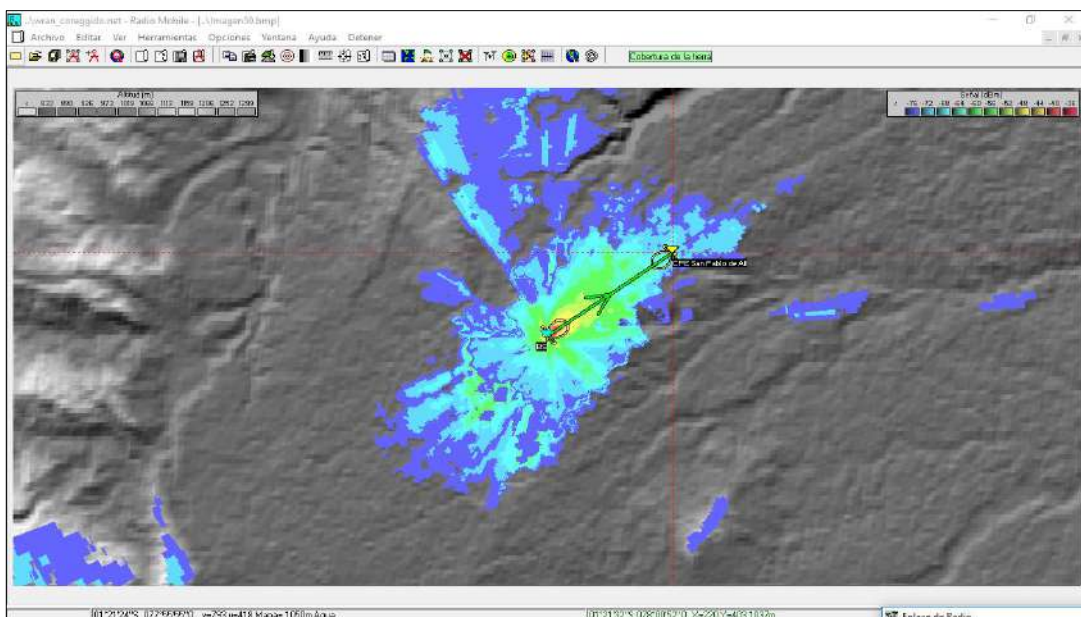


Figura 21-2: Cobertura de BS-CPE San Pablo de Allishungo

Realizado por: Ocampo, Jalení; 2019

En la Figura 22-2, se puede observar el perfil topográfico que presenta el CPE San Pablo de Allishungo en donde se obtuvo los parámetros radioeléctricos del enlace.

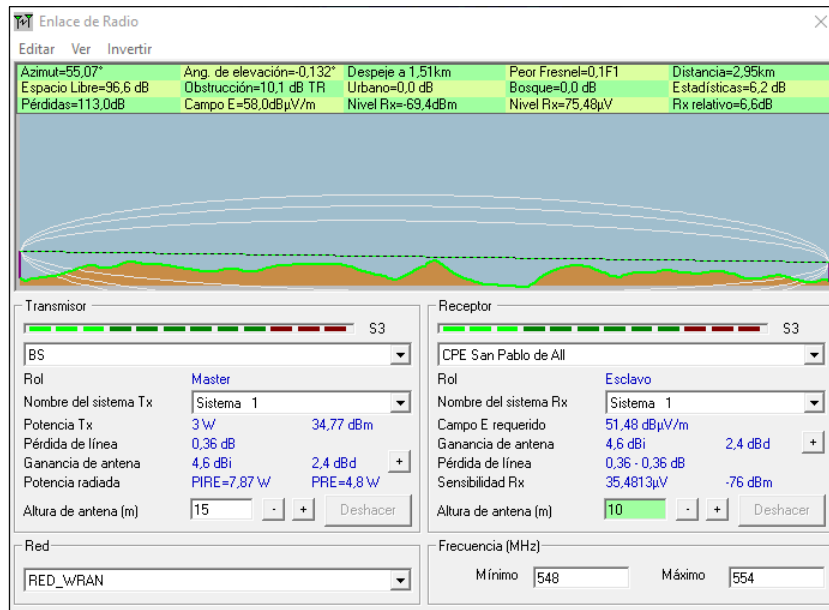


Figura 22-2: Enlace Estación Base – CPE San Pablo de Allishungo

Realizado por: Ocampo, Jalení; 2019.

2.5.2.6 Enlace Estación Base – CPE Mariscal Sucre

Posteriormente, se tiene el enlace entre la estación base y el CPE Mariscal Sucre, la Figura 23-2 muestra la cobertura que presentó la simulación entre los dos puntos.

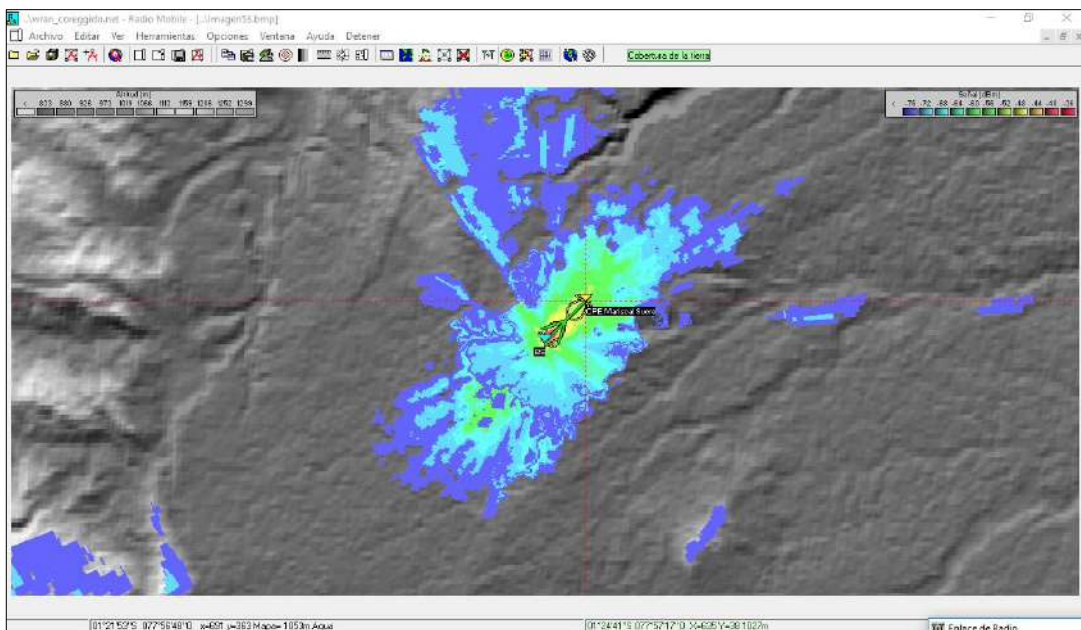


Figura 23-2: Cobertura BS-CPE Mariscal Sucre

Realizado por: Ocampo, Jalení; 2019

En los resultados radioeléctricos se obtuvo un valor del campo eléctrico considerable y cuenta con línea de vista directa. En la Figura 24-2, se puede ver el perfil topográfico del enlace.

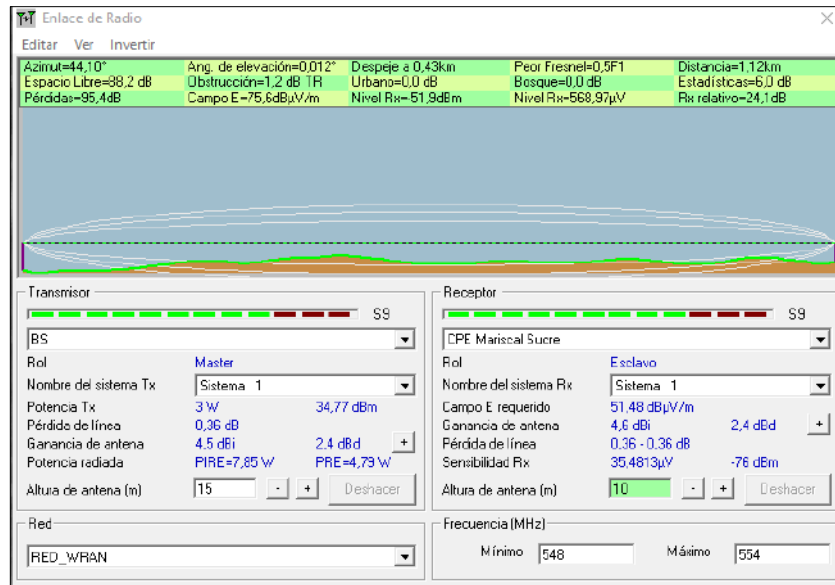


Figura 24-2: Enlace Estación Base – CPE Mariscal Sucre

Realizado por: Ocampo, Jalení; 2019.

2.5.2.7 Enlace Estación Base – CPE Palma Roja

Siguiendo con la descripción de la red, se simuló la cobertura para la comunidad Palma Roja, la Figura 25-2 muestra el alcance de la radiación que generó la estación base.

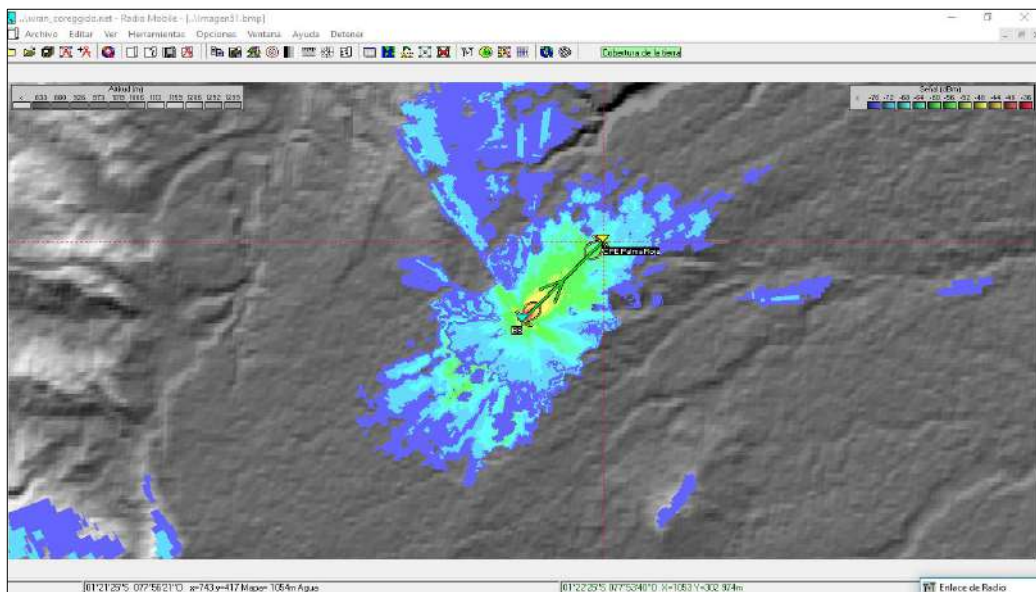


Figura 25-2: Cobertura BS-Palma Roja

Realizado por: Ocampo, Jalení; 2019

En la Figura 26-2, se muestran los valores que se obtuvo son eficientes para cubrir esta zona, contando con una línea de vista directa.

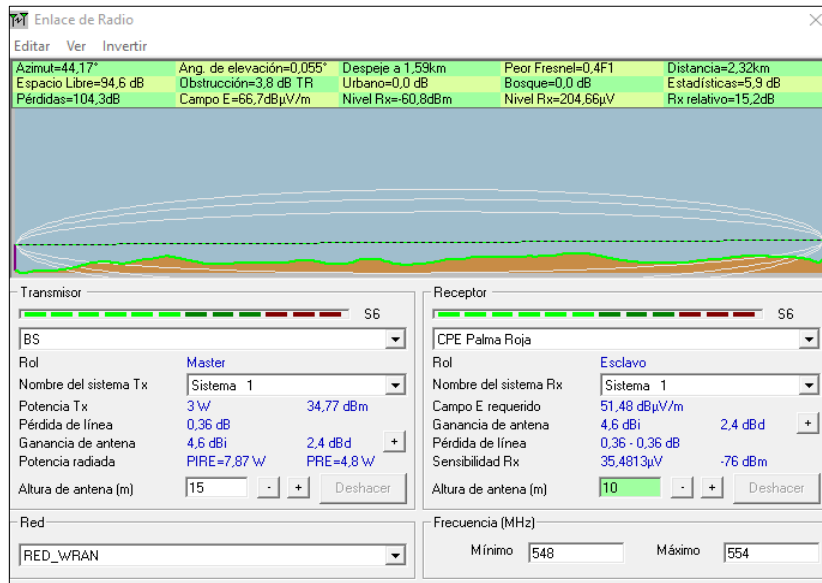


Figura 26-2: Enlace Estación Base – CPE Palma Roja

Realizado por: Ocampo, Jaleni; 2019.

2.5.2.8 Enlace Estación Base – CPE San Miguel del Llandia

La siguiente comunidad en la que se realizó la simulación es San Miguel del Llandia, este CPE presentó una cobertura muy buena debido a la distancia que este radio presentó. En la Figura 27-2, se ve el alcance que tiene la BS.

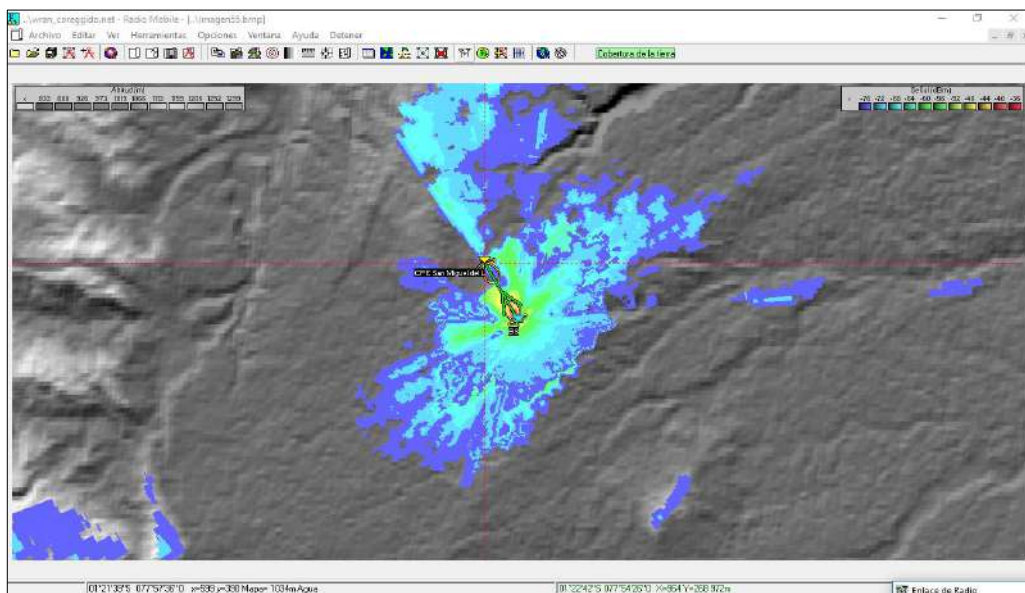


Figura 27-2: Cobertura BS-CPE San Miguel del Llandia

Realizado por: Ocampo, Jaleni; 2019

Con respecto a los resultados radioeléctricos los parámetros son muy aceptables como muestra la Figura 28-2, donde cuenta con un nivel de recepción muy bueno.

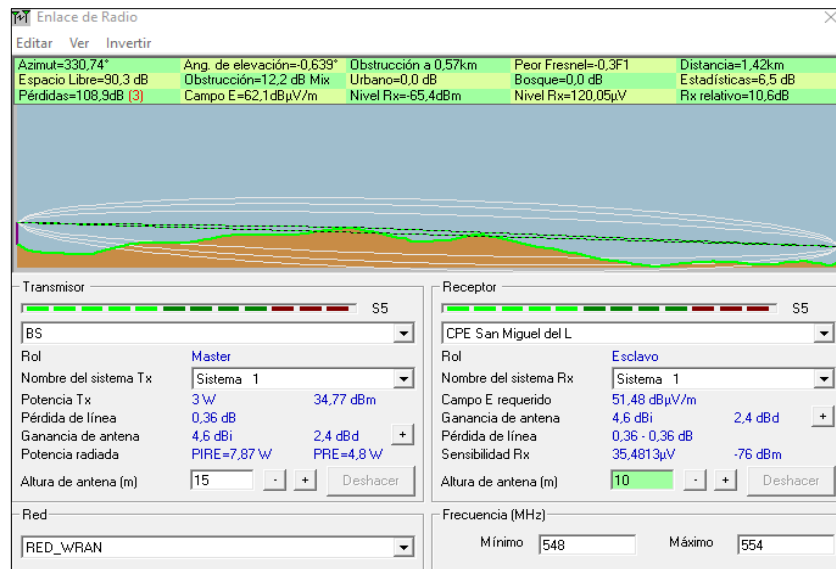


Figura 28-2: Enlace Estación Base – CPE San Miguel Llandia

Realizado por: Ocampo, Jaleni; 2019

2.5.2.9 Enlace Estación Base – CPE Llandia

Se suma el radio enlace de la comunidad San Miguel del Llandia, en la Figura 29-2 se puede observar la cobertura de este radio.

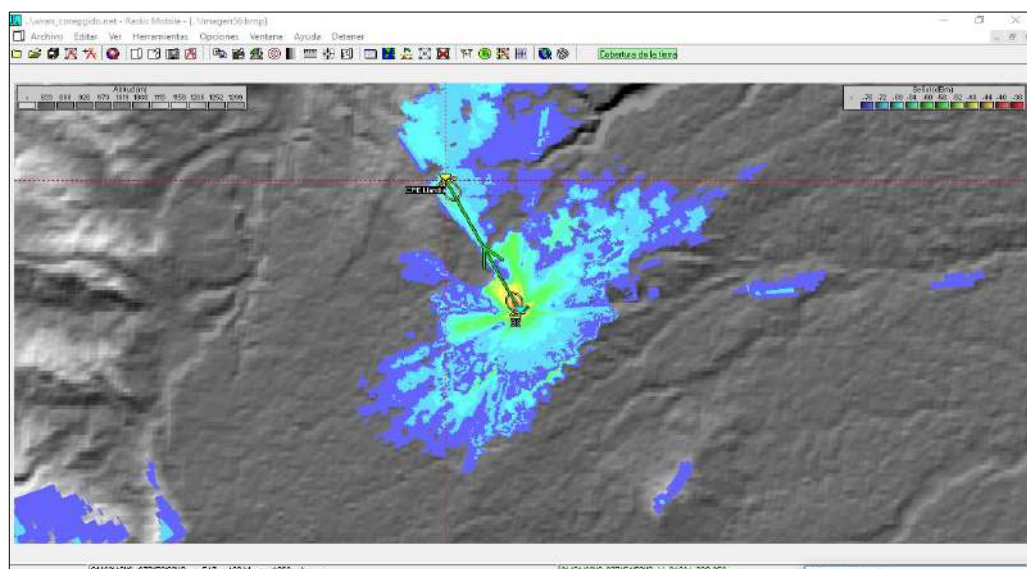


Figura 29-2: Cobertura BS-CPE Llandia

Realizado por: Ocampo, Jaleni; 2019

El perfil topográfico que presentó el enlace es bueno, considerando la distancia en la que se encuentra el suscriptor. Los valores radioeléctricos que resultaron de la simulación se pueden ver en la Figura 30-2.

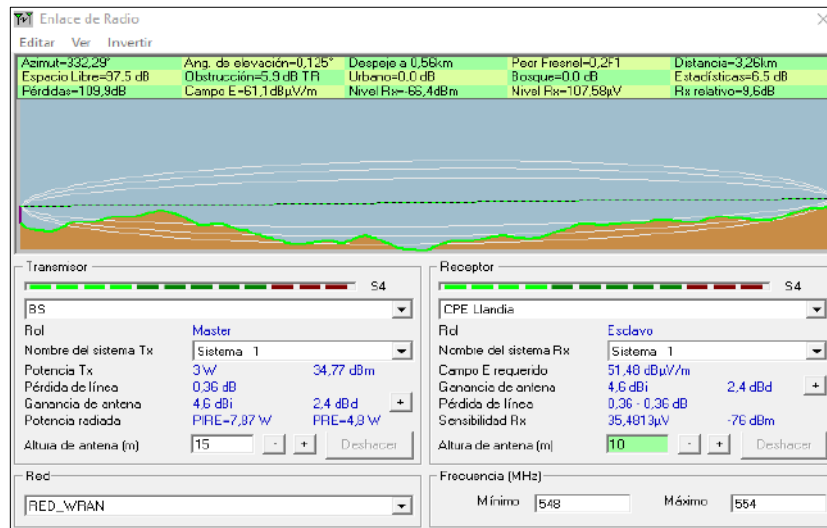


Figura 30-2: Enlace Estación Base – CPE Llandia

Realizado por: Ocampo, Jalení; 2019

2.5.2.10 Enlace Estación Base – CPE La Unión

El enlace que presentó el CPE La Unión se observa en la Figura 31-2, los resultados de la cobertura son muy buenos tomando en cuenta la distancia a la que se encuentra la comunidad.

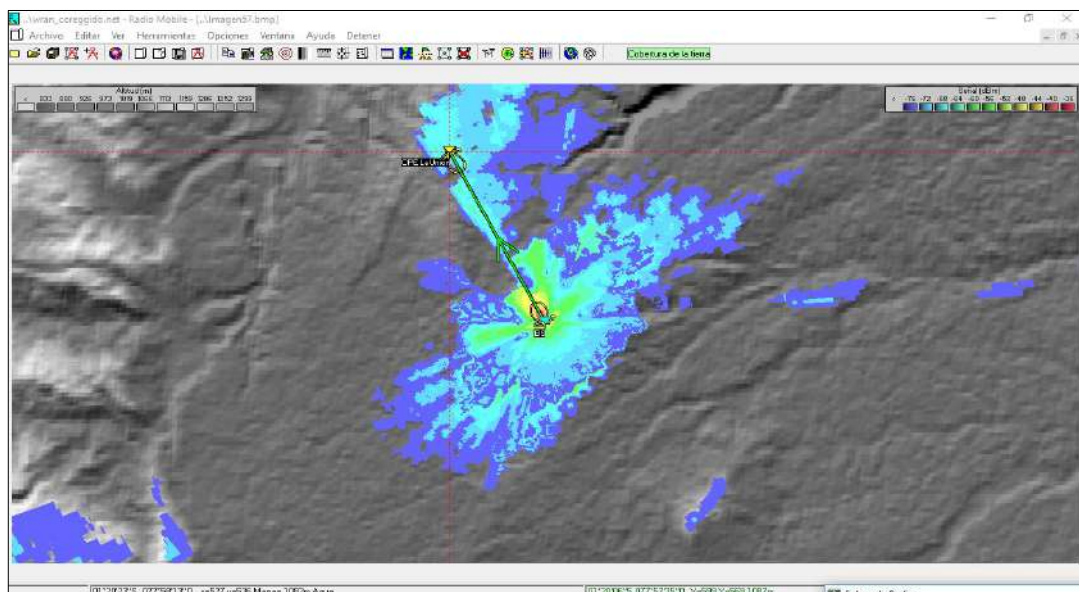


Figura 31-2: Cobertura BS-CPE La Unión

Realizado por: Ocampo, Jalení, 2019

En la Figura 32-2, se puede observar el perfil topográfico que presentó el radioenlace, se dispone de línea de vista directa y los valores radioeléctricos son aceptables.

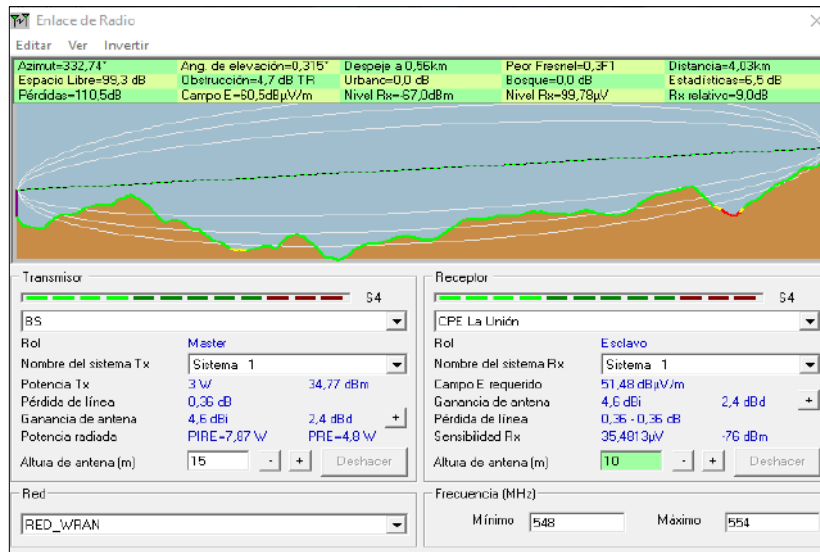


Figura 32-2: Enlace Estación Base – CPE La Unión

Realizado por: Ocampo, Jaleni; 2019

2.5.5.11 Enlace Estación Base – CPE Boayacu

Por último, se tiene la simulación de la comunidad Boayacu, es la red que más alejada se encontró de la BS, la cobertura que presenta este enlace es bueno, como muestra la Figura 33-2.

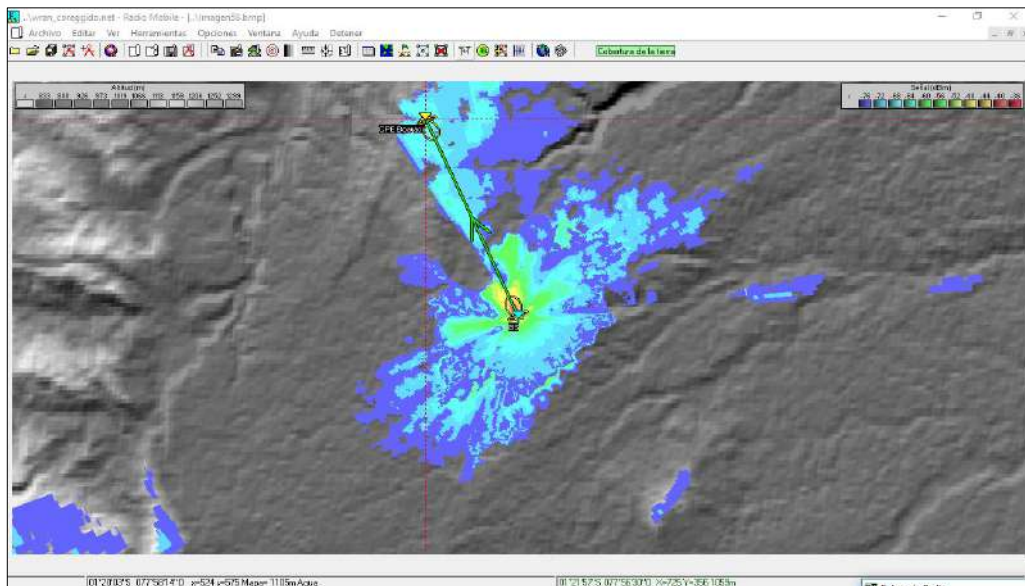


Figura 33-2: Cobertura BS-CPE Boayacu

Realizado por: Ocampo, Jaleni, 2019

Los parámetros radioeléctricos que presentó el enlace son aceptables y se puede ver en la Figura 34-2.

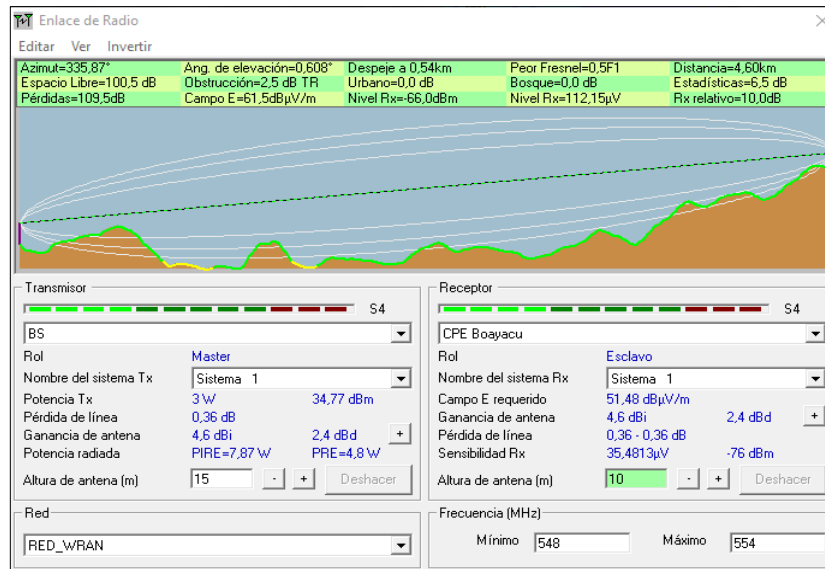


Figura 34-2: Enlace Estación Base – CPE Boayacu

Realizado por: Ocampo, Jalení; 2019

2.6 Requerimientos para el prototipo WRAN

En los apartados anteriores se realizó la geolocalización y el sensado del espectro radioeléctrico de la zona, una vez que se realizó la simulación, se desarrolló el diseño e implementación del prototipo.

2.7 Diseño e implementación del sistema de comunicación en Simulink mediante la tarjeta USRP B-210.

Para demostrar el funcionamiento de la tecnología WRAN se realizó un prototipo de SDR con las tarjetas USRP-B210 disponibles en el laboratorio de electrónica de la Facultad de Informática y Electrónica de la ESPOCH. Para el diseño del transmisor y receptor para el procesamiento de las señales fue construido mediante bloques en Simulink cumpliendo con los parámetros y especificaciones que dicta el estándar IEEE 802.22.

En el Figura 35-2, se tiene un esquema general del sistema transmisor y del receptor que se diseñó.

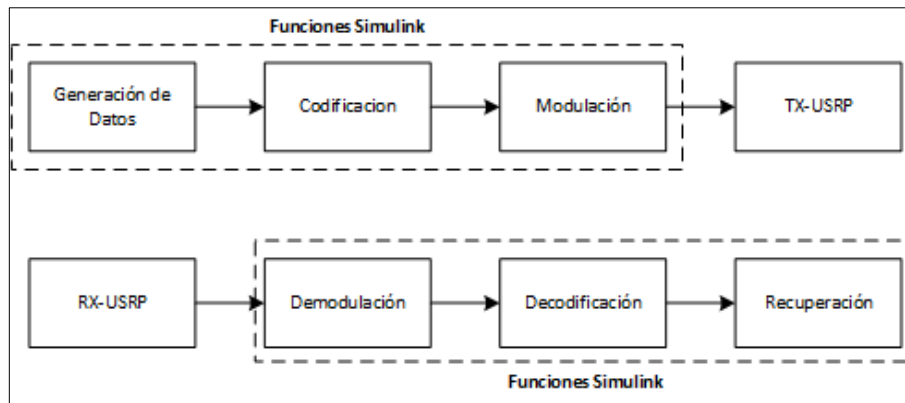


Figura 35-2: Diagrama de bloques del emisor y receptor del sistema.

Realizado por: Ocampo, Jaleni; 2019

El parámetro más importante a considerar y el que caracteriza a la tecnología WRAN es la modulación OFDM, por tanto, se desarrolla las configuraciones que tuvo el bloque de OFDM en Simulink.

Para esto se recurrió a los Requerimientos Específicos de WRAN; *Part 22: Cognitive Wireless RAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications: Policies and Procedures for Operation in the TV Bands Amendment 2: Enhancement for Broadband Services and Monitoring Applications*, dentro del cual especifica cómo está compuesta la señal OFDM dentro del estándar; como la longitud de la FFT, el número de subportadoras de datos, número y posiciones de las subportadoras pilotos, posición del intervalo de guarda, aspectos importantes que se consideró para especificar en el bloque de procesamiento en Simulink.

Los requerimientos para el diseño del prototipo se pueden observar en la Tabla 17-2.

Tabla 17-2: Parámetros de la modulación OFDM

Parámetro OFDM	
Número total de portadoras, N_{FFT}	1024
Número de subportadoras de guarda, $N_G (L, DC, R)$	192 (96,1,95)
Número de subportadoras usados $N_T = N_D + N_P$	832
Número de subportadoras de datos, N_D	832 o 416
Número de subportadoras piloto, N_P	0 o 416

Fuente: (IEEE Standards Association, 2015)

Realizado por: Ocampo, Jaleni; 2019

Como se muestra en la Figura 36-2, se tiene los valores estimados para el bloque de Modulación OFDM; así el número de portadoras, la posición de las bandas de guarda, número de símbolos OFDM y el prefijo cíclico. Para el bloque de Demodulación OFDM se tiene los mismos valores.

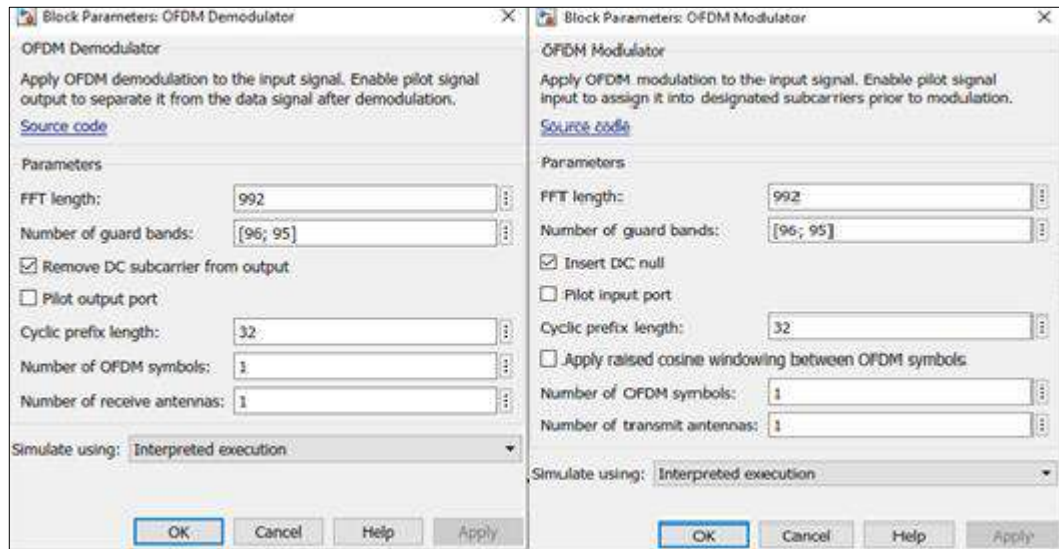


Figura 36-2: Especificaciones para Modulación y Demodulación OFDM

Realizado por: Ocampo, Jaleni; 2019

Cabe señalar que el diseño del sistema de transmisión y recepción se basó en un modelo de receptor y transmisor QPSK realizado por Mathworks, en donde se incluyó el bloque de la modulación y demodulación OFDM para el diseño del transmisor y receptor respectivamente.

2.7.1 Diseño del transmisor para WRAN

Para el diseño del transmisor se procesó la señal de datos en los bloques que dispone Simulink, posteriormente se realizó la modulación QPSK, luego se llevó a cabo el proceso de modulación OFDM con las especificaciones antes descritas, posteriormente se transformó los datos a paralelo, por último, se elevó la señal a un nivel de RF mediante la tarjeta USRP B-210. El proceso descrito se observa en la Figura 37-2.

Se consideró usar modulación QPSK, pues presenta mejor rendimiento para distancias largas y ocupa menor capacidad de información a cambio de no ser susceptible a interferencias por ser una señal más robusta. La codificación que se consideró fue de $\frac{1}{2}$ para obtener una mejor protección contra los errores, a cambio de tener menor capacidad de transmisión

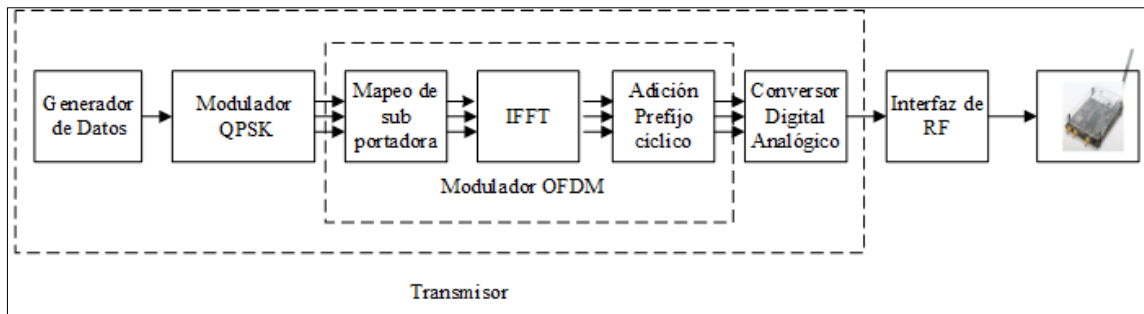


Figura 37-2: Diseño del transmisor para el enlace WRAN.

Realizado por: Ocampo, Jalení; 2019

Fuente: (Morejón Perera, 2017)

El diseño de transmisión se puede ver en la Figura 38-2, en donde se tiene los bloques descritos anteriormente.

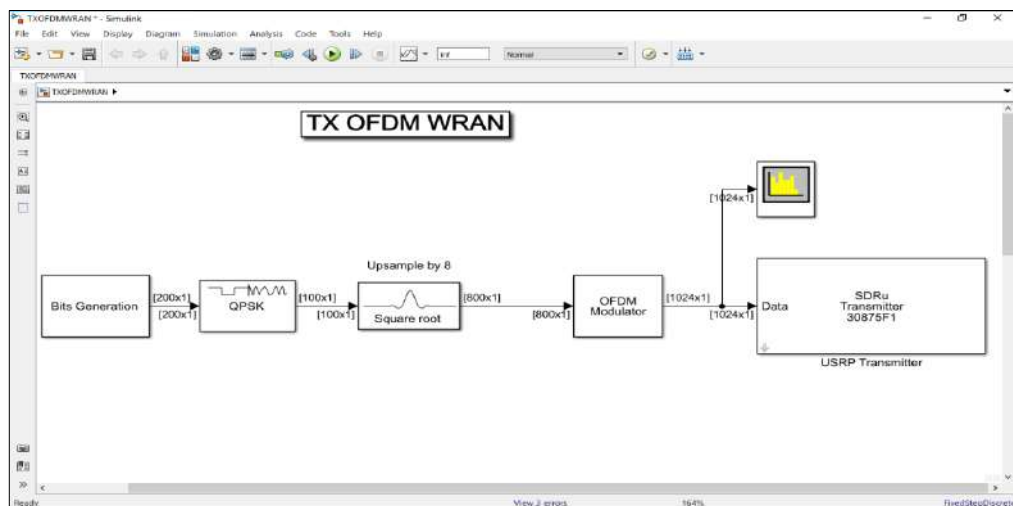


Figura 38-2: Diseño del transmisor en Simulink

Fuente: Ocampo, Jalení; 2019

2.7.2 Diseño del receptor para WRAN

El receptor fue diseñado en base al sistema transmisor. Se adquirió la señal pasa banda de la tarjeta USRP, seguidamente se realiza la demodulación OFDM y luego la demodulación QPSK. Finalmente se tienen los datos recibidos los cuales son procesados para recibir el mensaje que fue emitido. El diagrama de bloques del receptor se tiene en la Figura 39-2.

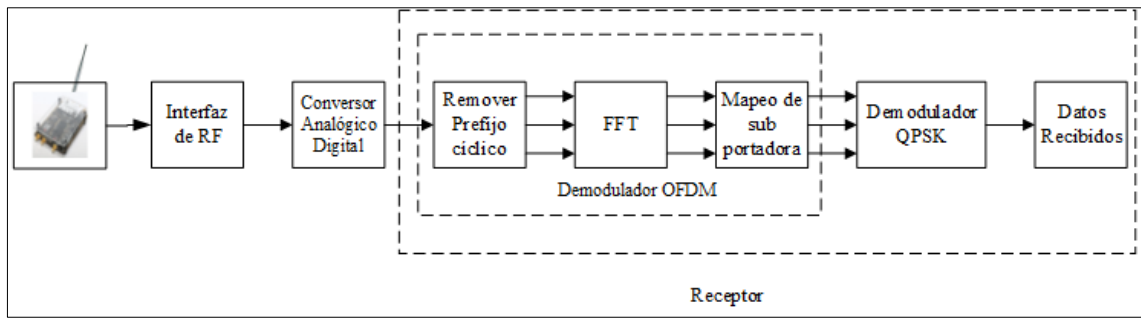


Figura 39-2: Diseño del receptor para el enlace WRAN.

Realizado por: Ocampo, Jaleni; 2019

Fuente: (Morejón Perera, 2017)

El diseño de recepción se puede ver en la Figura 40-2, en donde se tiene los bloques descritos anteriormente.

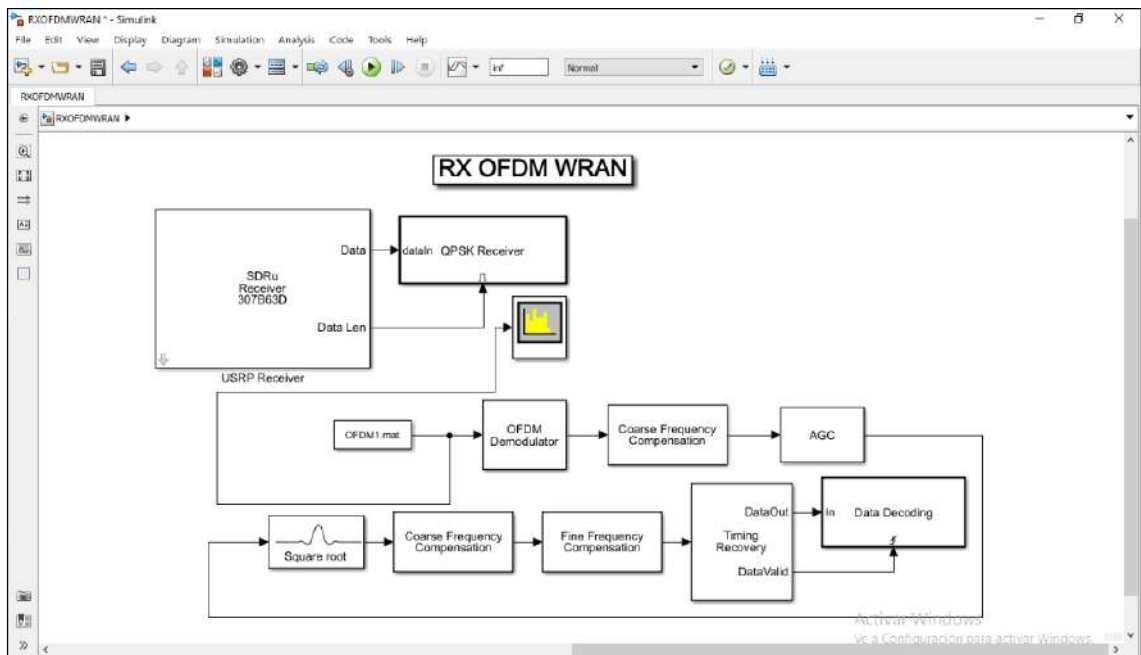


Figura 40-2: Diseño del receptor en Simulink

Fuente: Ocampo, Jaleni; 2019

2.8 Infraestructura, equipos y dispositivos disponibles para implementar una red WRAN

Para realizar la implementación de una red WRAN en la zona se procedió a investigar los elementos apropiados que se consideró para la ejecución del proyecto. La red general presenta los siguientes elementos para el sistema de comunicación en la parroquia Teniente Hugo Ortiz.

2.8.1 Elementos que conforman la Estación Base de una red WRAN

En lo que se refiere a los equipos y dispositivos tecnológicos que debe tener la arquitectura de la red WRAN se muestra en la Figura 41-2, donde se visualiza los elementos que conforman la estación base.

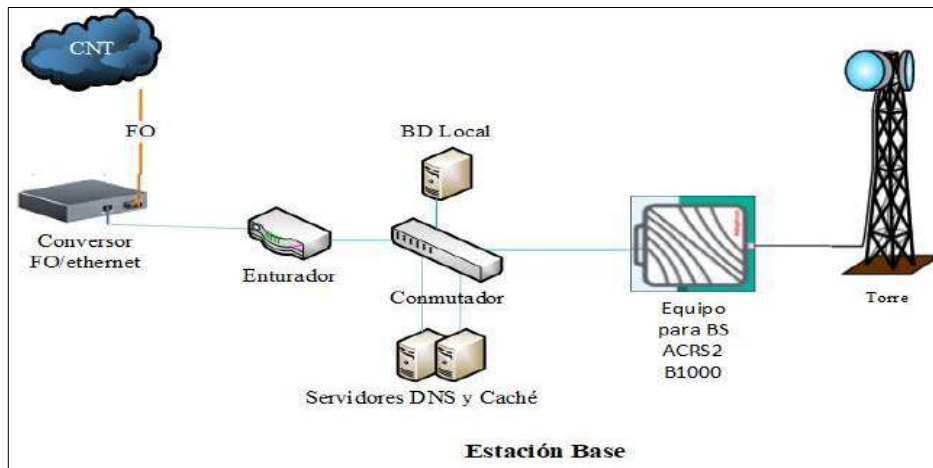


Figura 41-2: Elementos que conforman la estación base

Realizado por: Ocampo, Jaleni; 2019

Para obtener el servicio de internet, se recurre a CNT; proveedor de servicios de internet en Ecuador, que cuenta con planes corporativos. Éste llega a la parroquia Teniente Hugo Ortiz para otorgar internet a los dos infocentros de la localidad. Esta empresa concede hasta 250 m de cable sin recargo. Entre sus ofertas tiene el servicio para última milla en el que dispone de planes de internet corporativo del cual se tomó el de 6 a 10 Mbps, tiene un precio de inscripción de \$150 y una tarifa mensual de \$54.

El nodo de la estación base está compuesto por la siguiente infraestructura y equipos:
Para instalar y albergar los equipos de transmisión es necesario colocar una caseta que se presenta en la Figura 42-2, las medidas de la caseta del nodo son de 2,75 m de alto, 2 m de largo y 2 m de ancho.



Figura 42-2: Caseta para instalar lo equipos de la estación base.

Realizado por: Ocampo, Jaleni; 2019

2.8.1.1 Conversor de fibra óptica a ethernet

Uno de los elementos que conformará el sistema es el conversor de fibra óptica a ethernet, se elige un conversor TP Link, modelo MC110CS para fibra óptica monomodo la cual llega al terminal de última milla. El equipo se muestra en la Figura 43-2. **Ver Anexo C**



Figura 43-2: Conversor de fibra óptica a ethernet.

Fuente: <https://www.dipolnet.de/>

2.8.1.2 Enrutador

Para proporciona conectividad a nivel de red y enviar paquetes de datos de una red a otra, se recurrirá a un enrutador marca Cisco, modelo Catalyst 2960-L de 24 puertos. El modelo que se eligió se puede observar en la Figura 44-2. **Ver Anexo D**



Figura 44-2: Enrutador Cisco Catalyst 2960-L

Fuente: <https://www.cisco.com>

2.8.1.3 Conmutador

Un componente importante que conforma la estación base es el conmutador, se eligió un conmutador de acceso de marca Cisco Systems, modelo Catalyst 3850-24XU-L de 24 puertos. Proporciona servicio de conmutación en la red y cuenta con puertos UPoE incluido. El elemento descrito se puede ver en la Figura 45-2 **Ver Anexo F**



Figura 45-2: Conmutador Cisco Catalyst 3850 24 XU

Fuente: <http://www.cisco.co>

2.8.1.4 Servidor DNS y Caché

Al crear un proveedor de servicio de datos, es necesario adquirir un servidor DNS y un servidor de Caché, la marca que se eligió es Dell, modelo T30 con una capacidad de 1TB en disco HDD. El equipo que se propuso se puede ver en la Figura 46-2. **Ver Anexo F**



Figura 46-2: Servidor Dell para DNS y Caché

Fuente: <https://www.dell.com/>

2.8.1.5 Servidor de Base de Datos

Uno de los parámetros característicos de un sistema WRAN es el acceso a una base de datos en donde se registra la ubicación de las BS, los CPE y el rango del ERE del lugar. Este será creado y virtualizado en un servidor.

2.8.1.6 Equipo transmisor

Al momento de esta investigación, se encuentra en el mercado el equipo de transmisión de la compañía *Adaptrum*, autorizado por la FCC que cumple con los requerimientos para la tecnología WRAN como la RC. El dispositivo se puede observar en la Figura 47-2.



Figura 47-2: Equipo transmisor modelo ACRS2 B1000

Fuente: <https://www.adaptrum.com>

El equipo ACRS2 B1000, de la compañía *Adaptrum*, proporciona la mejor cobertura para entregar servicio de internet inalámbrico fijo a áreas rurales con baja densidad de población. Compatible

con regulaciones de TVWS a nivel mundial e interoperable con los líderes de proveedores de bases de datos de espectro. **Ver Anexo G**

2.8.1.7 Antena para estación base

La compañía *Adaptrum* también ha desarrollado una antena para el equipo de estación base, esta antena ACRS2FP1P, trabaja en el rango de frecuencia de 468 a 700 MHz de la banda UHF, cuenta con una ganancia de 11 dBi. El modelo de la antena sectorial se lo puede observar en la Figura 48-2 **Ver Anexo H**

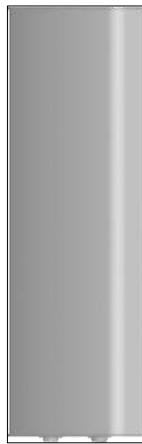


Figura 48-2: Antena BS

Fuente: <https://www.adaptrum.com>

2.8.2 Elementos que conforman el equipo receptor

Los elementos que conforman un CPE de suscriptor se enumeran a continuación:

En la Figura 49-2, se muestra los dispositivos de un cliente suscriptor que se compone de una antena direccional, el equipo de cliente y un punto de acceso.

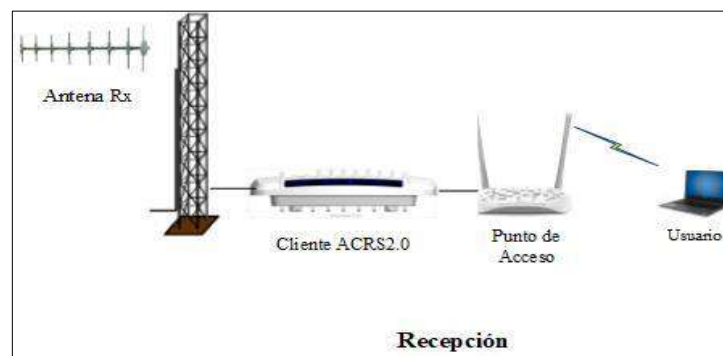


Figura 49-2: Elementos que conforman un equipo de cliente

Realizado por: Ocampo, Jaleni; 2019

2.8.2.1 Antena de recepción

La antena logarítmica para el cliente ACRS3LP, de tipo direccional, tiene características como el rango de frecuencia es de 400 a 800 MHz y una ganancia de 11 dBi. ideal para comunicación a larga distancia. La Figura 50-2 muestra la antena para cliente. **Ver Anexo I.**



Figura 50-2: Antena para el cliente

Fuente: <https://www.adaptrum.com>

2.8.2.3 Equipo receptor

El equipo receptor ACRS2.0 de Adaptrum proporciona conectividad de banda ancha inalámbrica de largo alcance. El fabricante señala que la radio cliente ACRS2.0 funciona con estaciones base Adaptrum. El dispositivo se puede ver en la Figura 51-2. **Ver Anexo J**



Figura 51-2: Equipo receptor

Fuente: <https://www.adaptrum.com>

2.8.2.4 Punto de Acceso

El punto de acceso es el encargado de extender la red para que equipos finales se conecten a la red de WRAN. El equipo a utilizar se puede ver en la Figura 52-2. **Ver Anexo J**



Figura 52-2: Punto de acceso TP-Link

Fuente: <https://www.tp-link.com>

2.9 Análisis económico del enlace propuesto.

Una vez que se realizó la investigación de los equipos disponibles que pueden ser usado para la implementación de la red WRAN propuesta, fue necesario realizar un análisis económico para saber la inversión que se requiere para llevar a cabo la radio que se ha propuesto en este trabajo con el fin de brindar servicio de datos a los habitantes de la parroquia Teniente Hugo Ortiz.

La infraestructura que se requeriría para la estación base se tiene en la Tabla 18-2 y Tabla 20-2 con las tarjetas USRP B210 y los equipos de Adaptrum respectivamente., en donde se especifica el costo que tendrá cada elemento en la parte de transmisión, además se indica la dirección en donde se puede adquirir los equipos que se pretende ocupar.

Tabla 18-2: Presupuesto económico del radio enlace para la BS con tarjeta USRP B210

Cantidad	Descripción	Marca	Costo Total	Fuente
1	Mástil para BS (15m)	Sin marca	\$ 1200	-
1	Caseta	-	\$ 2000	
1	Conversor FO/Ethernet	TP-Link	\$ 19,00	https://www.amazon.es/TP-Link-MC110CS-Convertor-de-medios/dp/B0034CSUD0

1	Conmutador Cisco Catalyst 3850-24XU	Cisco	\$ 7323	https://mialantic.com/networking-products/switches/cisco-switches/ws-c3850-24xu-e?filter=10
1	Enturador Cisco Catalyst 2960-L	Cisco	\$ 1214,90	https://articulo.mercadolibre.com.mx/MLM-666347649-switch-cisco-gigabit-ethernet-catalyst-2960-l-_JM?quantity=1 https://www.amazon.com/Dell-Newest-PowerEdge-Server-E3-1225/dp/B0722J7NNX/ref=sr_1_1?keywords=servidor&qid=1558827010&s=electronics&sr=1-1
1	Servidor DNS y caché	DELL	\$ 389,00	
1	Antena Yagi	Sin marca	\$ 20,00	-
15m	Cable coaxial flexible RG 58	Sin marca	\$ 15,00	-
1	USRP B 210	Ettus Researc h	\$ 1216	https://www.ettus.com/all-products/ub210-kit/
2	conectores SMA-SMA macho	Sin marca	\$ 8	-
1	computadora portátil	Toshiba	\$ 1000	-
Total			\$14404,9	

Realizado por: Ocampo, Jaleni; 2019

Los elementos necesarios para cada suscriptor se detallan en la Tabla 19-2 y Tabla 21-2 con las tarjetas USRP B210 y los equipos de Adaptrum respectivamente.

Tabla 19-2: Presupuesto económico del radio enlace para la CPE con USRP B-210

Cantidad	Descripción	Marca	Costo Total	Fuente
1	Mástil (10m)	Sin marca	\$1000	-
1	Antena Yagi	Sin marca	\$20,00	-
15 m	Cable coaxial flexible RG 58	Sin marca	\$15,00	-
1	USRP B 210	Ettus Research	\$1216	https://www.ettus.com/all-products/ub210-kit/
2	conectores SMA-SMA macho	Sin marca	\$8	-
1	computadora portátil	Toshiba	\$800	-
Total			3059	

Realizado por: Ocampo, Jaleni; 2019

Tabla 20-2: Presupuesto económico del radio enlace para la BS con equipos Adaptrum

Cantida d	Descripció n	Marca	Costo Total	Fuente
1	Mástil para BS (15m)	Sin marca	\$1.200	-
1	Caseta	-	\$2.000	
1	Inscripción servicio Internet	CNT	\$150,00	https://www.cnt.gob.ec/internet/planes-corporativos/
1	Conversor FO/Etherne t	TP-Link	\$19,00	https://www.amazon.es/TP-Link-MC110CS-Convertor-de-medios/dp/B0034CSUD0
1	Conmutado r Cisco Catalyst 3850-24XU	Cisco	\$7.323	https://mialantic.com/networking-products/switches/cisco-switches/ws-c3850-24xue?filter=10
1	Enturador Cisco Catalyst 2960-L	Cisco	\$1.214,90	https://articulo.mercadolibre.com.mx/MLM-666347649-switch-cisco-gigabit-ethernet-catalyst-2960-l-_JM?quantity=1
1	Servidor DNS, caché y BD	DELL	\$389,00	https://www.amazon.com/Dell-Newest-PowerEdge-Server-E3-1225/dp/B0722J7NNX/ref=sr_1_1?keywords=servidor&qid=
3	Equipo de BS ACRS2 B1000	Adaptru m	\$9885,00	https://www.prnewswire.com/news-releases/adaptrum-announces-second-generation-tv-white-space-product-acrs-20-277079221.html
1	Antena BS ACRS2FP1 P	Adaptru m	\$650,00	https://www.winncom.com/es/products/KP-TWDP65S-12
15m	Cable coaxial flexible RG- 58	Sin marca	\$15,00	-
Total			\$22.845,90	

Realizado por: Ocampo, Jaleni; 2019

Tabla 21-2: Presupuesto económico del radio enlace para la CPE con equipos Adaptrum

Cantidad	Descripción	Marca	Costo Total	Fuente
1	Mástil (10m)	Sin marca	\$1000	-
1	Antena de cliente ACRS3LP	Adaptrum	\$200,00	https://www.winncom.com/es/products/KP-TWDPY9
15 m	Cable coaxial flexible RG 58	Sin marca	\$15,00	-
1	Equipo de cliente ACRS2.0	Adaptrum	\$1100,00	https://www.adaptrum.com
1	Punto de Acceso TP-Link	Sin marca	\$24,00	https://www.amazon.es/TP-Link-TL-WA801ND-V5-0-inal%C3%A1mbrico-Extensor/dp/B004UBU8IE
Total			2339,00	

Realizado por: Ocampo, Jaleni; 2019

La inversión inicial que representa la ejecución del radio enlace con tecnología WRAN, es de aproximadamente \$25184,90 con los equipos destinados para este fin. Mientras que el diseño propuesto con las tarjetas USRP B-210 y las antenas de diseño propio representa un costo inicial de \$18329,91. Se debe considerar la implementación con equipos diseñados para propósitos específicos como los equipos de Adaptrum, ya que las tarjetas USRP B-210 están diseñadas para aplicaciones de radio generales.

Dentro de la *LEY ORGÁNICA PARA LA PLANIFICACIÓN INTEGRAL DE LA CIRCUNSCRIPCIÓN TERRITORIAL ESPECIAL AMAZÓNICA*, hay fondos que se destinan a proyectos de índole social dentro de la región. Con esta acotación se puede proponer el proyecto y obtener los recursos necesarios para la realización de la red WRAN.

CAPÍTULO III

3. PRUEBAS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

En este capítulo se realizó el análisis de los resultados que se obtuvieron de la simulación en Radio Mobile y un SDR utilizando Simulink, donde se especificó los valores de los equipos que se utilizó en las pruebas y el alcance que presentó el prototipo en la ejecución del sistema, se tabuló los resultados medidos respecto a la eficiencia del receptor con relación al emisor, se comprobó el desempeño que tiene el diseño elaborado mediante parámetros de distancia, tasa de error de bit (BER) y el nivel de recepción.

3.1 Resultados radioeléctricos de propagación de la Simulación en Radio Mobile

Los valores que se obtuvo en cada radio simulado y presentado en el capítulo anterior se muestran en la Tabla 1-3, en este apartado se analizó los resultados que proyectó Radio Mobile. A continuación, se describe las características radioeléctricas más importantes del enlace simulado:

Respecto a la distancia del enlace más lejana, se observó que el mayor trayecto corresponde al enlace entre la BS y el CPE La Unión con una longitud de 4,60 km. Y la distancia más corta corresponde a la BS y el CPE del casco parroquial con una longitud de 0,12 km.

Referente al peor Fresnel se obtuvo 0,0 F1 para el CPE de La Florida, considerando que el peor Fresnel que puede presentar un radio enlace es -0,6 F.

Para conocer el valor del margen respecto a la sensibilidad del sistema receptor se tuvo el valor de Rx Relativo. En este caso el que mejor margen presento fue de 45,3 dBm y el peor fue 6,6 dBm, los CPEs de Casco Parroquial y San Pablo de Allishungo, respectivamente.

Tabla 1-3: Resultados radioelctricos de propagación de Radio Mobile.

Variables	BS	CPE Alishungo	CPE La Florida	CPE Casco Parroquial	CPE Palma Roja	CPE San Miguel del Llandia	CPE San Pablo de Allishungo	CPE Alishungo	CPE Mariscal Sucre	CPE Llandia	CPE La Unión	CPE Boayacu-Prueba
Posición	-1,371965N -77,95366 O	-1,37724 N -77,948 O	-1,38083 N -77,9680 O	-1,37306 N -77,9535 O	-1,35695 N -77,9390 O	-1,36083 N -77,9599 O	-1,35676 N -77,9319 O	-1,37724 N -77,948 O	-1,36473 N -77,9465 O	-1,34605 N -77,9679 O	-1,33935 N -77,9707 O	-1,33485 N -77,9705 O
Altura	1050	1060	1066	1038	1057	1039	1048	1060	1055	1062	1077	1104
Frecuencia Operación	551 MHz											
Distancia	-	1,30 km	1,88 km	0,12 km	2,32 km	1,42 km	2,95 km	0,86 km	1,12 km	3,26 km	4,03 km	4,60 km
Intensidad de campo	51,48 dBμ V/m	75,0 dBμ V/m	62,6 dBμ V/m	96,7 dBμ V/m	66,7 dBμ V/m	62,1 dBμ V/m	58,0 dBμ V/m	78,1 dBμ V/m	75,6 dBμ V/m	61,1 dBμ V/m	60,5 dBμ V/m	61,5 dBμ V/m
Rx Relativo	-	23,5 dBm	11,1 dBm	45,3 dBm	15,2 dBm	10,6 dBm	6,6 dBm	26,6 dBm	24,1 dBm	9,6 dBm	9,0 dBm	10 dBm
Peor Fesnel	-	1,4 F1	0,6 F1	3,5 F1	0,4 F1	0,3 F1	0,1 F1	1,4 F1	0,5 F1	0,2 F1	0,3 F1	0,5 F1

Realizado por: Ocampo, Jalení; 2019

3.2 Verificación del funcionamiento del diseño transceptor

Se comprobó los parámetros del diseño de manera ideal, en donde no presentó ningún tipo de interferencia o atenuación, y la recepción del mensaje fue correcta. El diseño se presenta en la Figura 1-3 en donde se muestra el funcionamiento ideal del sistema.

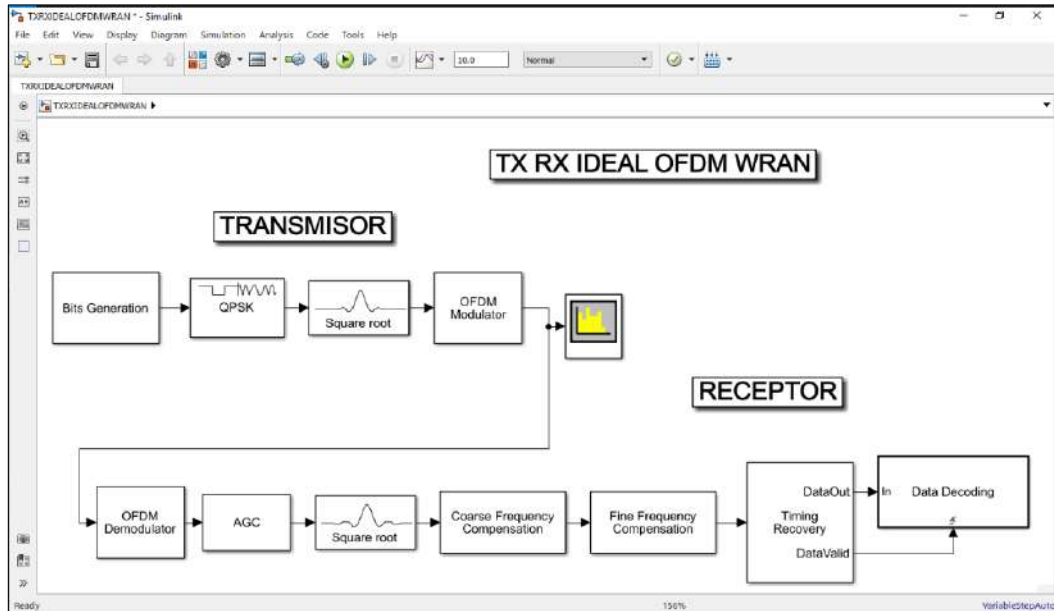


Figura 1-3: Funcionamiento del diseño transmisor-receptor en Simulink

Realizado por: Ocampo, Jalení; 2019

La transmisión de la señal OFDM con 1024 sub portadora moduladas en banda base fue correcta, la cual se muestra en la Figura 2-3, en donde los símbolos de la señal fueron emitidas a través de cada portadora destinada para datos.

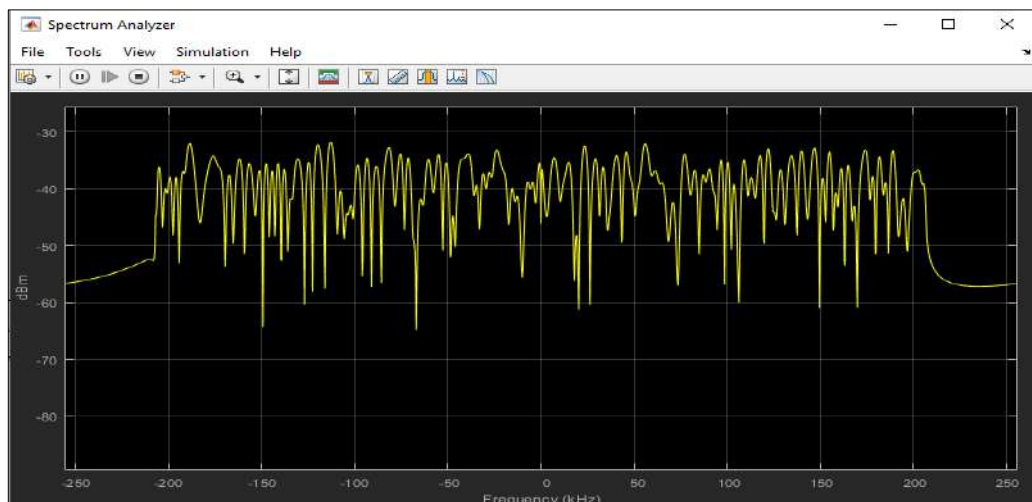


Figura 2-3: Espectro OFDM de la señal transmitida

Realizado por: Ocampo, Jalení; 2019

3.2.1 Validación del sistema de transmisión y recepción

Se configuró los parámetros iniciales en la USRP B-210 para llevar a cabo la ejecución del sistema de comunicación diseñado, aplicando el estándar de la IEEE 802.22, obteniendo un SD-WRAN.

3.2.1.1 Pruebas de validación

Se realizó varias pruebas basadas en la distancia y el nivel de recepción con el propósito de documentar el alcance de los sistemas diseñados en condiciones de operación reales y se midió la factibilidad con las especificaciones del estándar 802.22.

Se eligió el suscriptor más lejano para realizar las pruebas, en este caso fue el CPE Boayacu aproximadamente 4,6 Km. En la Figura 3-3, se tiene la simulación en Radio Mobile para observar los puntos de pruebas del enlace.

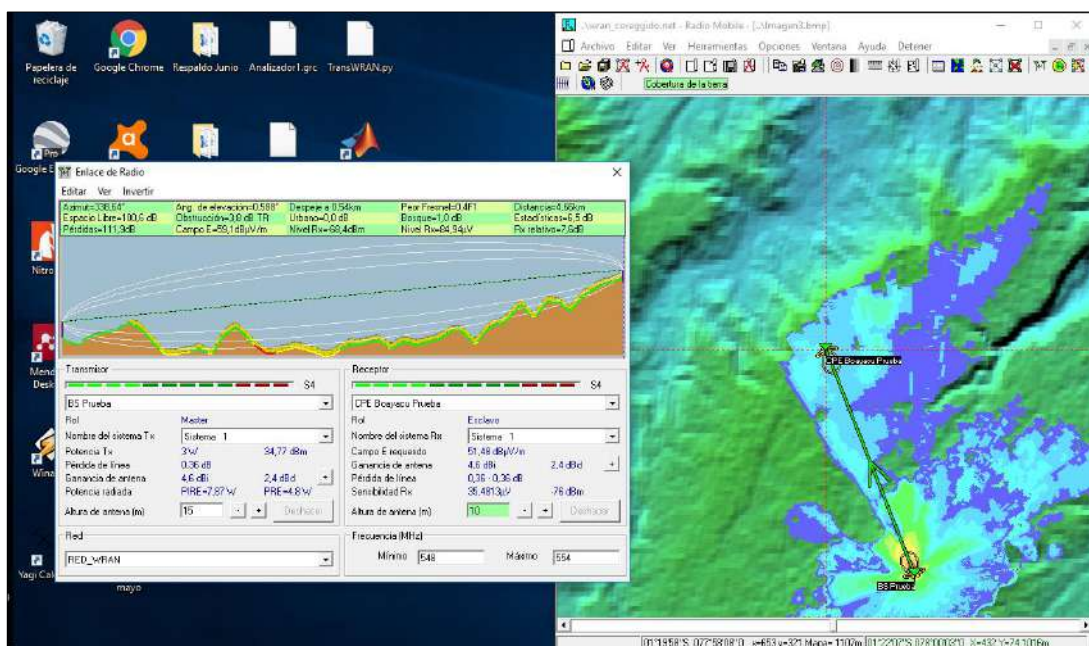


Figura 3-3: Perfil del terreno en el que se realizarpa el enlace

Realizado por: Ocampo, Jaleni; 2019

Una vez realizado la simulación y verificado el funcionamiento de los equipos, se dirigió a las ubicaciones y se instaló la estación base y el CPE de prueba en los puntos especificados previamente. En la Figura 4-3 y Figura 5-3, se observa las coordenadas del transmisor y receptor, para lo cual se utilizó la aplicación Altimetro Preciso para ubicar las posiciones requeridas.



Figura 4-3: Posición del transmisor

Fuente: Altímetro Preciso, App.

Realizador por: Ocampo, Jaleni; 2019



Figura 5-3: Posición del receptor

Fuente: Altímetro Preciso, App.

Realizado por: Ocampo, Jaleni; 2019

3.2.1.2 Implementación del sistema

Para ejecutar el sistema SD-WRAN del estándar IEEE 802.22, se utilizó dos computadoras en el que se desarrolló la programación del transmisor y receptor en el software Simulink, se dispuso de dos tarjetas USRP B-210 que fueron facilitadas por el laboratorio de electrónica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, por último, se conectó las antenas tipo Yagi.

El escenario en donde se realizó el montaje de los equipos se puede apreciar en la Figura 6-3 y la Figura 7-3



Figura 6-3: Ubicación del transmisor

Realizado por: Ocampo, Jaleni; 2019



Figura 7-3: Ubicación del receptor

Realizado por: Ocampo, Jaleni; 2019

Una vez ubicado los puntos de referencia se procedió a instalar los equipos y elementos que conforman el sistema diseñado, los equipos instalados se puede ver en las Figura 8-3 y Figura 9-3.



Figura 8-3: Transmisor instalado

Realizado por: Ocampo, Jaleni; 2019.



Figura 9-3: Receptor instalado

Realizado por: Ocampo, Jaleni; 2019

A continuación, se realizó las pruebas de verificación del funcionamiento y comportamiento del radio diseñado, para analizar los resultados se hicieron pruebas de distancia, posteriormente se determinará hasta que trayecto es capaz de obtener una comunicación aceptable

3.2 Validación del prototipo respecto al BER.

Con el objetivo de validar el prototipo, se ejecutará la comunicación inalámbrica a diferentes distancias. Se tomará en cuenta el nivel de recepción y se evaluará la tasa de error binaria (BER) considerado un parámetro importante para valorar los sistemas de comunicación incluyendo el medio de propagación. La distancia máxima alcanzada será el límite de la capacidad de transmisión del sistema.

Para determinar el BER, se usa la Ecuación 1-3.

$$BER = \frac{\text{Número de errores}}{\text{Número de bits transmitida}} \text{ Ecuación 1-3}$$

3.2.1 Calibración de la tarjeta USRP B-210

Uno de los problemas que se encontró de la tarjeta USRP B210 es que presenta inestabilidad en la sincronización entre transmisor y receptor al momento de la ejecución del transceptor, debido a que el receptor se activa en tiempos diferentes al transmisor (Moreno, Mejía y Moreno, 2017) Ante

este inconveniente se procedió a ejecutar un archivo en Simulink diseñado por el equipo de Mathworks, y se muestra en la Figura 10-3.

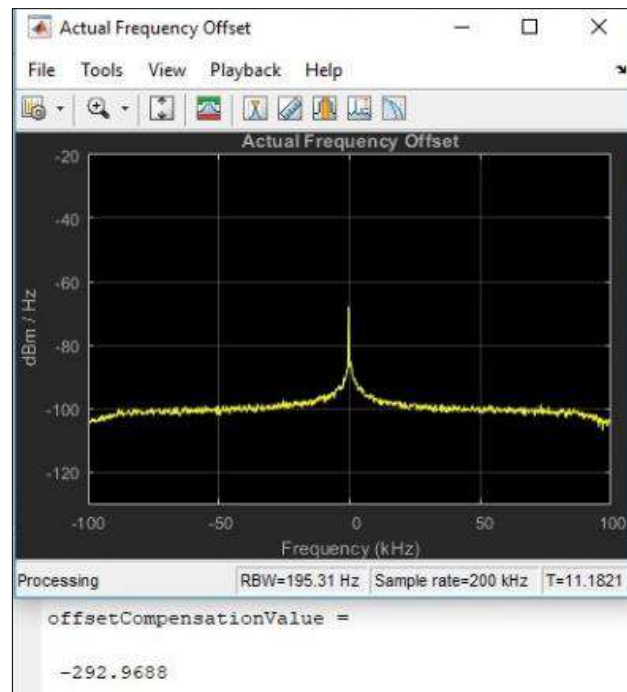


Figura 10-3: Calibración tarjeta USRP B210

Realizado por: Ocampo, Jaleni; 2019

Para compensar el desplazamiento de frecuencia del transmisor/receptor, Mathworks recomienda agregar el desplazamiento de frecuencia calculado; a la frecuencia central del objeto del sistema receptor SDR, en consecuencia, la Figura 10-3 muestra que el valor del offset es de 292,6 Hz.

Como se especificó que el modelo Receptor QPSK fue tomado de Mathworks, ellos definen que este modelo de receptor es capaz de manejar un desplazamiento de frecuencia de 12.5 KHz, y la desviación de frecuencia obtenida en la distancia inicial es de 292,9688 Hz por lo que no es necesario realizar la compensación de frecuencia en el receptor y no presenta ningún inconveniente.

3.2.2 Consideraciones de configuración de parámetros en la tarjeta USRP B210.

Las consideraciones que se toman en cuenta para realizar las pruebas del nivel de recepción es la potencia en las tarjetas USRP. Las ganancias que se ingresan en el transmisor y el receptor es de 50 dBm para todas las pruebas realizadas.

3.3 Distancias alcanzadas respecto al BER y nivel de recepción.

Para las pruebas de rendimiento y factibilidad, se basó en el análisis de la tasa de error que presentaron los datos en recepción y los niveles de potencia alcanzados por la señal OFDM.

3.3.1 Resultado de mediciones y rendimiento a 200 m.

La primera ejecución de las pruebas se realizó a 200 m del transmisor, en este caso se obtuvo una buena recepción de la señal, el mayor inconveniente que mostró el sistema fue que la tarjeta USRP se trabó debido a la cantidad de datos que se debe transmitir desde la USRP hacia el computador mediante el cable USB, esto provocaba recepciones erróneas de paquetes. La demostración se lo puede ver en la Figura 11-3.

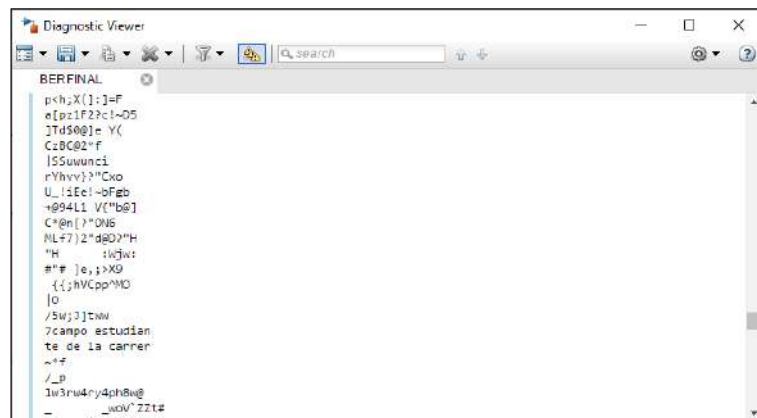


Figura 11-3: Captura de recepción de paquetes con errores

Realizado por: Ocampo, Jaleni; 2019

El resultado que se obtuvo respecto al nivel de recepción se puede observar en la Figura 12-3, en donde muestra un valor aceptable para la distancia tomada con una potencia de -10 dBm.



Figura 12-3: Espectro de OFDM receptada a 200m

Realizado por: Ocampo, Jaleni; 2019

Para el cálculo del BER se consideró realizar un algoritmo en donde se elimina los paquetes de error causados por la saturación presentada en el cable USB en la transmisión de los datos; desde la tarjeta hacia el computador. Una vez aplicado el algoritmo de eliminación de errores por saturación del cable USB, se obtuvo paquetes de datos con errores de bits mínimos, como se muestra en la Figura 13-3. **Ver Anexo H**

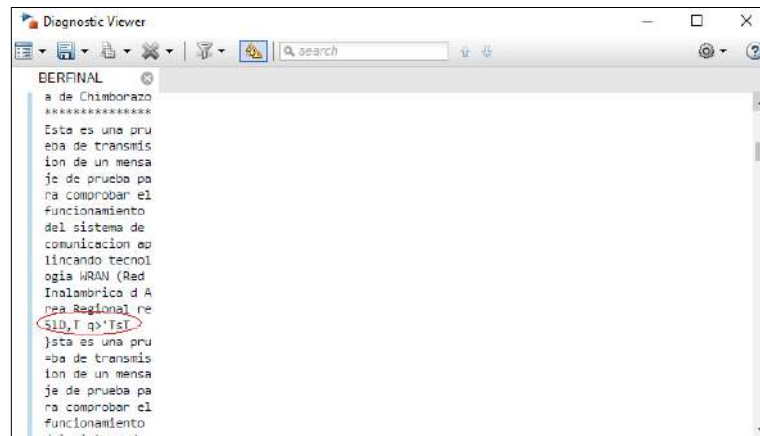


Figura 13-3: Paquetes de bits recibidos.

Realizado por: Jaleni Ocampo, 2019

En lo que respecta al BER se dedujo que se tiene un total de $1,084e^6$ bits recibidos, en los que se tiene $2,14e^4$ datos erróneos. Esto da como resultado un BER de 0,01974, tomando en cuenta que esto se debió al algoritmo de eliminación de errores aplicado no corrige errores bit a bit, por el contrario, los errores que se receipta por problemas de saturación son en paquetes grandes y pequeños.

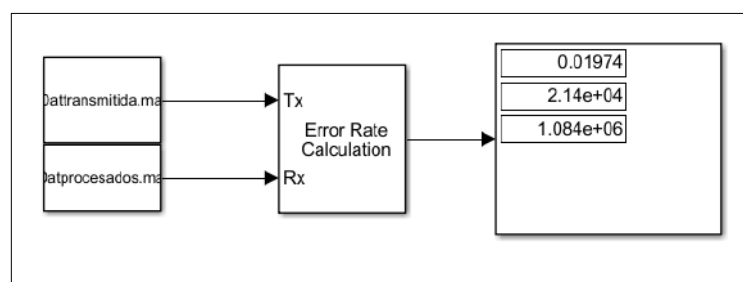


Figura 14-3: Cálculo del BER de la señal recibida

Realizado por: Ocampo, Jaleni; 2019

3.3.2 Resultado de mediciones y rendimiento a 300 m

La siguiente distancia que se consideró tomar fue de 300 m del transmisor, los resultados que se obtuvieron de esta prueba no fueron los esperados, esto se debió a que el mensaje recibido presentó mayor número de errores que en la prueba anterior. El problema encontrado se debe a la cantidad de datos que la tarjeta USRP debe transmitir provocando recepciones erróneas de paquetes. El mensaje recibido se puede observar en la Figura 15-3.

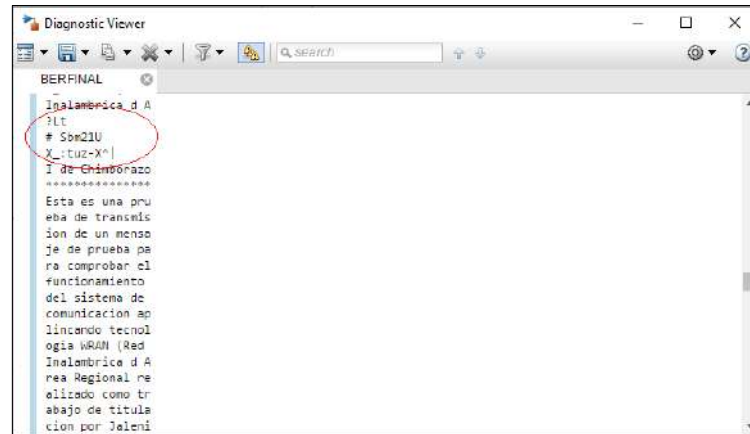


Figura 15-3: Mensaje recibido a 300 m.

Realizado por: Ocampo, Jeleni; 2019

De igual forma, en la Figura 16-3 se puede observar el nivel de recepción espectro que se obtuvo tras la prueba ejecutada, en donde muestra que el valor de la potencia alcanzada fue de -20 dBm.

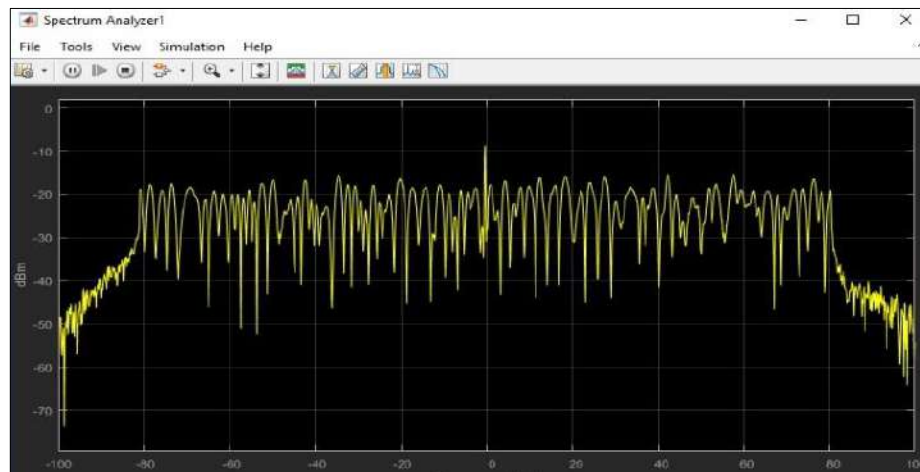


Figura 16-3: Espectro OFDM recibido a 300 m

Realizado por: Ocampo, Jeleni 2019

Una vez ejecutado el algoritmo de corrección de errores, el valor respecto al BER que se obtuvo fue de $1,071e^6$ datos recibidos, dentro de los que se tiene $2,818e^4$ datos erróneos. El resultado del BER fue de 0,02631. El resultado obtenido se observa en la Figura 17-3.

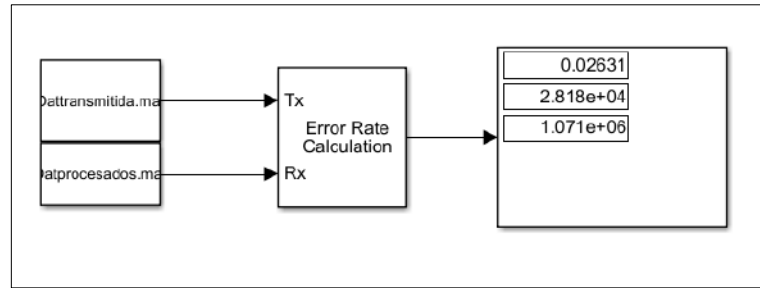


Figura 17-3: Tasa del BER en recepción

Realizado por: Ocampo, Jalení; 2019

3.3.3 Resultado de mediciones y rendimiento a 500 m

La siguiente distancia que se consideró para realizar las pruebas fue de 500 m, al tener en el apartado anterior una señal interferida se colocó un amplificador. El resultado no fue el esperado debido a que el dispositivo añadido presentaba un sobrecalentamiento y esto dio como resultado una salida no lineal de la señal, provocando en el receptor ruido en la señal y bit errados en el mensaje.

El resultado que se obtiene de esta prueba se puede ver en la Figura 18-3, en donde se puede notar que existe una cantidad importante de caracteres.

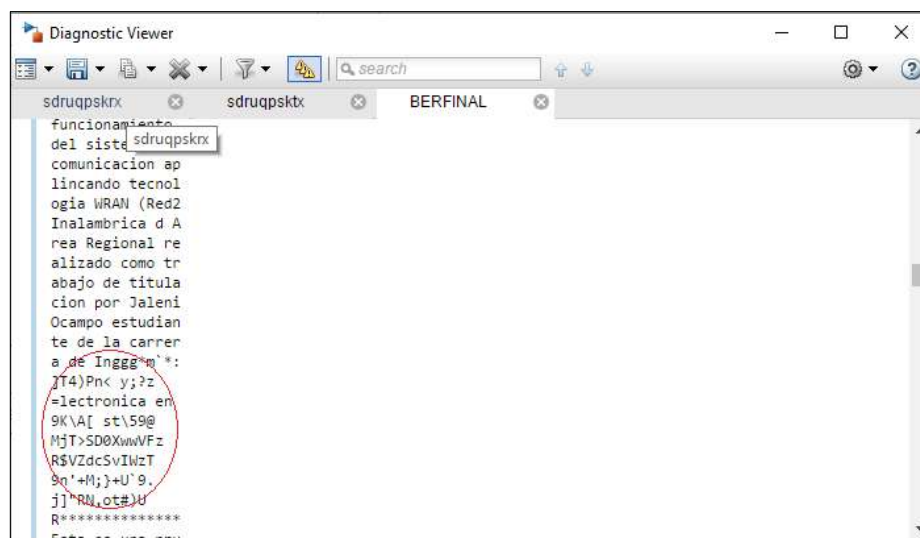


Figura 18-3: Paquetes recibidos a 500m

Realizado por: Ocampo, Jalení; 2019

De igual manera, el espectro de la señal OFDM se observa con más potencia, pero la señal no fue receptada correctamente, lo expuesto se observa en la Figura 19-3, el resultado que se obtuvo fue causada por la potencia que dispone el sistema.

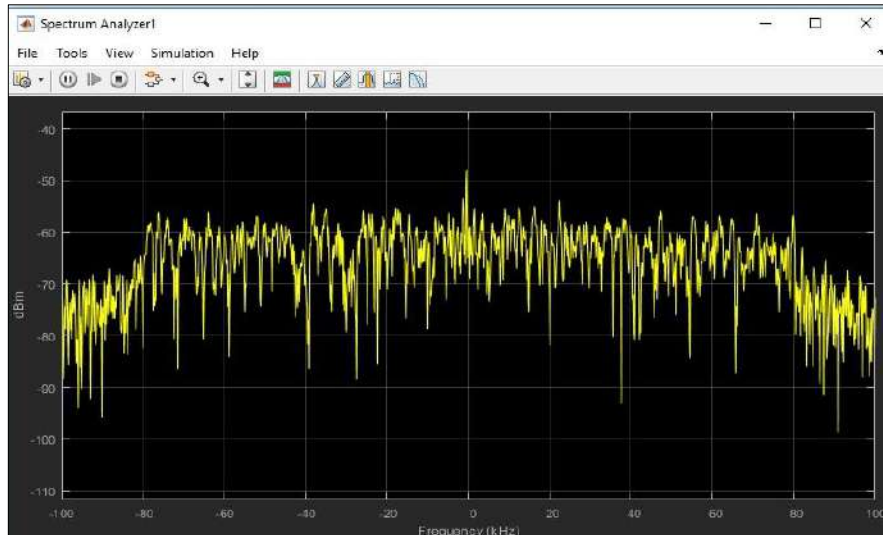


Figura 19-3: Espectro OFDM recibido a 500 m

Realizado por: Ocampo, Jaleni; 2019

A consecuencia de la transmisión, en la tasa de error de bits se tiene un valor alto para los bits erróneos recibidos, el valor obtenido en el receptor se muestra en el Figura 20-3.

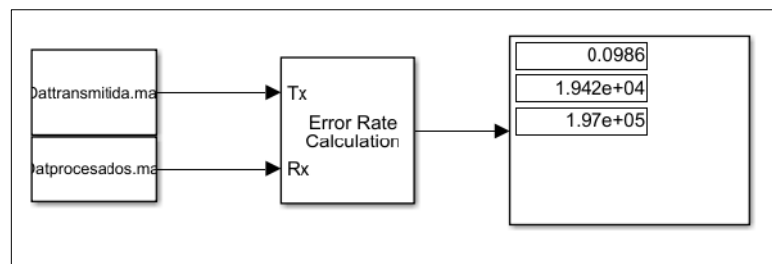


Figura 20-3: Cálculo del BER

Realizado por: Ocampo, Jaleni; 2019

Se considera importante señalar que a esta distancia se realizó pruebas sin amplificador de potencia, los resultados fueron similares a los señalados en este apartado. La señal respecto al espectro OFDM llegó con presencia de ruido y la señal de los datos con muchos errores.

3.4 Análisis de resultados

Los resultados de las pruebas realizadas se resumieron en la Tabla 2-3, de este análisis se puede deducir que el nivel de recepción es considerablemente aceptable, se recalca que para la distancia

de 500 m se recepta ruido, se deriva del problema que presenta la tarjeta USRP en lo que corresponde a la potencia y la saturación que presenta el cable USB, en lo que respecta al BER para sistemas de comunicaciones inalámbricas es insuficiente para los tres casos, debido a que la tasa de error debe estar entre los $10e^{-5}$ y $10e^{-9}$ para que una red inalámbrica sea considerada buena.

Tabla 2-3: Análisis de resultados

Variab les	Nivel de Rx	BER
200 m	-10 dBm	0,01974
300 m	-20 dBm	0,02631
500 m	-55 dBm	0,0986

Realizado por: Ocampo, Jaleni 2019

En las simulaciones realizadas en Radio Mobile, se considera que la red planteada puede ser ejecutada. Aunque, en algunas comunidades el nivel de recepción y campo eléctrico recibido no fue el esperado, esto se debe a que ciertas comunidades se encuentran afectadas debido a la topografía del terreno.

3.5 Alcance y limitaciones

3.5.1 Alcances

Para el desarrollo del trabajo de titulación se enfocó en determinar si un diseño de radio enlace aplicando tecnología WRAN sería factible o no.

Para saber si un diseño de radio enlace es factible para la tecnología WRAN se realizó un prototipo que contenga las especificaciones de la capa PHY del estándar IEEE 802.22. Fue necesario diseñar el sistema SD-WRAN para llevar a cabo el análisis de factibilidad del estándar y estudiar el alcance de este.

Considerando que cada estándar de la IEEE tiene sus especificaciones, WRAN presenta ventajas sobre las ya desarrolladas comercialmente como Wi-Fi, Zig-bee, Bluetooth y RFid; utiliza eficientemente el espacio radioeléctrico operando en los espacios en blanco de la televisión terrestre y frecuencias libres de radio difusión, haciendo uso de la radio la cognitiva desempeñando un papel importante en esta tecnología. Al operar en las bandas de VHF y UHF hace posible llegar a distancias muy grandes con los equipos correctos y ofrecer un buen alcance.

Existen equipos para llevar a cabo la implementación de una red que opera en los espacios en blanco de la televisión basándose en la tecnología de radio cognitiva, la compañía Adaptrum ha desarrollado los equipos necesarios con las especificaciones de WRAN. Los cuales garantizan a través de varias pruebas de alcance en varios países como EEUU, Puerto Rico, Reino Unido, Jamaica, Escocia, Malawi, Kenia, Colombia, entre otros.

3.5.2 Limitaciones

Al diseñar e implementar el prototipo de radio, se encontraron varios inconvenientes, el principal problema fue la tarjeta USRP B210, limitando el alcance de transmisión y recepción de la señal generada. La tarjeta presenta inestabilidad al querer aumentar la frecuencia de muestreo, las especificaciones que ofrece es una frecuencia de muestreo de 56 MHz, pero la máxima que se consigue como transmisor y receptor es de 400 KHz.

Para que el prototipo opere, fue necesario realizar una base de datos local que contiene el rango de frecuencias asignadas para televisión y radio difusión en la provincia de Pastaza. Y un subsistema en Simulink con una tarjeta USRP B-210 que realizó el sensado del espectro radioeléctrico y la selección de la frecuencia de operación se hizo en forma manual, observando los espacios vacíos del sensado, esta operación debe realizar el equipo transceptor de forma autónoma

CONCLUSIONES

Después de haber investigado, desarrollado y ejecutado el trabajo de titulación se concluye que:

- » Se demostró según el estudio realizado que, mediante el estudio técnico, la simulación de un radio enlace y el diseño de un prototipo existe la posibilidad/factibilidad de implementación de un servicio de datos utilizando el estándar IEEE 802.22 para la parroquia Teniente Hugo Ortiz (Pastaza).
- » No existen muchos proveedores de equipos y dispositivos que operen bajo los parámetros de la tecnología WRAN, una de las empresas que cumple con las especificaciones para el estándar IEEE 802.22 es la compañía Adaptrum la misma que los comercializa, además dispone de un programa Starter Kit para personas interesadas en experimentar el funcionamiento de la tecnología.
- » En base a las simulaciones realizadas en las posibles ubicaciones de los extremos de red, se obtuvieron valores adecuados para ciertos parámetros radioeléctricos, entre los que están el valor de Rx relativo del sistema con una relación respecto a la sensibilidad del receptor de 45,3 dBm y una cobertura aceptable para la ejecución de una red WRAN en la Parroquia Teniente Hugo Ortiz.
- » Se comprobó el funcionamiento del estándar IEEE 802.22 con el prototipo transceptor diseñado en Simulink con las tarjetas USRP B 210, donde la distancia máxima alcanzada del sistema es de 200m con un BER de 0,01974 , debido a las limitaciones que presentan las tarjetas.
- » De acuerdo al análisis económico realizado de los elementos necesarios para la implementación de una red WRAN punto a punto en la Parroquia Teniente Hugo Ortiz, la inversión inicial es de \$25184,90.
- » Se determinó que este proyecto puede ser ejecutado recurriendo a entes gubernamentales planteando el propósito de llevar el servicio de internet a sectores rurales de la provincia de Pastaza, los recursos necesarios para implementar la red se adquirirían recurriendo a la *LEY ORGÁNICA PARA LA PLANIFICACIÓN INTEGRAL DE LA CIRCUNSCRIPCIÓN TERRITORIAL ESPECIAL AMAZÓNICA*.

RECOMENDACIONES

Una vez concluido la investigación se da las siguientes recomendaciones:

- » Adquirir los equipos del programa Starter Kit para realizar pruebas de campo y comprobar el desempeño de éstos en áreas rurales del Ecuador.

- » Utilizar otro dispositivo SDR como la USRP N210 que disponga de más potencia para obtener alcances especificados por la tecnología WRAN, además que disponga de patch cord tipo ethernet para alcanzar una mejor transmisión de datos desde la USRP N210 hasta la computadora; para que no presente problemas de equipo. Con esto la tecnología puede ser ejecutada con equipos capaces de colaborar con los parámetros de WRAN. Además, diseñar antenas sectoriales para realizar pruebas de cobertura.

- » Instalar un repetidor desde la última distancia alcanzada con buen rendimiento, para que el servicio llegue a los usuarios mediante una conexión punto a punto para alcanzar una mayor distancia.

GLOSARIO

1.	ARCOTEL	Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones
2.	BER	Tasa de Error Binario
3.	BS	Estación Base
4.	CPE	Equipo Local del Cliente
5.	ERE	Espectro Radioeléctrico
6.	IEEE	Instituto de Ingeniería Eléctrica y Electrónica
7.	INEC	Instituto Nacional de Estadística y Censos
8.	ISM	Bandas de Radio Industriales, científicas y médicas
9.	N'LOS	Sin Línea de Vista
10.	MAC	Control de Acceso al Medio
11.	Mbps	Mega bits por segundo
12.	OFDM	Multiplexación por División de Frecuencia Ortogonal
13.	PHY	Capa Física
14.	QAM	Modulación de Amplitud en Cuadratura
15.	QPSK	Modulación por Desplazamiento en Cuadratura y Fase
16.	RC	Radio Cognitiva
17.	RF	Radio Frecuencia
18.	SDR	Rado Definida por Software
19.	TDT	Televisión Digital Terrestre
20.	TVWS	Espacios en Blanco de Televisión
21.	UHF	Frecuencia Ultra Alta
22.	USRP	Periférico de Radio por Software Universal
23.	VHF	Frecuencia Muy Alta
24.	WBAN	Red Inalámbrica de Área Corporal
25.	WISP	Proveedor de Servicio de Internet Inalámbrico
26.	WLAN	Red Inalámbrica de Área Local
27.	WMAN	Red Inalámbrica de Área Metropolitana
28.	WPAN	Red Inalámbrica de Área Personal
29.	WRAN	Red Inalámbrica de Área Regional
30.	WRAN	Red de Área Regional Inalámbrica
31.	WSDB	Base de Datos de Espacios en Blanco
32.	XDSL	Línea de Suscriptor Digital

BIBLIOGRAFÍA

- ABRAHAMSSON, C. y WESSMAN, M., 2004. WLAN Security: IEEE 802.11b or Bluetooth-which standard provides best security methods for companies? [en línea]. S.l.: [Consulta: 13 septiembre 2018]. Disponible en: www.ipd.bth.se.
- AGUILAR, J. y NAVARRO, A., 2011. Radio cognitiva-Estado del arte. *Revista Sistemas y Telemática* [en línea]. Colombia, 2011. pp. 32-33. [Consulta: 30 septiembre 2018]. Disponible en: www.icesi.edu.co/sistemas_teleomatica.
- AHUJA, I., ARRIAGA, R., MEDELLÍN LESLIE y MENDOZA, A., 2010. *REDES WLAN CON ACCESS POINT* [en línea]. S.l.: s.n. [Consulta: 13 septiembre 2018]. Disponible en: https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/13358/ice_44_10.pdf?sequence=1&isAllowed=y.
- ALCOCER, C., 2016. ¿Cuál es la diferencia entre los estándares IEEE 802.11ah y 802.11af. [en línea]. [Consulta: 5 diciembre 2018]. Disponible en: <https://blog.telecom.pucp.edu.pe/index.php/2016/09/14/cual-es-la-diferencia-entre-los-estandares-ieee-802-11ah-y-802-11af/>.
- APURVA, M., 2011. IEEE 802.22 –Cognitive Radio-based Regional Area and Smart Utility Networks. ,
- ARCHUNDIA, F.M., 2003. 4. El estándar IEEE 802.15.4. [en línea]. S.l.: [Consulta: 26 agosto 2018]. Disponible en: http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lem/archundia_p_fm/capitulo4.pdf.
- ARCOTEL, 2014. INTERNET. [en línea]. S.l.: [Consulta: 13 noviembre 2018]. Disponible en: <http://www.arcotel.gob.ec/wp-content/uploads/2015/11/Boletin6.pdf>.
- AREFIN, M.T., ALI, M.H. y HAQUE, A.K.M.F., 2017. Wireless Body Area Network: An Overview and Various Applications. *Journal of Computer and Communications* [en línea], vol. 05, no. 07, pp. 53-64. ISSN 2327-5219. DOI 10.4236/jcc.2017.57006. Disponible en: <http://www.scirp.org/journal/doi.aspx?DOI=10.4236/jcc.2017.57006>.
- ASSOCIATION, I.S., 2015. *Part 22 : Cognitive Wireless RAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications : Policies and Procedures for Operation in the TV Bands*. S.l.: s.n. ISBN 9780738167237.
- BANERJI, S. y CHOWDHURY, R.S., 2013. On IEEE 802.11: Wireless LAN Technology. *Original Publication: International Journal of Mobile Network Communications & Telematics (IJMNCT)* [en línea], vol. 3, no. 4. [Consulta: 13 septiembre 2018]. DOI 10.5121/ijmnct.2013.3405. Disponible en: <http://arxiv.org/abs/1307.2661>.
- BATES, R., 2003. *Comunicaciones inalámbricas de banda ancha*. [en línea]. España: s.n. [Consulta: 9 junio 2019]. Disponible en: <https://ebookcentral.proquest.com/lib/epochsp/reader.action?docID=3191950&query=red>

es%2Binal%25C3%25A1mbricas.

- BORDÓN, R. y MONTEJO, S., 2015. La Radio Cognitiva y su Impacto en el Uso Eficiente del Espectro de Radio. *RIELAC* [en línea]. S.l.: [Consulta: 26 octubre 2018]. Disponible en: http://revistascientificas.cujae.edu.cu/Revistas/Electronica/Vol-XXXVI/1-2015/04_rielac_01_2015.pdf.
- CAMACHO, L., 2011. Redes Inalámbricas para Zonas Rurales. , no. July 2011, pp. 11.
- CAMARGO, J., 2009. *CAPÍTULO 3: REDES INALÁMBRICAS DE AREA LOCAL (WLAN)* [en línea]. S.l.: s.n. [Consulta: 13 septiembre 2018]. Disponible en: <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/11761/fichero/Volumen1%252F7-Capítulo3+-+Redes+inalámbricas+de+área+local+%28WLAN%29.pdf+>.
- CASTRO DEL PORTILLO A, PERDOMO L, LAVANDERA I, M.J., 2017. Ieee 802.22, super wi-fi . , vol. 16, no. 1, pp. 1-12.
- CHOUINARD, G., 2010. IEEE 802.22 Wireless Regional Area Network. [en línea]. S.l.: [Consulta: 10 junio 2019]. Disponible en: <http://standards.ieee.org/guides/bylaws/sb-bylaws.pdf>.
- CISCO, 2014. Lo que usted necesita saber sobre redes inalámbricas. [en línea]. S.l.: [Consulta: 23 agosto 2018]. Disponible en: https://www.cisco.com/c/dam/global/es_mx/assets/ofertas/desconectadosanonimos/wireless/pdfs/brochure_wireless.pdf.
- CNT, 2017. Rendición de cuentas 2017. [en línea], [Consulta: 15 noviembre 2018]. Disponible en: <http://corporativo.cnt.gob.ec/wp-content/uploads/2018/02/CNT-RENDICION.pdf>.
- CORDEIRO, C., CHALLAPALI, K., BIRRU, D. y SHANKAR, S., 2005. IEEE 802.22: The First Worldwide Wireless Standard based on Cognitive Radios. [en línea], [Consulta: 27 mayo 2018]. Disponible en: <https://pdfs.semanticscholar.org/965d/e81f801737bd596338b3af47c39994b60052.pdf>.
- DE LA CRUZ, Y., VARGAS, C., SIERRA, T.-Y. y ACUÑA, L., 2010. INTERCONEXION BLUETOOTH CON DSPIC30F4013. [en línea]. S.l.: [Consulta: 10 junio 2019]. Disponible en: [http://server-die.alc.upv.es/asignaturas/PAEEES/2009-10/Bluetooth y DSPIC \(segunda versión 31-03-2010\).pdf](http://server-die.alc.upv.es/asignaturas/PAEEES/2009-10/Bluetooth%20y%20DSPIC%20(segunda%20versi%C3%B3n%2031-03-2010).pdf).
- DELGADO, M. y RODRIGUEZ, B., 2016. Opportunities for a more Efficient Use of the Spectrum based in Cognitive Radio. *IEEE Latin America Transactions*, vol. 14, no. 2, pp. 610-616. ISSN 15480992. DOI 10.1109/TLA.2016.7437200.
- DÍAZ RODRÍGUEZ, N.S., 2017. *DISEÑO DE UNA RED DE TRANSMISIÓN DE ACCESO UMTS (UTRAN) CON RADIO MOBILE* [en línea]. S.l.: s.n. [Consulta: 12 julio 2019]. Disponible en: <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/11901/fichero/capitulo7.pdf>.
- ENEMDU-TIC, 2017. Tecnologías de la Información y Comunicación. [en línea]. S.l.: [Consulta: 13 noviembre 2018]. Disponible en: <http://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web->

- inec/Estadisticas_Sociales/TIC/2017/Tics 2017_270718.pdf.
- GAD PARROQUIAL “TENIENTE HUGO ORTIZ”, 2015. PLAN DE DESARROLLO Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL DE LA PARROQUIA RURAL “TENIENTE HUGO ORTIZ”. [en línea], pp. 1-132. Disponible en: http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL_SNI/data_sigad_plus/sigadplusdocumentofinal/1768086160001_ACTUALIZACION_PDOT_LIMONCOCHA_2015_-_2019_29-10-2015_15-41-36.pdf.
- GAMBOA, J., 2007. *ESTUDIO Y DISEÑO DE UNA RED DE ÁREA METROPOLITANA INALÁMBRICA (WMAN) CON TECNOLOGÍA IEEE 802.16 PARA LA ZONA COMERCIAL DE LA CIUDAD DE QUITO* [en línea]. S.l.: ESPE. [Consulta: 26 septiembre 2018]. Disponible en: <https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/2257/1/T-ESPE-014610.pdf>.
- GARCÍA, A., 2014. *Bluetooth* [en línea]. S.l.: s.n. [Consulta: 10 junio 2019]. Disponible en: <http://dgsa.uaeh.edu.mx:8080/bibliotecadigital/bitstream/handle/231104/365/Bluetooth.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- GONZALES, O., RODRÍGUEZ, O. y GATO, L., 2017. IEEE 802 . 22 WRAN as an alternative to the development of ICTs in Cuba . . S.l.:
- HERNÁNDEZ, P., 2016. Principios, normas y soluciones de Radio Cognitiva. [en línea]. S.l.: [Consulta: 29 septiembre 2018]. Disponible en: https://ie.fing.edu.uy/proyectos/esopo/wp-content/uploads/sites/3/2017/01/Doc4_20170118_CognitiveRadio.pdf.
- HERNÁNDEZ, R., 2017. Introducción a las redes WiFi. *088.090* [en línea], pp. 88. [Consulta: 13 septiembre 2018]. Disponible en: http://www.rnds.com.ar/articulos/091/RNDS_088-090W.pdf.
- INTERNATIONAL CENTRE FOR THEORETICAL PHYSICS, 2012. Introducción a las redes WiFi Materiales de entrenamiento para instructores de redes inalámbricas. [en línea]. S.l.: [Consulta: 13 septiembre 2018]. Disponible en: http://www.eslared.org.ve/walc2012/material/track1/05-Introduccion_a_las_redes_WiFi-es-v2.3-notes.pdf.
- LUQUE, J., 2016. Dispositivos y tecnologías wearables. [en línea]. S.l.: [Consulta: 10 diciembre 2018]. Disponible en: https://www.acta.es/medios/articulos/ciencias_y_tecnologia/041001.pdf.
- MARTÍNEZ, A., 2011. Sistemas Difusión Radio y Cable WiMAX. [en línea]. S.l.: [Consulta: 26 septiembre 2018]. Disponible en: <http://wirelessman.org/>.
- MEDEN, J., 2014. IEEE 802.11ac. [en línea]. S.l.: [Consulta: 10 junio 2019]. Disponible en: <http://jeuazarru.com/wp-content/uploads/2014/10/80211ac.pdf>.
- MITE, L., 2017. Ecuador accede a intersnet desde hace 25 años. [en línea]. [Consulta: 13 noviembre 2018]. Disponible en: <https://www.eltelegrafo.com.ec/noticias/tecnologia/1/ecuador-accede-a-internet-desde->

- hace-25-años.
- MODY, A.N., 2013. WhiteSpace Technologies , Applications , Regulations and Trials. ,
- MODY, A.N., 2016. Overview of the IEEE 802.22 Working Group Activities and the IEEE 802.22 (Wi-FAR) Standard for Wireless Regional Area Networks. , vol. 22.
- MOREJÓN PERERA, A., 2017. *Evaluación del desempeño de redes móviles con femtoceldas*. [en línea]. S.l.: Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas. [Consulta: 17 febrero 2019]. Disponible en: [http://dspace.uclv.edu.cu/bitstream/handle/123456789/7866/Alejandro Morejón Perera.pdf?sequence=1&isAllowed=n](http://dspace.uclv.edu.cu/bitstream/handle/123456789/7866/Alejandro%20Morej%C3%B3n%20Perera.pdf?sequence=1&isAllowed=n).
- MORENO, D., MEJÍA, J. y MORENO, H., 2017. Desarrollo de un algoritmo en MATLAB para la optimización de la resolución de una tarjeta USRP B210 para aplicaciones SDRadar. *MASKAY* [en línea], vol. 7, no. 1, pp. 31. [Consulta: 4 julio 2019]. DOI 10.24133/maskay.v7i1.338. Disponible en: <https://journal.espe.edu.ec/ojs/index.php/maskay/article/view/338>.
- MORI, M., SCHEWELEW, A. y GONTCHARENKO, I., 2012. MMANA-GAL - MM HamSoft. [en línea]. [Consulta: 9 julio 2019]. Disponible en: <https://hamsoft.ca/pages/mmana-gal.php>.
- NAULA LÓPEZ, N.G., 2015. Diseño y simulación de una red wran para zonas rurales de la Costa Ecuatoriana, con el estándar IEEE 802.22 en NS-2. [en línea], [Consulta: 20 abril 2018]. Disponible en: <https://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/30162>.
- NOTI AMAZONÍA, 2017. PASTAZA. Internet satelital inalámbrica se instalan en 5 parroquias fronterizas – Noti Amazonía. [en línea]. [Consulta: 19 noviembre 2018]. Disponible en: <http://www.notiamazonia.com/noticias-recientes/pastaza-internet-satelital-inhalambrica-se-instalan-en-5-parroquias-fronterizas/>.
- OLIVARES, J.L., 2009. CAPÍTULO 2: REDES INALÁMBRICAS DE AREA PERSONAL (WPAN) 2.1 Introducción a las WPAN. [en línea]. S.l.: [Consulta: 26 agosto 2018]. Disponible en: <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/11761/fichero/Volumen1%252F6-Capítulo2+-+Redes+inalámbricas+de+área+personal+%28WPAN%29.pdf+>.
- PEDRAZA, L.F., FORERO, F. y PÁEZ, I.P., 2012. Detección de espectro para radio cognitiva. *Spectrum sensing for cognitive radio*. [en línea], vol. 20, no. 2, pp. 197-210. [Consulta: 21 marzo 2018]. ISSN 07183291. DOI 10.4067/S0718-33052012000200007. Disponible en: http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-33052012000200007&lng=en&nrm=iso&tlng=en.
- R.J., 2007. VI. INTRODUCCIÓN A WiMax. [en línea]. S.l.: [Consulta: 26 septiembre 2018]. Disponible en: http://arantxa.ii.uam.es/~tac/Documentacion/Tema_VI_Introduccion_Sistemas_WiMax_ver0.pdf.
- RADICELLI, C. y CARDONA, N., 2015. Propuesta de conectividad a Internet para zonas rurales

- mediante un canal de retorno para ISDB-Tb. [en línea]. Valencia: [Consulta: 19 noviembre 2018]. Disponible en: [https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/78993/RadicelliGarcía%2C%20C.D.%20Cardona%2C%20Narcís-Propuesta de conectividad....pdf?sequence=3](https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/78993/RadicelliGarcía%2C%20C.D.%20Cardona%2C%20Narcís-Propuesta%20de%20conectividad....pdf?sequence=3).
- RAMÍREZ, J. y DÍAZ, J., 2008. Las redes inalámbricas, más ventajas que desventajas. [en línea]. México: [Consulta: 9 junio 2019]. Disponible en: <https://www.uv.mx/iiesca/files/2012/12/redes2008-2.pdf>.
- RAVIPATI, V., JAGADISH, K., HEMANTH, A., REDDY, V. y MANIKANTA, N., 2016. Design and FPGA Implementation of OFDM Transmitter for IEEE 802.22/WRAN. , vol. 835215, pp. 4.
- REÁTEGUI, B., 2010. *MEJORAMIENTO E INTEGRACIÓN DE SISTEMAS INFORMÁTICOS DE INFORMACIÓN DE LAS EPS SEDALORETO S.A. EN LA CIUDAD DE IQUITOS* [en línea]. S.l.: s.n. [Consulta: 14 junio 2019]. Disponible en: http://repositorio.urp.edu.pe/bitstream/handle/urp/60/reategui_a.pdf?sequence=1&isAllowed=y.
- RIVERA, G., 2004. CAPÍTULO II TECNOLOGÍAS INALÁMBRICAS. [en línea]. S.l.: [Consulta: 25 agosto 2018]. Disponible en: http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lis/rivera_d_g/capitulo2.pdf.
- SALAZAR, J., 2015. REDES INALÁMBRICAS. [en línea]. S.l.: [Consulta: 21 agosto 2018]. Disponible en: <http://www.techpedia.eu>.
- SIBILLA, L. y OLIVEIRA, P., 2011. PADRÃO IEEE 802.22 PARA REDES SEM FIO BASEADAS EM RÁDIO COGNITIVO: UMA REVISÃO. *Revista Visión Electronica*, vol. 5, no. 2, pp. 129-136.
- SIERRA, A., 2015. SIMULACIÓN DE DESEMPEÑO DE LAS TECNOLOGÍAS LTE Y WRAN PARA USO EN ZONAS RURALES DEL DEPARTAMENTO DEL CHOCÓ. [en línea]. Bogotá: [Consulta: 23 octubre 2018]. Disponible en: <http://polux.unipiloto.edu.co:8080/00002707.pdf>.
- SOTO, J., 2017. Súper WiFi: El plan que busca dar Internet a zonas rurales | Hostname.cl. [en línea]. [Consulta: 15 enero 2019]. Disponible en: <https://www.hostname.cl/blog/super-wifi-sistema-microsoft-busca-llevar-internet-zonas-rurales>.
- THIEL, J., 2013. Metropolitan and Regional Wireless Networking: 802.16, 802.20 and 802.22. [en línea]. S.l.: [Consulta: 21 septiembre 2018]. Disponible en: <https://www.cse.wustl.edu/~jain/cse574-06/ftp/wimax.pdf>.
- TITUAÑA MARÍA, 2010. IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO DE COMUNICACIONES MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DEL ESTÁNDAR IEEE 802.15.4. [en línea]. S.l.: [Consulta: 5 septiembre 2018]. Disponible en: <https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/134/1/T-ESPE-029262.pdf>.
- TOLOMEO, P., 2015. CAPÍTULO 3: ESTÁNDAR IEEE 802.15.4 “REDES ZIGBEE”. [en línea]

[Consulta: 6 septiembre 2018]. Disponible en:
<http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/jspui/bitstream/132.248.52.100/229/6/A6.pdf>.

VERA, C., BARBOSA, J. y PABÓN, D., 2017. La Tecnología ZigBee estudio de las características de la capa física. *Scientia et Technica Año XXII* [en línea], vol. 22, no. 3, pp. 5-6. [Consulta: 6 septiembre 2018]. Disponible en:
<http://staff.ustc.edu.cn/~ustcsse/papers/SR10.ZigBee.pdf>.

VILLEGAS, J., 2017. *Comunicaciones WBAN-IBC: Enfoques, perspectivas y aplicaciones* [en línea]. S.l.: Universidad Politécnica de Valencia. [Consulta: 6 diciembre 2018]. Disponible en: [https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/86055/VILLEGAS-WBAN-IBC%3A Enfoques%2C perspectivas y aplicaciones.pdf?sequence=1](https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/86055/VILLEGAS-WBAN-IBC%3A%20Enfoques%2C%20perspectivas%20y%20aplicaciones.pdf?sequence=1)



Nombre del documento	Fecha de ingreso	Fecha de salida	Estado

ANEXOS

Anexo A. Encuesta realizada

ENCUESTA SOBRE FACTIBILIDAD DE SERVICIO DE INTERNET INALÁMBRICO EN LA PARROQUIA TENIENTE HUGO ORTIZ

Reciba un cordial saludo, mi nombre es *Jaleni Ocampo* y soy tesista de la ESPOCH. Estoy haciendo un estudio en la Parroquia Teniente Hugo Ortiz para conocer la realidad de la falta de internet en la zona. Es de gran interés para nosotros conocer su opinión. Desde ya le estoy agradecida por su participación.

1. Datos Iniciales

- a. ¿A qué comunidad de la parroquia pertenece usted? Marque con una X.

San Pablo de Allishungo		San Miguel del Llandia		Palma Roja	
Llandia		La Mariscal		El Dorado	
Boayacu		Unión del Llandia		Casco Parroquial	
Gavilán del Anzu		Allishungo		Otro Lugar	

2. ¿Reside actualmente en la Parroquia Tte. Hugo Ortiz?

Si: _____ No: _____

Si escoge la opción SI siga con la encuesta, de lo contrario termina la encuesta.

3. ¿Es necesario para usted el uso de internet?

Si: _____ No: _____

Si escoge la opción SI siga con la encuesta, de lo contrario termina la encuesta.

4. ¿Con que medio accede al consumo de internet?

Info centros: _____ Celular: _____ Cyber: _____

5. ¿Con que frecuencia UD utiliza el servicio de internet?

Diariamente: _____ Semanalmente: _____ Mensualmente: _____

6. ¿Cuántas horas aproximadamente a la semana consume internet?

Menos de 5 horas _____ De 5 a 15 horas _____ De 15 a 24 horas _____

Ilimitado _____

7. ¿Se siente conforme con la clase de servicio que le ofrece sus actuales proveedores de acceso a internet?

Si: _____ No: _____

8. ¿Le gustaría acceder a internet inalámbrico en la comodidad de su hogar?

Si: _____ No: _____

9. ¿Estaría UD de acuerdo a pagar mensualmente una de las siguientes tarifas por un servicio de internet ilimitado?

Velocidad de Conexión	Precio	SI	NO
3 Mbps	\$18 + iva + \$10 instalación		
5 Mbps	\$22 + iva + \$10 instalación		
10 Mbps	\$25 + iva + \$10 instalación		
15 Mbps	\$30 + iva + \$10 instalación		

10. ¿Está conforme con estos precios?

Si: _____ No: _____

Por la atención brindada a la presente encuesta le quedo muy agradecida. Buen día

Anexo B. Hoja de especificaciones técnicas del cable coaxial RG-58

CABLES COAXIALES DE EMISIÓN Y RADIOFRECUENCIA

3,1 Cables de 50 Ohmios RG-MIL-C-17



DENOMINACIÓN	RG-58 C/U	RG-174 A/U	RG-213/U	RG-214/U	RG-223/U
Código	3006	3021	3025	3041	3045

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

Conductor Interior	CuSn	Acero-Cobre	Cu	CuAg	CuAg
Ø mm	0,9(19X0,18)	0,48(7X0,16)	2,25(7X0,75)	2,25(7X0,75)	0,9
Dieléctrico	PE Compacto	PE Compacto	PE Compacto	PE Compacto	PE Compacto
Ø mm	2,95	1,52	7,25	7,25	2,95
Conductor Exterior	1ª Trenza 2ª Trenza	CuSn	Cu	CuAg	CuAg
Cubierta Exterior	PVC IIa/FRLSZH	PVC IIa/FRLSZH	PVC IIa/FRLSZH	PVC IIa/FRLSZH	PVC IIa/FRLSZH
Color	Ng /BI/ve	Ng /ve	Ng /ve	Ng /ve	Ng /ve
Ø mm	5	2,79	10,3	10,8	5,4
Radio de curvatura (mm)	25	15	50	50	30
Peso Aprox. Kg/Km	36	11	160	190	55
Presentación Metros	100/2000	100/1000	100/500	100/500	100/1000

CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS

Impedancia Característica (Ω)	50 ± 2	50 ± 2	50 ± 2	50 ± 2	50 ± 2
Capacidad Media (Pf/M,)	100	100	100	100	100
Velocidad de propagación (%)	66,6	66,6	66,6	66,6	66,6
Atenuación (dB/100m)					
100 MHz	15	25	6	5,6	14
200 MHz	22	37	9	8	21
500 MHz	39	61	16	15	36
800 MHz	53	80	21	20	48
1000 MHz	59	92	25	23	55

Anexo C. Hoja de especificaciones técnicas Conversor TP-Link



General view



Front view



Rear view

Specifications:

Name	Ethernet media converter TP-LINK MC110CS	
Code	L11223	
Standards	IEE 802.3, IEEE 802.3u, IEE 802.3x	
Transmission modes	Half/Full Duplex Flow Control	
Interfaces	1x100BASE-T	UTP 5, 5e (max. 100 m) EIA/TIA-568 100 (max. 100m)
	2x100BASE-FX	Single-mode
LED indicators	PWR, FDX/Col, Link/Act, SPD	
Certificates	FCC, CE	
Transmission window [nm]	1310	
Range [km]	20	
Power	230 VAC / 9 VDC	
Dimensions [mm]	94.5x73x27	
Operating temperature [°]	0-40	

Anexo D. Hoja de especificaciones técnicas Entutorador Cisco Catalyst 2960-L

Hoja Técnica	Contenido de la caja	Productos compatibles	Documentación
<ul style="list-style-type: none"> • Communication tout-en-un • Intelligence • Sécurité améliorée • Fiabilité 			
General			
Tipo de dispositivo	Commutador - 24 puertos - Gestionado		
Tipo de caja	Sobremesa, montaje en rack		
Subtipo	Gigabit Ethernet		
Puertos	24 x 10/100/1000 (PoE+) + 4 x Gigabit SFP (enfase ascendente)		
Alimentación por Ethernet (PoE)	PoE+		
Presupuesto PoE	165 W		
Rendimiento	Ancho de banda de conmutación: 56 Gbps Ancho de banda de transmisión: 28 Gbps Rendimiento de envío (servicio de paquete de 64 bytes): 41,67 Mpps		
Capacidad	VLAN compatibles: 4096 VLAN activas: 54 Instancias de STP: 64 Sesiones de SRAM: 1		
Tamaño de tabla de dirección MAC	36 de entradas		
Admite carcasa Jumbo	10 240 bytes		
Protocolo de direccionamiento	IGMPv1, IGMPv2, MLD		
Protocolo de gestión remota	SNMP v1, RMON 2, RMON, Telnet, SNMP v3, SNMP 3c, HTTP, TFTP, SSH, CLI		
Método de autenticación	Kerberos, Secure Shell (SSH), RADIUS, TACACS+		
Características	Soporte de DHCP, negociación automática, soporte BOOTP, soporte ARP, validación automática, (AD)MCH-X automático, Intrusion Detection System (IDS), CoS Round Robin (WRR) ponderada, Broadcast Storm Control, Multicast Storm Control, Unicast Storm Control, admite Rapid Spanning Tree Protocol (RSTP), admite Multiple Spanning Tree Protocol (MSTP), anclaje DHCP, soporte de Dynamic Threshold Protocol (DTP), soporte de Port Aggregation Protocol (PAGP), soporte de Access Control List (ACL), Dynamic ARP Inspection (DAI), tecnología Cisco EnergyWise, Un-Directional Link Detection (UDLD), Rapid Per-VLAN Spanning Tree Plus (RPVST+), sin configuración, Protocolo de control de adición de enlaces (LAGP), Port Security, Energy Efficient Ethernet, Management Information Base (MIB), Dynamic VLAN Support (DVRP), Class of Service (CoS), filtro iQoS, Weighted Tail Drop (WTD), VLAN Trunking Protocol (VTP), Bridge protocol data unit (BPDU), Internet Control Message Protocol (ICMP), Spanning-tree Root Guard (STRG), Network Timing Protocol (NTP)		
Cumplimiento de normas	IEEE 802.3, IEEE 802.3n, IEEE 802.3z, IEEE 802.1D, IEEE 802.1Q, IEEE 802.3ab, IEEE 802.1p, IEEE 802.3af, IEEE 802.3x, IEEE 802.3ad (LAGP), IEEE 802.1w, IEEE 802.1x, IEEE 802.1s, IEEE 802.3ah, IEEE 802.3at, IEEE 802.3ae, IEEE 802.1AX		
Procesador	ARMv7-800 MHz		
Memoria RAM	512 MB		
Memoria Flash	256 MB		
Indicadores de estado	Estado puerto, modo puerto duplex, sistema, PoE, enlace/velocidad		
Expansión / Conectividad			
	1 x USB Type A 4 x 1000Base-X SFP optable		
Alimentación			
Volaje necesario	CA: 120/230 V (50 - 60 Hz)		
Diverso			
MTBF (tiempo medio entre averías)	309.636 horas		
Cumplimiento de normas	Plug and Play, CISPR 22 clase A, CISPR 24, EN55024, EN55122 clase A, AS/NZS 60950-1, IEC60950 clase A, RoHS, UL 60950-1 Second Edition, EN 60950-1 Second Edition, IEC 60950-1 Second Edition, Directive 2011/65/EU, VCCI Class A, KENX, KN22 Class A, EN 300366, AS/NZS CISPR22:2004 Class A, EN61000-3-2, EN61000-3-3, FCC CPN47 Part 15 A, CNS 13438 Class A, CAN/CSA C22.2 No. 60950-1 Second Edition, USGSvB		
Software / Requisitos del sistema			
Software incluido	Cisco IOS LAN Lite		
Dimensiones y peso			
Anchura	44,5 cm		
Profundidad	28,5 cm		
Altura	4,4 cm		
Peso	3,36 kg		
Garantía del fabricante			
Servicio y mantenimiento	Garantía limitada - respuesta - de por vida - tiempo de respuesta: el siguiente día laborable Soporte técnico - asesoramiento - 30 días		
Parámetros de entorno			
Temperatura mínima de funcionamiento	-5 °C		
Temperatura máxima de funcionamiento	45 °C		
Ámbito de humedad de funcionamiento	5 - 90%		
Temperatura mínima de almacenamiento	-25 °C		
Temperatura máxima de almacenamiento	70 °C		
Ámbito de humedad de almacenamiento	5 - 95%		

Anexo E. Hoja de especificaciones técnicas Conmutador Cisco 3850-24XU-L

Specification

WS-C3850-24XU-L Specification	
model info:	WS-C3850-24XU-L
enclosure type:	Rack-mountable - 1U
Ports:	Stackable 24 100M/1G/2.5G/5G/10G UPE ports
Network management Interface:	<ul style="list-style-type: none"> ● Ethernet management port: RJ-45 connectors, 4-pair Cat-5 UTP cabling ● Management console port: RJ-45-to-DB9 cable for PC connections
Available PoE Power:	380W
Maximum stacking number:	up to 9 switches with same IOS feature set in same series
Stack Bandwidth:	480Gbps
Forwarding Performance:	500 Mpps (80B packets)
CPU:	Multicore CPU
RAM:	4 G
Flash Memory:	2 G
Wireless	
Number of AP per switch/stack:	100
Number of wireless clients per switch/stack:	2000
Total number of WLANs per switch:	64
Wireless bandwidth per switch:	up to 20Gbps
Supported Aironet AP series:	3600, 3500, 2600, 1600, 1260, 1140, 1040
Expansion / Connectivity	
Console ports:	USB (Type-B), Ethernet (RJ-45)
Expansion Slot(s):	1 network module slot and 1 power redundant slot
Network Modules Selection:	C3850-NM-4-1G C3850-NM-2-10G C3850-NM-4-10G C3850-NM-8-10G C3850-NM-2-40G
Stacking cable:	<ul style="list-style-type: none"> ● STACK-T1-50CM StackWise stacking cable with a 0.5 m length ● STACK-T1-1M StackWise stacking cable with a 1.0 m length ● STACK-T1-3M StackWise stacking cable with a 3.0 m length
Stack Power Cable (recommended):	<ul style="list-style-type: none"> ● CAB-SPWR-30CM stack power cable with a 30CM length ● CAB-SPWR-150CM stack power cable with a 150CM length
Power supply:	PWR-C1-1100WAC/2= PWR-C1-715WAC/2
Power Device:	Power supply - redundant - plug-in module
Power Redundancy:	optional
Voltage range (Auto):	100V-240V
Power Consumption of standalone(in Watts):	84.97 (max)
Miscellaneous	
Dimensions (H x W x D):	1.75 x 17.5 x 19.2 inch; 4.45 x 44.5 x 48.8 cm
Rack Mounting Kit:	optional
MTBF in hours:	203,150
Compliant Standards:	<ul style="list-style-type: none"> ● IEEE 802.1D Spanning Tree Protocol ● IEEE 802.1p CoS Prioritization ● IEEE 802.1Q VLAN ● IEEE 802.1s ● IEEE 802.1w ● IEEE 802.1X ● IEEE 802.1X-Rev ● IEEE 802.11 ● IEEE 802.1ab (LLDP) ● IEEE 802.3ad ● IEEE 802.3x full duplex on 10BASE-T, 100BASE-TX, and 1000BASE-T ports ● IEEE 802.3 10BASE-T ● IEEE 802.3u 100BASE-TX ● IEEE 802.3ab 1000BASE-T ● IEEE 802.3z 1000BASE-X ● RMON I and II standards ● SNMP v1, v2c, and v3

Anexo F. Hoja de especificaciones Servidor DNS y Caché DELL

Característica	Especificaciones técnicas
Factor de forma	Minitorre
Dimensiones	Alt.: 359,9 mm (14,17 in) An.: 175 mm (6,89 in) Prof.: 434,85 mm (17,12 in)
Procesador	Intel® Xeon® Processor E3-1225 v5 Intel Pentium® G4400
Sockets del procesador	1
Caché	Caché de 8 MB en Intel Xeon E3-1225 v5 3 MB en Pentium G4400
Chipset	Intel C238
Memoria	4 slots DIMM, hasta 2,133 MT/s y 64 GB de DDR4
Slots de I/O	1 de 16 PCIe 3.0 1 de 16 PCIe 3.0 (velocidad cuadruplicada) 1 de 4 PCIe 3.0 1 PCI
Controladoras RAID	RAID de software: Intel Rapid Storage Controller 12.0 (Compatible con SATA de 6Gb/s o SATA de 3Gb/s)
Discos duros	Total de hasta 6 discos duros SATA (4 discos duros SATA de 3,5 in + 2 discos duros SATA de 2,5 in (con kit de expansión y tarjeta de controladora opcional))
Unidad óptica	SATA DVD +/- RW estándar que se envía en la configuración de Xeon Configuración opcional de Pentium
Tarjeta NIC integrada	Intel I219-LM GbE LAN de un puerto 10/100/1000
Fuente de alimentación	290 W
Disponibilidad	Memoria de Código de corrección de error (ECC) RAID de software
Administración de sistemas	Intel AMT 11.0 (solo en CPU Intel Xeon)
Sistemas operativos	Microsoft® Windows Server® 2012; 2012 R2; 2016 (solo en la configuración de ECC) Red Hat® Enterprise Linux® (solo en CPU Intel Xeon) Servidor Ubuntu 14.04/16.04

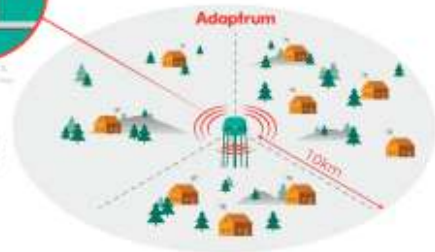
Anexo G. Hoja de especificaciones del equipo transmisor ACRS2-B1000

DATA SHEET

360° Point-to-Multipoint TVWS Network

Supporting non-line-of-site links out to a distance of 6mi (10km), when deployed in a typical 3-sector configuration, a site using B1000 radios can cover a 360° area of approximately 120mi² (300km²)

To complete the fixed wireless point-to-multipoint network, B1000 are deployed along with ACRS2.0 client radios, which are installed to the exterior of homes and other subscriber end-points.



B1000 Technical Specifications

Performance

Max Data Rate (PHY):
26.7Mbps/6MHz; 37.3Mbps/8MHz; 46.7Mbps/10MHz

Delivered Throughput (IP):
13Mbps/6MHz; 20Mbps/8MHz; 24Mbps/10MHz

Bandwidth Efficiency: 94%

Latency: 15ms typical

Radio

Frequency Range: 400MHz - 1GHz (restricted by country)

Channel Bandwidth: 6/7/8MHz channel plans, supporting channel expansion to 10MHz for 6MHz channel plans

Modulation: QPSK, 16QAM, 64QAM, 256QAM

Max Conducted Power: 600mW (28dBm)

Adjacent Channel Emission: < -55dBc

Sensitivity (by channel size)

SNR (dB)	6MHz Ch.		8MHz Ch.		Modulation
	Sensitivity (dBm)	Rate (Mbps)	Sensitivity (dBm)	Rate (Mbps)	
3.5	-98.0	4.0	-96.75	5.6	QPSK 1/2
11.5	-90.0	10.6	-88.75	14.8	16QAM 2/3
21.5	-80.0	20.0	-78.75	28	64QAM 5/6
29.0	-72.5	26.7	-71.25	37.3	256QAM 5/6

Features

Agile Sense Channel Scan: Active scan monitors & logs on-going RF conditions across channels (no service impact)

Adaptive Resource Ratio: Dynamic auto-optimized down/up resource allocation

Auto Geo-Location: Integrated high sensitivity GNSS receiver with 3 system concurrent reception

Power

Max Power Consumption: 30W

System Power: Passive PoE 48V DC (110V/240V PoE Injector included optionally)

System Interfaces

External Antenna: N-Type Female

Data/Control/Power: 10/100 Ethernet

Management: Adaptrum HTTPS HTML5 based Web GUI & NMS, SNMPv3 Remote Monitoring

External Antenna Options

Log-Periodic: Vertically polarized 65°, 11dBi

Panel Antenna: Vertically polarized 90°, 11dBi

Physical

Size: 12in x 10.5in x 3.5in (310mm x 270mm x 85mm)

Weight: 10lbs (4.5kg)

Enclosure Characteristics: Weatherproof sealed aluminum

Mounting: Wall & pole mounting bracket included

Environmental

Operating Temperature: -40°C to 50°C (-40°F to 122°F)

Operating Humidity: 5% to 100%

Regulatory & Compliance

Approvals: FCC, Pending ETSI, IDA

About
Adaptrum

Anexo H. Hoja de especificaciones de la antena para BS

Adaptrum FP-1P Antenna

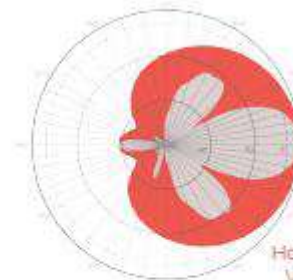
Electrical Specifications

Frequency range	468-700 MHz
Polarization	Vertical
Gain	11±1 dBi
Fixed Electrical Downtilt	0°
Half-power beam width	
Horizontal	90±8°
Vertical	30±6°
Front-to-back ratio	≥20 dB
Impedance	50 Ω
VSWR	≤1.5
Maximum power	200 W
Lighting protection	DC Ground

Mechanical Specifications

Connector	N-type Female
Connector position	Bottom
Height/width/depth	33.8 x 11.8 x 5.7 in (858 x 300 x 146 mm)
Weight	22.9 lbs (10.4 kg)
Radome material	UV Protected PVC
Radome color	Gray
Mechanical tilt	0-10°
Operating temperature	-40°C to 60°C (-40°F to 140°F)
Rated wind velocity	60 m/s
Suitable pole diameter	50-75 mm
Mounting kit	JM-VA

Single-Port Full-panel TV White Space Antenna

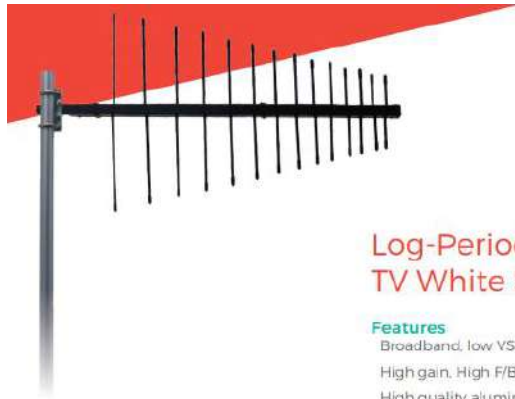


Horizontal
Vertical

About Adaptrum

Driving both technical and regulatory innovations, Adaptrum has pioneered the use of previously underutilized TV White Space spectrum. Founded by leading experts in wireless communications, our creative and experienced team is committed to fundamentally changing the wireless industry and enabling universally affordable broadband.

Anexo I. Hoja de especificaciones de la antena para cliente.



Log-Periodic Yaggi TV White Space Antenna

Features

- Broadband, low VSWR
- High gain, High F/B Ratio
- High quality aluminum alloy material
- Connector with a low loss cable
- Ideal for long-distance communication

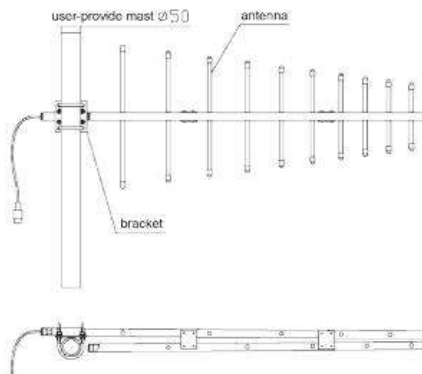
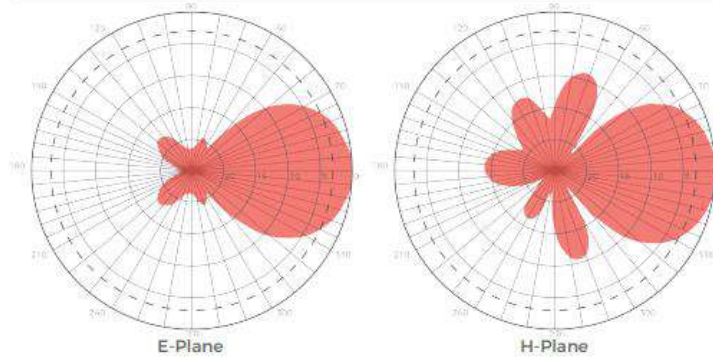
Electrical Specifications

Frequency range	400-800 MHz
Polarization	Vertical
Gain	11 dBi
Half-power beam width	
E-Plane	50°
H-Plane	65°
Front-to-back ratio	≥22 dB
Impedance	50 Ω
VSWR	≤1.5
Maximum power	200 W

Mechanical Specifications

Connector	4ft Coax Pig-tail w/ TNC-Male
Dimensions	45.7 x 14.2 in (116 x 36 cm)
Weight	3.5 lbs (1.6 kg)
Antenna material	Aluminum alloy
Antenna color	Black
Suitable mast diameter	40-50 mm

Antenna Patterns



Installation Instructions

1. Install as shown in figure, polarization is chosen as needed, fix th antenna on the mounting mast;
2. Adjust the antenna azimuth to maximize the signal, tighten all the screws, and then waterproof the connector.

Anexo J. Hoja de especificaciones de la antena para cliente.

Puntos de Acceso | TL-WA801ND

Vista

CARACTERÍSTICAS DE HARDWARE

Interfaz	Un puerto Ethernet 10/100 Mbps (RJ45) Soporte para PoE pasivo
Botones	Botón de configuración rápida de seguridad (Quick Setup Security) Botón de reset
Fuente de Alimentación Externa	5VDC / 0.85A
Estándares Inalámbricos	IEEE 802.11n, IEEE 802.11g, IEEE 802.11b
Dimensiones	181*125*36 mm (7,1*4,9*1,4 pulgadas)
Tipo de Antena	2 de 5 dBi, desmontable omnidireccional (RP-SMA)

CARACTERÍSTICAS INALÁMBRICAS

Frecuencia	2.4-2.4835GHz
Tasa de Señal	11n: Hasta 300Mbps (dinámico) 11g: hasta 54Mbps (dinámico) 11b: hasta 11Mbps (dinámico)
Sensibilidad de Recepción	270M: -68dBm @ 10% PER 130M: -68dBm @ 10% PER 108M: -68dBm @ 10% PER 54M: -68dBm @ 10% PER 11M: -85dBm @ 8% PER 6M: -88dBm @ 10% PER 1M: -90dBm @ 8% PER
Potencia de Transmisión	<20dBm(EIRP)
Modos Inalámbricos	Punto de acceso/múltiple SSID/cliente punto de acceso/repeticidor / Repetidor universal/bridge-punto de acceso
Funciones Inalámbricas	Activación/desactivación señal inalámbrica, bridge WDS
Seguridad Inalámbrica	64/128/152-bit WEP / WPA / WPA2/WPA-PSK / WPA2-PSK
Calidad de Servicio	WMM
Gestión	SNMP
Funciones Avanzadas	Soporte PoE hasta 30 metros

Anexo H. Algoritmo de eliminación de errores causado por la USRP B-210

```
clear
clc
load('Srecibida.mat');
load('Strasmitida.mat');
[longV,longH] = size(Srecibida);

j=1;
while j<=longH
    if
isequal([Srecibida(2:106,j)],[Strasmitida(2:
106,1)])
        aux1=j;
        j=longH+1;
    end
    j=j+1;
end

j=1;
while j<=longH
    if
isequal([Srecibida(2:106,j)],[Strasmitida(2:
106,24)])
        aux2=j;
    end
    j=j+1;
end
j=aux1;

k=1;
}

while j<=aux2
    if
isequal([Srecibida(2:106,j)],[Strasmitida(2:
106,1)])
        z=j+25;
        i=j;
        while i<z
            Datprocesados(:,k)=Srecibida(:,i);
            i=i+1;
            k=k+1;
        end
    end
    j=j+1;
end

[longV,longH] = size(Datprocesados);

j=1;
while j<=longH
    Dattransmitida(:,j)=Strasmitida(:,j);
    j=j+1;
end

j=1;
while j<=longH
    Datprocesados(1,j)=Dattransmitida(1,j);
    j=j+1;
end

%save('Datprocesados');
%save('Dattransmitida');
```

