

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO**

**CARRERA
INGENIERÍA DE SISTEMAS**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de:
Ingenieros de Sistemas**

**TEMA:
ANÁLISIS, DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UNA RED WIMAX PARA
BRINDAR EL SERVICIO DE ACCESO A INTERNET AL CANTÓN
LORETO.**

**AUTORES:
MANUEL CRISTÓBAL BALCÁZAR QUISHPE
DIEGO GEOVANNY ROMÁN RAMOS**

**TUTOR:
DANIEL GIOVANNY DÍAZ ORTIZ**

Quito, diciembre del 2017

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Nosotros Manuel Cristóbal Balcázar Quishpe, con documento de identificación N° 2200042477, y Diego Geovanny Román Ramos, con documento de identificación N° 1712865631, manifestamos nuestra voluntad y cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del trabajo de grado intitulado: "ANÁLISIS, DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UNA RED WIMAX PARA BRINDAR EL SERVICIO DE ACCESO A INTERNET AL CANTÓN LORETO.", mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de INGENIEROS DE SISTEMAS en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente. En la aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en nuestra condición de autores nos reservamos los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribimos este documento en el momento que hacemos entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.



MANUEL CRISTÓBAL
BALCÁZAR QUISHPE

CC: 220004247-7



DIEGO GEOVANNY
ROMÁN RAMOS

CC: 171286563-1

Quito, diciembre del 2017

DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR

Yo, Daniel Giovanni Díaz Ortiz declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el Proyecto de titulación (ANÁLISIS, DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UNA RED WIMAX PARA BRINDAR EL SERVICIO DE ACCESO A INTERNET AL CANTÓN LORETO.) realizado por (Manuel Cristóbal Balcázar Quishpe y Diego Geovanny Román Ramos), obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana, para ser considerados como trabajo final de titulación.

Quito, Diciembre 2017



Ing. Daniel Giovanni Díaz Ortiz

CI: 1716975501

DEDICATORIA

Dedico este proyecto de tesis a DIOS y a mis padres. A Dios porque ha estado conmigo a cada paso que doy, guiándome y dándome fortaleza para seguir adelante, a MIS PADRES, quienes han estado conmigo dando todo su apoyo y su esfuerzo velando por mi salud y mi futuro siendo ellos mi principal inspiración para seguir luchando en la vida, MIS HERMANOS que me supieron compartir su experiencia y sabiduría, y a MI FAMILIA quienes me han brindado su apoyo a cada instante incondicionalmente. Los amo con mi vida.

MANUEL CRISTÓBAL BALCÁZAR QUISHPE

Dedico principalmente este trabajo a DIOS por haberme dado la salud y la vida y permitirme el haber llegado a este momento tan importante de mi formación profesional. A mi MADRE por ser la persona que ha sabido darme todo su amor y guiarme con sus consejos para alcanzar todas mis metas en mi vida. A mi ABUELITA PIEDAD por compartir momentos significativos conmigo y saber siempre escucharme. A mi NOVIA por ser la persona que amo y estar a mi lado en los momentos especiales.

DIEGO GEOVANNY ROMÁN RAMOS

AGRADECIMIENTO

El presente trabajo de tesis primeramente nos gustaría agradecer a Dios por bendecirnos para llegar hasta donde hemos llegado, porque hiciste realidad este sueño anhelado.

A la UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA por darnos la oportunidad de estudiar y ser profesionales.

A nuestro director de tesis, ING DANIEL DÍAZ por su esfuerzo y dedicación, quien con sus conocimientos, su experiencia, su paciencia ha logrado guiarnos para la finalización de nuestros estudios.

A la ING VERÓNICA SORIA y a la ING BERENICE ARGUERO por habernos ayudado con su experiencia y conocimientos para realizar nuestra tesis exitosamente.

A todos nuestros profesores que tuvimos durante toda nuestra carrera universitaria que con su esfuerzo y dedicación aportaron con sus conocimientos a nuestra formación académica.

También queremos agradecer de una manera muy especial a los habitantes del cantón Loreto por su colaboración al momento de brindar los datos socioeconómicos para el desarrollo de nuestra tesis.

MANUEL BALCÁZAR Q.

DIEGO ROMÁN R.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
Antecedentes	1
Problema	1
Justificación.....	2
Objetivo General	3
Objetivos Específicos.....	3
Marco Metodológico.....	4
Observación o planteamiento del problema	4
Formulación de hipótesis.....	4
Experimentación	4
Demostración o refutación.....	4
Tesis o teoría científica	4
Capítulo 1	5
1. Tecnología WiMAX.....	5
1.1. Introducción al WiMAX	5
1.2. Definición de WiMAX.....	5
1.3. Características de WiMAX	6
1.4. Comparativo de WiMAX con otras tecnologías	7
1.5. Características generales del protocolo	8
1.6. Modelo de referencia.....	14
1.7. Revisión del estándar IEEE 802.16.....	14
1.8. Capa de enlace de datos	15
1.8.1 Subcapa CS.....	15
1.8.2 Subcapa MAC CPS.....	15
1.8.3 Security sublayer.....	16
1.9. Capa física.....	16
1.9.1 Capa física – PHY.....	16
1.10. Métodos dúplex.....	19
1.11. OFDM	23
1.11. Ventaja del OFDM.....	23
1.11.2 OFDMA escalable	23
1.12. Control de acceso al medio - MAC.....	24
1.13. Subcapa de convergencia SC (Service - specific convergence sublayer)	25
1.13.1 Especificación ATM CS.....	25
1.13.2 Especificación del paquete CS.....	25
1.14. Clasificación.....	26
1.14.1 PHS (Pallload Header Supression).....	26
1.14.2 Parte específica IP.....	26
1.14.3 Parte específica de compresión de la cabecera IP	27
1.15. Subcapa de parte común MAC – CPS (MAC common part sublayer).....	27
1.15.1 PMP.....	27
1.15.2 Malla.....	28
1.15.3 Plano de datos / Control en redes PMP.....	28
1.15.4 Plano de Datos / Control en redes de Malla.....	28
1.16. Programación de servicios	28
1.16.1 El UGS.....	29
1.16.2 El nrtPS.....	29
1.16.3 El servicio BE.....	29
1.17. Subcapa de seguridad (security sublayer)	30

1.17.1. Arquitectura del protocolo.....	30
1.17.2. Protocolo de administración de llaves.....	30
1.17.3. Protocolo de autenticación.....	30
1.17.4. Protocolo de autenticación RSA.....	31
1.17.5. Protocolo de autenticación EAP.....	31
1.17.6. Suite criptográfica.....	31
1.18. Protocolos PKM.....	31
1.18.1. Autorización del SS e intercambio de AK.....	31
1.18.2. Intercambio de TEK en una topología PMP.....	32
1.19. Métodos criptográficos.....	32
1.19.1. Métodos de encriptación de paquetes de datos.....	32
1.19.2. Encriptación del TEK.....	34
Capítulo 2	35
2. Simulación de la red WiMAX en el Cantón Loreto.....	35
2.1. Resultados del análisis socioeconómico del Cantón Lotero	35
2.1.1. Encuesta poblacional.....	35
2.2. Puntos geográficos de las estaciones base en el Cantón Loreto.....	42
2.3. Cálculos para la ubicación de las estaciones básicas	44
2.3.1. Cálculos de Azimut.....	44
2.3.2. Ganancia de la antena.....	48
2.3.3. Cálculo de Espacio Libre.....	50
2.3.4. Cálculo del PIRE.....	52
Capítulo 3	60
3. Costo de Inversión.....	60
3.1. Inicio de la Inversión.....	60
3.1.1. Descripción de los equipos.....	60
3.2. Costos de operación del proyecto	61
3.3. Ingresos anuales por los suscriptores	67
Capítulo 4	73
4 Pruebas	73
4.1 Pruebas de la simulación de la Red WiMAX.....	73
CONCLUSIONES	90
RECOMENDACIONES	91
GLOSARIO DE TÉRMINOS	92

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Multiplexación por división de frecuencia – FDM.....	10
Figura 2. Multiplexación por división del tiempo – TDM.....	10
Figura 3. Técnica de acceso al medio FDMA.....	11
Figura 4. Tramas idénticas sobre dos frecuencias TDMA/FDD.....	12
Figura 5. Técnica de acceso al medio FDMA/TDMA.....	12
Figura 6. Técnica de acceso al medio OFDM/TDMA.....	13
Figura 7. Modelo de referencia del protocolo IEEE 802.16.....	14
Figura 8. Estructura de la trama OFDM.....	20
Figura 9. Ejemplo de una Subtrama DL en FDD.....	21
Figura 10. Ejemplo de una Subtrama UL en FDD.....	21
Figura 11. Ejemplo de una Subtrama OFDM en TDD.....	22
Figura 12. Trama OFDMA escalable con múltiples zonas.....	24
Figura 13. Estadística del promedio mensual de ingresos hogar.....	35
Figura 14. Estadística del Promedio de personas que habitan en un hogar.....	36
Figura 15. Estadística de los servicios básicos en cada vivienda.....	36
Figura 16. Proveedor de Internet por casa.....	37
Figura 17. Estadística del promedio de pago mensual por el servicio de Internet.....	37
Figura 18. Estadística del Promedio de la calidad de Internet en el Cantón Loreto.....	38
Figura 19. Estadística del promedio del servicio de Internet por parte del usuario.....	38
Figura 20. Número total de horas que utiliza el usuario el Internet diariamente.....	39
Figura 21. Momento del día que más usa el servicio de Internet por usuario.....	39
Figura 22. Satisfacción del cliente de su servicio de Internet.....	40
Figura 23. Estadística de los dispositivos con los que se conecta el usuario al servicio de Internet.....	40
Figura 24. Estadística del Promedio de la población por la que no cuenta con el servicio de Internet.....	41
Figura 25. Resultado de la encuesta en el Cantón Loreto del valor que estarían dispuestos a pagar los clientes por un servicio de Internet de calidad.....	42
Figura 26. Mapa del Cantón Loreto y ubicación de las torres.....	43
Figura 27. Plano Cartesiano para el cálculo del Azimut.....	44
Figura 28. Ingreso de los puntos geográficos al Nodo Loreto 1.....	73
Figura 29. Ingreso de los puntos geográficos del Nodo Payamino.....	74
Figura 30. Ingreso de los puntos geográficos del Nodo Puerto Murialdo.....	74
Figura 31. Ingreso de los puntos geográficos del Nodo Huaticocha.....	75
Figura 32. Ingreso de los puntos geográficos del Repe Huataraco 1 y 2.....	75
Figura 33. Ingreso de los puntos geográficos del Repe Huataraco 1 y 2.....	76
Figura 34. Ingreso de los puntos geográficos del Repe Campo Alegre 1 y 2.....	76
Figura 35. Radiación de la antena direccional entre la Parroquia Loreto al Sector de Chontacocha.....	77
Figura 36. Diagrama de radiación de la antena direccional del Sector Chontacocha a la Parroquia Loreto.....	78
Figura 37. Diagrama de radiación de la antena direccional entre la Parroquia Puerto Murialdo al Sector Chontacocha.....	78
Figura 38. Diagrama de radiación de la antena direccional entre el Sector Chontacocha a la Parroquia Puerto Murialdo.....	79
Figura 39. Diagrama de radiación de la antena direccional entre la Parroquia San Vicente de Huaticocha al Sector Huataraco.....	79
Figura 40. Diagrama de radiación de la antena direccional entre el Sector Huataraco a la Parroquia Loreto.....	80

Figura 41. Diagrama de radiación de la antena direccional entre la Parroquia San Vicente de Huaticocha al Sector Huataraco.	80
Figura 42. Diagrama de radiación de la antena direccional entre el Sector Huataraco a la Parroquia San Vicente de Huaticocha.	81
Figura 43. Diagrama de radiación de la antena direccional entre la Parroquia Loreto al Sector Campo Alegre.	81
Figura 44. Diagrama de radiación de la antena direccional entre el Sector Campo Alegre a la Parroquia Loreto.	82
Figura 45. Diagrama de radiación de la antena direccional entre la Parroquia San José de Payamino al Sector Campo Alegre.....	82
Figura 46. Diagrama de radiación de la antena direccional entre el Sector Campo Alegre a la Parroquia San José de Payamino.	83
Figura 47. Diagrama de radiación de la antena sectorial de la Parroquia Loreto.	83
Figura 48. Diagrama de radiación de la antena omnidireccional de la Parroquia Puerto Murialdo.	84
Figura 49. Diagrama de radiación de la antena omnidireccional de la Parroquia San Vicente de Huaticocha.	84
Figura 50. Diagrama de radiación de la antena omnidireccional de la Parroquia San José de Payamino.	85
Figura 51. Diagrama de radiación de la antena omnidireccional del Sector Huataraco.	85
Figura 52. Simulación de la red WiMAX en el Cantón Loreto.	86
Figura 53. Conexión de la Parroquia Loreto y sus suscriptores.....	86
Figura 54. Conexión de la Parroquia de San José de Payamino y sus suscriptores...	87
Figura 55. Conexión de la Parroquia de Puerto Murialdo y sus suscriptores.	87
Figura 56. Conexión de la Parroquia San José Huaticocha y sus suscriptores.	88
Figura 57. Conexión de los suscriptores de la Parroquia Ávila Huiruno a la antena de Huataraco.	88
Figura 58. Conexión de los suscriptores de la Parroquia de San José de Dahuano a la antena de la Parroquia San Vicente de Huaticocha.....	89

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Comparación entre WiMAX VS otras tecnologías.....	7
Tabla 2. Resumen de la capa PHY.....	18
Tabla 3. Variantes de la nomenclatura con IEEE 802.16-2012	19
Tabla 4. Ubicaciones geográficas y alturas de las antenas que se establecen en las poblaciones principales del Cantón Loreto	42
Tabla 5. Cálculos de los ángulos de elevación y Azimut.....	53
Tabla 6. Tabla de antenas omnidireccionales	55
Tabla 7. Tabla de las antenas sectoriales de la Parroquia Loreto.....	56
Tabla 8. Ubicación de los suscriptores en el Cantón Loreto.....	56
Tabla 9. Proveedor de Internet de Grandes Capacidades.....	61
Tabla 10. Costos de Operación Inicial.	62
Tabla 11. Costos administrativos, sueldos y costos técnicos.	63
Tabla 12. Comparación de los productos con diferentes marcas.	64
Tabla 13. Costos de Inversión de los equipos para las Estaciones Base.	65
Tabla 14. Amortización de inversión de los equipos para las estaciones bases.....	67
Tabla 15. Planes del servicio de Internet para suscriptores.	67
Tabla 16. Costos de las unidades Suscriptoras.....	68
Tabla 17. Costo operacional anual.	68
Tabla 18. Ingresos del primer año por los suscriptores.....	69
Tabla 19. Ingresos del segundo año por los suscriptores.	69
Tabla 20. Ingreso de ganancia del tercer año por los suscriptores.....	70
Tabla 21. Ingreso de ganancia del cuarto año por los suscriptores.	70
Tabla 22. Ingreso de ganancia del quinto año por los suscriptores.....	71
Tabla 23. Ingresos del sexto año.....	71
Tabla 24. Resumen de egresos e ingresos de la red WiMAX por 6 años.	72

ÍNDICE DE FÓRMULAS

Ecuación 1: Fórmula para obtener el cálculo de la Azimut ente dos antenas.	44
Ecuación 2: Área de apertura.	48
Ecuación 3: Longitud de onda.....	49
Ecuación 4: Formula de la Ganancia de la antena.	49
Ecuación 5: Fórmula de espacio libre.	50
Ecuación 6: Fórmula de P.I.R.E.....	52
Ecuación 7: Formula de conversión de dBm a Watts.	52
Ecuación 8: Fórmula de amortización.....	66

Resumen

El objetivo principal de este proyecto es realizar el diseño y simulación de una red con tecnología WiMAX en el Cantón Loreto ubicado en la provincia de Orellana, misma que permitirá la conexión a Internet a diferentes hogares del cantón. Para realización de este proyecto se hará una encuesta socioeconómica a los pobladores del cantón misma que permitirá establecer la mejor propuesta de la red con tecnología WiMAX.

Abstract

The main goal of this project is to carry out the design and simulation of a net with WiMAX technology in the Loreto Canton, located in the province of Orellana, which will enable the connection to the Internet for many households in this canton. To develop this project, a socioeconomic survey will be carried out among the people from this place, which will lead to determine the best proposal for this net with WiMAX technology.

INTRODUCCIÓN

Antecedentes

La economía del Cantón Loreto se basa en la agricultura, ganadería, pesca y comercio de bienes y servicios razón por la que las personas necesitan realizar transferencias bancarias todos los días y la falta de una excelente calidad de Internet no permite una mayor fiabilidad y confiabilidad de sus transacciones.

Problema

El Internet se ha hecho tan indispensable, desde realizar una consulta para un trabajo de escuela o colegio, hasta poder subir fotos sobre algún lugar inolvidable en tan hermosos paisajes que ofrece esta tierra hermosa rica en diversidad ecológica y rica en cultura.

Otro de los problemas en el Cantón Loreto está, en las instituciones educativas que no poseen un servicio de Internet de calidad, razón por la cual estos centros educativos no se encuentran al mismo nivel que otras instituciones del país. Por tal motivo los estudiantes no pueden hacer trabajos de investigación, que necesitan para presentar en sus respectivas aulas de estudio.

Hoy en día es de gran importancia la investigación a través del Internet y la comunicación mediante las redes sociales, ya que las personas necesitan estar comunicados con sus familias, ubicadas en diferentes provincias del país o que se encuentran en otros países y necesitan saber acerca de ellos.

Por la falta del servicio de Internet muchas empresas públicas y privadas no pueden impartir cursos de capacitación a la población del Cantón Loreto, un buen ejemplo de ello tenemos en las parroquias: Ávila Huiruno, Puerto Murialdo y San Vicente de

Huaticocha que no cuentan con el servicio de Internet, por lo tanto los habitantes de estas parroquias se encuentran con bajos conocimientos en informática.

Justificación

Para mejorar la calidad de Internet en el Cantón Loreto se realiza el diseño de una red WiMAX, que cubrirá todo el área geográfica en lugares inaccesibles en donde otras tecnologías no pueden llegar, así todos los suscriptores podrán ingresar al Internet y hacer sus transacciones desde cualquier dispositivo digital que tenga acceso al Internet, evitando así las largas filas que se producen en un banco o cooperativa, lo que promoverá la seguridad de los usuarios ante robos o asaltos, al realizar las transacciones desde sus hogares de una manera ágil y segura.

Como el Internet se ha vuelto tan indispensable en la vida para los estudiante y usuarios en general, éstos puedan realizar cualquier consulta o subir un video al Internet, la red WiMAX diseñada para el Cantón Loreto brindará una disponibilidad del 99%, dando prioridad a las unidades educativas, mejorando la calidad de educación y a la vez poniéndoles en condiciones iguales a otros centros educativos de mayor calidad ubicados en otras provincias, lo que asegura que cualquier usuario podrá subir cualquier tipo de información a la red en el momento que el usuario lo desee de una manera rápida.

La red WiMAX garantiza el acceso al Internet las 24 horas y los 365 días del año y puede manejar velocidades simétricas desde 65 Kbps hasta las 6 Mbps, lo que permitirá tener acceso a la información sobre algún tema de investigación que necesiten consultar, también se garantiza acceso a las redes sociales, además podrán realizar video conferencias en tiempo real, sin cortes durante la transmisión del video a cualquier usuario hacia cualquier parte del país y del mundo.

Una de las principales características que tiene la tecnología WiMAX, es la utilización de la modulación OFDM, este tipo de modulación es utilizado por la telefonía móvil, la radio digital y la televisión digital terrestre, y BPSK es usada en la transmisión de bajo costo y no requiere de altas velocidades, con lo que permitirá llegar a las parroquias que actualmente no cuentan con el servicio de Internet, beneficiando a los pobladores al poder capacitarlos en el área de informática.

Objetivo General

Analizar, diseñar y simular una red WiMAX para el Cantón Loreto, realizando un análisis de factibilidad técnica para brindar el servicio de Internet, beneficiando a instituciones educativas, empresas y población en general.

Objetivos Específicos

Analizar las necesidades y recursos de cada uno de los usuarios para el diseño de la red WiMAX.

Diseñar una solución de acceso a Internet para el Cantón Loreto, con los criterios del diseño de la red. Tomando en cuenta el análisis socio económico realizado a la población.

Simular la red WiMAX para el Cantón Loreto en un entorno virtual.

Evaluar técnicamente los resultados de la red WiMAX obtenidos de la simulación de la red que se desea diseñar para el Cantón Loreto.

Analizar el costo beneficio del diseño de la red WiMAX para el Cantón Loreto para su futura implementación.

Establecer una propuesta de solución WiMAX para proveer servicio de alta calidad al Cantón Loreto.

Marco Metodológico

Para el desarrollo de plan de proyecto se usará el método científico que consta de las siguientes etapas.

Observación o planteamiento del problema

“Análisis sensorial sobre algo, una cosa, un hecho, un fenómeno, que despierta curiosidad. Conviene que la observación sea detenida, concisa y numerosa, no en vano es el punto de partida del método y de ella depende en buena medida el éxito del proceso” (Metodo Cientifico, s.f.).

Formulación de hipótesis

“Es la explicación que se le da al hecho o fenómeno observado con anterioridad. Puede haber varias hipótesis para una misma cosa o acontecimiento y éstas no han de ser tomadas nunca como verdaderas, sino que serán sometidos a experimentos posteriores para confirmar su veracidad.” (Metodo Cientifico, s.f.).

Experimentación

“Esta fase del método científico consiste en probar, experimentar para verificar la validez de las hipótesis planteadas o descartarlas, parcialmente o en su totalidad” (Metodo Cientifico, s.f.).

Demostración o refutación

Se analiza si la hipótesis es correcta o incorrecta, basándose en los datos obtenidos durante la verificación. (Valenzuela, s.f.).

Tesis o teoría científica

En este se dan las conclusiones a las que se llega mediante los pasos anteriores. (Barreto E. , s.f.).

Capítulo 1

1. Tecnología WiMAX

1.1. Introducción al WiMAX

“El estándar IEEE 802.16 (WiMAX) es un protocolo de red de área metropolitana que sustituye a tecnologías como cable módem, xDSL, servicios T1 y E1 en última milla, es también una solución de bajo costo a los usuarios que requieren acceso a redes de alta velocidad, en sitios de difícil acceso. Esta tecnología utiliza bandas de frecuencias licenciadas y no licenciadas, permitiendo a los fabricantes tener un espectro de frecuencias más amplio en que pueden desarrollar sus soluciones” (Andrés Enríquez, 2013, p. 33).

“Las bandas no licenciadas usualmente son referidas como bandas ISM (Industry, Scientific) que pueden estar ubicadas en uno de los siguientes rangos de frecuencias:

Banda de 900 MHz (902 a 928 MHz).

Banda S-ISM 2.4 MHz (2400 a 2483.5 MHz).

Banda C-ISM o UNII GHZ (5.150 a 5.250- 5.250 a 5.350- 5.470 a 5.725- 5.725 a 5.850 MHz)” (Andrés Enríquez, 2013, p. 33).

1.2. Definición de WiMAX

“Es una tecnología inalámbrica optimizada para la prestación de servicios en IP que puede cubrir áreas metropolitanas” (John Wiley & Sons, 2006, p. 26).

“El Grupo de trabajo de la IEEE 802.16 desarrolla estándares que abarca dos tipos de modelos de uso: un modelo de uso fijo (IEEE 802.16-2004) y un modelo de uso portátil (802.16 REV E, programado para ratificación en 2005). Esta es una tecnología que utiliza una plataforma inalámbrica escalable para la construcción de redes alternativas y complementarias de banda ancha” (John Wiley & Sons, 2006, pág. 26).

1.3. Características de WiMAX

Las características generales podemos resumir a continuación:

“Es una tecnología empleada en redes metropolitanas y zonas rurales.

Es un sustituto para conexiones de última milla.

“Es una solución para las demandas de ancho de banda para clientes residenciales y de negocios en aplicaciones de voz, datos, video, etc.” (Andrés Enríquez, 2013, p. 34).

“Es una tecnología punto-multipunto con opciones de conexión en línea de vista, moderada línea de vista o sin línea de vista” (Andrés Enríquez, 2013).

Tiene una interfaz física – PHY y de enlace de datos- MAC que permite distintas opciones de conexión y de empleo de bandas licenciadas o no licenciadas para dispositivos fijos y/o móviles.

Es una tecnología independiente de protocolos de capas superiores.

Emplea técnicas de autenticación y cifrado para mayor seguridad.

La asignación de ancho de banda es de acuerdo a la demanda de cada suscriptor (trama-a-trama).

Soporta múltiples servicios para suscriptores en forma simultánea con total calidad de servicio (QoS): transporte eficiente de IPv4, IPv6, ATM. Ethernet, etc.

El uso eficiente del espectro se debe a la capa MAC.

Esta tecnología soporta múltiples asignaciones de frecuencia, con técnicas tales como OFDM y OFDMA.

Esta tecnología utiliza técnicas dúplex FDD y TDD.

Esta tecnología puede emplear antenas adaptivas con codificación tiempo-espacio para mejor ganancia, cobertura o transparencia de datos en operación sin línea de vista”. (Andrés Enríquez, 2013, pág. 34).

“Las características anteriores, son todos definidos por la IEEE desde el punto de vista de diseño” (Andrés Enríquez, 2013).

1.4. Comparativo de WiMAX con otras tecnologías

“El estándar IEEE 802.16 puede alcanzar una velocidad de transmisión de más de 100Mbit/s en un canal con un ancho de banda de 28 MHz (en la banda de 10 a 66 GHz), mientras que el IEEE 802.16a puede llegar a los 70 Mbit/s, opera en un rango de frecuencias debajo de los 11 GHz.” (Andrés Enríquez, 2013, p. 37)

En la Tabla 1 podemos ver las diferencias con las otras tecnologías (Andrés Enríquez, 2013, pág. 37).

Tabla 1. Comparación entre WiMAX VS otras tecnologías

	WiMAX 802.11	WiFi 802.11	MBWA 802.20	UMTS y CDMA2000
Velocidad	134 Mbit/s	11-54 Mbit/s	16 Mbit/s	2 Mbit/s
Cobertura	40-70 Km	100 m	20 Km	10 Km
Licencia	Si/No	No	Si	Si
Ventajas	Velocidad y Alcance	Velocidad y Precio	Velocidad y movilidad	Rango y Movilidad
Inconvenientes	En desarrollo, Precio alto	Bajo alcance	Precio alto	Lento y caro

Nota: Esta tabla contiene las características de las diferentes tecnologías vs WiMAX

Fuente: (Andrés Enríquez, 2013, pág. 37)

“Las velocidades tan elevadas de WiMAX se debe a la utilización de la modulación OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) con 256 subportadoras (puntos FFT) y a OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiplexing Access) con hasta 2048 puntos FFT, la cual puede ser implementada de diferentes formas, según cada operador, siendo la variante de OFDM empleada, un factor diferenciador del servicio ofrecido” (Andrés Enríquez, 2013, pág. 38).

Estas técnicas de modulación son empleadas para la TV digital sobre cable o satélite, así como para Wi-Fi (802.11a/g), por lo que están suficientemente probadas. Esta

tecnología soporta los modos FDD y TDD que permite facilitar su interoperabilidad con otros sistemas celulares o inalámbricos (Andrés Enríquez, 2013, p. 38).

1.5. Características generales del protocolo

“Este protocolo utiliza en la capa de enlace de datos:

MAC con especificaciones en la capa física.

PHY dependiente del espectro a usar y de las regulaciones asociadas en cada país donde opere” (Andrés Enríquez, 2013, p. 43).

“La primera versión de este protocolo fue lanzada en el 2001, con un rango de frecuencias de 10 a 66 GHz, en donde el espectro es disponible a nivel mundial, pero que por emplear longitudes de onda corta, se requiere una línea de vista entre el suscriptor y la estación base. El principal empleo de este estándar era la conexión de usuarios en los hogares” (Andrés Enríquez, 2013, p. 43).

Se define un SS (Subscriber Station – estación del suscriptor), la cual se conecta a través de radio frecuencia a un BS (Base Station – estación base). Normalmente un SS sirve como puerta de enlace a un edificio. En cambio un BS sirve como conexión para permitir el acceso de varios SS y a través de él, conexión con redes públicas. Un SS solo se podrá comunicar con otro SS a través de un BS (Andrés Enríquez, 2013, p. 43).

La capa MAC fue definida como una conexión punto-multipunto para acceso a redes metropolitanas. Es orientada a conexión y soporta a usuarios en entornos geográficos difíciles (Andrés Enríquez, 2013, p. 43). “El diseño propuesto permite tener un gran ancho de banda disponible, a la vez soporta a cientos de usuarios concurrentes por canal, también soporta tráfico continuo y de ráfagas, uso eficiente del espectro electromagnético” (Andrés Enríquez, 2013, p. 43).

La capa MAC incluye una subcapa de privacidad (security sublayer) que provee autenticación para acceso a la red y establecimiento de la conexión proporcionando

seguridad, a la vez posee un mecanismo de llaves, encriptación de datos y privacidad (Andrés Enríquez, 2013, p. 44).

En 2002 se lanzó IEEE 802.16a el cual extiende el rango de frecuencias desde 2 a 11 GHz, incluyendo radiofrecuencias licenciados y no licenciados. Comparado con las señales de altas frecuencias, este espectro ofrece la oportunidad de conectar a muchos más clientes de una manera más económica, empleando tasas de transferencia menores. El servicio se reorienta a usuarios individuales en los hogares y empresas pequeñas o medianas (Andrés Enríquez, 2013, p. 44).

La versión IEEE 802.16c del año 2002 describe los perfiles del sistema en detalle, lo que permite lograr las bases de conformidad y pruebas de interoperabilidad. Se crean pruebas para los perfiles MAC en ATM y para paquetes IP, así como perfiles para la capa PHY en 25 y 28 MHz con técnicas FDD y TDD. (Andrés Enríquez, 2013, p. 44). Estas dos técnicas de duplicación empleadas por IEEE 802.16 (FDD y TDD), permiten recibir y transmitir en forma simultánea. (Andrés Enríquez, 2013, p. 45)

“La técnica FDD se basa en un esquema de comunicación dúplex, en el utiliza simultáneamente una frecuencia para el enlace de subida (uplink) y otra frecuencia distinta para el enlace de bajada (downlink)” (Byeong Gi Lee, 2008, p. 50). Cada usuario tiene su propia frecuencia (Byeong Gi Lee, 2008, p. 50).

“La técnica TDD es un esquema de comunicación dúplex que emplea la misma frecuencia para uplink y downlink, en intervalos de tiempo distintos, llamados time-slots” (Byeong Gi Lee, 2008, p. 50).

Existen varias técnicas de multiplexación, entre ellas la FDM (Frequency - division multiplexing) y la TDM (Time – division multiplexing). “En la Figura 1 se observa que OFDM se basa en que el ancho de banda útil del medio, excede el ancho de banda

requerido para una señal dada y dar una mayor visualización” (Andrés Enríquez, 2013, p. 44).

Multiplexación FDM

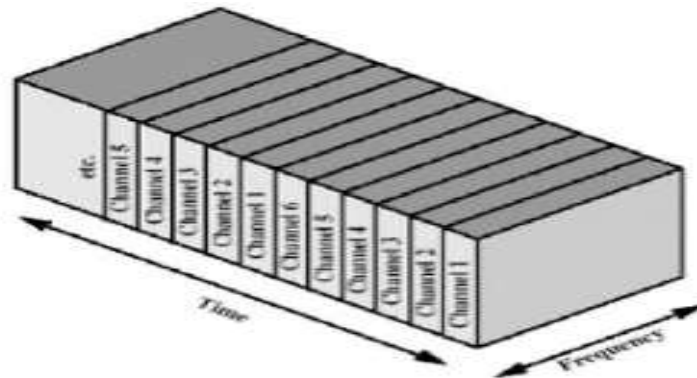


Figura 1. Multiplexación por división de frecuencia – FDM.
Fuente: (Andrés Enríquez, 2013, p. 45)

“Mientras en la Figura 2 TDM se basa en que la tasa de datos alcanzable en el medio, excede la tasa de datos requerida por una señal digital” (Andrés Enríquez, 2013, pág. 44).

Multiplexación TDM

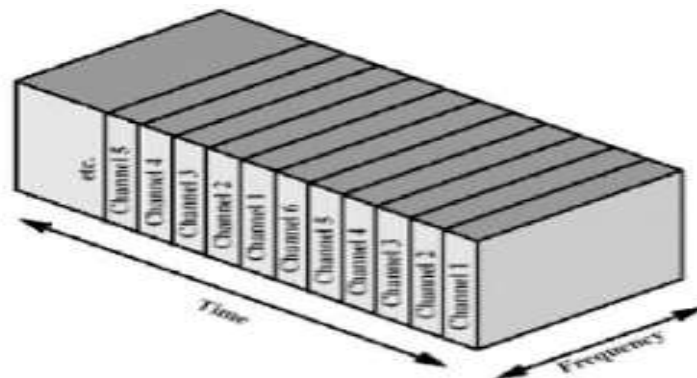


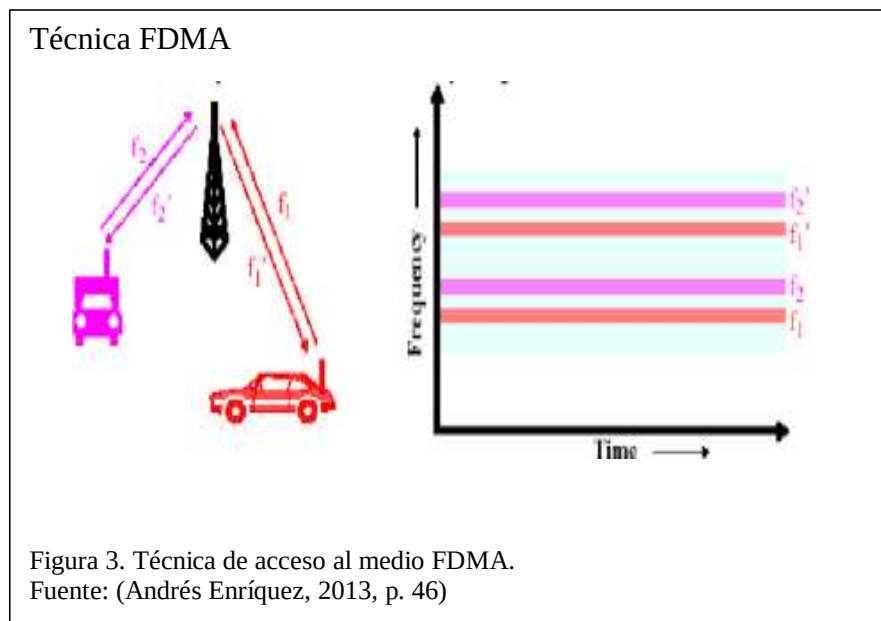
Figura 2. Multiplexación por división del tiempo – TDM.
Fuente: (Andrés Enríquez, 2013, p. 45)

“Cómo técnicas de acceso al medio se pueden emplear FDMA (Frequency Division Multiple Access), TDMA (Time Division Multiple Access), FDMA/TDMA Híbrido

y OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing)” (Andrés Enríquez, 2013, p. 45).

“FDMA asigna una banda de frecuencia diferente a cada usuario. La banda de frecuencia o canal es asignado bajo demanda. El espectro disponible (banda ancha) es dividido en un gran número de canales de banda angosta” (Andrés Enríquez, 2013, p. 45). La transmisión es continua y no implica el envío de tramas o bits de sincronización.

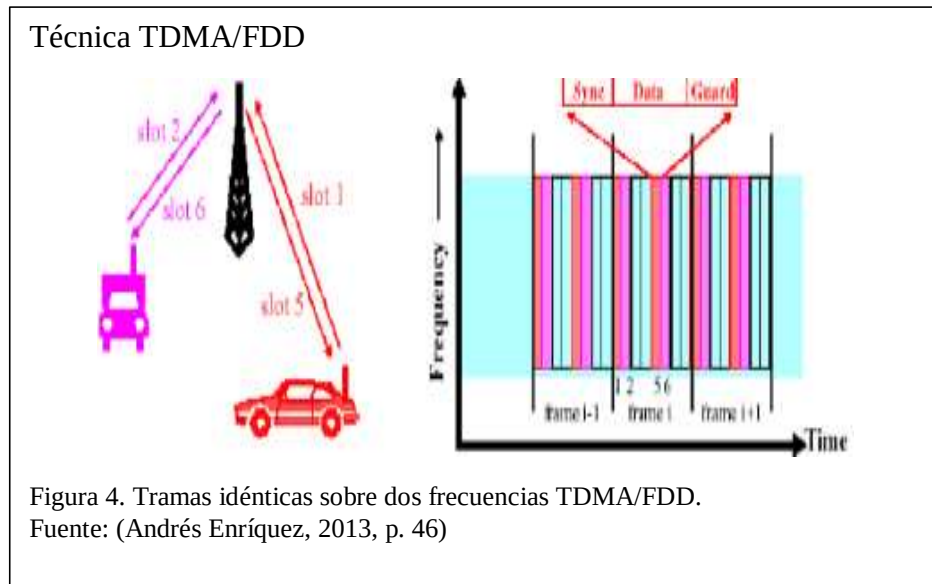
En la Figura 3, se muestra la técnica de acceso al medio FDMA (Andrés Enríquez, 2013, pp. 45-46).



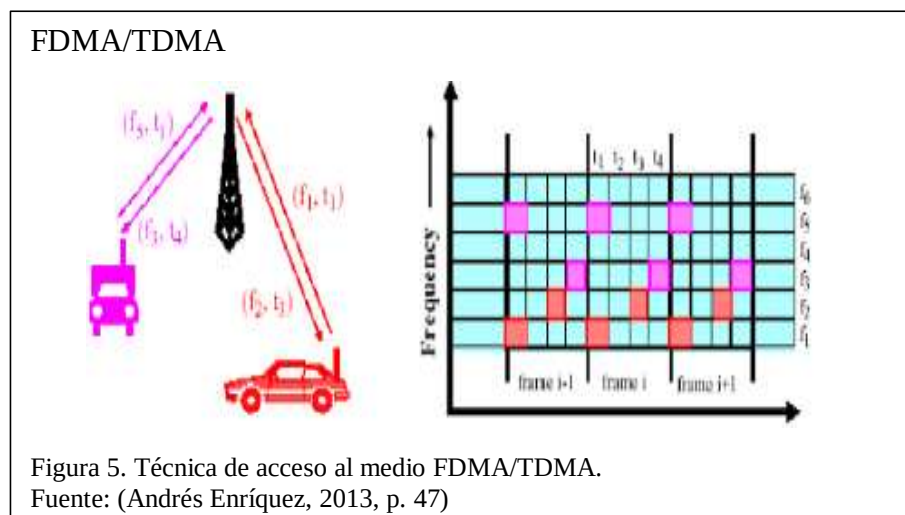
“En TDMA múltiples usuarios comparten la misma banda de frecuencia repitiendo cíclicamente los intervalos de tiempo. Se considera el canal como un intervalo de tiempo particular recurrente cada trama de N intervalos. Es necesaria la ecualización adaptativa debido a las altas velocidades de transmisión de datos y multitrayectoria. Se requieren bits para sincronización y bits de guarda, estos últimos empleados por las variaciones de retardo en la propagación. Se emplea usualmente combinado con TDD o FDD” (Andrés Enríquez, 2013, p. 46).

“Cuándo se emplea TDMA/ TDD la mitad de los intervalos en una trama son utilizados para el uplink y la otra mitad para el downlink” (Andrés Enríquez, 2013, p. 46).

En la Figura 4, se presenta la técnica de acceso al medio TDMA/ FDD (Andrés Enríquez, 2013, p. 46).

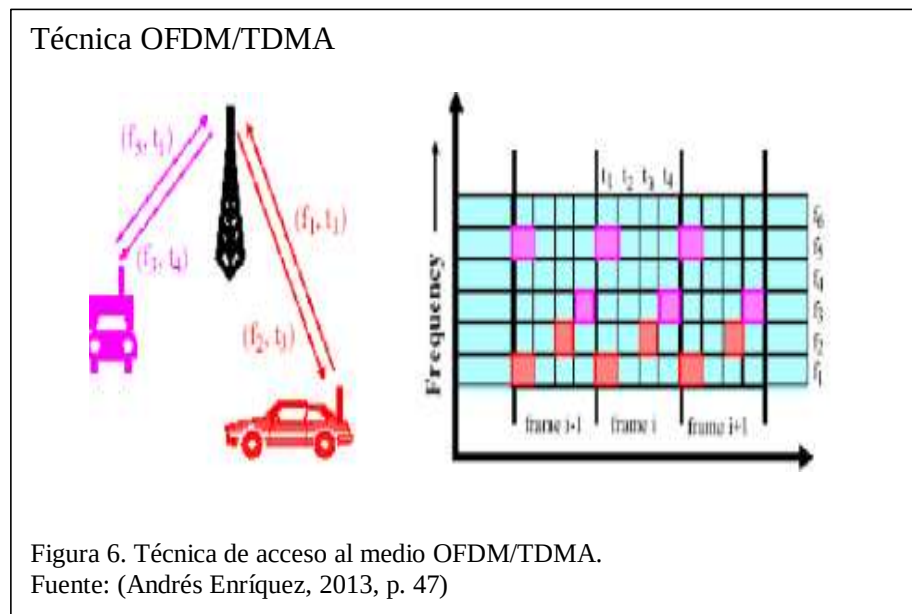


“La técnica FDMA/TDMA híbrida, emplea múltiples portadoras con múltiples canales por portadora. Puede emplear el salto de saltos para combatir el desvanecimiento por multitrayectoria (TDFH, Time Division Frequency Hopping). Esta técnica permite incrementar la capacidad del sistema” (Andrés Enríquez, 2013, p. 47). En la Figura 5, se representa esta técnica (Andrés Enríquez, 2013, p. 47).



“La técnica OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) muy similar a Coded OFDM (COFDM) y Discrete multi-tone modulation (DMT), es un esquema de multiplexación por división de frecuencia (FDM) empleado como un método de modulación digital multiportadora. En este método, un gran número de subportadoras ortogonales espaciadas muy cercanamente son usadas para transportar datos” (Andrés Enríquez, 2013, p. 46)

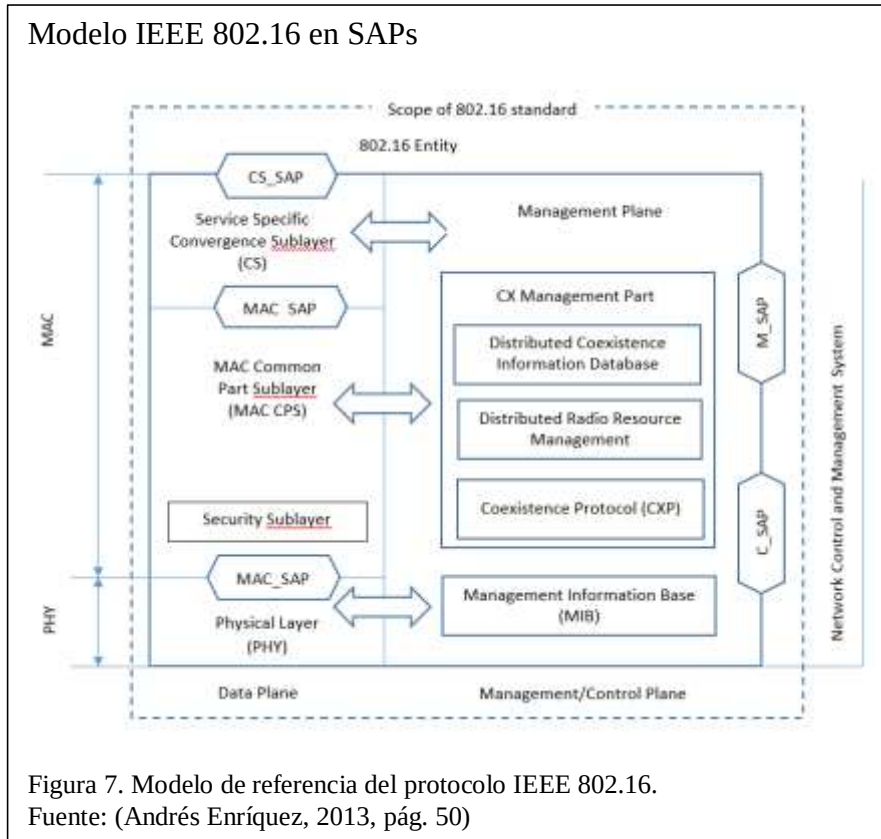
Los datos son divididos en varios flujos de datos en paralelo o canales, uno por cada subportadora la siguiente Figura 6 se muestra esta técnica (Andrés Enríquez, 2013, p. 47).



Cada subportadora es modulada con un esquema de modulación convencional, tales como QAM o FSK. Para lograr una baja tasa de símbolo, mantiene la tasa de datos total similar a la lograda por un esquema de modulación convencional de portadora única en el mismo ancho de banda. La principal ventaja de OFDM sobre esquemas de portadoras únicas es su habilidad de coexistir con varias condiciones severas del canal (Andrés Enríquez, 2013, pág. 47).

1.6. Modelo de referencia

“El protocolo desarrolla en su modelo de referencia las capas de enlace de datos (MAC) y capa física (PHY)”. (Andrés Enríquez, 2013, pág. 50).



La Figura 7, visualiza el modelo de referencia y alcance del estándar IEEE 802.16 en donde se observa que se plantean dos planos: “plano de control/ datos y el plano de administración” (Andrés Enríquez, 2013, pág. 50).

1.7. Revisión del estándar IEEE 802.16

Se presenta los estándares IEEE WirelessMAN 802.16 en la versión IEEE 802.16-2004. En la fecha de publicación, la versión aplicable es IEEE Std 802.16.2-2004 (Andrés Enríquez, 2013, pág. 49).

“La versión IEEE 802.16-2012 (WirelessMAN-Advanced Air Interface for Broadband Wireless Access Systems) presenta la revisión del estándar IEEE Std 802.16, incluidos los estándares IEEE Std 802.16h, IEEE 802.16j, y el estándar IEEE Std 802.16m. El

estándar IEEE Std 802.16.1 especifica la interfaz de radio WirelessMAN-Advanced”.
(Andrés Enríquez, 2013, pág. 49).

1.8. Capa de enlace de datos

La capa MAC se encuentra dividida en tres subcapas:

“La subcapa CS (Service-Specific Convergence Sublayer), subcapa de convergencia.

La subcapa CPS (Common Part Sublayer), subcapa de parte común.

La subcapa Security - subcapa de seguridad” (Andrés Enríquez, 2013, pág. 51).

1.8.1 Subcapa CS

Es la encargada de transformar los datos de las redes externas y pasarlos a la subcapa MAC SDUs recibidos por la subcapa MAC CPS a través del MAC SAP (Andrés Enríquez, 2013, pág. 51).

El MAC SAP es un punto de la pila del protocolo donde los servicios de capas inferiores están disponibles para la siguiente capa superior (Andrés Enríquez, 2013, pág. 51).

Las SDUs son unidades de datos intercambiadas entre dos capas de protocolo adyacente. En dirección descendente, esta es la unidad de datos recibida de la capa inmediatamente superior. En el sentido ascendente, es la unidad de datos que se envía a la capa inmediatamente superior (Andrés Enríquez, 2013, pág. 51).

1.8.2 Subcapa MAC CPS

Provee el núcleo de funcionalidad de acceso al sistema, localización de ancho de banda, establecimiento y mantenimiento de la conexión. Esta subcapa recibe datos desde varios CSs a través del MAC SAP, clasificado para conexiones MAC particulares (Andrés Enríquez, 2013, pág. 52).

La calidad de servicio QoS es aplicada para la transmisión y programación de datos sobre la capa PHY (Andrés Enríquez, 2013, pág. 52).

1.8.3 Security sublayer

La subcapa MAC contiene de una forma separada, una capa de seguridad que provee autenticación, intercambio seguro de llaves basada en el protocolo PKM (Privacy Key Management) (Andrés Enríquez, 2013, pág. 52).

1.9. Capa física

La capa física incluye múltiples especificaciones, cada una apropiada para un rango de frecuencias de aplicaciones en particular. Encontramos en esta capa las siguientes especificaciones (Andrés Enríquez, 2013, pág. 53):

1.9.1 Capa física - PHY

Para el rango de frecuencias entre 10 a 66 GHz que es un rango de frecuencias licenciadas, la capa física (PHY) es basada en la modulación de una única portadora. Esta modulación de portadora sencilla o única portadora es referenciada en el estándar como interface aérea WirelessMAN-SC (Andrés Enríquez, 2013, pág. 55).

En este espectro, la línea de vista (line-of-sight-LOS) es requerida y las múltiples rutas o caminos entre un SS y un BS son despreciables. “El ancho de banda de un canal es típicamente 20 o 25MHz (caso de U.S) o 28MHz (caso Europeo), con tasas de transferencias brutas superiores a los 120 Mbps y con un mercado objetivo en las empresas pequeñas o medianas (Small Office/ Home Office - SOHO) a través de aplicaciones de medianas o grandes empresas operadoras”. (Andrés Enríquez, 2013, pág. 55).

El diseño para el soporte de ráfagas en comunicación dúplex permite seleccionar entre:

1.9.1.1 TDD (time-division duplexing)

En el cual el uplink y downlink comparten el mismo canal, por lo que no transmiten simultáneamente.

1.9.1.2 FDD (frequency-division duplexing)

Método en el que el uplink y downlink operan en canales separados en forma simultánea (Andrés Enríquez, 2013, pág. 55).

Tanto TDD como FDD permiten perfiles de ráfagas adaptivas, en las cuales la modulación y codificación pueden ser dinámicamente asignadas ráfaga-a-ráfaga (Andrés Enríquez, 2013, pág. 55).

En el rango de frecuencia entre los 2 y 11 GHz, la capa física - PHY parte de la premisa de la propagación de radiofrecuencia con múltiples rutas puede ser significativa (Debido al empleo de una frecuencia más baja) y qué la posibilidad de no tener línea de vista (Non - line - of - sign - NLOS) puede ser aceptada. “Las frecuencias por debajo de los 11 GHz proveen un entorno físico en donde se tiene longitudes de onda más grandes, la línea de vista no es necesaria (LOS) y los múltiples caminos pueden ser abundantes” (Andrés Enríquez, 2013, p. 56). La habilidad de soportar escenarios con una cercana línea de vista, (near-line-of-sign – near-LOS) y la no línea de vista (non-line-of-sign -NLOS), requieren en la capa física funciones adicionales, tales como técnicas de manejo avanzado de potencia, coexistencia o mitigación de la interferencia y el empleo de múltiples antenas (Andrés Enríquez, 2013, pág. 56).

En la Tabla 2, se visualiza el estándar IEEE 802.16 detallando la nomenclatura empleada, la aplicabilidad (relacionada con la banda de operación, licenciada o no licenciada), especificación de la capa PHY (Define qué método de acceso empleado para uplink y downlink, así como el mecanismo de modulación), funciones avanzadas y sus mecanismos asociados, así como los mecanismos de transmisión duplex qué puede utilizar (Andrés Enríquez, 2013, pág. 56).

Tabla 2. Resumen de la capa PHY.

Designación	Aplicabilidad	Especificación PHY	Opciones	Alternativas Dúplex
WirelessMAN-SC TM	Banda 10-66 GHz	TDM (Downlink) TDMA (Uplink) QPSK, 16-QAM 64-QAM	-	TDD FDD
WirelessMAN-SCa TM	Banda licenciadas < 11GHz	TDM/TDMA (Dowlink) TDMA (Uplink) BPSK, QPSK 16-QAM, 64-QAM	AAS ARQ STC Mobile	TDD FDD
WirelessMAN-OFDM TM	Bandas licenciadas < 11GHz	264 Puntos FFT Con modulación OFDM	AAS ARQ Mesh STC Mobile	TDD FDD
WirelessMAN-OFDMA SIN TM	Bandas licenciadas < 11GHz	2048 Puntos FFT Con modulación OFDMA	AAS ARQ HARQ STC Mobile	TDD FDD
WirelessMAN-HUMAN TM	Bandas licenciadas < 11GHz	WirelessMAN-SCa WirelessMAN-OFDM WirelessMAN-OFDMA	AAS ARQ Mesh STC	TDD

Nota: Esta tabla contiene las nomenclaturas de la capa PHY.

Fuente: (Andrés Enríquez, 2013, p. 57)

La versión IEEE 802.16.2-2004 trata la coexistencia de sistemas fijos de banda ancha (FBWA) que operan en el rango de frecuencia de 23.5-43.5 GHz, coexistencia de sistemas FBWA con sistemas punto a punto que operan en 23.5-43.5 GHz y coexistencias con sistemas FBWA que operan en frecuencias 2 - 11 GHz en bandas licenciadas (Andrés Enríquez, 2013, pág. 58).

La Tabla 3, presenta la actualización de la nomenclatura para la interfaz de aire de acuerdo con la revisión del estándar en 2012 (Andrés Enríquez, 2013, pág. 58).

Tabla 3. Variantes de la nomenclatura con IEEE 802.16-2012

Designación	Aplicabilidad	Alternativa de duplexación
WirelessMAN-SC Release 1.0	Banda 10-66 GHz	TDD / FDD
WirelessMAN-OFDM TM (fijo)	Bandas licenciadas < 11GHz	TDD / FDD
WirelessMAN-OFDMA (fijo)	Bandas licenciadas < 11GHz	TDD / FDD
WirelessMAN- OFDMA TDD Release 1.0	Bandas licenciadas < 11GHz	TDD
WirelessMAN- OFDMA TDD Release 1.5	Bandas licenciadas < 11GHz	TDD
WirelessMAN-OFDMA FDD Release 1.5	Bandas licenciadas < 11GHz	FDD
WirelessMAN-OFDMA MR	Bandas licenciadas < 11GHz	TDD
WirelessMAN-HUMAN	Bandas exentas de licencia < 11GHz	TDD
WirelessMAN-CX	Bandas exentas de licencia < 11GHz	TDD
WirelessMAN-UPC	Bandas exentas de licencia < 11GHz	TDD

Nota: Esta tabla contiene las variantes de nomenclatura correspondientes al 2012.

Fuente: (Andrés Enríquez, 2013, pág. 58).

1.10. Métodos dúplex

En bandas licenciadas el método dúplex puede ser TDD o FDD. En bandas no licenciadas el método dúplex debe ser TDD. Con FDD los SSs deben usar H-FDD (Half- duplex frequency division duplex) (Andrés Enríquez, 2013, pág. 70).

El intervalo de tramas contiene transmisiones (PHY PDUs) del BS y los SSs, ranuras de separación (gaps) e intervalos de guarda (Andrés Enríquez, 2013, pág. 70).

OFDM PHY soporta transmisiones basadas en tramas. Una trama consiste de una Subtrama downlink y una subtrama uplink (Andrés Enríquez, 2013, pág. 70).

Una subtrama downlink consta de un único downlink PHY PDU (Andrés Enríquez, 2013, p. 70). “Una subtrama uplink consta de intervalos de contención programados para propósitos de colocamiento inicial y requerimiento de ancho de banda, uno o

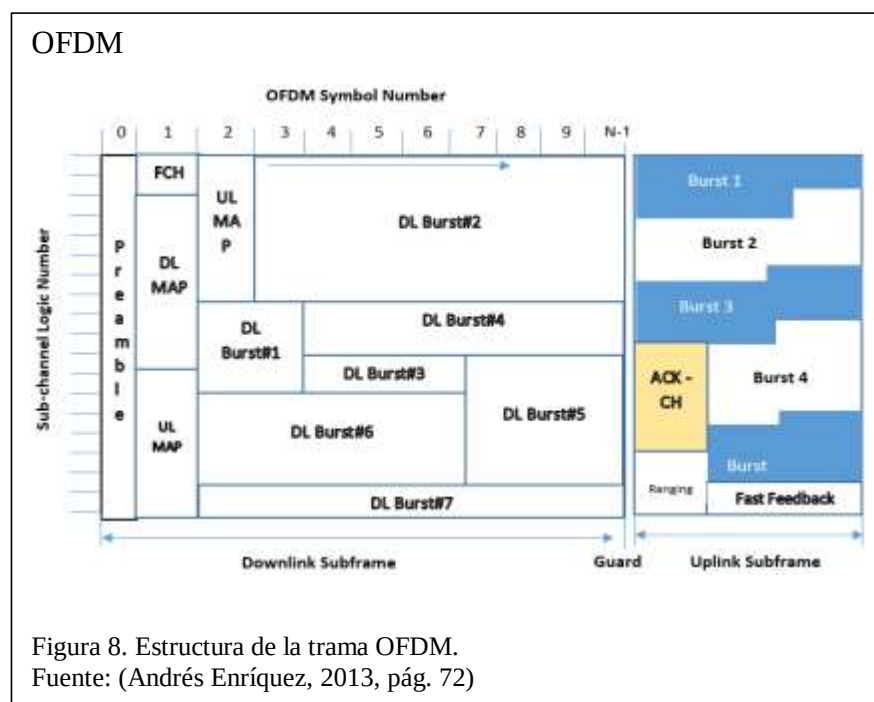
múltiples uplink PHY PDUs, cada uno transmitidos desde diferentes SSs” (Andrés Enríquez, 2013, pág. 70).

Un downlink PHY PDU inicia con un preámbulo de longitud, el cual es usado para sincronización de la trama. Es el primer símbolo OFDM la trama (Andrés Enríquez, 2013, pág. 70).

El preámbulo es seguido por una cadena FCH (Frame Control Header). El FCH es un símbolo OFDM, el cual provee información de configuración de la trama, tales como la longitud del mensaje MAP (Andrés Enríquez, 2013, pág. 70).

“El FCH contiene un prefijo de trama DL- Frame-Prefix para especificar el perfil y longitud de uno o varias ráfagas downlink que sigue inmediatamente después del FCH” (Andrés Enríquez, 2013, pág. 70).

La Figura 8, muestra la estructura básica de una trama OFDM con los subcanales Lógicos. El subcanal UL Ranging es localizado por las MS (mobile stations) para efectuar ajustes de potencia, frecuencia, tiempo de bucle, así como requerimientos de ancho de banda.



El subcanal UL CQICH es localizado para que la estación móvil (MS) realimente información del estado del canal. Un subcanal UL ACK es localizado para que el MS retroalimente el reconocimiento DL-HARQ (Andrés Enríquez, 2013, pág. 72).

En la Figura 9 se muestra una subtrama DL básica en FDD (Andrés Enríquez, 2013, pág. 73).

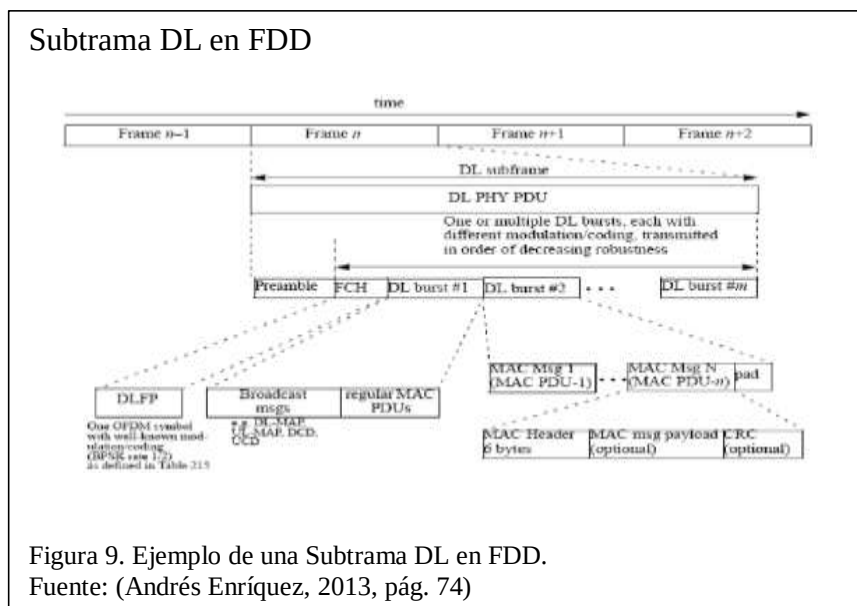


Figura 9. Ejemplo de una Subtrama DL en FDD.

Fuente: (Andrés Enríquez, 2013, pág. 74)

La Figura 10 muestra la subtrama UL en FDD. (Andrés Enríquez, 2013, p. 73).

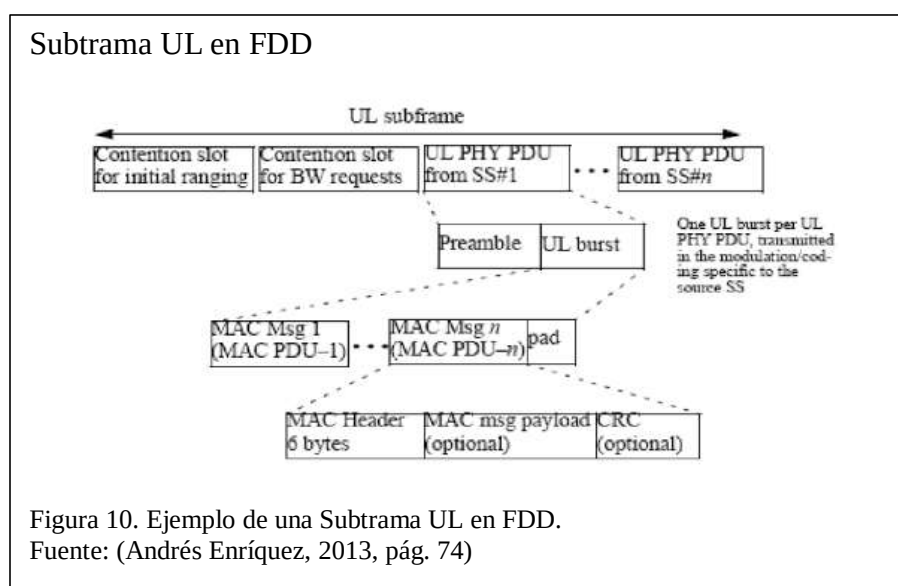


Figura 10. Ejemplo de una Subtrama UL en FDD.

Fuente: (Andrés Enríquez, 2013, pág. 74)

La Figura 11 muestra la subtrama OFDM en TDD. (Andrés Enríquez, 2013, p. 73)

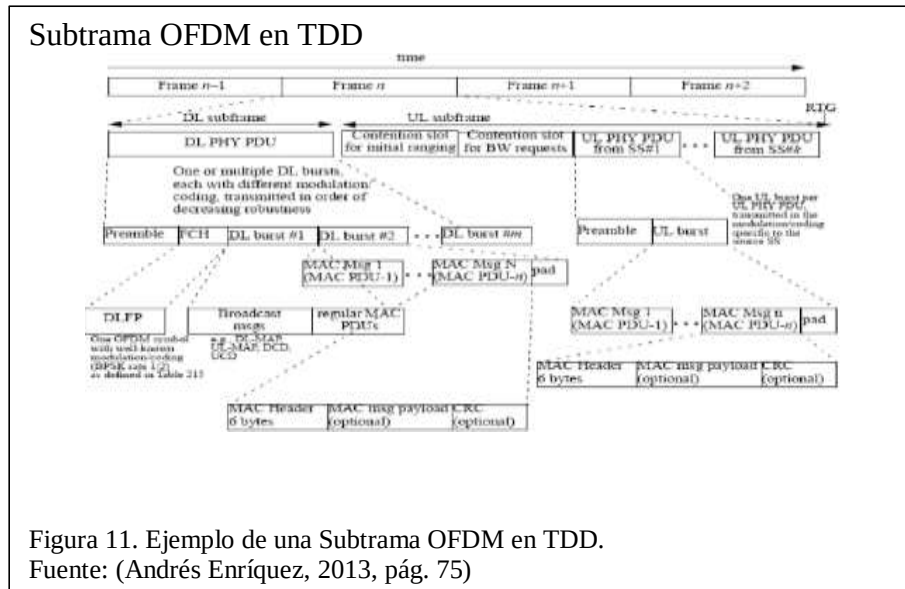


Figura 11. Ejemplo de una Subtrama OFDM en TDD.
Fuente: (Andrés Enríquez, 2013, pág. 75)

Aunque IEEE 802.16e soporta los dos métodos (TDD y FDD), la liberación inicial de los perfiles Mobile WiMAX únicamente incluyen TDD. Los perfiles FDD serán considerados por WIMAX Forum para mercados específicos cuando requerimientos regulatorios del espectro sean propuestos o cuando sea prohibido el uso de TDD en algunas regiones. Con respecto a las interferencias, TDD no requiere un amplio sistema de sincronización, y es preferido hoy en día sobre FDD, por las siguientes razones (Andrés Enríquez, 2013, pág. 75):

TDD está habilitado para efectuar ajustes de la relación de eficiencia entre el downlink / uplink, soportando tráfico asimétrico, mientras FDD permanece fijos los ancho de banda para DL y UL (Andrés Enríquez, 2013, pág. 75).

TDD asegura reciprocidad del canal para mejor soporte de adaptación del enlace, soportando MIMO y tecnologías de antena avanzada.

Al contrario de FDD, TDD únicamente requiere un solo canal de comunicación para el DL y UL, proveyendo superior flexibilidad para adaptación a una variedad global de localización del espectro (Andrés Enríquez, 2013, pág. 76).

Los diseños de los transceptores (transceivers) para las implementaciones TDD son menos complejos y por lo tanto más económicos, comparados con los FDD (Andrés Enríquez, 2013, pág. 76).

1.11. OFDM

Es un método que transmite datos simultáneamente a través de varias frecuencias de subportadoras. El nombre proviene del hecho de que todas las frecuencias de subportadoras son mutuamente ortogonales, por lo que la señalización en una frecuencia no es visible en ninguna otra frecuencia de subportadoras. Esta ortogonalidad se consigue de una manera agradable en la implementación recopilando los símbolos a transmitir en cada subportadoras en el dominio de frecuencias y luego traduciendo simultáneamente todos ellos en un solo símbolo de dominio de tiempo utilizando una transformada de Fourier rápida inversa (IFFT) (Ilyas, 2008).

1.11.1 Ventaja del OFDM

La ventaja de OFDM es que cada subportadoras sólo ocupa una banda de frecuencia estrecha y por lo tanto puede considerarse que está sujeta a desvanecimiento plano.

Por lo tanto, se puede evitar un ecualizador de canal complejo. (Ilyas, 2008, p. 10).

1.11.2 OFDMA escalable

IEEE 802.16e-2005 Wirelees MAN OFDMA es basado en el concepto de OFDMA escalable (S-OFDMA) S -OFDMA soporta un amplio rango de anchos de banda para flexibilizar las necesidades de varias localizaciones para una mayor compresión de la trama. Ver la Figura 12 (Andrés Enríquez, 2013).

Trama OFDMA

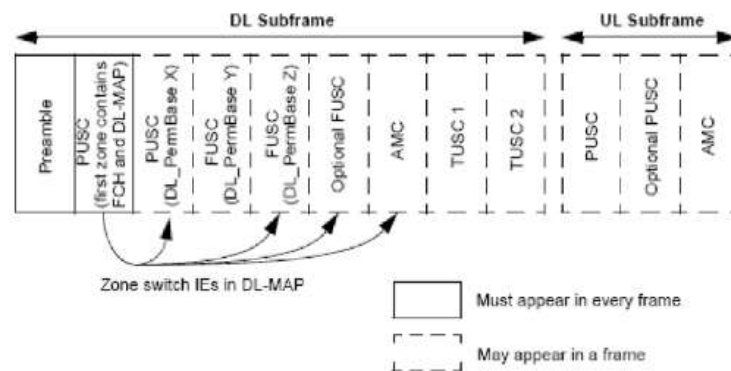


Figura 12. Trama OFDMA escalable con múltiples zonas.
Fuente: (Andrés Enríquez, 2013)

La escalabilidad es soportada por el ajuste del tamaño FFT mientras fija el espacio de las subportadoras a 10.94kHz (Andrés Enríquez, 2013).

1.12. Control de acceso al medio - MAC

“La capa de acceso al medio (MAC) soporta primariamente una arquitectura punto multipunto con una opción de topología en malla” (Andrés Enríquez, 2013). La capa MAC es estructurada para soportar múltiples especificaciones de la capa física (PHY), cada una adaptada para un entorno operacional particular (Andrés Enríquez, 2013).

La eficiencia de transporte también es visto desde la interfaz entre las capas PHY y MAC la modulación y los esquemas de codificación en un perfil de ráfaga pueden ser ajustados para cada ráfaga y para cada SS. La capa MAC puede hacer uso deficiente ancho de banda para ráfagas bajo condiciones favorables del enlace o moverse a uso del ancho de banda más confiable Aunque menos eficiente. Todos estos mecanismos son empleados para lograr un planeador 99.999%, de disponibilidad del enlace. Para acomodar más demanda el entorno físico y diferentes requerimientos de servicio en las frecuencias de 2 a 11 GHz, el estándar IEEE 802.16 actualiza la capa MAC proveyendo el mecanismo ARQ - Automatic Repeat Request, así como el soporte la

topología en malla, adicional a la topología punto -Multipunto definida en un principio en IEEE 802.16 (Andrés Enríquez, 2013).

1.13. Subcapa de convergencia SC (Service - specific convergence sublayer)

“La subcapa de servicio específico CS reside en la parte superior de la capa MAC CPS y utiliza vía MAC SAP, los servicios provistos por la MAC CPS, El CS efectúa las siguientes funciones:

Acopla PDUS (Protocol Data Units) A capas superiores desde capas inferiores.

Efectúa clasificación de PDUS de capas superiores.

Procesa, si es necesario, las PDUS de capas superiores basado en la clasificación.

Envía PDUS CS al apropiado MAC-SAP.

Recibe PDUS CS desde un peer (entidad de igual caja en otro dispositivo)” (Andrés Enríquez, 2013).

1.13.1 Especificación ATM CS

“ATM CS es una interfaz lógica que asocia a diferentes servicios ATM con la MAC CPS SAP” (Andrés Enríquez, 2013). El ATM CS acepta celdas ATM desde la capa ATM, efectúa clasificación y si es aprovisionado, PHS y envía CS PDUs a la apropiada MAC SAP (Andrés Enríquez, 2013).

1.13.2 Especificación del paquete CS

“El paquete CS recibido reside en la cima del estándar IEEE Std 802.16 MAC CPS, el CS Efectúa las siguientes funciones utilizando servicios de la capa MAC:

Clasificación de PDUs de protocolos de capa superior en una conexión apropiada de transporte.

Supresión de información de la cabecera de la carga útil (opcional).

Envío de la PDU CS resultante a la MAC SAP asociada con el flujo de servicio, para transportarla a la MAC SAP del peer.

Recibe el CS PDU desde el peer MAC SAP.

Reconstruye cualquier información de cabecera de la carga útil suprimida” (Andrés Enríquez, 2013).

Una MAC SDU (Service Data Unit - unidad de datos de servicio) es una unidad de datos que es intercambiado entre dos capas de protocolo adyacente. En dirección descendente es la unidad de datos recibida desde la capa superior previa, es la unidad de datos que se envía a la capa Superior inmediata (Andrés Enríquez, 2013).

1.14. Clasificación

Un clasificador es un juego de correspondencias de criterios aplicados a cada paquete que entra a la red IEEE 802.16. Este consiste en la definición de algunos criterios de correspondencia específica para protocolos de paquetes (Ej la dirección destino en un paquete IP), una clasificación de prioridad y una referencia aún CID (identificador de conexión) (Andrés Enríquez, 2013).

1.14.1 PHS (Payload Header Supression)

En PHS, una repetitiva porción de la cabecera de la carga útil de la capa superior es suprimida en el MAC SDU, por la entidad que envía que es restaurada por la entidad que recibe. La implementación de estas capacidades PHS es opcional (Andrés Enríquez, 2013).

1.14.2 Parte específica IP

Esta cláusula aplica cuando la IP es transportada sobre IEEE Std 802.16, dicho formato de la PDU CS IP. En el caso a donde PHS no se encuentra habilitado, el campo PHSI deberá ser excluido. Los clasificadores IP operan en los campos de la cabecera IP y en el protocolo de transporte. Los parámetros siguientes pueden ser usados en los clasificadores IP (Andrés Enríquez, 2013).

1.14.3 Parte específica de compresión de la cabecera IP

La subcapa de convergencia CS soporta SDUs en dos formatos que facilitan compresión robusta de IP y de las cabeceras de capas superiores. Los formatos PDU CS de compresión de cabecera IP son mapeados a SDUs (Andrés Enríquez, 2013).

1.15. Subcapa de parte común MAC – CPS (MAC common part sublayer)

“Una red que utiliza un método de acceso compartido debe tener un mecanismo eficiente para acceso al medio. En estas topologías, el medio es el espacio a través del cual las ondas de radio se propagan” (Andrés Enríquez, 2013).

1.15.1 PMP

El downlink, definido como la comunicación desde el BS hacia el SS, opera en modo básico en PMP, el enlace inalámbrico IEEE 802.16 opera con un BS central y una antena sectorizada que es capaz de manejar múltiples sectores independiente en forma simultánea. Las estaciones de suscriptor SS, comparten el uplink hacia el BS, en una operación en demanda. Dependiendo de la clase de servicio utilizado, el SS puedes tener derechos para seguir transmitiendo o el derecho para transmitir puede ser dado por el BS, después de un requerimiento del SS (Andrés Enríquez, 2013).

En general las aplicaciones de datos son tolerantes al retardo, requieren un servicio más uniforme y en algunos casos, una programación muy ajustada. Servicio IP pueden requerir una sustancial cantidad de mantenimiento, debido a la naturaleza de sus ráfagas y alta posibilidad de fragmentación (Andrés Enríquez, 2013). “Tres tipos de funciones de administración de conexiones de transporte son soportados a través del uso de configuración estática y dinámica, adición, modificación y eliminación de flujos de servicio” (Andrés Enríquez, 2013).

1.15.2 Malla

“La principal diferencia entre la topología PMP y Malla (Mesh), implementada en forma opcional, es que en PMP, el tráfico únicamente ocurre entre el BS y los SSs, mientras en el caso de malla, el tráfico puede ser enrutado a través de otros SSs y/o puede ocurrir directamente entre SSs, dependiendo del protocolo de transmisión empleado” (Andrés Enríquez, 2013). El intercambio de información en topologías en mallas puede ser realizado de una forma básica, utilizando mecanismos de colocación distribuida o de otra manera, en superioridad del BS en la malla, logrando con ello una programación centralizada (Andrés Enríquez, 2013).

1.15.3 Plano de datos / Control en redes PMP

“La MAC es usada durante el proceso de configuración inicial, para estabilizar las conexiones apropiadas para un SS. Es también usada como parte del proceso de autenticación por el cual el BS y SS, cada uno, verifica la identidad del otro” (Andrés Enríquez, 2013). La conexión de administración primaria es usada por la MAC BS y MAC SS para intercambio de mensajes de administración MAC más tolerantes al retardo (Andrés Enríquez, 2013).

1.15.4 Plano de Datos / Control en redes de Malla

“Cada nodo tiene una dirección MAC universal de 48 bits, definida en IEEE Std 802-2001” (Andrés Enríquez, 2013). Esta dirección define de forma única un nodo de todos los posibles vendedores y tipos de equipos. “Esta dirección es usada durante el proceso de entrada a la red y como parte del proceso de autorización, con el cual el nodo candidato y la red, verifica la identidad del otro” (Andrés Enríquez, 2013).

1.16. Programación de servicios

“La programación de servicios representa los mecanismos del manejo de datos soportados por el programador MAC para el transporte de datos en una conexión”

(Andrés Enríquez, 2013). Cada conexión es asociada con un único servicio programado. Un servicio programado es determinado por un juego de parámetros de QoS que cuantifica aspectos de su tipo de contenido. Los 4 mecanismos soportados son:

1.16.1 El UGS

“Es diseñado para soportar flujos constantes en tiempo real con paquetes de tamaño fijo, en intervalos de tiempo periódicos tales como T1/E1 y VolP (Voice over IP)” (Andrés Enríquez, 2013).

Sin supresión de silencios. El flujo de parámetros obligatorio de QoS para esta programación de servicio es definido como: máxima rata sostenida, máxima latencia, Ritte soportado y políticas de requerimiento y retransmisión (Andrés Enríquez, 2013).

1.16.2 El nrtPS

“Es diseñado para soportar flujos de datos tolerantes a retardo con tamaño de paquetes variables, para los cuales una rata mínima es requerida” (Andrés Enríquez, 2013). Como ejemplo tenemos FTP. Los parámetros obligatorios de QoS para estos flujos incluyen: mínima rata de tráfico reservado, máxima rata de tráfico sostenido, prioridad de tráfico y políticas de requerimiento y retransmisión (Andrés Enríquez, 2013).

1.16.3 El servicio BE

“Es diseñado para soportar flujos de datos para los cuales no existe un nivel de servicio mínimo, por lo que puede ser manejado en el espacio disponible de ancho de banda” (Andrés Enríquez, 2013). Los parámetros obligatorios para estos flujos de servicio incluyen: máxima rata de tráfico sostenida, prioridad de tráfico y políticas de requerimiento y transmisión (Andrés Enríquez, 2013).

1.17. Subcapa de seguridad (security sublayer)

1.17.1. Arquitectura del protocolo

“La subcapa de seguridad provee a los suscriptores privacidad, autenticación o confidencialidad a través de la red de banda ancha” (Andrés Enríquez, 2013). Para lograrlo, se emplean transformaciones criptográficas a las MDPUs (MAC PDU) transportadas a través de conexiones entre el SS y BS. En consecuencia, la subcapa de seguridad proporciona al operador fuerte protección del robo de servicio. El BS es protegido contra acceso no autorizado a los servicios de transporte de datos, asociado los flujos de servicio a través de la red. La subcapa de seguridad emplea un protocolo de administración de llaves de autenticación cliente/ servidor con el cual el BS (servidor), controla la distribución de llaves al SS (cliente) (Andrés Enríquez, 2013).

1.17.2. Protocolo de administración de llaves

El PKM (Protocol Key Management), permite una autenticación mutua y una autenticación unilateral. En el primer caso, cada equipo autentica al otro, en el otro caso, el BS autentica al SS pero no viceversa. También soporta re-autenticación y re-autorización periódica y refresco de llaves (Andrés Enríquez, 2013).

1.17.3. Protocolo de autenticación

“Un cliente SS usa el protocolo PKM para obtener autorización y llaves de tráfico (TEKs) del BS, para soporte a re-autorizaciones periódicas y refresco de llaves.

PKM Soporta dos mecanismos de autenticación:

Protocolo RSA PKCS #1 v2.1 con SHA-1 (FIPS 186-2). Los fabricantes deben obligatoriamente soportar PKMv1. opcionalmente OKMv2.

EAP, usado opcionalmente, a menos que específicamente sea requerido” (Andrés Enríquez, 2013).

1.17.4. Protocolo de autenticación RSA

El protocolo de autenticación RSA en PKM usa certificados digitales X.509 y el algoritmo de encriptación de llaves públicas RSA, que enlaza la llave de encriptación RSA pública con la dirección MAC del SS (Andrés Enríquez, 2013).

1.17.5. Protocolo de autenticación EAP

“La autenticación EAP emplea una clase particular de credencial, tal como un certificado digital X.509 para el caso de EAP-TLS, a un módulo de identidad del suscriptor como en el caso de EAP-SIM” (Andrés Enríquez, 2013).

1.17.6. Suite criptográfica

Una suite criptográfica es un conjunto de métodos de encriptación de datos, autenticación de datos e intercambio de TEKs (Andrés Enríquez, 2013).

1.18. Protocolos PKM

Existen dos protocolos PKM (Privacy Key Management) soportados en el estándar IEEE 802.16e-2005, PKM versión 1 (PKMv1) y PKM versión 2 (PKMv2). El segundo, ofrece aparte de las características de la versión 1, nuevas características mejoradas, tales como la nueva jerarquía y organización de llaves, AES-CMAC, AFS key - wraps y MBS (Multicast and Broadcast Service) (Andrés Enríquez, 2013).

1.18.1. Autorización del SS e intercambio de AK

“La autorización del SS es controlada por la máquina de estado de autorización y es el proceso en el que un BS autentica la identidad de un cliente SS.

EL proceso es el siguiente:

El BS y el SS establecen un AK compartido a través de RSA, con el cuál una llave de encriptación Llave (KEK - key encryption key) y llaves de mensaje de autenticación con derivados.

El BS provee la autenticación del SS empleando su identidad, tal como el SAID y propiedades de las SAs primaria y estáticas, desde donde el SS ha obtenido la información de llaves” (Andrés Enríquez, 2013).

1.18.2. Intercambio de TEK en una topología PMP

Una vez alcanzado la autorización, un SS inicia en forma separada, máquinas de estado TEK para cada identificador SAID asignado en un mensaje de respuesta de autorización (Authorization Reply). Cada máquina de estado TEK que opera en el SS es responsable para manejar el juego de llaves asociado con su respectiva SAID (Andrés Enríquez, 2013).

Las máquinas de estado TEK, periódicamente envía un mensaje de requisición de llaves. (Key Request) al BS, donde solicitan refresco del juego de llaves para sus respectivos SIs. El BS responde a una requisición de llaves con un mensaje de respuesta de llaves. (Reply Key), que contiene las llaves activas del BS para es específico SAID. El TEK es encriptado usando un apropiado KEK (Key Encryption Key) que es derivado del AK (Andrés Enríquez, 2013).

1.19. Métodos criptográficos

“Todas las implementaciones en los SSs y BS deben soportar el mismo método de: Encriptación de paquetes de datos.

Encriptación de TEK.

Cálculo del mensaje de resumen (digest)” (Andrés Enríquez, 2013).

1.19.1. Métodos de encriptación de paquetes de datos

“Se definen los siguientes métodos de encriptación:

Basado en DES en modo CBC.

Basado en AES en modo CCM.

Basado en AES en modo CTR.

Basado en AES en modo CBC.

Basado en TEK-128 con AES key Wrap” (Andrés Enríquez, 2013).

1.19.1.1. Basado en DES en modo CBC

“Si el identificador del algoritmo de encriptación de datos en la Suite criptográfica es un SA = 0X01, las conexiones de datos asociadas con el SA usarán el modo CBC con el algoritmo DES (U.S Data Encryption Standard), para encriptar la carga útil de la MAC PDU. El CBC IV es calculado de la siguiente forma:

En el downlink, el CBC, es inicializado con la OR-exclusiva (XOR) de:

El parámetro IV incluido en la información del juego de llaves TEK.

El actual número de trama (Frame Number).

En uplink, el CBC es inicializado con:

El parámetro IV incluido en la información del juego de llaves TEK.

El número de trama (Frame Numbers) de la trama donde el relevante UL-MAP fue transmitido” (Andrés Enríquez, 2013).

1.19.1.2. Basado en AES en modo CCM

Si el identificador del algoritmo de encriptación de datos en la suite criptográfica es un SA=0X02, los datos en las conexiones asociadas con el SA usarán el modo CCM con AES (U.S. Advanced Encryption Estandar), para encriptar la carga útil de la MAC PUD (Andrés Enríquez, 2013).

1.19.1.3. Basado en AES en modo CTR

“Si el identificador del algoritmo de encriptación de datos en la suite criptográfica de un MBS GSA = 0X80, los datos en las conexiones asociadas con tal SA usarán el modo CTR de AES, para encriptar la carga útil de la MAC PDU” (Andrés Enríquez, 2013).

1.19.1.4. Basado en AES en modo CBC

“Si el identificador del algoritmo de encriptación de datos en la suite criptográfica es un SA=0 aguantaX03, las conexiones de datos asociadas con tal SA usara el modo CBC de AES, para encriptar la carga útil de la MAC PDU” (Andrés Enríquez, 2013).

1.19.1.5. Basado en TEK-128 con AES key WRAP

“El método de encriptación TEK-128 es usado con el identificador del algoritmo de encriptación TEK en la suite criptografica = 0x04.

El BS encripta el valor de los campos del TEK-128 en el mensaje de respuesta de llave (Key Reply), y lo envía al SS” (Andrés Enríquez, 2013).

1.19.2. Encriptación del TEK

“El TEK puede ser encriptado de las siguientes formas:

3DES, puede ser usado para SAs cómo el identificador del algoritmo de encriptación TEK=0X01.

RSA, cuando TEK=0X02. En este caso emplea PKCS #1 v2.0.

TEK-128 con AES, cuando TEK=0X03. Emplea AES con 128 bits en modo ECB.

TEX-128 con AES key Wrap, encripta TEK-128 cuando TEK=0X04” (Andrés Enríquez, 2013).

Capítulo 2

2. Simulación de la red WiMAX en el Cantón Loreto

2.1. Resultados del análisis socioeconómico del Cantón Loreto

Para realizar el proyecto se desarrolló un análisis socioeconómico previo al Cantón Loreto, con la finalidad de obtener resultados que ayuden a un estudio más amplio y completo del Cantón y sus parroquias.

Las encuestas fueron realizadas a la población en general incluyendo empresas e instituciones públicas y privadas los mismos que se beneficiarán con este proyecto aspirando a un entorno de crecimiento tecnológico y acceso a los beneficios de la Internet.

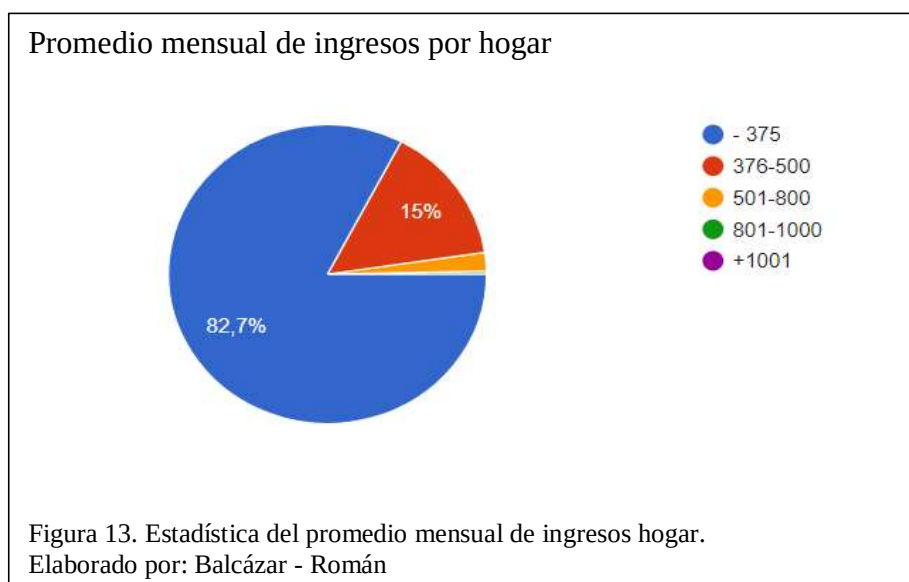
Se detalla a continuación las preguntas de las encuestas con sus respectivos resultados.

2.1.1. Encuesta poblacional

Pregunta 1.

En promedio. ¿Cuál es el ingreso mensual total en su hogar?

La pregunta de la Figura 13, permite saber el estado financiero de las familias Loretanas y su crecimiento económico.



Pregunta 2.

¿Cuántas personas habitan normalmente en su hogar?

La pregunta de la Figura 14, permite saber cuántas personas habitan normalmente en un hogar dentro del Cantón.



Figura 14. Estadística del Promedio de personas que habitan en un hogar.
Elaborado por: Balcázar - Román

Pregunta 3.

¿Con qué servicios básicos cuenta en su vivienda?

La pregunta Figura 15, permite conocer si la población cuenta con los servicios básicos necesarios y su estatus de vida.

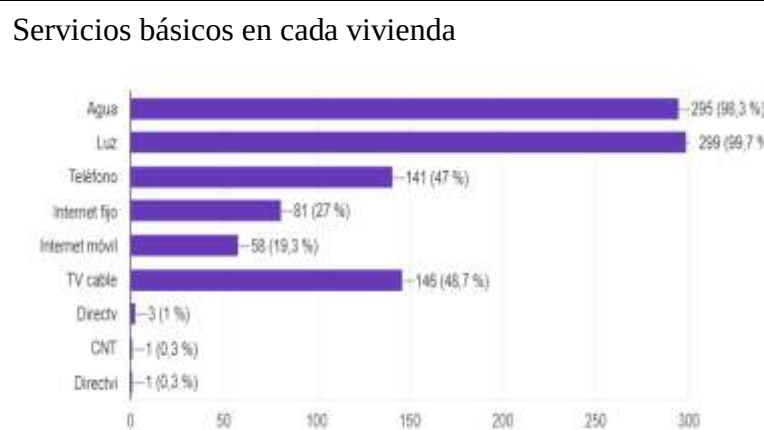
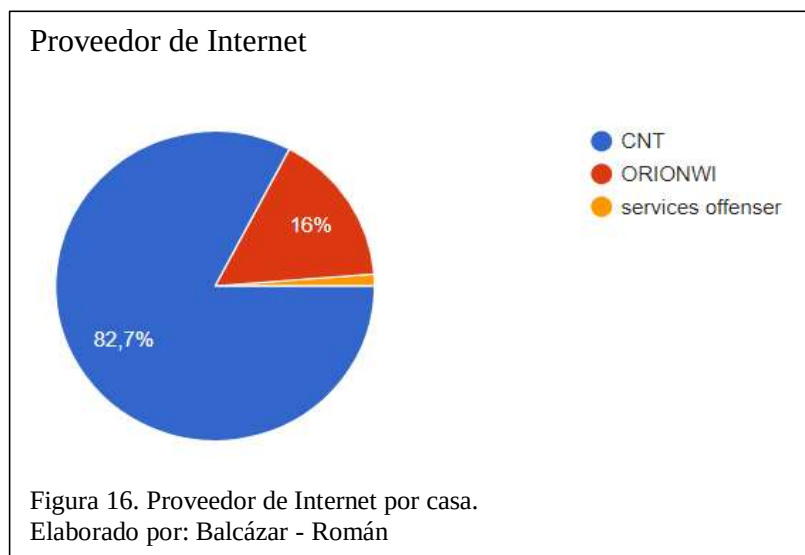


Figura 15. Estadística de los servicios básicos en cada vivienda.
Elaborado por: Balcázar - Román

Pregunta 4.

¿Cuál es su proveedor de Internet fijo?

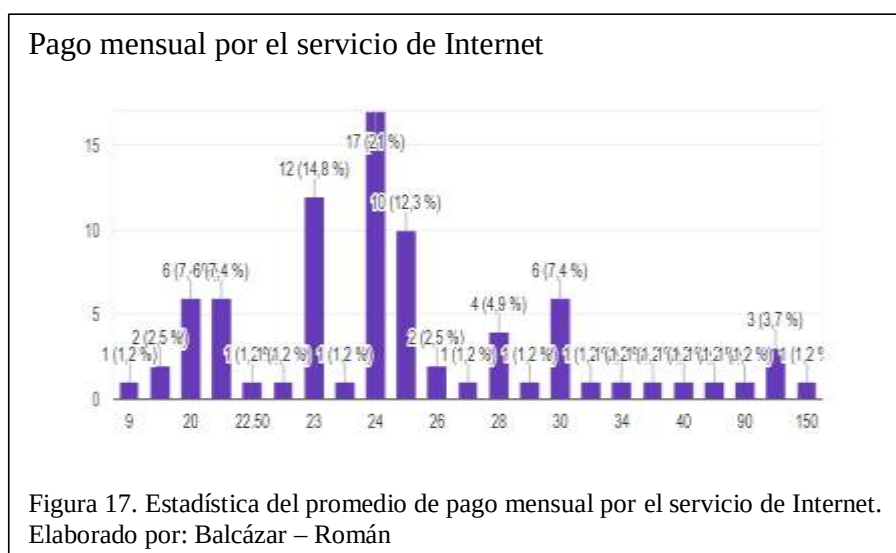
En la Figura 16, permite conocer estadísticamente el mayor ISP que brinda servicio de Internet a la población.



Pregunta 5.

¿Cuánto paga Ud., por el servicio de Internet fijo?

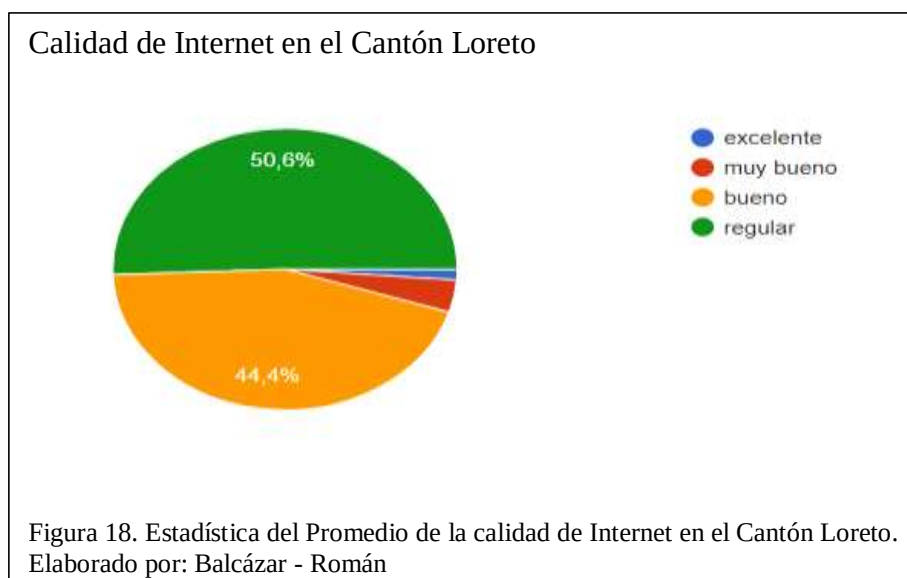
La Figura 17, permite observar el promedio del pago mensual por parte de los usuarios de Internet.



Pregunta 6.

¿Cuál es la calidad del servicio de Internet fijo que Ud., recibe?

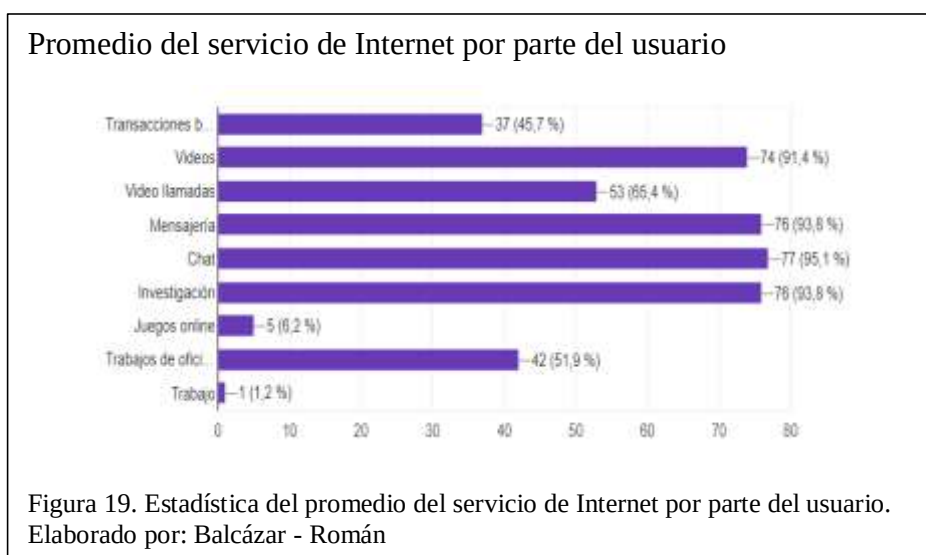
La Figura 18, permite evaluar la calidad del servicio de Internet que reciben los usuarios por parte del ISP.



Pregunta 7.

¿Para qué utiliza regularmente Ud., el servicio de Internet fijo?

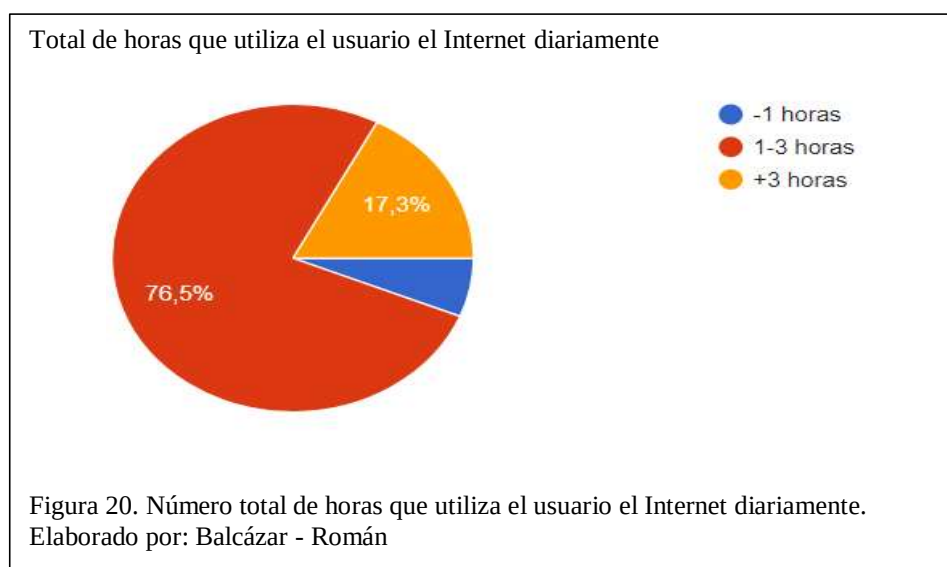
La Figura 19, permite obtener la información sobre el uso del servicio de Internet por parte del usuario.



Pregunta 8.

¿Cuántas horas dedica Ud., o algún miembro de su familia al servicio de Internet fijo?

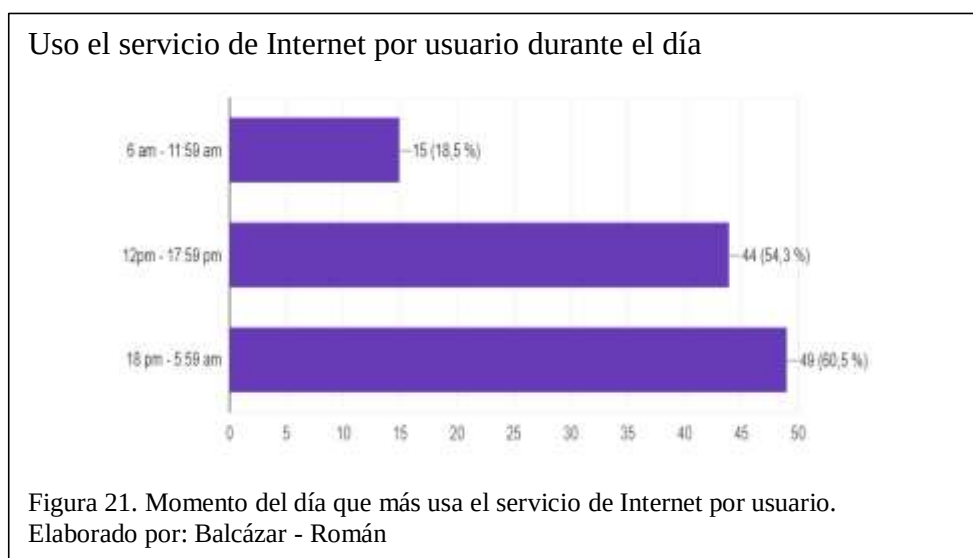
La Figura 20, permite obtener el promedio total de horas de Internet que utiliza el usuario diariamente.



Pregunta 9.

¿En qué momento del día Ud., ocupa mayormente el servicio de Internet fijo?

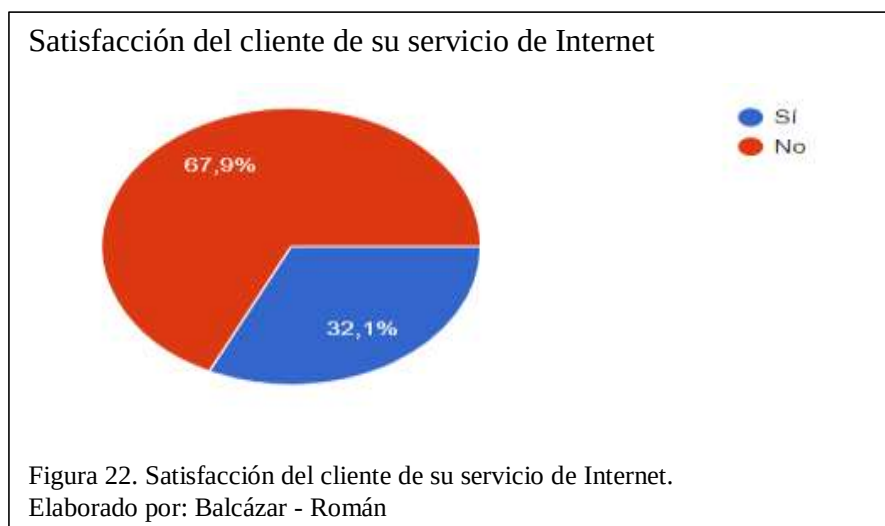
La pregunta de la Figura 21, permite evaluar el momento del día en que los usuarios utilizan mayormente el Internet para usar los diferentes servicios de entretenimiento, información e investigación diariamente.



Pregunta 10.

¿El servicio de Internet fijo que Ud., recibe satisface la demanda que Ud., necesita?

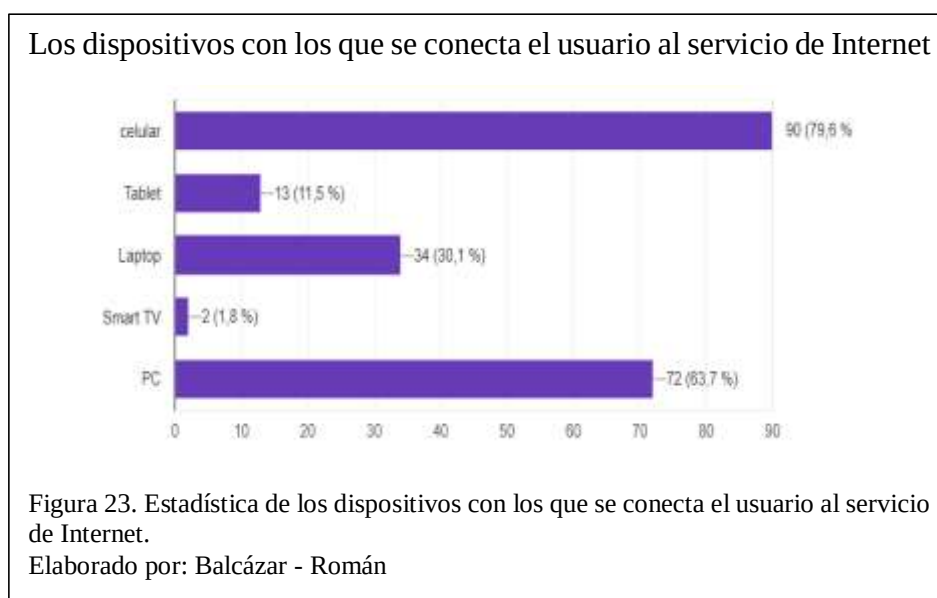
La Figura 22 permite concluir que el servicio que ofrecen los ISP no satisface al 100% las necesidades de los usuarios del Cantón Loreto.



Pregunta 11.

¿Cuál es el equipo o equipos con los que Ud., se conecta al Internet?

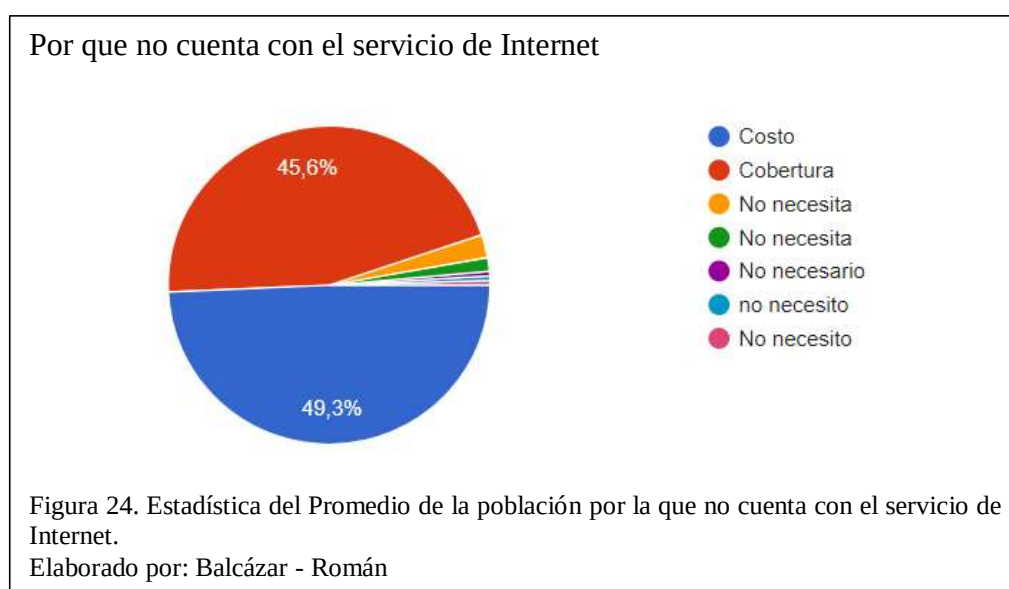
La pregunta de la Figura 23, permite conocer los diferentes dispositivos que utilizan los usuarios para conectarse a Internet y de acuerdo a los resultados obtenidos la mayor parte de la población cuenta con dispositivos celulares.



Pregunta 12.

¿Por qué no tiene el servicio de Internet fijo en su hogar?

La Figura 24, permite establecer la factibilidad del proyecto en la que la mayor parte de la población no cuenta con el servicio de Internet por razones de tener un alto costo por su adquisición y el pago mensual por el mismo, otra de las razones es la falta de cobertura por los ISP actuales dentro del Cantón.



Pregunta 13.

¿Cuánto estaría dispuesto a pagar mensualmente por el servicio de Internet fijo?

La pregunta de la Figura 25, visualiza el resultado del universo encuestado dando como resultado un valor de \$10 que representa el 40.2%, \$15 que representa el 33.6% y \$20 que representa el 8.4%. Esta información permite saber acerca del usuario que estaría dispuesto a pagar en caso de contar con el servicio de internet en el Cantón Loreto.

Valor que estarían dispuestos a pagar los clientes.

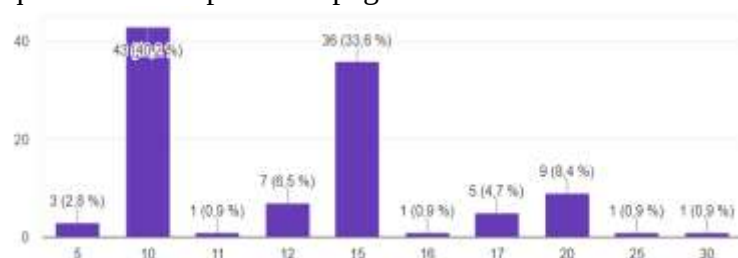


Figura 25. Resultado de la encuesta en el Cantón Loreto del valor que estarían dispuestos a pagar los clientes por un servicio de Internet de calidad.
Elaborado por: Balcázar - Román

2.2. Puntos geográficos de las estaciones base en el Cantón Loreto

Dentro del territorio del Cantón Loreto se ha tomado los siguientes puntos geográficos, los cuales se pueden visualizar en la Tabla 4, para levantar las antenas y establecer las alturas de cada una de ellas, así mismo como la elevación en la que se encuentran cada población a nivel del mar, cuyos puntos están distribuidos en el Cantón.

Tabla 4. Ubicaciones geográficas y alturas de las antenas que se establecen en las poblaciones principales del Cantón Loreto

NOMBRE	COORDENADA	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	DIRECCION	ALTURA DEL TERRENO	ALTURA DE LA ANTENA
LORETO 1	Latitud	0	41	28	S	455	10
	Longitud	77	18	32	W		
LORETO 2	Latitud	0	41	28	S	455	30
	Longitud	77	18	32	W		
LORETO 3	Latitud	0	41	28	S	455	70
	Longitud	77	18	32	W		
PAYAMINO	Latitud	0	29	22	S	295	30
	Longitud	77	17	34	W		
PUERTO MURIALDO	Latitud	0	41	31	S	280	40
	Longitud	77	8	20	W		
HUATICOCHA	Latitud	0	45	10	S	648	50
	Longitud	77	28	29	W		
CHONTACocha 1	Latitud	0	40	55	S	345	20
	Longitud	77	14	24	W		
CHONTACocha 2	Latitud	0	40	55	S	345	40
	Longitud	77	14	24	W		

HUATARACO 1	Latitud	0	44	7	S	389	35
	Longitud	77	22	17	W		
HUATARACO 2	Latitud	0	44	7	S	389	65
	Longitud	77	22	17	W		
CAMPO ALEGRE 1	Latitud	0	33	09	S	525	70
	Longitud	77	20	14	W		
CAMPO ALEGRE 2	Latitud	0	33	09	S	525	30
	Longitud	77	20	14	W		

Nota: Esta tabla contiene las direcciones geográficas de las antenas en el Cantón Loreto.
Elaborado por: Balcázar – Román

Dentro del Cantón Loreto se puede elevar las torres de las antenas a una altura de 80 metros, esta información se obtuvo mediante un oficio realizado al Señor Alcalde Ing. Wellington Serrano, el mismo que fue contestado por el Técnico de Planificación, indicando que previo a la socialización con los moradores se puede elevar a dicha altura. Se adjunta en los anexos el documento enviado por el Gobierno Autónomo descentralizado del Cantón Loreto como constancia de la altura de las torres de las antenas permitidas.

A continuación se visualiza en la Figura 26 el mapa del Cantón Loreto y la ubicación de las torres en cada uno de los sectores.

Mmapa del Cantón Loreto.

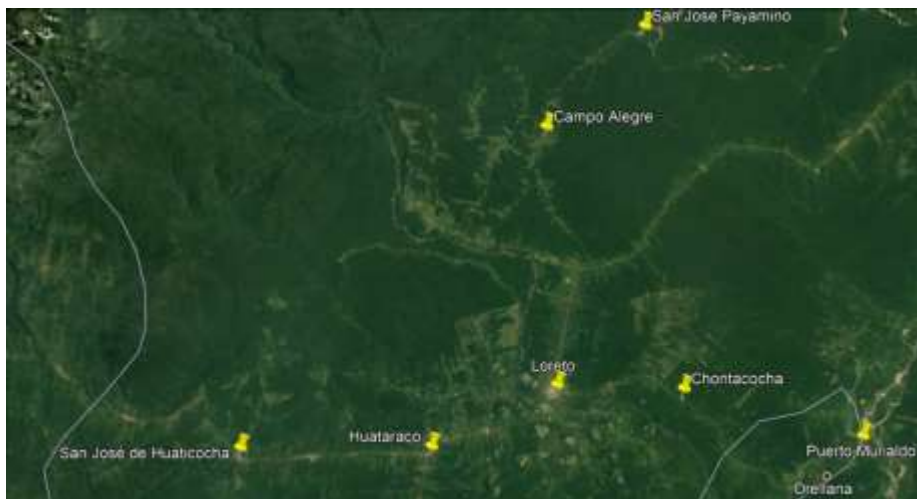
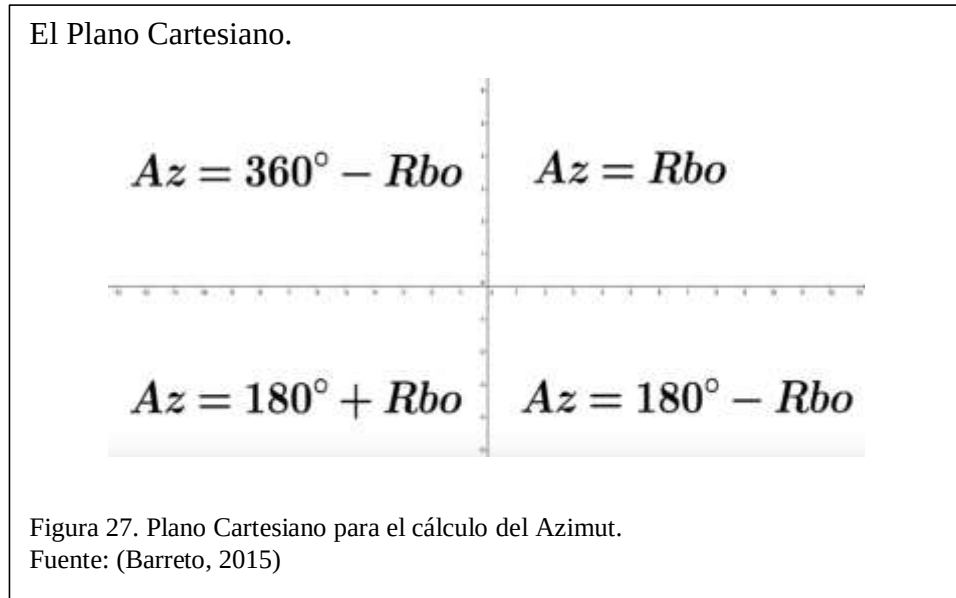


Figura 26. Mapa del Cantón Loreto y ubicación de las torres.
Fuente: Google Maps

2.3. Cálculos para la ubicación de las estaciones básicas

2.3.1. Cálculos de Azimut

Tomando en cuenta los puntos de latitud y longitud que se obtiene mediante la investigación de campo, se aplica la siguiente Figura 27 para obtener los puntos de Azimut de cada antena.



La Ecuación 1, permite obtener el cálculo del Azimut entre dos antenas:

$$\tan^{-1} \left(\frac{X2 - X1}{Y2 - Y1} \right)$$

Ecuación 1: Fórmula para obtener el cálculo de la Azimut ente dos antenas.
Fuente: (Barreto, 2015)

Se reemplaza la Ecuación 1, con los puntos que se encuentran en la tabla anterior (ver Tabla 4), para obtener los siguientes resultados:

El ángulo que se obtiene a continuación es calculado entre el Nodo Loreto 1 y el Repeti Chontacocha 1.

Nodo Loreto 1 – Repeti Chontacocha 1

Nodo Loreto 1 = X1, Y1

Repeti Chontacocha 1 = X2, Y2

$$\tan^{-1}\left(\frac{-77.24 + 77.30889}{-0.681944 + 0.691111}\right) = 82.42^\circ$$

El ángulo que se obtiene a continuación, es calculado entre el Repeti Chontacocha 1 y el Nodo Loreto 1.

Repeti Chontacocha 1– Nodo Loreto 1

Repeti Chontacocha 1 = X1, Y1

Nodo Loreto 1 = X2, Y2

$$\tan^{-1}\left(\frac{-77.30889 + 77.24}{-0.691111 + 0.681944}\right) + 180 = 262.42^\circ$$

El ángulo que se obtiene a continuación, es calculado entre el Repeti Chontacocha 2 y el Nodo Puerto Murialdo.

Repeti Chontacocha 2 – Nodo Puerto Murialdo

Repeti Chontacocha 2 = X1, Y1

Nodo Puerto Murialdo = X2, Y2

$$\tan^{-1}\left(\frac{-77.13889 + 77.24}{-0.691944 + 0.681944}\right) + 180 = 95.64^\circ$$

El ángulo que se obtiene a continuación, es calculado entre el Nodo Puerto Murialdo y el Repeti Chontacocha 2.

Nodo Puerto Murialdo - Repeti Chontacocha 2

Nodo Puerto Murialdo = X1, Y1

Repeti Chontacocha 2 = X2, Y2

$$\tan^{-1} \left(\frac{-77.24 + 77.13889}{-0.681944 + 0.691944} \right) + 360 = 275.6^\circ$$

El ángulo que se obtiene a continuación, es calculado entre el Nodo Loreto 2 y el repeti Huataraco 1.

Nodo Loreto 2 – Repeti Huataraco 1

Nodo Loreto 2 = X1, Y1

Repeti Huataraco 1 = X2, Y2

$$\tan^{-1} \left(\frac{-77.37139 + 77.30889}{-0.735278 + 0.691111} \right) + 180 = 234.75^\circ$$

El ángulo que se obtiene a continuación, es calculado entre el Repeti Chontacocha 1 y el Nodo Loreto 2.

Repeti Huataraco 1 – Nodo Loreto 2

Repeti Huataraco 1 = X1, Y1

Nodo Loreto 2 = X2, Y2

$$\tan^{-1} \left(\frac{-77.30889 + 77.37139}{-0.691111 + 0.735278} \right) = 54.8^\circ$$

El ángulo que se obtiene a continuación, es calculado entre el Repeti Huataraco 2 y el Nodo Huaticocha.

Repeti Huataraco 2 – Nodo Huaticocha

Repeti Huataraco 2 = X1, Y1

Nodo Huaticocha = X2, Y2

$$\tan^{-1} \left(\frac{-77.47472 + 77.37139}{-0.752778 + 0.735278} \right) + 180 = 260.38^\circ$$

El ángulo que se obtiene a continuación, es calculado entre el Nodo Huaticocha y el Repeti Huataraco 2.

Nodo Huaticocha - Repeti Huataraco 2

Nodo Huaticocha = X1, Y1

Repeti Huataraco 2 = X2, Y2

$$\tan^{-1} \left(\frac{-77.37139 + 77.47472}{-0.735278 + 0.752778} \right) = 80.38^\circ$$

El ángulo que se obtiene a continuación, es calculado entre el Nodo Loreto 3 y el Repeti Campo Alegre 1.

Nodo Loreto 3 – Repeti Campo Alegre 1

Nodo Loreto 3 = X1, Y1

Repeti Campo Alegre 1 = X2, Y2

$$\tan^{-1} \left(\frac{-77.33723 + 77.30889}{-0.5525 + 0.691111} \right) + 360 = 348.44^\circ$$

El ángulo que se obtiene a continuación, es calculado entre el Repeti Campo Alegre 1 y el Nodo Loreto 3.

Repeti Campo Alegre 1 – Nodo Loreto 3

Repeti Campo Alegre 1 = X1, Y1

Nodo Loreto 3 = X2, Y2

$$\tan^{-1} \left(\frac{-77.30889 + 77.33723}{-0.691111 + 0.5525} \right) + 180 = 168.44^\circ$$

El ángulo que se obtiene a continuación, es calculado entre el Repeti Campo Alegre 2 y el Nodo Payamino.

Repeti Campo Alegre 2 – Nodo Payamino

Repeti Campo Alegre 2 = X1, Y1

Nodo Payamino = X2, Y2

$$\tan^{-1}\left(\frac{-77.29278 + 77.33723}{-0.489444 + 0.5525}\right) = 35.18^\circ$$

El ángulo que se obtiene a continuación, es calculado entre el Nodo Payamino y el Repeti Campo Alegre 2.

Nodo Payamino – Repeti Campo Alegre 2

Nodo Payamino = X1, Y1

Repeti Campo Alegre 2 = X2, Y2

$$\tan^{-1}\left(\frac{-77.33723 + 77.29278}{-0.5525 + 0.489444}\right) + 180 = 215.18^\circ$$

2.3.2. Ganancia de la antena

Para realizar el cálculo de la ganancia de una antena, se necesita tener los siguientes datos:

La siguiente Ecuación 2, permite el cálculo del área de apertura.

$$A = \pi R^2(m)$$

Ecuación 2: Área de apertura.
Fuente: (Cable_Servicios, 2012)

Donde:

R es el radio del plato, que es igual al diámetro dividido para 2.

La Ecuación 3, permita obtener la longitud de onda.

$$\lambda = \frac{\delta}{f} \text{ (m)}$$

Ecuación 3: Longitud de onda.
Fuente: (Cable_Servicios, 2012)

Donde:

“ δ es la velocidad de la luz 3×10^8 .”

f es la frecuencia en Hz.” (Cable_Servicios, 2012).

Ecuación 4, permite calcular la Ganancia de una antena:

$$\text{Ganancia} = 10 \log \left[\frac{4\pi A}{\lambda^2} \right] * (0.60)$$

Ecuación 4: Formula de la Ganancia de la antena.
Fuente: (Cable_Servicios, 2012)

Calcular la ganancia de la antena RocketDish model: RD-5G34 34dBi 5GHz 2x2 MiMo exterior aplicando las ecuaciones anteriores (Ecuación 1, Ecuación 2, Ecuación 3), asumiendo que la eficiencia de la antena es del 60%.

$$A = \pi(0,5)^2$$

$$A = 0,78539$$

$$\lambda = \frac{3 \times 10^8}{5470 \text{ MHz}}$$

$$\lambda = 0,0548 \text{ (m)}$$

$$\text{Ganancia} = 10 \log \left[\frac{4\pi \cdot (0,78539)}{(0,0548)^2} * (0.60) \right]$$

Ganancia= 32,94885 dB.

2.3.3. Cálculo de Espacio Libre

La Ecuación 5, permite el cálculo del espacio libre.

Donde:

d= es la distancia que existe entre ambas antenas y está dada en Kilómetros

f= es la frecuencia que usa la antena dada en Megahercios.

$$L = 32.4 + 20 \log(d/Km) + 20 \log(f/MHz)$$

Ecuación 5: Fórmula de espacio libre.

Fuente: (Cable_Servicios, 2012)

Realizamos el cálculo de pérdidas de espacio libre a las antenas rocketDish ubicado en la Parroquia Loreto dirigido al Sector Chontacocha.

d=7.72 Km

f= 5400 MHz

$$L = 32.4 + 20 \log(7.72) + 20 \log(5400)$$

L=124.80 dB

Realizamos el cálculo de pérdidas de espacio libre a las antenas rocketDish ubicado en el Sector Chontacocha dirigido a la Parroquia de Puerto Murialdo.

d=11.29 Km

f= 5400 MHz

$$L = 32.4 + 20 \log(11.29) + 20 \log(5400)$$

L=128.10 dB

Realizamos el cálculo de pérdidas de espacio libre a las antenas rocketDish ubicado en la Parroquia Loreto dirigido al Sector de Huataraco.

$$d=8.50 \text{ Km}$$

$$f= 5400 \text{ MHz}$$

$$L = 32.4 + 20 \log(8.50) + 20 \log(5400)$$

$$L=125.64 \text{ dB}$$

Realizamos el cálculo de pérdidas de espacio libre a las antenas rocketDish ubicado en el Sector Huataraco dirigido a la Parroquia San Vicente de Huaticocha.

$$d=11.65 \text{ Km}$$

$$f= 5400 \text{ MHz}$$

$$L = 32.4 + 20 \log(11.65) + 20 \log(5400)$$

$$L=128.37 \text{ dB}$$

Realizamos el cálculo de pérdidas de espacio libre a las antenas rocketDish ubicado en la Parroquia Loreto dirigido al Sector Campo Alegre.

$$d=15.72 \text{ Km}$$

$$f= 5400 \text{ MHz}$$

$$L = 32.4 + 20 \log(15.72) + 20 \log(5400)$$

$$L=130.98 \text{ dB}$$

Realizamos el cálculo de pérdidas de espacio libre a las antenas rocket Dish ubicado en el Sector Campo Alegre dirigido a la Parroquia San José de Payamino.

$$d=8.57 \text{ Km}$$

f= 5400 MHz

$$L = 32.4 + 20 \log(8.57) + 20 \log(5400)$$

$$L=125.71 \text{ dB}$$

2.3.4. Cálculo del PIRE

La Ecuación 6, permite el cálculo del PIRE donde:

PT es la potencia de transmisión

LC es la pérdida de cable

GA es la ganancia de la antena.

$$P.I.R.E. (dBm) = PT - LC + GA$$

Ecuación 6: Fórmula de P.I.R.E.
Fuente: (Cable_Servicios, 2012)

La Ecuación 7, permite convertir el resultado del PIRE ya que su resultado está dado en dBm y se lo convierte a unidades de Watts.

$$P.I.R.E(W) = 10^{\frac{x}{10}}/1000$$

Ecuación 7: Formula de conversión de dBm a Watts.
Fuente: (Cable_Servicios, 2012)

A continuación se reemplaza las ecuaciones (Ecuación 6, Ecuación 7) para obtener el P.I.R.E de las antenas Rocket Dish ubicadas en las Parroquias: Loreto, Puerto Murialdo, San José de Payamino, San Vicente de Huaticocha y en los Sectores Campo Alegre, Chontacocha y Huataraco.

Donde:

PT: 28 dBm

LC: 0.5 Db

GA: 34 dB

$$P.I.R.E. (dBm) = 28 - 0.5 + 34$$

$$P.I.R.E. (dBm) = 61.5$$

Para poder obtener el valor del P.I.R.E en Watts se aplica la formula anterior.

$$P.I.R.E(W) = 10^{\frac{61.5}{10}} / 1000$$

$$P.I.R.E(W) = 1412.53 W$$

En la siguiente Tabla 5, se describe los diferentes ángulos de Elevación y el de Azimut obtenidos mediante la aplicación de la Ecuación 1 anterior.

Tabla 5. Cálculos de los ángulos de elevación y Azimut

Origen	Destino	Distancia	Angulo de Elevación	Angulo de Azimut	Perdidas de espacio Libre	PIRE
Nodo Loreto 1	Repeti Chontacocha 1	7.72 Km	- 0.661373°	82.42°	124.80 dB	1.41Kw
Repeti Chontacocha 1	Nodo Loreto 1		0.591877°	262.42°		
Repeti Chontacocha 2	Nodo Puerto Murialdo	11.29 km	- 0.380522°	95.64°	128.10 dB	1.41Kw
Nodo Puerto Murialdo	Repeti Chontacocha 2		0.278924°	275.60°		
Nodo Loreto 2	Repeti Huataraco 1	8.50 km	- 0.141915°	234.75°	125.64 dB	1.41Kw
Repeti Huataraco 1	Nodo Loreto 2		0.065388°	54.80°		

Repeti Huataraco 2	Nodo Huaticocha	11.65 km	1.218505°	260.38°	128.37 dB	1.41Kw
Nodo Huaticocha	Repeti Huataraco 2		- 1.323300°	80.38°		
Nodo Loreto 3	Repeti Campo Alegre 1	15.72 km	0.206192°	348.44°	130.98 dB	1.41Kw
Repeti Campo Alegre 1	Nodo Loreto 3		- 0.347669°	168.44°		
Repeti Campo Alegre 2	Nodo Payamino	8.57 km	1.459237°	35.18°	125.71 dB	1.41Kw
Nodo Payamino	Repeti Campo Alegre 2		- 1.536383°	215.18°		

Nota: Esta tabla contiene los resultados de los cálculos de azimut y elevación.
Elaborado por: Balcázar – Román

A continuación se calcula el PIRE de la antena omnidireccional ubicada en las Parroquias: Puerto Murialdo, San Vicente de Huaticocha, San Jose de Payamino y el Sector de Huataraco.

PT= 27 dBm.

LC=0.5 Db

GA=13 dBi

$$PIRE(dBm) = 27 - 0.5 + 13$$

$$PIRE = 39.5 \text{ dBm}$$

A continuación para obtener el resultado del PIRE en Watt se utiliza la fórmula de conversión.

$$PIRE(W) = 10^{\frac{39.5}{10}} / 1000$$

$$PIRE = 8.91 \text{ w}$$

En la siguiente Tabla 6, se visualiza las antenas omnidireccionales, su origen, destino, distancia, ángulo de elevación, ángulo de azimut, perdida de espacio Libre y PIRE.

Tabla 6. Tabla de antenas omnidireccionales

Origen	Latitud	Longitud	Altura	PIRE
Antena Puerto Murialdo Omnidireccional	-0.691944°	-77.13889°	10 m	8.91w
Antena Huaticocha Omnidireccional	-0.752778°	-77.47472°	48 m	8.91w
Antena Payamino Omnidireccional	-0.489444°	-77.29278°	50 m	8.91 w
Antena Huataraco Omnidireccional	-0.735278°	-77.37139°	35 m	8.91 w

Nota: Esta tabla contiene los resultados del cálculo del PIRE de las antenas.

Elaborado por: Balcázar – Román.

Cálculo de PIRE para las antenas sectoriales ubicadas en el Cantón Loreto.

Así mismo para obtener el cálculo del P.I.R.E se utiliza la formula anterior en donde:

PT= 28 dBm.

LC=0.5 Db

GA=13.7 dBi

$$PIRE(dBm) = 28 - 0.5 + 13.7$$

$$PIRE = 41.20 \text{ dBm}$$

A continuación para obtener el resultado del PIRE en Watt se utiliza la fórmula de conversión.

$$PIRE(W) = 10^{\frac{41.20}{10}} / 1000$$

$$PIRE = 13.18 \text{ w}$$

A continuación en la siguiente Tabla 7, se detallan las ubicaciones y alturas de las antenas sectoriales AM-5G19-120.

Tabla 7. Tabla de las antenas sectoriales de la Parroquia Loreto

Origen	Latitud	Longitud	Altura	PIRE
Antena Sectorial Loreto 1	-0.691111°	-77.30889°	100 m	13.18 w
Antena Sectorial Loreto 2	-0.691111°	-77.30889°	100 m	13.18 w
Antena Sectorial 3	-0.691111°	-77.30889°	100 m	13.18 w

Nota: Esta tabla contiene las antenas sectoriales y la ubicación de estas en la Parroquia Loreto.
Elaborado por: Balcázar - Román

En la siguiente Tabla 8, se detallan los suscriptores, antenas y la ubicación exacta con su latitud y longitud de los mismos.

Tabla 8. Ubicación de los suscriptores en el Cantón Loreto

Suscriptor	Antena de conexión	Ubicación del Suscriptor	
		Latitud	Longitud
Casa L 1	Antena de Loreto	-0.684944°	-77.31001°
Casa L 2	Antena de Loreto	-0.6677806°	-77.31039°
Casa L 3	Antena de Loreto	-0.683917°	-77.31095°
Casa L 4	Antena de Loreto	-0.691389°	-77.30984°
Casa L 5	Antena de Loreto	-0.692722°	-77.31128°
Casa L 6	Antena de Loreto	-0.698694°	-77.31361°
Casa L 7	Antena de Loreto	-0.685667°	-77.31062°
Casa L 8	Antena de Loreto	-0.688333°	-77.31025°
Casa L 9	Antena de Puerto Murialdo	-0.688111°	-77.31078°
Casa PM 1	Antena de Puerto Murialdo	-0.692224°	-77.1386°

Casa PM 2	Antena de Puerto Murialdo	-0.692058°	-77.13828°
Casa PM 3	Antena de Puerto Murialdo	-0.691913°	-77.13963°
Casa PM 4	Antena de Puerto Murialdo	-0.692369°	-77.13893°
Casa PM 5	Antena de Puerto Murialdo	-0.692222°	-77.13958°
Casa PM 6	Antena de Puerto Murialdo	-0.692342°	-77.13873°
Casa PM 7	Antena de Puerto Murialdo	-0.691441°	-77.13889°
Casa PM 8	Antena de Puerto Murialdo	-0.691806°	-77.13847°
Casa PM 9	Antena de Puerto Murialdo	-0.691975°	-77.13943°
Casa PM 10	Antena de Puerto Murialdo	-0.691674°	-77.13945°
Casa HCH 1	Antena de Huaticocha	-0.752006°	-77.4759°
Casa HCH 2	Antena de Huaticocha	-0.75148°	-77.47474°
Casa HCH 3	Antena de Huaticocha	-0.751888°	-77.47597°
Casa HCH 4	Antena de Huaticocha	-0.751319°	-77.4752°
Casa HCH 5	Antena de Huaticocha	-0.752006°	-77.47434°
Casa HCH 6	Antena de Huaticocha	-0.752574°	-77.47375°
Casa HCH 7	Antena de Huaticocha	-0.75354°	-77.47483°
Casa HCH 8	Antena de Huaticocha	-0.753057°	-77.47356°
Casa HCH 9	Antena de Huaticocha	-0.752928°	-77.47462°
Casa HCH 10	Antena de Huaticocha	-0.753422°	-77.47399°
Casa PY 1	Antena de Payamino	-0.489133°	-77.29348°
Casa PY 2	Antena de Payamino	-0.488693°	-77.29309°
Casa PY 3	Antena de Payamino	-0.488972°	-77.29236°
Casa PY 4	Antena de Payamino	-0.489616°	-77.29218°
Casa PY 5	Antena de Payamino	-0.489841°	-77.29253°

Casa PY 6	Antena de Payamino	-0.489069°	-77.29295°
Casa PY 7	Antena de Payamino	-0.488961°	-77.2935°
Casa PY 8	Antena de Payamino	-0.489369°	-77.29351°
Casa PY 9	Antena de Payamino	-0.489777°	-77.29365°
Casa PY 10	Antena de Payamino	-0.490206°	-77.29305°
Casa 24 1	Antena de Huaticocha	-0.745895°	-77.4349°
Casa 24 2	Antena de Huaticocha	-0.746°	-77.43527°
Casa 24 3	Antena de Huaticocha	-0.745986°	-77.43652°
Casa 24 4	Antena de Huaticocha	-0.746678°	-77.43811°
Casa 24 5	Antena de Huaticocha	-0.745769°	-77.43786°
Casa 24 6	Antena de Huaticocha	-0.744715°	-77.43552°
Casa 24 7	Antena de Huaticocha	-0.744821°	-77.43276°
Casa 24 8	Antena de Huaticocha	-0.74559°	-77.43131°
Casa 24 9	Antena de Huaticocha	-0.744819°	-77.42877°
Casa 24 10	Antena de Huaticocha	-0.748621°	-77.43438°
Casa 24 11	Antena de Huaticocha	-0.748717°	-77.43275°
Casa 24 12	Antena de Huaticocha	-0.747139°	-77.44018°
Casa 24 13	Antena de Huaticocha	-0.748051°	-77.44198°
Casa 24 14	Antena de Huaticocha	-0.747348°	-77.44271°
Casa 24 15	Antena de Huaticocha	-0.748307°	-77.44437°
Casa H 1	Antena de Huataraco	-0.715506°	-77.3409°
Casa H 2	Antena de Huataraco	-0.714726°	-77.34216°
Casa H 3	Antena de Huataraco	-0.715589°	-77.34254°
Casa H 4	Antena de Huataraco	-0.71648°	-77.34189°

Casa H 5	Antena de Huataraco	-0.716705°	-77.3409°
Casa H 6	Antena de Huataraco	-0.717716°	-77.34201°
Casa H 7	Antena de Huataraco	-0.718467°	-77.34191°
Casa H 8	Antena de Huataraco	-0.719415°	-77.34733°
Casa H 9	Antena de Huataraco	-0.718119°	-77.34322°
Casa H 10	Antena de Huataraco	-0.717797°	-77.34504°
Casa H 11	Antena de Huataraco	-0.717953°	-77.3466°
Casa H 12	Antena de Huataraco	-0.719623°	-77.34808°
Casa H 13	Antena de Huataraco	-0.718551°	-77.3798°
Casa H 14	Antena de Huataraco	-0.720278°	-77.34895°
Casa H 15	Antena de Huataraco	-0.719434°	-77.34901°

Nota: Esta tabla contiene los suscriptores y sus coordenadas.
Elaborado por: Balcázar - Román

Capítulo 3

3. Costo de Inversión

3.1. Inicio de la Inversión

El siguiente proyecto en caso de implementarse en el Cantón Loreto, permitirá a la empresa sea esta pública o privada tener un ingreso a largo plazo, ya que los primeros años permitirá la recuperación de la inversión inicial, teniendo en cuenta que esta es una tecnología que permitirá llegar a lugares de difícil acceso, permitiendo de esta manera un ahorro en otras tecnologías.

A continuación se detallan los equipos necesarios para el proyecto, donde consta la ganancia de la antena, el valor por unidad del equipo y el valor total. Utilizando un rango de frecuencia gratuita que permita cubrir el área del Cantón Loreto.

Para la inversión inicial, el valor de los equipos es obtenido de diversos proveedores cuyos valores están dados en dólares americanos.

3.1.1. Descripción de los equipos

Para los enlaces punto a punto se utiliza las antenas Direccionales rocketDish con un rango de frecuencia entre 4.9 y 5.8 GHz, con una ganancia de la antena de entre 30 a 34 dBi que se ubicará en los puntos principales establecidos en la Tabla 5 para poder llegar a las Parroquias del Cantón.

Las antenas omnidireccionales AMO-5G13, utiliza una ganancia de 13 dBi, se ubican en las parroquias del Cantón para brindar el servicio de Internet a los suscriptores que se encuentran en ese lugar.

Las antenas sectoriales AM-5G19-120, utiliza una ganancia de 19 dBi, se ubica en la Parroquia Loreto con la finalidad de brindar el servicio de Internet a los suscriptores de la Parroquia, por ser un área más extensa se utiliza este tipo de antenas.

Para los suscriptores del Cantón Loreto se instalará en cada casa, una antena Mikrotick (modelo, ganancia), lo que permitirá recibir el servicio de Internet.

3.2. Costos de operación del proyecto

Para iniciar el costo de operación del proyecto se visualiza en la Tabla 9 del Proveedor CNT, siendo el único proveedor para el Cantón Loreto de Internet de grandes capacidades para ISPs, que detalla su tarifa mensual, la velocidad de Mbps que ofrece y el medio de transmisión por la que trabaja el proveedor.

Tabla 9. Proveedor de Internet de Grandes Capacidades

Internet Grandes Capacidades para ISPs 4D								
Servicio de grandes capacidades de Internet sin compartición, de forma que este sea el insumo para que el ISP pueda establecer sus propias propuestas comerciales hacia sus clientes.								
Inscripción: \$300			Inscripción: \$300			Backup Internet 4D		
Velocidad	Tarifa Mensual	Medio de Transmisión	Velocidad Mbps	Tarifa Mensual	Medio de Transmisión	Velocidad Mbps	Tarifa Mensual	
1	\$ 123,81	FO:PTP/GPON	45	\$ 1575,00	FO:PTP/GPON	1 a 10	\$ 135,00	
2	\$ 230,53	FO:PTP/GPON	50	\$ 1750,00	FO:PTP/GPON	11 a 50	\$ 161,00	
3	\$ 238,94	FO:PTP/GPON	60	\$ 2040,00	FO:PTP/GPON	51 a 100	\$ 277,00	
4	\$ 303,17	FO:PTP/GPON	70	\$ 2380,00	FO:PTP/GPON	101 a 155	\$ 546,00	
5	\$ 353,27	FO:PTP/GPON	80	\$ 2720,00	FO:PTP/GPON	156 a 500	\$ 1092,00	
10	\$ 400,00	FO:PTP/GPON	90	\$ 3060,00	FO:PTP/GPON	501 a 1000	\$ 1157,00	
12	\$ 420,00	FO:PTP/GPON	100	\$ 3400,00	FO:PTP/GPON			
14	\$ 490,00	FO:PTP/GPON	150	\$ 4950,00	FO:PTP/GPON			
20	\$ 700,00	FO:PTP/GPON	155	\$ 5115,00	FO:PTP/GPON			
26	\$ 910,00	FO:PTP/GPON	300	\$ 9600,00	FO:PTP/GPON			
30	\$ 1050,00	FO:PTP/GPON	500	\$ 16000,00	FO:PTP/GPON			
40	\$ 1400,00	FO:PTP/GPON	1000	\$ 31000,00	FO:PTP/GPON			

Nota: Esta tabla contiene las capacidades que ofrece el proveedor CNT.

Fuente: Corporación Nacional de Telecomunicaciones

A continuación se detalla las alturas de las antenas que van ubicadas en las parroquias y sectores del Cantón Loreto, con su valor por la construcción de cada una ellas dado en dólares americanos.

Para el presente proyecto se optó por adquirir el servicio de 100 Mbits de velocidad, porque se estima comenzar con 500 suscriptores el primer año, con el cual se cubrirá demanda de ofrecer un servicio de calidad en todo el Cantón Loreto.

Los costos se calcularán por año en donde corresponden los costos por mantenimiento, instalación de las antenas para los suscriptores, arrendamiento de lugar por la instalación de las antenas, gastos administrativos, costo por el servicio de Internet. En la Tabla 10 se detallan a continuación:

Tabla 10. Costos de Operación Inicial.

Costo Base WiMAX	Cantidad	Valor.	Total
		Unit	
Antena direccional DISH RD-5G34 4.9 - 5.8 GHZ 30 - 34 DBI	12	\$440	\$5.280
Antena omnidireccional AMO-5G13 4.9-5.8 GHZ 13DBI	4	\$247	\$988
Antena sectorial AM-5G19-120 4.9-5.8 GHZ 19DBI	3	\$180	\$540
ROCKET PRISM AC GEN2 RP-5AC-GEN2	19	\$300	\$5.700
Router mikrotik CRS125-24G-1S-2HND-IN	1	\$200	\$200
ROUTERBOARD RB750GL MIKROTIK	4	\$80	\$320
Cable SIEMON categoría 7ª 1000 MHz S F/UTP (Cajas)	414.40 m	\$5	\$2.072

Total			\$15.100
Costo de equipos del Suscriptor			
Antena microtick 4.9-5.8 GHZ + router D-LINK	500	\$65	\$32.500
Total			\$32.500
Costo de puesto en funcionamiento	cantidad	Valor. Unit	Total
Capacitación para los técnicos	1	\$1.500	\$1.500
Instalación de Radio Bases	1	\$5.000	\$5.000
Total			\$6.500
Costos de materiales instalación cliente	cantidad	Valor. Unit	Total
Cable UTP	20 m	\$0.50	\$10
Conectores RJ45	2	\$0.50	\$1
Mástil de 2m	1	\$8	\$8
Total			\$19

Nota: Esta tabla contiene los costos de los dispositivos para la red WiMAX.
Elaborado por: Balcázar – Román

La Tabla 11 detalla los costos administrativos, sueldos y costos técnicos.

Tabla 11. Costos administrativos, sueldos y costos técnicos.

Costos de las instalaciones para oficina	Cantidad	Valor. Unit	Total
Arriendo de oficina	1	\$250	\$250
Servicios básicos (luz, agua)	1	\$150	\$150
Insumos y suministros	1	\$100	\$100

Consumos varios (transporte + alimentación, etc.)	1	\$500	\$500
Total			\$1.000
Salarios	Cantidad	Valor. Unit	Total
Gerente general	1	\$1.000	\$1.000
Ejecutivos de venta	2	\$500	\$1.000
Técnicos e instaladores	4	\$600	\$2.400
Total			\$4.400
Costos técnicos	Cantidad	Valor. Unit	Total
Renta nodo	7	\$300	\$2.100
Costo internet 100 Mb	1	\$3.400	\$3.400
Total			\$5.500

Nota: Esta tabla contiene los costos administrativos y sueldos.
Elaborado por: Balcázar – Román

En la Tabla 12, se muestra la comparativa entre los productos.

Tabla 12. Comparación de los productos con diferentes marcas.

TABLA COMPARATIVA			
Torre Trylon autosoportable 6m	\$150,80	Torre	\$90
Gabinete para exteriores Quest X-PLUS 23 RU 51"A x 32.3"A x 29.4"P	\$700,16	Gabinete para exteriores Deep HQ 27 RU 35"A x 19"A x 29.4"P	\$699
Pararrayos Harger 1248SCAT	\$466,40	Pararrayos	\$400
UPS Titan Online Capacidad 3.1KVA	\$955,50	UPS Tripp-lite 1.5 Capacidad KVA 1500	\$949,99

Banco de Baterías NorthStar 12VDC 200 A	\$1.100,22	Banco de Baterías 100 A	\$1.064
--	------------	-------------------------	---------

Nota: Esta tabla contiene la comparación de los productos para la red WiMAX.

Elaborado por: Balcázar – Román

A continuación la Tabla 13, presenta los equipos para la instalación de las Estaciones Base.

Tabla 13. Costos de Inversión de los equipos para las Estaciones Base.

Costos de inversión			
Equipos de la red de acceso y transporte	Valor unitario	Cantidad	Total
Antena direccional dish RD-5G34 4.9 - 5.8 GHZ 30 - 34 dBi	\$440	12	\$5.280
Antena omnidireccional AMO-5G13 4.9-5.8 GHZ 13 dBi	\$247	4	\$988
Antena sectorial AM-5G19-120 4.9-5.8 GHZ 19 dBi	\$180	3	\$540
Antena microtick 4.9-5.8 GHZ	\$65	500	\$32.500
Rocket PRISM AC GEN2 RP-5AC-GEN2	\$300	19	\$5.700
Routers mikrotik CRS125-24G-1S-2HND-IN	\$200	1	\$200
Routerboard RB750GL mikrotik	\$80	4	\$320
Cable SIEMON categoría 7a 1000 MHz s f/utp (Cajas)	\$414,40	5	\$2.072
Total			\$47.600
Infraestructura de las torres	Valor unitario	Cantidad	Total
Torre de Loreto	\$90	70 m	\$6.300
Torre de Chontacocha	\$90	40 m	\$3.600
Torre de Puerto Murialdo	\$90	40 m	\$3.600
Torre de Huataraco	\$90	65 m	\$5.850
Torre de Huaticocha	\$90	50 m	\$4.500
Torre de Campo Alegre	\$90	70 m	\$6.300

Torre de Payamino	\$90	30 m	\$2.700
Gabinete para exteriores Deep HQ 27 RU 35"A x 19"A x 29.4"P	\$699	7	\$4.893
Total			\$37.743
Equipos para el sistema eléctrico	Valor unitario	Cantidad	Total
Pararrayos	\$400	7	\$2.800
UPS Tripp-lite 1.5 Capacidad KVA 1500	\$949,99	7	\$6.649,93
Banco de Baterías 100 A	\$1.064	7	\$7.448
Sistema de puesta a tierra	\$700	7	\$4.900
Total			\$21.797,93
Costos de adecuación del terreno	Valor unitario	Cantidad	Total
Adecuación del sitio para la Radio Base	\$1.000	7	\$7.000
Puesta a tierra de las radio bases	\$1.000	7	\$7.000
Instalación de equipos de la red de acceso y transporte	\$1.000	7	\$7.000
Total			\$21.000
Gastos varios	Valor unitario	Cantidad	Total
Gastos adicionales de instalación	\$800	7	\$5.600
Costos totales de inversión de los equipos e infraestructura			\$133.740,93

Nota: Esta tabla contiene los equipos y gastos adicionales.
Elaborado por: Balcázar – Román

La Ecuación 8, permite realizar el cálculo de amortización para los siguientes 5 años.

$$\text{Amortización} = \frac{\text{Gastos totales}}{\text{número de años programados}}$$

Datos:

Ecuación 8: Fórmula de amortización.
Fuente: (Cable_Servicios, 2012)

Gastos totales: \$133.740,93

Número de años: 5

$$\frac{\$133.740,93}{5} = \$26.748,186$$

La suma de las amortizaciones nos debe dar el valor de los gastos totales.

En la siguiente Tabla 14, se muestra la amortización de los equipos para 5 años.

Tabla 14. Amortización de inversión de los equipos para las estaciones bases.

Años	Amortización
Año 1	\$26.748,19
Año 2	\$26.748,19
Año 3	\$26.748,19
Año 4	\$26.748,19
Año 5	\$26.748,19
Total	\$133.740,93

Nota: Esta tabla contiene la amortización de la inversión durante 5 años.

Elaborado por: Balcázar - Román

3.3. Ingresos anuales por los suscriptores

El costo por la instalación de los equipos por casa de los suscriptores tendrá un valor de \$70 dólares americanos y mensualmente se cobrará la cantidad de \$20 dólares americanos por el servicio de Internet. La Tabla 15, ofrecerá planes de 3MB y 5MB conforme al plan se cobrará de acuerdo a la tabla establecida.

Tabla 15. Planes del servicio de Internet para suscriptores.

Plan	Valor (Mensualmente)
Plan de 3Mb de velocidad	\$20 dólares
Plan de 5Mb de velocidad	\$25 dólares

Nota: Esta tabla contiene los planes para los suscriptores.

Elaborado por: Balcázar - Román

El proyecto se estima con un total de 500 suscriptores para iniciar el primer año. En la Tabla 16, se muestra el costo de los equipos por cada suscriptor.

Tabla 16. Costos de las unidades Suscriptoras

Proyección del VAN Y TIR para el costo de los equipos suscriptor con una inflación anual de 4.34%					
	Valor unitario (año 0)	Valor unitario (año 1)	Valor unitario (año 2)	Valor unitario (año 3)	Valor unitario (año 4)
Valor de instalación del equipo de suscriptor (equipo + cable +RJ45 + mástil+ router D-LINK)	\$70	\$73,04	\$76,21	\$79,52	\$82,97

Nota: Esta tabla contiene los cálculos VAN y TIR.
Elaborado por: Balcázar - Román

A continuación en la Tabla 17, se detallan los costos de operación anualmente que se aplicaran al arrendamiento del sitio de la ubicación, mano de obra, gastos administrativos entre otros gastos.

Tabla 17. Costo operacional anual.

Costos de operación (Por año)			
	Valor unitario	Cantidad	Total
Alquiler del lugar para la Estación Base (1 año)	\$300	7	\$25.200
Pago de luz eléctrica por estación base (1 año)	\$70	7	\$5.880

Conservación de las estaciones bases	\$50	7	\$4.200
Pago de nómina del personal	\$4.400	1	\$52.800
Costo de Internet	\$3.400	1	\$40.800
Costos totales			\$128.880

Nota: Esta tabla contiene los costos operacionales.
Elaborado por: Balcázar - Román

Se detalla a continuación los ingresos anuales por 5 años por parte de los suscriptores y la ganancia se obtiene por el servicio que se ofrece. Ver las siguientes Tablas: 18 - 22.

Tabla 18. Ingresos del primer año por los suscriptores.

Ingresos totales primer año			
	Valor unitario	Cantidad de suscriptores	Total
Cargo de instalación terminal suscriptora	\$70	500	\$35.000
Suscripciones plan 3 Mb	\$20	150	\$36.000
Suscripciones plan 5 Mb	\$25	350	\$105.000
Ingresos totales primer año			\$176.000

Nota: Esta tabla contiene los ingresos del primer año.
Elaborado por: Balcázar – Román

Tabla 19. Ingresos del segundo año por los suscriptores.

Ingresos totales segundo año			
	Valor unitario	Cantidad de suscriptores	Total
Cargo de instalación terminal suscriptora	\$73,04	100	\$7.304

Suscripciones plan 3 Mb	\$20	200	\$48.000
Suscripciones plan 5 Mb	\$25	400	\$120.000
Ingresos totales segundo año			\$175.304

Nota: Esta tabla contiene los ingresos del segundo año.
Elaborado por: Balcázar – Román

Tabla 20. Ingreso de ganancia del tercer año por los suscriptores.

Ingresos totales tercer año			
	Valor unitario	Cantidad de suscriptores	Total
Cargo de instalación terminal suscriptora	\$76,21	100	\$7.621
Suscripciones plan 3 Mb	\$20	250	\$60.000
Suscripciones plan 5 Mb	\$25	450	\$135.000
Ingresos totales tercer año			\$202.621

Nota: Esta tabla contiene los ingresos del tercer año.
Elaborado por: Balcázar – Román

Tabla 21. Ingreso de ganancia del cuarto año por los suscriptores.

Ingresos totales cuarto año			
	Valor unitario	Cantidad de suscriptores	Total
Cargo de instalación terminal suscriptora	\$79,52	100	\$7.952
Suscripciones plan 3 Mb	\$20	300	\$72.000
Suscripciones plan 5 Mb	\$25	500	\$150.000
Ingresos totales cuarto año			\$229.952

Nota: Esta tabla contiene los ingresos del cuarto año.
Elaborado por: Balcázar – Román

Tabla 22. Ingreso de ganancia del quinto año por los suscriptores.

Ingresos totales quinto año			
	Valor unitario	Cantidad de suscriptores	Total
Cargo de instalación terminal suscriptora	\$82,97	100	\$8.297
Suscripciones plan 3 Mb	\$20	350	\$84.000
Suscripciones plan 5 Mb	\$25	550	\$165.000
Ingresos totales quinto año			\$257.297

Nota: Esta tabla contiene los ingresos del quinto año.

Elaborado por: Balcázar – Román

Hasta el quinto año se paga la inversión de los equipos. A partir del sexto año ya no existe ese rubro como se muestra en la Tabla 23.

Tabla 23. Ingresos del sexto año.

Ingresos totales sexto año			
	Valor unitario	Cantidad de suscriptores	Total
Cargo de instalación terminal suscriptora	\$86,57	50	\$4.328,5
Suscripciones plan 3 Mb	\$20	375	\$90.000
Suscripciones plan 5 Mb	\$25	575	\$172.500
Ingresos totales sexto año			\$269.828,5

Nota: Esta tabla contiene los ingresos del sexto año.

Elaborado por: Balcázar - Román

A continuación se muestra la Tabla 24, el resumen de egresos e ingresos de la red WiMAX por el lapso de tiempo de 6 años.

Tabla 24. Resumen de egresos e ingresos de la red WiMAX por 6 años.

	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6
Ganancia						
(Pago mensual						
+ instalaciones)	\$176.000	\$175.304	\$202.621	\$229.952	\$257.297	\$269.828,5
Costo						
Mantenimient	\$144.000	\$144.000	\$144.000	\$144.000	\$144.000	\$144.000
o anual						
Costo						
amortización	\$26.748,19	\$26.748,19	\$26.748,19	\$26.748,19	\$26.748,19	
deuda a 5 años						
Costo ganancia						
neta	\$5.251,81	\$4.555,81	\$31.872,81	\$59.203,81	\$86.548,81	\$125.828,5

Nota: Esta tabla contiene el resumen de los ingresos durante los 6 años.

Elaborado por: Balcázar – Román

Capítulo 4

4 Pruebas

4.1 Pruebas de la simulación de la Red WiMAX

Al terminar de realizar los cálculos cuyos resultados obtenidos anteriormente, permitirán simular la red dentro de un entorno virtual llamado Radio Mobile.

En la siguiente la Figura 28, ingresaremos los puntos geográficos del Nodo Loreto 1, Nodo Loreto 2 y Nodo Loreto 3, que en este caso poseen la misma elevación de 455 metros sobre el nivel del mar, tomado de la investigación de campo.

Nodo Loreto 1

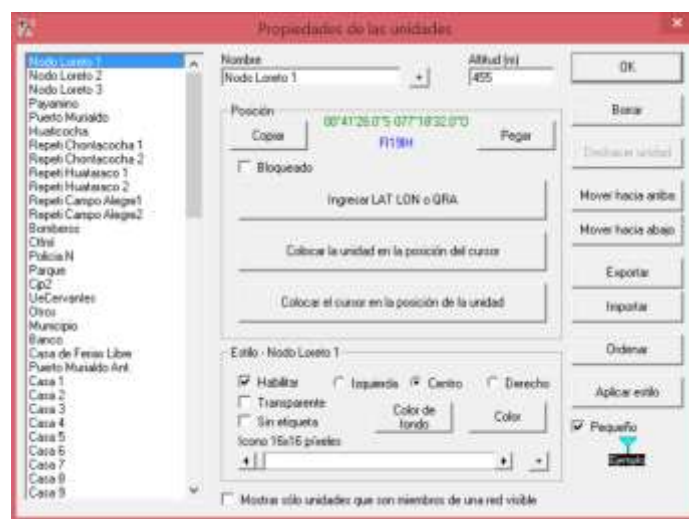


Figura 28. Ingreso de los puntos geográficos al Nodo Loreto 1.
Elaborado por: Balcázar – Román

Así mismo en la Figura 29, se muestra el ingreso de los puntos geográficos que corresponden al Nodo Payamino, que se encuentra a una elevación de 295,5 metros sobre el nivel del mar.

Nodo Payamino

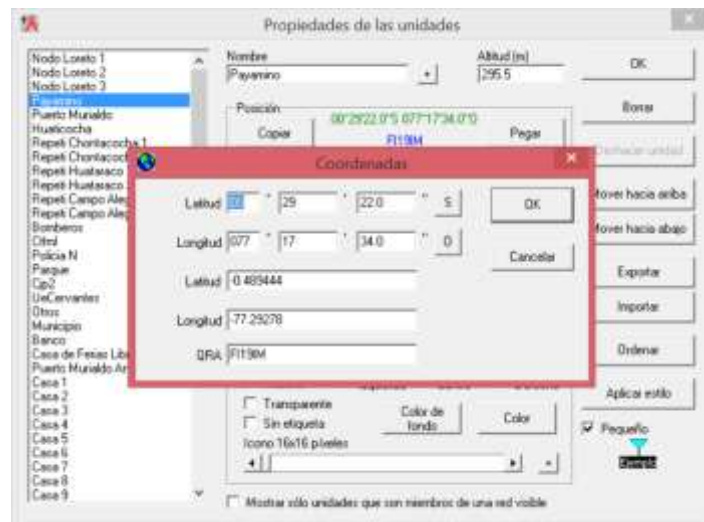


Figura 29. Ingreso de los puntos geográficos del Nodo Payamino.
Elaborado por: Balcázar – Román

A continuación se muestra en la Figura 30, el ingreso de los puntos geográficos de la Parroquia Puerto Murialdo, esta parroquia se encuentra a 283 metros sobre el nivel del mar.

Nodo Puerto Murialdo

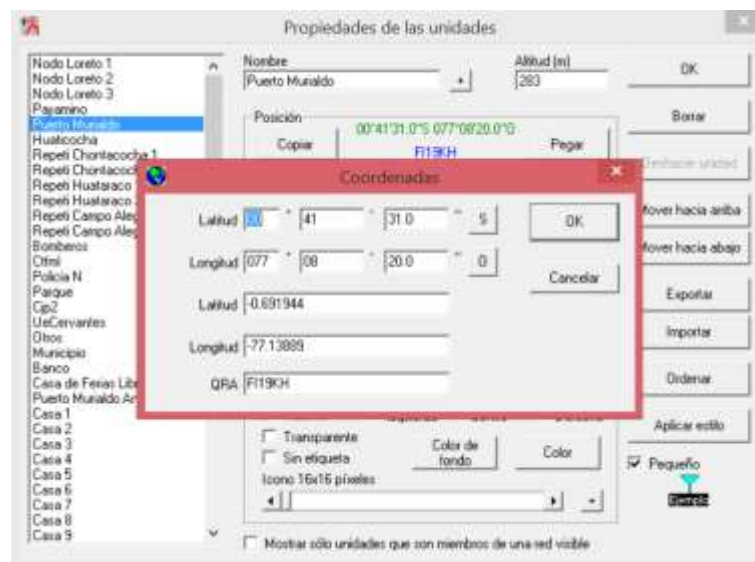


Figura 30. Ingreso de los puntos geográficos del Nodo Puerto Murialdo.
Elaborado por: Balcázar - Román

El la Figura 31, se muestra el ingreso de los puntos geográficos del Nodo Huaticocha el cual se encuentra entre una de las parroquias más cercanas al casco urbano, la misma tiene una elevación de 648 metros sobre el nivel del mar.

Nodo Huaticocha.

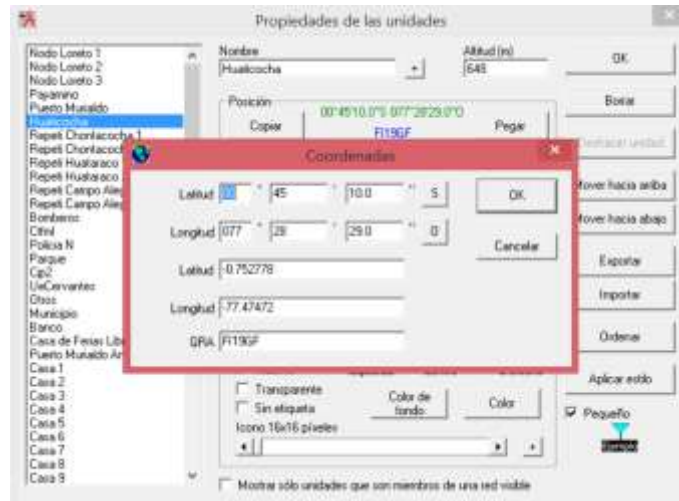


Figura 31. Ingreso de los puntos geográficos del Nodo Huaticocha.
Elaborado por: Balcázar – Román

En la Figura 32, el Repeti Chontacocha 1 y Repeti Chontacocha 2 se encuentra entre el casco urbano y la parroquia Puerto Murialdo con sus puntos geográficos y su elevación de 345,3 metros sobre el nivel del mar.

Repe Huataraco 1 y 2

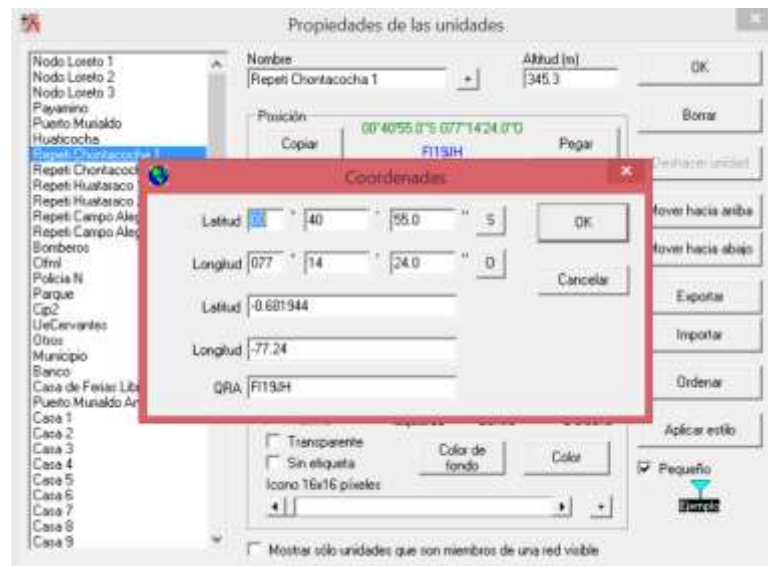


Figura 32. Ingreso de los puntos geográficos del Repe Huataraco 1 y 2.
Elaborado por: Balcázar - Román

En la Figura 33, se muestra el Repeti Huataraco 1 y Repeti Huataraco 2 los cuales se encuentran entre la Parroquia Loreto y la Parroquia Huaticocha con sus puntos geográficos y su elevación de 390 metros sobre el nivel del mar.

Repe Huataraco 1 y 2.

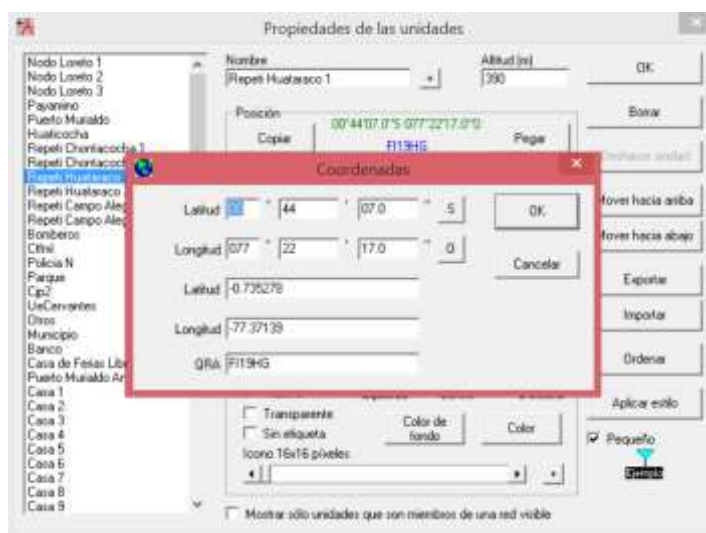


Figura 33. Ingreso de los puntos geográficos del Repe Huataraco 1 y 2.
Elaborado por: Balcázar - Román

En la Figura 34, se muestra el Repeti Campo Alegre 1 y Repeti Campo Alegre 2 los cuales se encuentran entre la Parroquia Loreto y la Parroquia Payamino con sus puntos geográficos y su elevación de 525 metros sobre el nivel del mar.

Repe Campo Alegre 1 y 2.

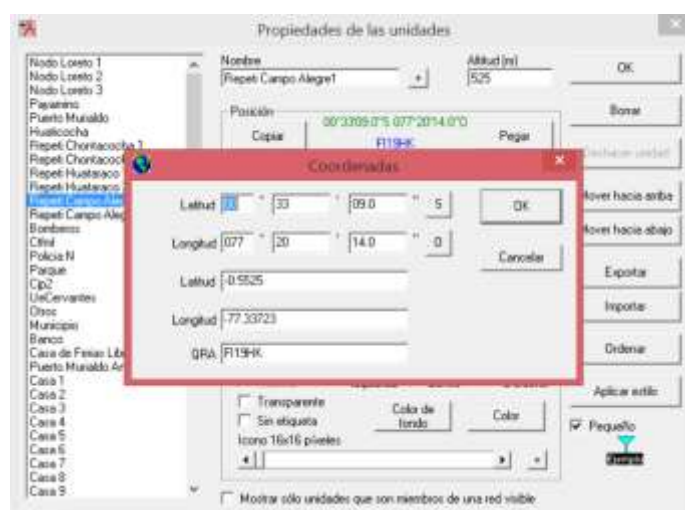


Figura 34. Ingreso de los puntos geográficos del Repe Campo Alegre 1 y 2.
Elaborado por: Balcázar - Román

Los diagramas de radiación permiten visualizar el espacio que cubren las antenas, para una mayor comprensión, se detalla las radiaciones de las antenas direccionales distribuidas en el Cantón Loreto.

La Figura 35, se visualiza el diagrama de radiación de la antena direccional ubicado en la Parroquia de Loreto dirigido a la antena direccional, que se encuentra ubicado en el Sector de Chontacocha.

Antena direccional de la Parroquia de Loreto.

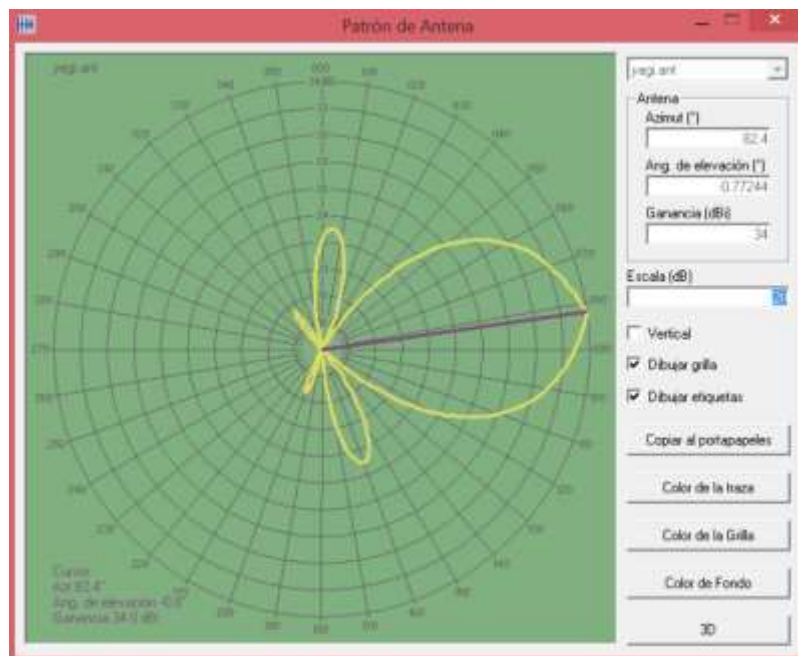


Figura 35. Radiación de la antena direccional entre la Parroquia Loreto al Sector de Chontacocha.

Elaborado por: Balcázar – Román

Así mismo en la Figura 36, se visualiza el diagrama de radiación de la antena direccional que se encuentra en el Sector de Chontacocha, dirigido a la antena direccional que se encuentra ubicado en la Parroquia de Loreto con el ángulo de Elevación y Azimut.

Antena direccional del Sector Chontacocha.

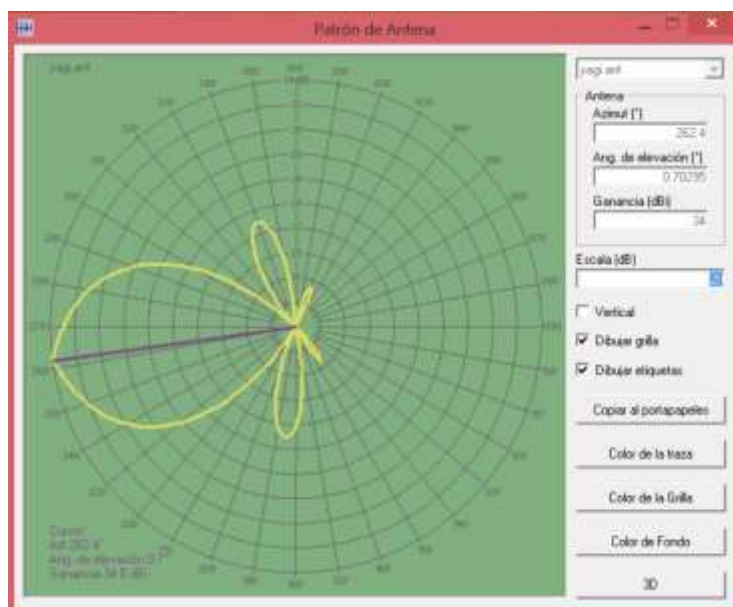


Figura 36. Diagrama de radiación de la antena direccional del Sector Chontacocha a la Parroquia Loreto.

Elaborado por: Balcázar – Román

En la Figura 37, se muestra el diagrama de radiación de la antena direccional ubicada en la Parroquia Puerto Murialdo a la antena direccional que se encuentra en el Sector de Chontacocha.

Antena direccional de la Parroquia Puerto Murialdo.

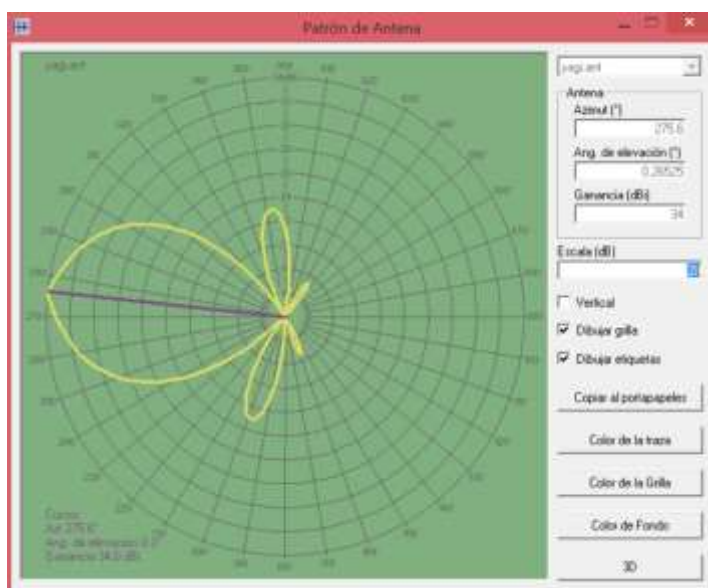


Figura 37. Diagrama de radiación de la antena direccional entre la Parroquia Puerto Murialdo al Sector Chontacocha.

Fuente: Balcázar – Román

En la Figura 38, se muestra el diagrama de radiación de la antena direccional que se encuentra ubicado en el Sector Chontacocha dirigido a la antena direccional ubicado en la Parroquia Puerto Murialdo.

Antena direccional en el Sector Chontacocha.

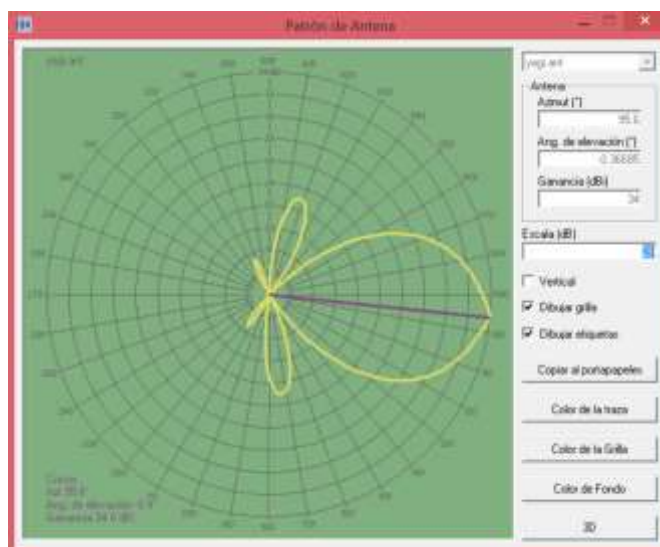


Figura 38. Diagrama de radiación de la antena direccional entre el Sector Chontacocha a la Parroquia Puerto Murialdo.
Elaborado por: Balcázar – Román

En la Figura 39, se muestra el diagrama de radiación de la antena direccional que se encuentra ubicado en la Parroquia, Loreto que va dirigido a la antena direccional ubicado en el Sector Huataraco.

Antena direccional de la Parroquia San Vicente de Huaticocha.

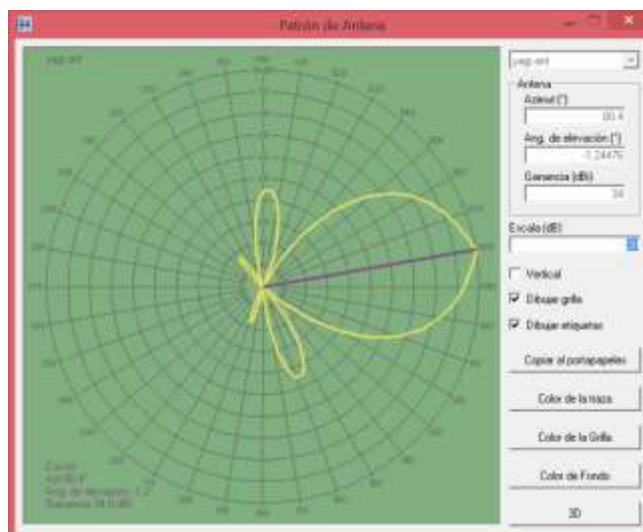


Figura 39. Diagrama de radiación de la antena direccional entre la Parroquia San Vicente de Huaticocha al Sector Huataraco.

En la Figura 40, se muestra el diagrama de radiación de la antena direccional que se ubica en el Sector Huataraco dirigido a la antena direccional ubicada en la Parroquia Loreto.

Antena direccional en el Sector Huataraco.

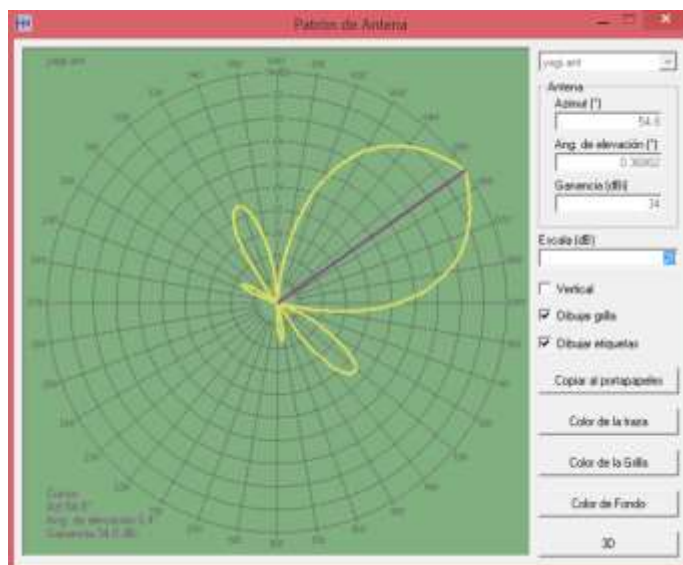


Figura 40. Diagrama de radiación de la antena direccional entre el Sector Huataraco a la Parroquia Loreto.

Elaborado por: Balcázar – Román

En la Figura 41, se visualiza el diagrama de radiación de la antena direccional que se encuentra ubicada en la Parroquia San Vicente de Huaticocha dirigida a la antena que se encuentra en el Sector Huataraco.

Antena direccional de la Parroquia San Vicente de Huaticocha.

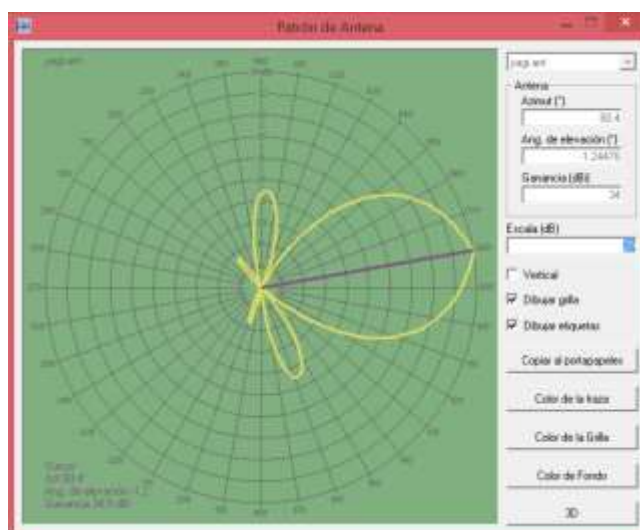


Figura 41. Diagrama de radiación de la antena direccional entre la Parroquia San Vicente de Huaticocha al Sector Huataraco.

Elaborado por: Balcázar – Román

La Figura 42, se muestra el diagrama de radiación de la antena direccional que se encuentra ubicado en el Sector Huataraco que va dirigida a la antena direccional que se ubica en la Parroquia San Vicente de Huaticocha.

Antena direccional del Sector Huataraco

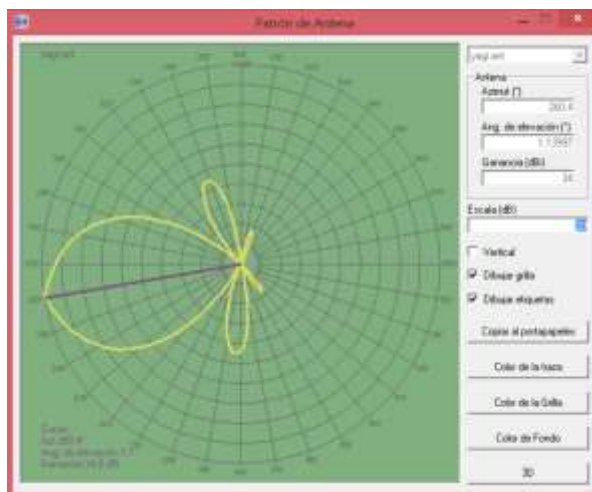


Figura 42. Diagrama de radiación de la antena direccional entre el Sector Huataraco a la Parroquia San Vicente de Huaticocha.
Elaborado por: Balcázar – Román

Para brindar el servicio de Internet a la Parroquia San José de Payamino se visualizan los siguientes diagramas de radiación de las antenas direccionales.

En la Figura 43, se muestra el diagrama de radiación de la antena direccional que se encuentra ubicado en la Parroquia Loreto que va dirigida a la antena direccional que se encuentra en el Sector Campo Alegre.

Antena direccional de la Parroquia Loreto

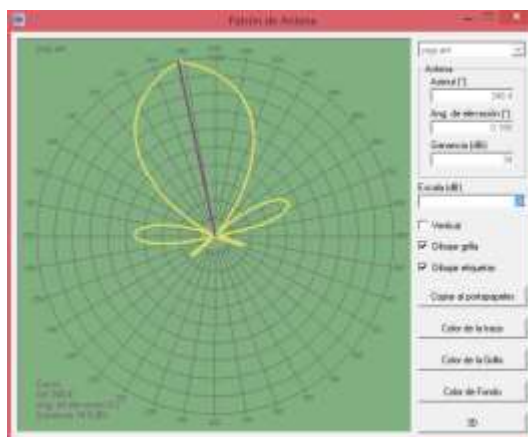


Figura 43. Diagrama de radiación de la antena direccional entre la Parroquia Loreto al Sector Campo Alegre.
Elaborado por: Balcázar – Román

Así mismo la Figura 44, muestra el diagrama de radiación de la antena direccional que se forma de la antena direccional ubicada en el Sector Campo Alegre que va dirigida a la antena ubicada en la Parroquia Loreto.

Antena direccional en el Sector Campo Alegre

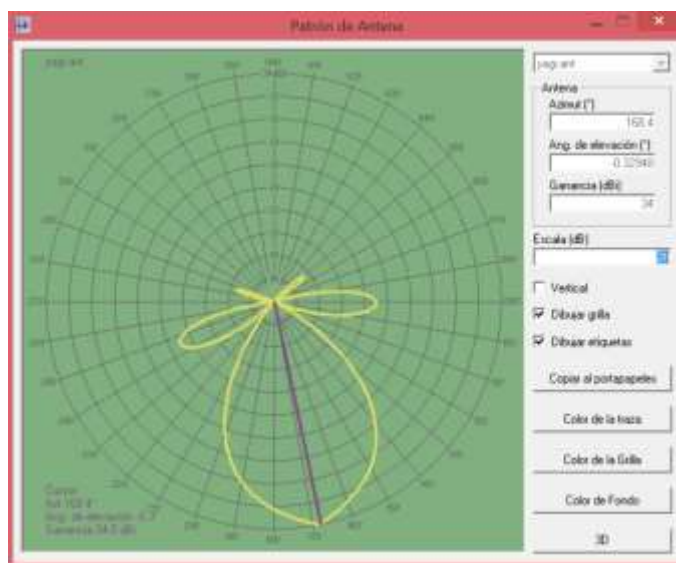


Figura 44. Diagrama de radiación de la antena direccional entre el Sector Campo Alegre a la Parroquia Loreto.
Elaborado por: Balcázar – Román

En la Figura 45, se muestra el diagrama de radiación de la antena direccional que se ubica en la Parroquia San José de Payamino con dirección a la antena ubicada en el Sector Campo Alegre.

Antena direccional de la Parroquia San José de Payamino.

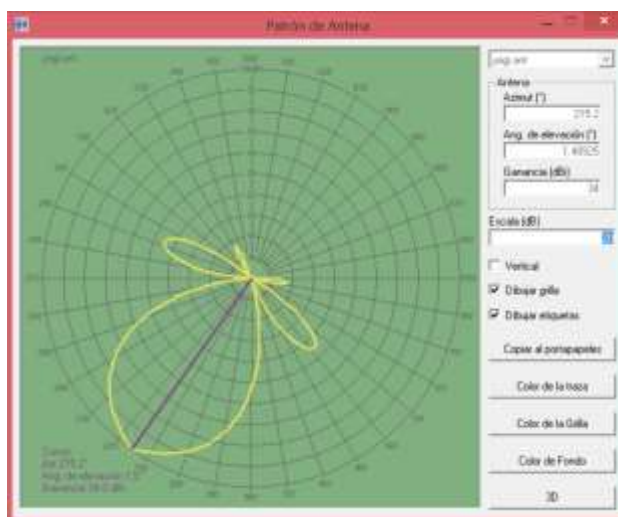


Figura 45. Diagrama de radiación de la antena direccional entre la Parroquia San José de Payamino al Sector Campo Alegre.
Elaborado por: Balcázar – Román

En la Figura 46, se muestra el diagrama de radiación de la antena direccional que se ubica en la Parroquia Campo Alegre con dirección a la antena direccional ubicada en la Parroquia San José de Payamino.

Antena direccional del Sector Campo Alegre

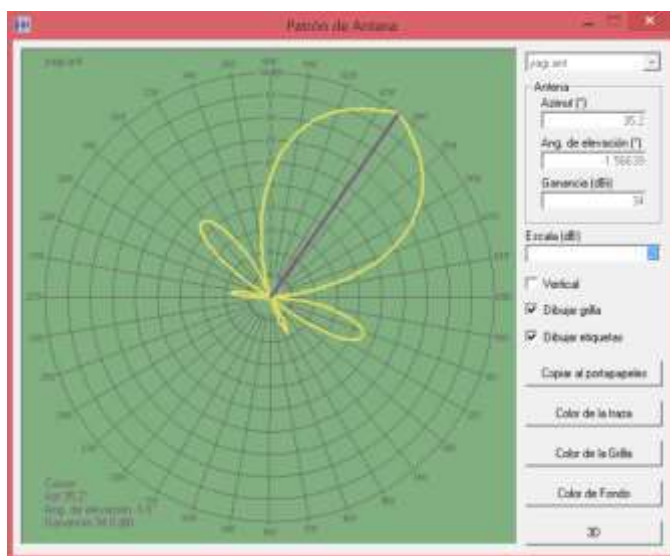


Figura 46. Diagrama de radiación de la antena direccional entre el Sector Campo Alegre a la Parroquia San José de Payamino.
Elaborado por: Balcázar – Román

La Figura 47, muestra el diagrama de radiación de una de las tres antenas sectoriales ubicadas en la Parroquia Loreto.

Antena sectorial de la Parroquia Loreto

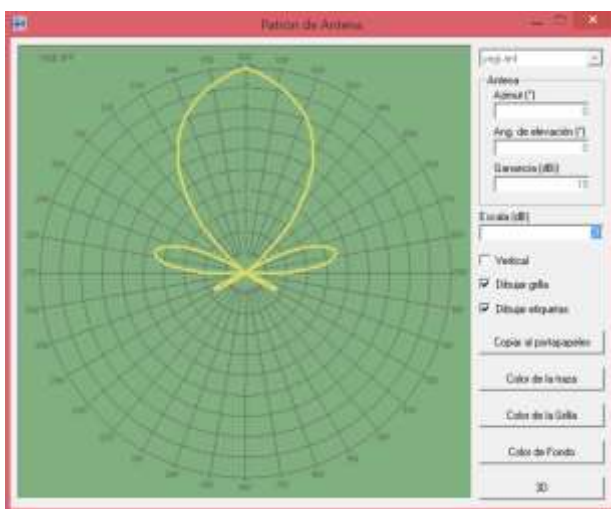


Figura 47. Diagrama de radiación de la antena sectorial de la Parroquia Loreto.
Elaborado por: Balcázar – Román

A continuación se visualizan los diagramas de radiación de las antenas omnidireccionales, ubicadas en las Parroquias: Puerto Murialdo, San Vicente de Huaticocha, San José de Payamino y el Sector de Huataraco. En la Figura 48 se muestra el diagrama de radiación de la antena omnidireccional ubicada en la Parroquia Puerto Murialdo con sus ángulos de Elevación y Azimut.

Antena omnidireccional de la Parroquia Puerto Murialdo

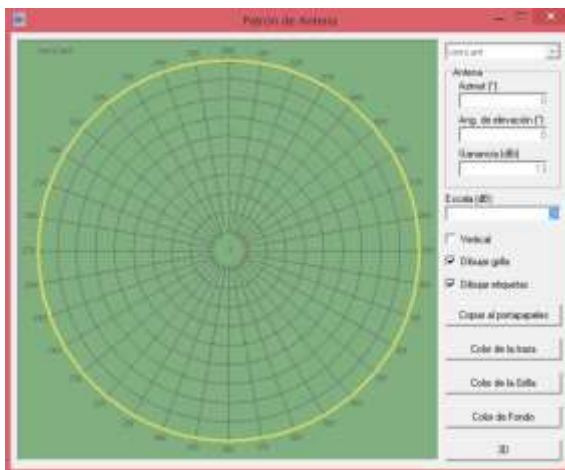


Figura 48. Diagrama de radiación de la antena omnidireccional de la Parroquia Puerto Murialdo.

Elaborado por: Balcázar – Román

En la Figura 49, se muestra el diagrama de radiación que forma la antena omnidireccional ubicada en la Parroquia San Vicente de Huaticocha.

Antena omnidireccional de la Parroquia San Vicente de Huaticocha.

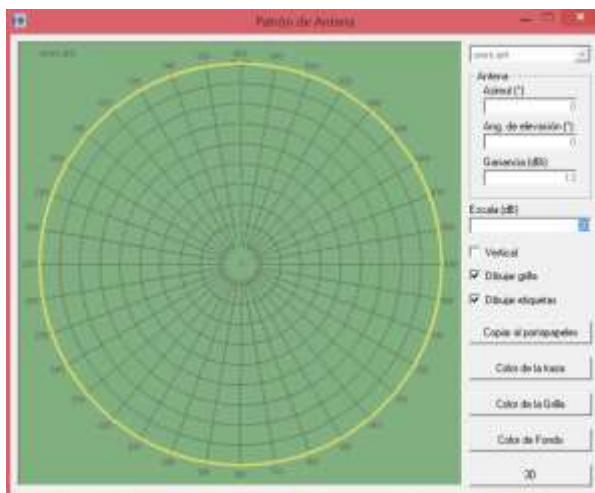


Figura 49. Diagrama de radiación de la antena omnidireccional de la Parroquia San Vicente de Huaticocha.

Elaborado por: Balcázar – Román

En la Figura 50, se muestra el diagrama de radiación de la antena omnidireccional que está ubicada en la Parroquia San José de Payamino para brindar el servicio de Internet a los suscriptores de la misma.

Antena omnidireccional de la Parroquia San José Payamino

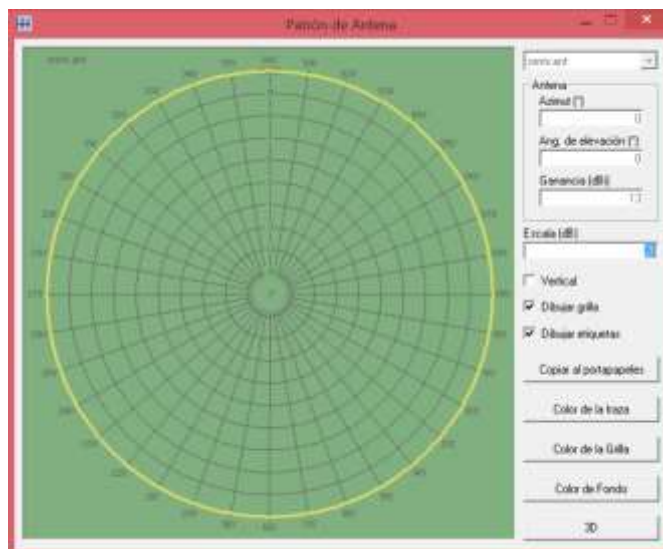


Figura 50. Diagrama de radiación de la antena omnidireccional de la Parroquia San José de Payamino.
Elaborado por: Balcázar – Román

En la Figura 51, se muestra el diagrama de radiación que forma la antena omnidireccional ubicada en el Sector Huataraco para brindar el servicio de Internet a los suscriptores de dicho sector y a la Parroquia Ávila Huiruno.

Antena omnidireccional del Sector Huataraco

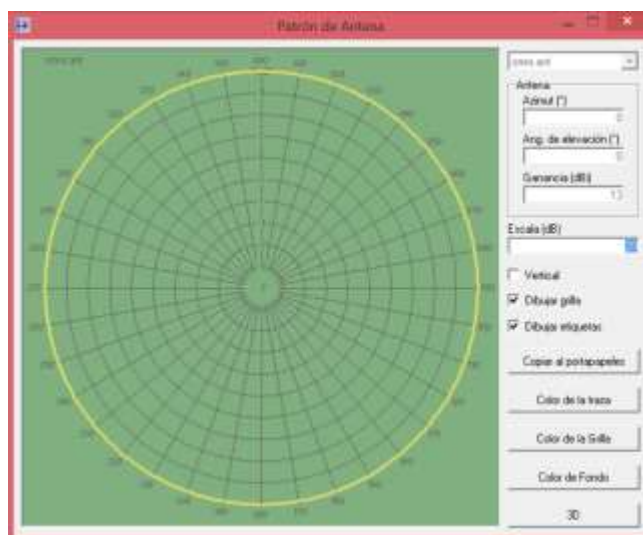


Figura 51. Diagrama de radiación de la antena omnidireccional del Sector Huataraco.
Elaborado por: Balcázar – Román

La red WiMAX en el Cantón Loreto



Figura 52. Simulación de la red WiMAX en el Cantón Loreto.
Elaborado por: Balcazar – Román

Parroquia Loreto y sus suscriptores

Este mapa topográfico de fondo verde y azul muestra la Parroquia Loreto como un nodo central. Desde este punto central, se extienden líneas rectas de color verde hacia varios puntos etiquetados que representan a sus suscriptores. Las etiquetas incluyen: 'Pichin', 'Asumbeo', 'Lator', 'Huanca', 'Loreto Comendancia', 'Cacha Cobana', 'Lecurales' y 'Lecurales'. Las líneas representan las conexiones directas entre la parroquia y cada uno de estos puntos.

Figura 53. Conexión de la Parroquia Loreto y sus suscriptores.
Elaborado por: Balcázar – Román

A continuación la Figura 54, visualiza la conexión de la antena omnidireccional con sus suscriptores ubicados en la Parroquia San José de Payamino tomando los puntos más importantes del poblado.

Parroquia San José de Payamino y sus suscriptores

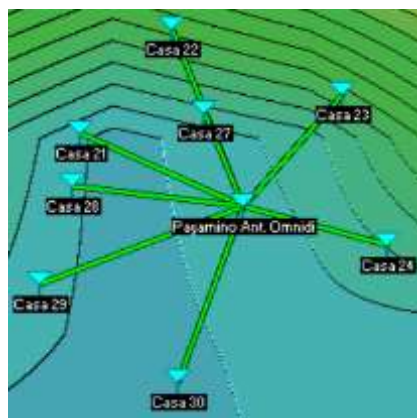


Figura 54. Conexión de la Parroquia de San José de Payamino y sus suscriptores.
Elaborado por: Balcazar – Román

En la Figura 55, se visualiza la conexión de la antena omnidireccional y sus suscriptores ubicados en la Parroquia Puerto Murialdo alcanzando una mayor cobertura en dicho sector del Cantón Loreto.

Parroquia Puerto Murialdo y sus suscriptores

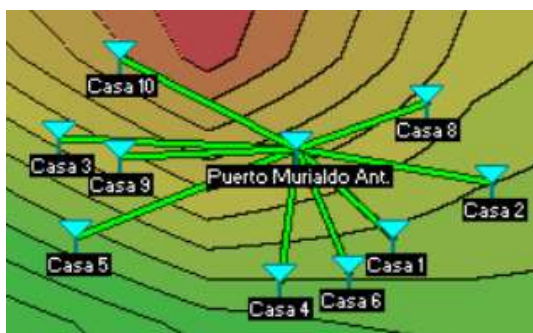


Figura 55. Conexión de la Parroquia de Puerto Murialdo y sus suscriptores.
Elaborado por: Balcazar – Román

En la Figura 56, se muestra la antena omnidireccional que se encuentra ubicada en la Parroquia San José de Huaticocha, la permite la conexión de sus suscriptores dentro del poblado.

Parroquia San José de Huaticocha

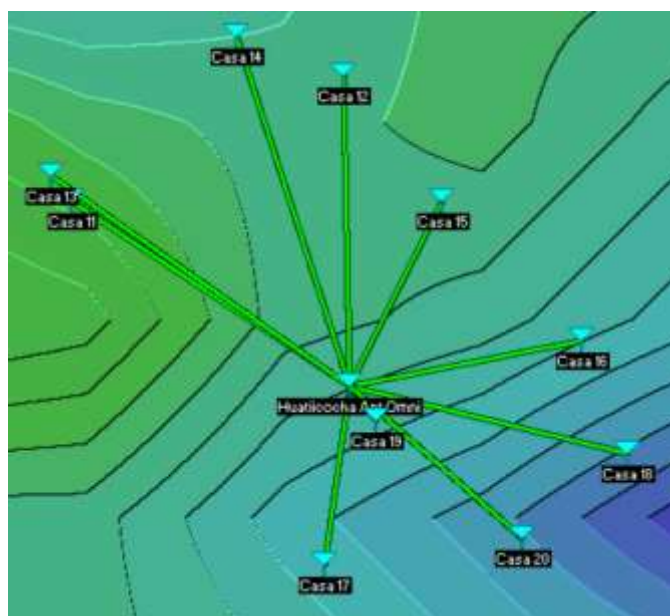


Figura 56. Conexión de la Parroquia San José Huaticocha y sus suscriptores.
Elaborado por: Balcazar – Román

En la Figura 57, se visualiza la conexión de los suscriptores ubicados en la Parroquia Ávila Huiruno, tomando los puntos más importantes del poblado, conectados a la antena omnidireccional misma que se encuentra ubicado en el Poblado de Huataraco.

Parroquia Ávila Huiruno a la antena de Huataraco

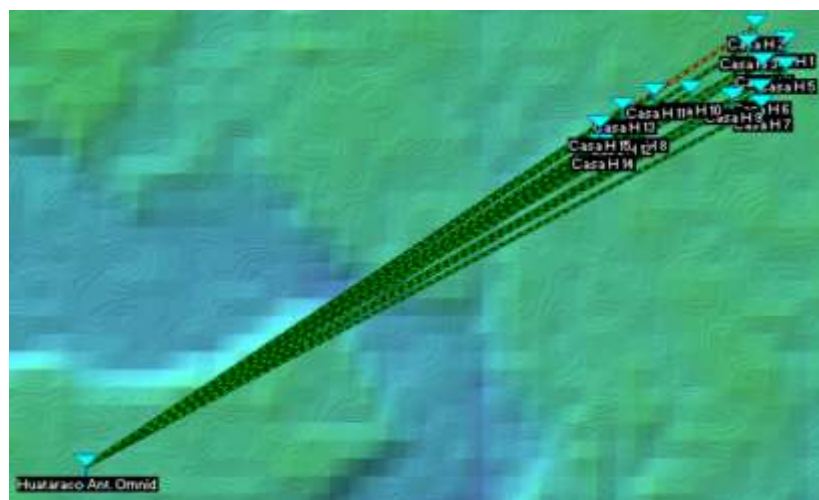


Figura 57. Conexión de los suscriptores de la Parroquia Ávila Huiruno a la antena de Huataraco.
Elaborado por: Balcazar – Román

En la Figura 58, se visualiza la conexión de los suscriptores ubicados en la Parroquia San José de Dahuano, conectados a la antena omnidireccional que se encuentra ubicado en la Parroquia San Vicente de Huaticocha.

Parroquia de San José de Dahuano a la antena de la Parroquia San Vicente de Huaticocha



Figura 58. Conexión de los suscriptores de la Parroquia de San José de Dahuano a la antena de la Parroquia San Vicente de Huaticocha.

Elaborado por: Balcazar – Román

CONCLUSIONES

- Después de haber realizado la investigación y las pruebas necesarias se ha optado por usar la tecnología WiMAX, siendo esta una buena opción para cubrir la demanda del Internet en el Cantón Loreto, ya que los clientes en la actualidad no cuentan con un servicio de Internet de calidad que es entregado por los proveedores.
- La tecnología WiMAX permite una fácil conectividad de los hogares al servicio de Internet en un Cantón como lo es Loreto, ya que las parroquias están dispersas alrededor de su territorio y WiMAX es una solución para cubrir largas distancias a un menor costo.
- Se concluye a través del estudio de mercado la aceptación para este tipo de negocios especialmente en el acceso a Internet, lo que abre las puertas para un mercado exitoso.
- La inversión inicial del proyecto será \$133.740,93 la cual se podrá recuperar en el lapso de cinco años y a partir del sexto año abra ganancias sobre los \$100.000 dólares americanos, en el análisis socioeconómico se ve la factibilidad del proyecto, por lo tanto muchas personas expresaron su deseo de tener un Internet de calidad a un costo accesible.
- Después de haber realizado la investigación del costo de los equipos para la red WiMAX, el costo operativo de la red que se establece en este proyecto es viable en el cual la inversión de los equipos se recuperará en un periodo no mayor de 5 años.

RECOMENDACIONES

- Para las radio bases se recomienda usar cable categoría 6a ya que posee conectividad de hasta 10 Gigabit y un blindaje entre sus pares trenzados por lo que mejora significativamente su resistencia al ruido, así se conseguirá una mayor eficiencia en el trabajo de las antenas y tener una mayor estabilidad en el servicio de Internet.
- Para una buena implementación de la red WiMAX en el Cantón Loreto se debe realizar un buen direccionamiento de red para poder distinguir a los clientes home y empresarial así brindar un servicio de calidad. Ya que para los clientes home el tiempo de respuesta en algún problema técnico no debería superar las 48 horas y en la empresarial hasta 24 horas para reestablecer el servicio y la única forma para distinguirlos sería el direccionamiento IP.
- Para realizar simulaciones de redes inalámbricas se recomienda el uso del software Radio Mobile, ya que posee herramientas que ayudan a realizar simulaciones reales.

GLOSARIO DE TÉRMINOS

WI-FI: Es una tecnología definida en la familia de estándares inalámbricos 802.11 del IEEE.

VOIP: Es un grupo de recursos que hacen posible que la señal de voz viaje a través de redes TCP/IP. El tráfico de VoIP puede circular por cualquier red TCP/IP.

MODULACIÓN: Transmisión de una señal a la frecuencia deseada, pero variando alguna característica de la señal (o sea, modulando la señal), de forma proporcional al mensaje o señal que queremos transmitir.

CDMA: Donde el número de usuarios comparten canal sin mecanismos de sincronización externa.

OFDM: Es una técnica de modulación no multiusuario. Todas las subportadoras en un canal se utilizan para facilitar un solo enlace.

OFDMA: Asigna diferentes números de subportadoras a diferentes usuarios de una manera similar como en CDMA.

TDD: Esta operación hace uso de diferentes bandas de frecuencias, permitiendo pequeñas distancias, pero esto permite más alta velocidad de transmisión y es más flexible para tráfico asimétrico.

FDD: Esta operación hace uso de diferentes bandas de frecuencias, permitiendo grandes distancias entre móvil y radio base.

LISTA DE REFERENCIAS

- Aguilar, J. J. (2007). Comunicaciones Moviles. Obtenido de <http://jpadilla.docentes.upbbga.edu.co/moviles/1%20Intro%20Moviles.pdf>
- Andrés Enríquez, J. H. (2013). Banda Ancha Inalámbrica. España: CloseMobile R&D. doi:<http://dx.doi.org/10.3926/oms.195>
- Barreto, E. (s.f.). Academia. Obtenido de Pasos del Método Científico: https://www.academia.edu/17125145/PASOS_DEL_M%C3%89TODO_CIENTIFICO
- Barreto, I. (06 de diciembre de 2015). Como Calcular El Azimut Y Rumbo en Topografia. Obtenido de <https://www.youtube.com/watch?v=tn-UJX8gimw>
- Byeong Gi Lee, S. C. (2008). Broadband Wireless Access and Local Networks MOBILE WiMAX and WiFi. Boston: Artech House.
- Cable_Servicios. (25 de Julio de 2012). Cable Servicios S.A. Blog. Obtenido de <https://cableserviciossa.wordpress.com/2012/07/26/como-calcular-la-ganancia-de-una-antena-parabolica/>
- Gomez, R. Q. (2010). Voz sobre IP (VoIP) y Telefonía sobre IP (ToIP). Obtenido de <https://eciencia.urjc.es/bitstream/handle/10115/5939/vozsobreip.pdf?sequence=1>
- Huertas, J. M. (2012). Fundamentos de Modulacion . Obtenido de Universidad de Valencia: <http://informatica.uv.es/iiguia/TSTD/presentatema2.pdf>
- Ilyas, S. A. (2008). WiMAX Technologies, Performance Analysis And Qos. Obtenido de <https://books.google.com.ec/books?id=NWptKNgao4MC&printsec=frontcover&dq=wimax&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwiAkqrAvOPTAhXF5CYKHWBfDWAQ6AEIIZAA#v=onepage&q=wimax&f=false>
- John Wiley & Sons, L. (2006). The Business of Wimax. New Delhi, India: British Library. Obtenido de https://books.google.com.ec/books?id=6XMJuFTnvkMC&pg=PR4&dq=the+business+of+wimax+john+wiley&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwjM0vHpVM_TAhUDPiYKHdz3AnEQ6AEIITAA#v=onepage&q&f=false
- Keithley. (2007 - 2008). Introducción a la Tecnología de Multiplexación de División de Frecuencia Ortogonal. Obtenido de https://www.ieee.li/pdf/viewgraphs/introduction_to_orthogonal_frequency_division_multiplex.pdf
- Método Científico. (s.f.). Obtenido de El Método: <https://sites.google.com/site/metodosypasos/home/metodo-cientifico>

- Pietrosemoli, L. C. (23 de 12 de 2008). Redes Inalambricas para el Desarrollo en America Latina y el Caribe. Obtenido de APC Temas Emergentes:
https://www.apc.org/es/system/files/APC_RedesInalambricasParaElDesarrolloLAC_20081223.pdf
- Ponz, J. L. (16 de 12 de 2000). CDMA: COMUNICACIONES DE ESPECTRO. Obtenido de file:///C:/Users/Manu/Downloads/178725-240460-1-PB.pdf
- Valenzuela, I. (s.f.). ¿Qué es el método científico? Obtenido de
<http://www.vix.com/es/btg/curiosidades/4677/que-es-el-metodo-cientifico>

