

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



PONTIFICIA
**UNIVERSIDAD
CATÓLICA**
DEL PERÚ

**DISEÑO DE UNA RED WIMAX PARA EL VALLE DE
CHURÍN - LIMA**

Tesis para optar el título de Ingeniero de Telecomunicaciones,
que presenta el bachiller:

Luis Alberto Pijo Pérez

Asesor: Ing. David Chávez Muñoz

Lima, Junio del 2013

RESUMEN

En la presente tesis se plantea el diseño de una red WIMAX para el valle de Churín-Lima, para una operadora existente que quiere ofrecer sus servicios con dicha red. En este diseño se toma en cuenta no sólo a la población que habita el valle, sino también a aquellas que visitan con frecuencia el mismo. La tesis está estructurada de la siguiente manera:

En el capítulo 1 se analiza la situación y problemática actual tanto en la provincia a la cual pertenece Churín, al valle en mención y porqué se desea insertar este diseño a Churín.

En el capítulo 2 se muestra el marco teórico, donde se detallan los conceptos involucrados con la “Interoperabilidad mundial para acceso por microondas” (WIMAX) en su versión fija.

En el capítulo 3 se realiza un análisis de demanda del mercado WIMAX para el valle de Churín, para de esta manera identificar a los potenciales clientes y los tipos de servicios a ofrecer.

En el capítulo 4 se realiza la Ingeniería del Proyecto, donde se calcula la cantidad de estaciones Base a utilizar en la red, la topología de la misma, la red de transporte, la red de acceso, la infraestructura y equipos a emplear para la misma.

Finalmente, en el capítulo 5 se evalúa el costo-beneficio de implementar esta red mediante el análisis del CAPEX Y OPEX, así como del VAN y el TIR.

FACULTAD DE
 CIENCIAS E
 INGENIERÍA

 PONTIFICIA
 UNIVERSIDAD
 CATÓLICA
 DEL PERÚ

TEMA DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO DE LAS TELECOMUNICACIONES

Título : DISEÑO DE UNA RED WIMAX PARA EL VALLE DE CHURIN - LIMA

Área : SISTEMAS Y SERVICIOS DE TELECOMUNICACIÓN # 203

Asesor : Ing. David Chávez Muñoz

Alumno : Luis Alberto Pijo Pérez

Código : 20062147

Fecha : 07/12/12



Descripción y Objetivos:

Actualmente, el desarrollo de la banda ancha viene dándose progresivamente en nuestro país, sin embargo no es suficiente en cuanto a la disminución de la brecha digital de las zonas rurales. Es por lo que la presente tesis plantea el diseño de una red IEEE802.16 - WIMAX a ser desplegada en el valle de Churin, por una operadora que ofrecerá el servicio de acceso fijo a Internet sobre dicha red.

El objetivo principal de la tesis es desarrollar una red basada en la tecnología WIMAX, que permita el desarrollo de la banda ancha en el Valle de Churin. Se entiende que una red como la descrita contribuye de manera sustantiva al desarrollo cultural, social y económico de la zona de influencia.



 PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL PERÚ
 Especialidad de Ingeniería de las Telecomunicaciones



 Ing. LUIS ANGELO VELARDE CRIADO
 Coordinador

FACULTAD DE
CIENCIAS E
INGENIERÍAPONTIFICIA
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DEL PERÚ**TEMA DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO
DE INGENIERO DE LAS TELECOMUNICACIONES**Título : DISEÑO DE UNA RED WIMAX PARA EL VALLE DE CHURIN -
LIMA**Índice:**

Introducción

1. Análisis situacional del Distrito de Pachangara-Churín
2. Estudio del estándar IEEE802.16 – WIMAX para redes de acceso fijo a Internet.
3. Determinación de demanda para el dimensionamiento de la red.
4. Ingeniería del proyecto de red.
5. Análisis económico del proyecto.

Conclusiones

Recomendaciones

Bibliografía

Anexos

Máximo: 100 páginasPONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
Especialidad de Ingeniería de las Telecomunicaciones
Lc. LUIS ANGELO VELARDE CRIADO
Coordinador

Dedicatoria

A Dios por guiarme en este camino largo que es la vida y darme el temple necesario para afrontar los retos.

A mis padres, por su apoyo incondicional a lo largo de mi vida.



Agradecimientos

A mi asesor el Ing. David Chávez por sus consejos y críticas.

Finalmente un agradecimiento muy especial al Ing. Percy Fernández Pilco, por el valioso apoyo en la presente tesis, que Dios lo tenga en su gloria.



Índice

| | |
|--|----|
| Dedicatoria | i |
| Agradecimientos | ii |
| Índice | 3 |
| Índice de figuras | 5 |
| Índice de tablas | 6 |
| Introducción | 7 |
| Capítulo 1: Análisis situacional del Distrito Pachangara-Churín | 8 |
| 1.1 Descripción general de la provincia de Oyón | 8 |
| 1.1.1 Ubicación geográfica..... | 9 |
| 1.1.2 División Política..... | 9 |
| 1.1.3 Clima..... | 12 |
| 1.1.4 Población..... | 12 |
| 1.1.5 Actividades económicas | 14 |
| 1.1.6 Acceso a la información..... | 15 |
| 1.2 Descripción del distrito de Pachangara - Churín..... | 16 |
| 1.2.2 Población..... | 18 |
| 1.2.3 Sector Salud, educación y servicios Básicos | 19 |
| 1.2.4 Sector económico – productivo..... | 20 |
| 1.2.5 Medios de comunicación..... | 21 |
| 1.2.6 Identificación de la problemática..... | 21 |
| Capítulo 2: Estudio del estándar IEEE802.16 – WIMAX para redes de acceso fijo a Internet | 23 |
| 2.1 Tecnología WIMAX | 23 |
| 2.1.1 WIMAX: Visión General..... | 23 |
| 2.1.2 WIMAX: Estándares | 27 |
| 2.2 Arquitectura WIMAX | 28 |
| 2.3 WIMAX: CAPA FISICA..... | 30 |
| 2.3.1 Parámetros OFDM en WIMAX..... | 32 |
| 2.3.2 Subcanales en OFDMA | 34 |
| 2.3.3 Tipos de modulación | 36 |
| 2.4 Capa de control de acceso al medio en WIMAX..... | 37 |
| 2.4.1 Subcapas de la capa MAC de WIMAX | 38 |
| 2.4.2 Calidad de Servicio (QoS)..... | 39 |

| | |
|--|----|
| Capítulo 3: Determinación de demanda para el dimensionamiento de la red..... | 43 |
| 3.1 Alcances e implementaciones potenciales | 44 |
| 3.2 Determinación de la demanda | 47 |
| 3.3 Oferta de servicios | 50 |
| Capítulo 4: Ingeniería del Proyecto | 53 |
| 4.1 Diseño de la red | 53 |
| 4.1.1 Determinación de Estaciones Base y Repetidoras..... | 54 |
| 4.1.2 Frecuencias utilizadas en el proyecto | 58 |
| 4.1.3 Estructura general de la red | 60 |
| 4.2 Calculo de radio propagación..... | 64 |
| 4.2.1 Red de transporte | 64 |
| 4.2.2 Red de Acceso..... | 71 |
| 4.3 Especificaciones técnicas del proyecto | 75 |
| 4.3.1 Equipamiento para la red de Acceso | 75 |
| 4.3.2 Equipamiento para la red de transporte | 77 |
| 4.4 Infraestructura eléctrica y de protección..... | 78 |
| Capítulo 5: Análisis económico del Proyecto | 82 |
| 5.1 Costo del Equipamiento e Instalación (CAPEX) | 83 |
| 5.1.1 Elementos de la Red de Acceso..... | 83 |
| 5.1.2 Red de transporte | 85 |
| 5.2 Costos de operación y Mantenimiento (OPEX)..... | 86 |
| 5.3 Ingresos | 87 |
| 5.4 Flujo de Caja y Evaluación Financiera..... | 88 |
| Referencias bibliográficas..... | 91 |
| ANEXOS | 91 |

Índice de figuras

Página

| | |
|---|----|
| FIGURA 1-1: Mapa de Lima Provincias. | 10 |
| FIGURA 1-2: Mapa de la Provincia de Oyón..... | 11 |
| FIGURA 1-3: Mapa del distrito de Pachangara. | 11 |
| FIGURA 1-4: Mapa Vial Lima-Churín..... | 17 |
| FIGURA 1-5: Estado de la carretera hacia Churín. | 17 |
| FIGURA 2-1: Esquema de propagación LOS..... | 24 |
| FIGURA 2-2: Esquema de propagación NLOS. | 24 |
| FIGURA 2-3: Logo Wimax Forum. | 25 |
| FIGURA 2-4: Arquitectura Wimax. | 28 |
| FIGURA 2-5: Esquema de FDD y TDD..... | 31 |
| FIGURA 2-6: Esquema simplificado de los tipos de portadoras en OFDM..... | 35 |
| FIGURA 2-7: Modulación Adaptativa al SNR..... | 36 |
| FIGURA 3-1: Brecha de Acceso a servicios de datos..... | 48 |
| FIGURA 3-2: Penetración de servicios de telecomunicaciones en el País..... | 48 |
| FIGURA 4-1: Estación Base WiMAX para el valle de Churín..... | 56 |
| FIGURA 4-2: Red desplegada para el valle de Churín..... | 57 |
| FIGURA 4-3: División de la banda de frecuencias de 3400 MHz a 3600 MHz. | 58 |
| FIGURA 4-4: Red Dorsal de Fibra Óptica..... | 61 |
| FIGURA 4-5: Estructura de la red WiMAX en el entorno rural..... | 62 |
| FIGURA 4-6: Elementos de un radioenlace Punto a Punto..... | 64 |
| FIGURA 4-7: Zonas de Fresnel..... | 66 |
| FIGURA 4-8: Perfil de trayecto EBChurín-NocOyon..... | 67 |
| FIGURA 4-9: Perfil de trayecto RepetidoraChurín-EBChurín..... | 68 |
| FIGURA 4-10: Perfil de trayecto RepetidoraChurín – RepetidoraMaray..... | 68 |
| FIGURA 4-11: Perfil de trayecto RepetidoraMaray-RepetidoraOyon..... | 69 |
| FIGURA 4-12: Perfil de trayecto RepetidoraOyon-NocOyon..... | 69 |
| FIGURA 4-13: Red de acceso WiMAX con 2 clientes alejados..... | 71 |
| FIGURA 4-14: Implementación de la red de acceso en RadioMobile..... | 72 |
| FIGURA 4-15: Enlace satisfactorio de Downlink entre la estación base WiMAX y el CPE más lejano..... | 72 |
| FIGURA 4-16: Enlace satisfactorio de Uplink entre la estación base WiMAX y el CPE más lejano..... | 74 |

Índice de tablas

Página

| | |
|--|----|
| TABLA 1-1: UBICACIÓN GEOGRAFICA Y POLITICA DE LOS DISTRITOS DE LA PROVINCIA DE OYON..... | 10 |
| TABLA 1-2: INDICE DE DESARROLLO HUMANO..... | 12 |
| TABLA 1-3: POBREZA DISTRITAL..... | 13 |
| TABLA 1-4: POBLACION ECONOMICAMENTE ACTIVA | 14 |
| TABLA 1-5: SERVICIOS DEL SECTOR COMUNICACIONES PROVINCIA DE OYON..... | 15 |
| TABLA 1-7: POBLACION PROYECTADA HASTA EL 2020 DEL VALLE DE CHURÍN..... | 16 |
| TABLA 1-8: SECTOR SALUD Y EDUCACION | 18 |
| TABLA 1-9: AFLUENCIA DE TURISTAS AL VALLE DE CHURÍN..... | 19 |
| TABLA 2-1: Comparación de los parámetros WiMAX Fijo – WiMAX Móvil..... | 20 |
| TABLA 2-2: MODALIDADES DE LA CAPA FISICA EN IEEE 802.16..... | 33 |
| TABLA 2-3: MODULACIONES Y CODIFICACIONES EN WIMAX | 35 |
| TABLA 2-4: TIPOS DE QoS..... | 37 |
| TABLA 3-1: POBLACION DE CHURÍN EN EL TIEMPO | 41 |
| TABLA 3-2: MERCADO META WIMAX..... | 49 |
| TABLA 3-3: CARACTERISTICAS DEL PLAN BASICO | 50 |
| TABLA 3-4: CARACTERISTICAS DEL PLAN EMPRESAS | 51 |
| TABLA 3-5: PORCENTAJES POR TIPO DE CLIENTES AFILIADOS | 52 |
| TABLA 4-1: ESTIMACION DE CLIENTES AL QUINTO AÑO..... | 54 |
| TABLA 4-2: USUARIOS EN LA HC – THROUGHPUT TOTAL..... | 55 |
| TABLA 4-3: GEO REFERENCIA DE LAS ESTACIONES DE LA RED | 57 |
| TABLA 4-4: ASIGNACION DE BANDAS POR EMPRESA | 58 |
| TABLA 4- 5: DISTRIBUCION DE FRECUENCIAS..... | 59 |
| TABLA 4-6: SECTORIZACION DE FRECUENCIAS | 60 |
| TABLA 4-7: COMPARACION DE EB | 75 |
| TABLA 4-8: ESPECIFICACIONES CPE..... | 76 |
| TABLA 4-9: CUADRO COMPARATIVO DE FABRICANTES PARA RED DE TRANSPORTE | 77 |
| TABLA 4-10: COMPARACION DE ANTENAS PARA LOS ENLACES MICROONDAS | 77 |
| TABLA 5-1: CAPEX PARCIAL DE LA RED DE ACCESO | 83 |
| TABLA 5-2: CAPEX TOTAL DE LA RED DE ACCESO | 84 |
| TABLA 5-3: CAPEX PARCIAL DE LA RED DE TRANSPORTE | 85 |
| TABLA 5-4: CAPEX TOTAL DE LA RED DE TRANSPORTE..... | 85 |
| TABLA 5-5: CALCULO DEL OPEX TOTAL..... | 86 |
| TABLA 5-6: INGRESOS POR SERVICIOS EN EL AÑO 1..... | 87 |
| TABLA 5-7: INGRESOS POR CPE'S EN EL AÑO 1..... | 88 |
| TABLA 5-8: INGRESO TOTAL PARA EL AÑO 1 | 88 |
| TABLA 5-9: FLUJO DE CAJA PARA LOS PRIMERO 5 AÑOS..... | 88 |
| TABLA 5-10: VAN Y TIR DEL PROYECTO..... | 89 |

Introducción

Actualmente, el desarrollo de la banda ancha viene dándose progresivamente en nuestro país, sin embargo no es suficiente en cuanto a la disminución de la brecha digital de las zonas rurales. Por lo que la presente tesis plantea el diseño de una red IEEE802.16 - WIMAX a ser desplegada en el valle de Churín, por una operadora que ofrecerá el servicio de acceso fijo a Internet sobre dicha red.

El objetivo principal de la tesis es desarrollar una red basada en la tecnología WIMAX, que permita el desarrollo de la banda ancha en el Valle de Churín. Se entiende que una red como la descrita contribuye de manera sustantiva al desarrollo cultural, social y económico de la zona de influencia. Por otro lado, el operador de red no solo contribuirá con reducir la brecha digital existente en nuestro contexto como País; sino que además, podrá satisfacer la demanda que se genere en el valle teniendo muy en cuenta los factores de análisis de la demanda y rentabilidad generada; de esta manera el operador puede invertir no solo en el desarrollo de la red descrita sino de la misma manera implementar en un futuro cercano la expansión de la red siguiendo el diseño planteado en la tesis.

Capítulo 1: Análisis situacional del Distrito Pachangara-Churín

El contenido del presente capítulo abarca los aspectos importantes del Distrito de Pachangara y del valle de Churín donde se desarrollará el tema de estudio.

1.1 Descripción general de la provincia de Oyón

La provincia de Oyón, se ubica en la región centro occidental del Perú y al noreste del departamento de Lima, su relieve es accidentado, debido a que el valle principal es bastante estrecho, además de tener pocas zonas planas. La superficie se encuentra ocupada por laderas y quebradas que a su vez forman grandes montañas.

Precisamente por estas montañas es que llevan en sus entrañas la gran riqueza mineral, motivo por el cual el gran atractivo turístico de la región está en sus baños termales, considerados minero – medicinales.

La provincia de Oyón se encuentra ubicada entre los 10°40'00" de latitud sur y 76°46'15" de longitud oeste en la Sierra de la Región Lima Provincias. Fue creada

por la Ley N° 24330, del 05 de noviembre de 1986. Su capital es el distrito de Oyón que se localiza en el noreste de esta provincia.

1.1.1 Ubicación geográfica

La provincia de Oyón, se ubica en la región centro occidental del Perú y al noreste del departamento de Lima, su relieve es accidentado, debido a que el valle principal es bastante estrecho, además de tener pocas zonas planas. La superficie se encuentra ocupada por laderas y quebradas que a su vez forman grandes montañas.

Precisamente por estas montañas es que llevan en sus entrañas la gran riqueza mineral, motivo por el cual el gran atractivo turístico de la región está en sus baños termales, considerados minero – medicinales.

La provincia de Oyón se encuentra ubicada entre los 10°40'00" de latitud sur y 76°46'15" de longitud oeste en la Sierra de la Región Lima Provincias. Fue creada por la Ley N° 24330, del 05 de noviembre de 1986. Su capital es el distrito de Oyón que se localiza en el noreste de esta provincia.

1.1.2 División Política

La provincia de Oyón tiene una extensión de 1 886,05 Kilómetros cuadrados ocupando el 5.9% de la superficie de la región Lima, y está dividida en 6 distritos: Oyón, Andajes, Caujul, Cochamarca, Naván y Pachangara. Este último distrito será motivo de estudio.

Los límites de la provincia son:

- **Por el norte:** con la provincia de Cajatambo.
- **Por el sur:** con la provincia de Huaura.
- **Por el este:** con provincias del departamento de Cerro de Pasco.
- **Por el oeste:** con la provincia de Huaura.

TABLA 1.1: UBICACIÓN GEOGRAFICA Y POLITICA DE LOS DISTRITOS DE LA PROVINCIA DE OYON
FUENTE: “MINCETUR” [MIN2012]

| Provincia/Distritos | Coordenadas | | Rango Altitudinal | | Superficie | Densidad Poblacional |
|--------------------------|------------------|------------------|-------------------|---------------|----------------|----------------------|
| | Latitud sur | Longitud Oeste | msn m | Región | km2 | hab/km |
| Provincia de Oyón | 10°40'00" | 76°46'15" | 3620 | Sierra | 1886.05 | 10.9 |
| Distritos | | | | | | |
| Oyón | 10°40'00" | 76°16'15" | 3620 | Sierra | 867.61 | 14.8 |
| Andajes | 10°47'21" | 76°54'25" | 3487 | Sierra | 148.18 | 6.9 |
| Caujul | 10°48'09" | 76°58'35" | 3175 | Sierra | 105.5 | 8.7 |
| Cochamarca | 10°51'35" | 77°07'36" | 2950 | Sierra | 266.55 | 5.6 |
| Navan | 10°50'03" | 77°00'39" | 3100 | Sierra | 227.16 | 4.7 |
| Pachangara | 10°48'25" | 76°52'30" | 2265 | Sierra | 252.05 | 13.2 |



FIGURA 1-1: Mapa de Lima Provincias
FUENTE: “INEI” [INE2012]



FIGURA 1-2: Mapa de la Provincia de Oyón
FUENTE: “INEI” [INE2012]



FIGURA 1-3: Mapa del Distrito de Pachangara
FUENTE: “INEI” [INE2012]

1.1.3 Clima

La provincia de Oyón cuenta con diversos tipos de climas dependiendo la zona geográfica de los pueblos, en el caso de los pueblos de la región quechua, que comprende las altitudes que van desde los 2,300 hasta los 3,500 msnm. La temperatura media anual varía entre los 11 y los 16°C, las máximas varían entre 22 y 29°C y las mínimas entre 7 y -4°C.

Otro dato muy importante es acerca de las precipitaciones, cuya media anual es aproximadamente 520 mm La provincia de Oyón se encuentra a un altitud promedio de 3620 msnm.

1.1.4 Población

La provincia de Oyón según el censo del 2007; cuanta con una población de 20, 642 habitantes, cantidad que representa el 2.46% de la población de la Región Lima Provincias.

En lo que se refiere a población urbana y rural a nivel de la provincia el 64.5% es urbana y el 35.5% es rural. Los distritos con mayor población urbana son Oyón, Andajes y Pachangara. Los distritos con mayor población rural son Caujul, Cochamarca y Navan. Esta diferenciación es un referente para la implementación de políticas de apoyo económico y social en ambos espacios.

**TABLA 1-2: INDICE DE DESARROLLO HUMANO
FUENTE: “MTC” [MTC2009]**

| PROVINCIA/DISTRITO | INDICE DE DESARROLLO HUMANO | |
|--------------------|-----------------------------|-----------|
| | IDH | RANKING |
| Oyón | 0.6097 | 37 |
| Oyón | 0.6217 | 276 |
| Andajes | 0.5034 | 1514 |
| Caujul | 0.5937 | 476 |
| Cochamarca | 0.6064 | 367 |

| | | |
|------------|---------------|------------|
| Navan | 0.611 | 346 |
| Pachangara | 0.5983 | 441 |

Índice de desarrollo humano elevado (IDH \geq 0,8)

Índice de desarrollo humano medio (0,5 IDH < 0,8)

Índice de desarrollo humano bajo (IDH < 0,5)

TABLA 1-3: POBREZA DISTRITAL
FUENTE: "MTC" [MTC2009]

| PROVINCIA/DISTRITO | POBREZA DISTRITAL | |
|--------------------|---------------------|---------------------------------|
| | Índice de carencias | Quintil del índice de carencias |
| Oyón | 1/ | 2/ |
| Oyón | 0.2712 | 2 |
| Andajes | 0.2851 | 2 |
| Caujul | 0.3902 | 2 |
| Cochamarca | 0.7779 | 1 |
| Navan | 0.1651 | 2 |
| Pachangara | 0.2719 | 2 |

Los distritos que tienen valores cercanos a 0 en el índice de carencia, son menos pobres y los cercanos a 1 son los más pobres.

1/Es un valor entre 0 y 1. Este índice es obtenido mediante el análisis factorial por el método de las componentes principales

2/Quintiles ponderados por la población, donde 1=Más pobre y el 5=Menos pobre.

1.1.5 Actividades económicas

Las actividades económicas de la población específica se encuentran resumidas en la siguiente tabla:

**TABLA 1-4: POBLACION ECONOMICAMENTE ACTIVA
FUENTE: “MTC” [MTC2009]**

| ACTIVIDADES ECONOMICAS | GRANDES GRUPOS DE EDADES | | | | | |
|--|--------------------------|--------------|---------------|---------------|---------------|-----------|
| | TOT AL | 6-14 AÑOS | 15-29 AÑOS | 30-44 AÑOS | 45-64 AÑOS | 65 MAS |
| Provincia OYON | 7803 | 82 | 2531 | 2863 | 1784 | 543 |
| Agric.,ganaderia,caza y silvicultura | 2095 | 43 | 472 | 562 | 644 | 374 |
| Pesca | 14 | 1 | 7 | 4 | 1 | 1 |
| Explotación de minas y canteras | 1735 | - | 646 | 788 | 296 | 5 |
| Industrias manufactureras | 262 | 3 | 93 | 87 | 58 | 21 |
| Suministro de electricidad, gas y agua | 10 | - | 3 | 3 | 4 | - |
| Construcción | 392 | 4 | 141 | 143 | 86 | 18 |
| Comerc., rep. Veh. Autom.,motoc.efect.pers | 711 | 12 | 213 | 246 | 193 | 47 |
| Venta, mant. Y rep. Veh.autom.y motoc. | 83 | - | 34 | 27 | 21 | 1 |
| Comercio al por mayor | 24 | - | 7 | 11 | 5 | 1 |
| Comercio al por menor | 604 | 12 | 172 | 208 | 167 | 45 |
| Hoteles y restaurantes | 400 | 11 | 170 | 105 | 92 | 22 |
| Trans., almac. Y comunicaciones | 330 | 1 | 142 | 120 | 63 | 4 |
| Intermediación Financiera | 3 | - | - | 2 | 1 | - |
| Actividad.Inmobil.,empres. Y alquileres | 153 | - | 55 | 65 | 28 | 5 |
| Admin.pub y defensa; p.segur.soc afil | 164 | - | 45 | 60 | 56 | 3 |
| Enseñanza | 415 | - | 80 | 270 | 63 | 2 |
| Servicios sociales y de salud | 50 | - | 16 | 24 | 7 | 3 |
| Otras activ. Serv. Comun.soc y personales | 177 | 2 | 61 | 67 | 42 | 5 |
| Hogares privador cons ervice domestico | 78 | 2 | 52 | 16 | 7 | 1 |
| Actividad económica no especificada | 561 | - | 182 | 242 | 112 | 25 |

1.1.6 Acceso a la información

El acceso a la información de la población de la provincia mencionada se resume en la siguiente tabla:

TABLA 1-5: SERVICIOS DEL SECTOR COMUNICACIONES PROVINCIA DE OYON

FUENTE: "INEI" [INE2012]

| SERVICIOS DEL SECTOR COMUNICACIONES DE LA PROVINCIA DE OYON | |
|---|-----------------|
| Servicios de comunicación que existen en el distrito, por tipo | unidades |
| Centros comunitarios telefónicos | 10 |
| Centrales telefónicas | 2 |
| Oficinas de correo | 2 |
| Antenas Parabólicas | 11 |
| Cabinas públicas de internet | 12 |
| Emisoras de radio registradas en la municipalidad | unidades |
| Publico | 1 |
| Privado | 1 |
| Hogares que tuvieron acceso a medios de comunicacion,2006 | % |
| Periódicos y revistas | 36.4 |
| Radio | 84.5 |
| Televisión | 77.8 |
| Hogares que tuvieron acceso a telefonía e internet,2006 | % |
| Teléfono fijo en vivienda | 7.8 /a |
| Teléfono publico | 78.5 |
| Teléfono celular | 0.7 /a |
| Internet en vivienda | 0.1 /a |
| Municipios con acceso a internet, 2006 | unidades |
| Nº de municipalidades | 2 |
| Total pc interconectadas a internet | 21 |
| Municipalidades que no tienen acceso a internet | 4 |

1.2 Descripción del distrito de Pachangara - Churín

El distrito de Pachangara y el valle de Churín se encuentran en provincia de Oyón, donde se llevara a cabo el desarrollo del estudio, es por ello necesario conocer las características geográficas, demográficas y socio-económicas más importantes.

La información que se presenta a continuación fue obtenida del INEI, de la municipalidad provincial de Oyón, de la municipalidad de Pachangara y de comunicación constante con habitantes de los pueblos mencionados.

1.2.2 Ubicación

El pueblo de Churín está ubicado en el distrito de Pachangara, Provincia de Oyón, a 210 Km al noroeste de Lima, tomando inicialmente la carretera Panamericana norte y luego un desvío afirmado hacia el este; Churín un pintoresco poblado interandino famoso entre los turistas por sus fuentes de agua termo minero medicinal; que se encuentra a 2,080 m.s.n.m.

A continuación las coordenadas geográficas de los lugares mencionados:

**TABLA 1-6: UBICACIÓN GEOGRAFICA
FUENTE: "ELABORACION PROPIA"**

| | LATITUD | LONGITUD |
|-------------------------------------|------------|------------|
| CHURÍN (Capital de distrito) | -10.81125 | -76.87945 |
| OYON (Capital de Provincia) | -10.668452 | -76.772425 |

Además las siguientes imágenes muestran la ruta y el estado de la carretera para llegar a Churín:



FIGURA 1-4: Mapa Vial Lima-Churín
FUENTE: “MTC” [MTC2010]



FIGURA 1-5: Estado de la carretera hacia Churín
FUENTE: “MTC” [MTC2010]

1.2.2 Población

El distrito de Pachangara pertenece a la provincia de Oyón, departamento de Lima; tiene una población aproximada de 3011 habitantes, de los cuales 1843 habitantes pertenecen al área urbana y 1163 habitantes pertenecen al área rural, según información obtenida del censo nacional 2007 a cargo del INEI.

La población de Churín fue de 1899 habitantes respectivamente según el censo de población y vivienda del 2007, que estuvo a cargo del INEI. Según la tasa de crecimiento anual proporcionada por el INEI para la región lima es de 2.0 a 3.5, partiendo de esto se tomara el factor de 3.0 como tasa de crecimiento para realizar el análisis hasta el 2020.

TABLA 1-6: POBLACION PROYECTADA HASTA EL 2020 DEL VALLE DE CHURÍN
FUENTE: "MTC" [MTC2009]

| Huancahuasi | Población proyectada |
|-------------|----------------------|
| 2007 | 1889 |
| 2008 | 1936 |
| 2009 | 1985 |
| 2010 | 2034 |
| 2011 | 2085 |
| 2012 | 2137 |
| 2013 | 2190 |
| 2014 | 2245 |
| 2015 | 2302 |
| 2016 | 2359 |
| 2017 | 2418 |
| 2018 | 2478 |
| 2019 | 2540 |
| 2020 | 2604 |

Tasa de crecimiento promedio anual 2,5.

1.2.3 Sector Salud, educación y servicios Básicos

El valle de Churín cuenta con un centro hospitalario en el cual se tratan las enfermedades más comunes, y cirugías simples, para casos complicados el traslado se realiza al hospital de Uchucchacua que se encuentra aproximadamente a 2 horas del pueblo. Además cuenta con servicio de agua potable, alcantarillado, energía eléctrica, telefonía fija y móvil, servicio de internet como lo más rescatable; en lo referente a educación, el valle cuenta con una unidad escolar integrada con niveles inicial-primaria-secundaria.

En el siguiente cuadro se resume las instituciones de salud y educación en el distrito de Pachangara:

TABLA 1-7: SECTOR SALUD Y EDUCACION
FUENTE: "MTC" [MTC2009]

| Distrito Pachangara | Instituciones Educativas | | | | | | | | Establecimientos de salud | | |
|---------------------|--------------------------|---|---|---|---|---|---|---|---------------------------|--------|-------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | Hospital | Centro | Posta |
| Churín | | | | | | | 1 | | | 1 | |
| Pachangara | | | | | | | 1 | | | | 1 |
| Huancahuasi | | | | | 1 | | | | | | 1 |
| San Pedro de Palpas | | | | | | | | | | | |
| Taucur | | 1 | | | | | | | | | |
| Acaín | | 1 | | | | | | | | | |
| Curay | | | | | | 1 | | | | | |

1. Inicial

2. Primaria

3. Secundaria

4. Técnica

5. Integrado Inicial-Primaria

6. Integrado Primaria-Secundaria

7. Integrado Inicial-Primaria-Secundaria

8. Especial

1.2.4 Sector económico – productivo

El pueblo de Churín tiene como principal fuente de ingreso al turismo; gracias al cual, este balneario ha tenido un rápido desarrollo; en pocos años se ha convertido de un pequeño caserío en una moderna población con hoteles y hostales de dos y tres estrellas, restaurantes, servicios públicos y sistemas de comunicación a distancia, presta facilidades de servicios turísticos: alojamientos, restaurantes, centros campestres y ventas de artesanías; todo esto ha sido posible a su privilegiada ubicación cercana a fuentes termales de las que según estudios tienen propiedades curativas y de relajación; actualmente estas aguas termales están ubicadas en segundo lugar después de Japón, en lo referente a las propiedades mencionadas anteriormente.

A continuación se presenta un cuadro de la afluencia de turistas al valle con referencia a dos de sus complejos termales:

**TABLA 1-8: AFLUENCIA DE TURISTAS AL VALLE DE CHURÍN
FUENTE: “MINCETUR” [MIN2012]**

| MES | 2003 | 2004 | 2005 |
|-----------|--------|--------|--------|
| ENERO | 5,390 | 7,381 | 4,135 |
| FEBRERO | 6,738 | 8,857 | 6,892 |
| MARZO | 6,738 | 10,333 | 7,581 |
| ABRIL | 13,476 | 12,133 | 8,266 |
| MAYO | 12,128 | 8,857 | 9,633 |
| JUNIO | 10,781 | 13,266 | 10,733 |
| JULIO | 16,179 | 19,929 | 12,068 |
| AGOSTO | 14,824 | 17,714 | 16,541 |
| SETIEMBRE | 14,824 | 16,976 | 19,298 |
| OCTUBRE | 13,476 | 16,270 | 17,866 |

| MES | 2003 | 2004 | 2005 |
|------------------|----------------|----------------|----------------|
| NOVIEMBRE | 12,101 | 8,840 | 12,400 |
| DICIEMBRE | 8085 | 7380 | 12,400 |
| TOTAL | 134,741 | 147,936 | 137,813 |

Es importante nombrar que los ingresos percibidos por este concepto ascienden a un promedio de S/. 400,000 anuales. Factor importante, ya que el valle cuenta con recursos monetarios suficientes como para que un operador brinde servicios de telecomunicaciones sin perder su inversión; esto se demuestra en el capítulo 5 con el análisis de ingresos y egresos.

1.2.5 Medios de comunicación

El valle de Churín cuenta con servicio de televisión satelital e internet satelital, además de contar con telefonía fija y móvil. Lamentablemente en el valle de Churín el servicio de internet es inaceptable debido a que el servicio es por horas y la velocidad de internet es potencialmente baja a comparación de la existente en Lima, ya que cuenta con velocidades de hasta 512kbps, es decir no se puede hablar de banda ancha en el valle con las implementaciones existentes.

1.2.6 Identificación de la problemática

Las poblaciones de difícil acceso del Distrito de Pachangara, como Churín, por lo general cuentan con un ineficiente sistema de acceso a la comunicación, salud y educación. Esta situación es una barrera para el desarrollo tecnológico ya que impide a ciertos beneficios como el acceso a internet y a la comunicación. El valle en estudio a pesar de las dificultades geográficas donde se ubican cuenta con los medios necesarios para poder desarrollarse, lamentablemente eso no ocurre con los medios de acceso a la información, los cuales son necesarios para

tal fin. Si bien, existen medios de comunicación, por así decirlo, estos no son suficientes para lograr el objetivo, el cual es realzar la actividad turística, elevar los niveles de educación, mejorar el sector salud de la zona e incrementar la actividad productiva.

En conclusión, el nivel socio-cultural en dicha comunidad es bajo, ya que el poblado carece de los medios de comunicación adecuados para educación y desarrollo cultural.



Capítulo 2: Estudio del estándar IEEE802.16 – WIMAX para redes de acceso fijo a Internet

2.1 Tecnología WIMAX

2.1.1 WIMAX: Visión General

Wimax (World Interoperability for Microwave Access – Interoperabilidad mundial para acceso por microondas). También conocida como IEEE 802.16, es la tecnología estandarizada para redes de comunicación que permite el acceso inalámbrico de última milla. Además de representar una alternativa a las tecnologías de acceso de última milla fijas como el DSL y cable, permite el acceso móvil de banda ancha teniendo una amplia área de cobertura.

A diferencia del estándar Wi-Fi, Wimax es una tecnología diseñada en cubrir grandes distancias con un gran ancho de banda; es una alternativa confiable para ofrecer servicios de banda ancha con calidad de servicio(QoS) en zonas donde el

medio de transmisión físico (cable, cobre, fibra óptica) es de difícil implementación; debido al coste que produce o por la baja densidad poblacional como por ejemplo en zonas rurales, donde en la actualidad en nuestro país se instala la “banda ancha” por satélite.

Wimax ofrece enlaces de PtP(Punto a punto o “backhaul”) de hasta 50km con capacidades de hasta 72 Mbps con LOS(Línea de vista) y a su vez rangos de NLOS(Sin línea de Vista) de hasta 7 km para la distribución PtMP(Punto a Multipunto).

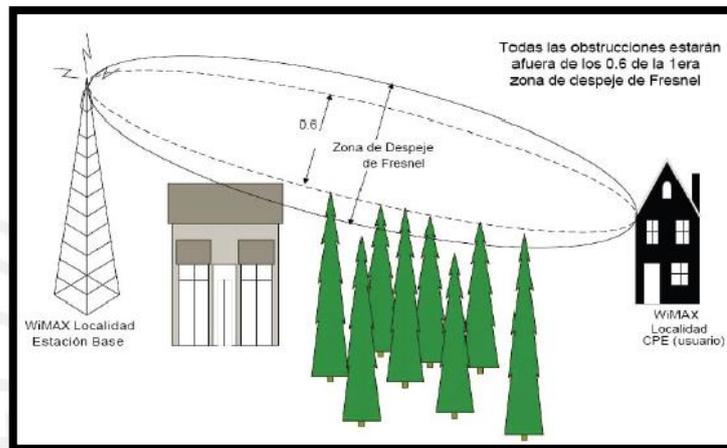


FIGURA 2-1: Esquema de propagación LOS
FUENTE: “OSIPTEL” [OSI2012]

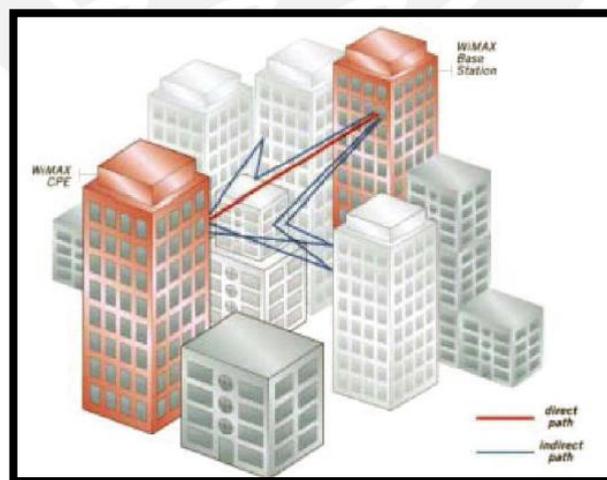


FIGURA 2-2: Esquema de propagación NLOS
FUENTE: “OSIPTEL” [OSI2012]

Actualmente, esta tecnología es impulsada por la organización *WiMAX Forum*, formado por un conjunto de más de 250 empresas cuyo propósito es certificar y promover la compatibilidad e interoperabilidad de los productos inalámbricos de banda ancha basados en el estándar IEEE802.16. Uno de sus principales propósitos es acelerar la introducción de estos sistemas en el mercado [WMX2012].



FIGURA 2-3: Logo Wimax Forum
FUENTE: “WIMAX FORUM” [WMX2012]

Son conocidas las características que este estándar ofrece para el acceso de banda ancha inalámbrico, además de sus ventajas frente a técnicas basadas en estándares parecidos. Algunas de las relevantes las señalamos a continuación:

- Utiliza la modulación OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*) la que permite la transmisión en distintas frecuencias simultáneamente. Utiliza espaciamiento ortogonal con lo que se puede garantizar que no exista interferencia entre frecuencias.
- Soporta mecanismos de antenas inteligentes (MIMO - *Multiple-Input Multiple- Output*) que mejoran la eficiencia espectral en sistemas inalámbricos y distintos tipos de antenas.
- Soporta redes PtMP (Punto a Multipunto) y PtP (Punto a Punto).
- Es capaz de implementar Calidad de Servicio (QoS) para los operadores NLOS sin que la señal se distorsione severamente por la existencia de edificios y otras posibles causas de interferencia.

- Soporta las multiplexaciones TDM (*Time Division Multiplexing*) y FDM (*Frequency Division Multiplexing*), tal que permite la interoperabilidad entre los sistemas móviles (FDM) y los inalámbricos (TDM).
- Como medidas de seguridad, incluyen mecanismos de criptografía y seguridad propios del sistema.
- Posee un ajuste dinámico del tamaño del paquete de transmisión.
- Tiene aplicaciones de voz, datos y video.
- Un sistema que implementa IEEE802.16 (WiMAX) presenta técnicas de modulación adaptativa dependiendo de las condiciones de la relación señal a ruido (SNR).
- Técnicas como FEC (*Forward Error Correction*), codificación convolutiva, y otros algoritmos son usados para poder detectar y corregir errores, tal que ayudan a mejorar la SNR. Se incorpora, además, el ARQ (*Automatic Repeat reQuest*), para solucionar los errores que no puede solucionar la FEC.
- Se implementan algoritmos de control de potencia en las estaciones base de manera que sea posible regular los niveles de potencia en las SS (o CPE), de forma que la potencia recibida por la BS sea ya predeterminada. Con esto se logra un ahorro de la potencia consumida por parte de los CPE's.

[VIL2012]

2.1.2 WIMAX: Estándares

IEEE 802.16 ha tenido varias revisiones en el transcurso de los años, solo las más relevantes se resumen a continuación:

- **802.16a:**

Publicada en enero del 2003, diseñado solo para proporcionar conectividad de última milla. Soporta enlaces con y sin línea de vista (LOS y NLOS)

- **802.16d:**

Publicada en octubre del 2004, Wimax para redes fijas y nómadas con calidad de servicio y seguridad; es un estándar en el que se establece un enlace radio entre la estación base y un equipo de usuario situado en el domicilio del usuario. Para el entorno fijo, las velocidades teóricas máximas que se pueden obtener son de 70 Mbps con un ancho de banda de 20 MHz. Sin embargo, en entornos reales se han conseguido velocidades de 20 Mbps con radios de célula de hasta 6 kilómetros, ancho de banda que es compartido por todos los usuarios de la celda. A su vez permite accesos concurrentes en celdas, cuyos radios varían entre 3km y 10km.

- **802.16e**

Wimax Móvil. Publicada en Febrero del 2006. La otra variante, 802.16e, es de movilidad completa y permite el desplazamiento del usuario de un modo similar al que se puede dar en GSM/UMTS6. Aún no se encuentra desarrollado y actualmente compite con la tecnología LTE7, basadas en femtoceldas8 conectadas mediante cable. Por ser la alternativa para las operadoras de telecomunicaciones que apuestan por los servicios en movilidad, este estándar, en su variante “no licenciado”, compite con el IEEE 802.11n, ya que la mayoría de los portátiles y dispositivos móviles, empiezan a estar dotados de este tipo de conectividad.

- **802.16j**

Publicada en Junio del 2009 se centra en la definición de multisaltos.

- **802.16-2009**

Publicada en Mayo del 2009 como enmienda de IEEE802.16-2004. Especifica la interface aérea, incluyendo capa de acceso y control al medio (MAC) y la capa física (PHY), combinando sistemas fijos y móviles de acceso PtMP (Punto-Multipunto) de banda ancha que proveen múltiples servicios.

2.2 Arquitectura WIMAX

El estándar IEEE 802.16e-2005 nos proporciona la interfaz aérea para Wimax pero no nos define la estructura de red de un extremo a otro. El grupo de trabajo de Wimax Forum es el responsable de desarrollar los requisitos de la estructura de la red, su arquitectura, y los protocolos para WiMax, usando el estándar 802.16e-2005 como interfaz aérea.

Este grupo de trabajo ha desarrollado un modelo de referencia de la red para el despliegue de estructuras de res WiMax y para asegurar la máxima flexibilidad y la interoperabilidad entre varios equipos y operadores de Wimax. Este modelo de referencia provee una arquitectura unificada de la red para soportar despliegues fijos, nómadas y móviles y además un modelo de servicio basado en IP. En la figura vemos una ilustración de lo que sería una red Wimax basada en IP.

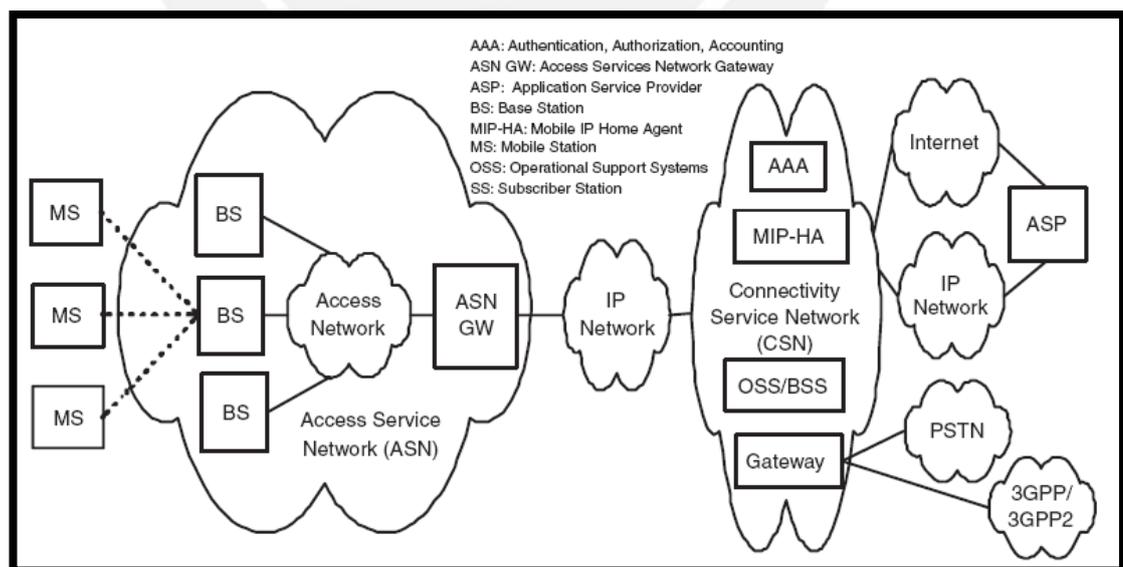


FIGURA 2-4: Arquitectura WIMAX

FUENTE: "WIMAX FORUM" [WMX2012]

El total de la red puede ser dividido en tres partes:

- **Estaciones Móviles (MS)**, usadas por el usuario final para acceder a la red
- **Red de servicio de acceso (ASN)**, la cual comprende una o más Estaciones Base (BS) y uno o más gateways ASN los cuales forman la red de acceso inalámbrica de borde.
- **Red de servicio de conectividad (CSN)**, la cual brinda la conectividad IP.

El ASN define tanto las entidades funcionales como así también las interfaces entre ellas:

Estación Base (BS): La BS es responsable de proveer la interfaz inalámbrica al MS. Otras funciones que pueden ser parte de la BS son las llamadas de “gestión para la micro movilidad”, tal como: handoff triggering y tunnel establishment, radio resource management, QoS policy enforcement, traffic classification, DHCP (Dynamic Host Control Protocol) proxy, key management, session management, y multicast group management.

Gateway de Red de Servicio de Acceso (ASN-GW): El gateway ASN normalmente opera como un punto de agregación de tráfico de la Capa 2 (enlace de datos). Otras funciones que pueden ser parte del ASN-GW son: control de admisión, almacenamiento de los perfiles de usuarios y claves de encriptación, funcionalidad AAA (authentication, authorization and accounting), establecimiento y gestión del “mobility tunnel” entre la BS y el usuario, QoS, y enrutamiento al CSN.

Red de servicio de conectividad (CSN): El CSN brinda conectividad a Internet, ASP, otras redes públicas y/o redes corporativas. El CSN forma parte del NSP e incluye los servidores de AAA que soportan la autenticación para los dispositivos, usuarios, y servicios específicos. El CSN brinda seguridad y asegura el QoS a cada usuario. También es responsable por la gestión del direccionamiento IP, soporta roaming entre diferentes NSPs, gestiona las ubicaciones entre los ASNs, como así también la movilidad y el roaming entre ellos. Además, el CSN puede brindar funciones de gateway o de interoperabilidad con otras redes, tal como la PSTN (public switched telephone network), 3GPP, y 3GPP2.

La arquitectura está definida de forma tal que múltiples actores puedan ser parte de la cadena de valor de los servicios que WiMAX puede proveer. Es decir, la arquitectura da espacio a tres entidades de negocios separados:

- **Proveedores de acceso de red (NAP)**, los cuales son dueño y operan el ASN
- **Proveedores de servicios de red (NSP)**, los cuales brindan conectividad IP y servicios WiMAX a los abonados utilizando la infraestructura ASN provista por uno o mas NAPs
- **Proveedores de servicios de aplicación (ASP)**, los cuales pueden proveer servicios de valor agregado tales como aplicaciones multimedia utilizando IMS (IP multimedia subsystem) y VPNs (virtual private networks) corporativas.

Finalmente, la versión actual del estandar IEEE802.16 (2009) define las especificaciones para las múltiples capas físicas (PHY), la capa de acceso al medio (MAC), y la capa que ofrece el servicio de convergencia entre subcapas (CS) para el transporte de IP, Ethernet y ATM.

2.3 WIMAX: CAPA FISICA

En la capa física, el flujo de datos está formado por una secuencia de tramas de igual longitud. Los modos de operación FDD (*Frequency Division Duplexing*) y TDD (*Time Division Duplexing*), se consideran tanto para Uplink (UL) como para Downlink (DL). En el modo **FDD**, las subtramas de UL y DL, son transmitidas simultáneamente y sin interferencia, ya que estas son transmitidas a distintas frecuencias. En el modo **TDD**, las subtramas de UL y DL son transmitidas de manera consecutiva. Las longitudes de trama pueden ser de 0.5, 1 o 2 ms. En este modo las posiciones de DL y UL pueden variar. En la Figura 32 se muestra el esquema y secuencia de las tramas.

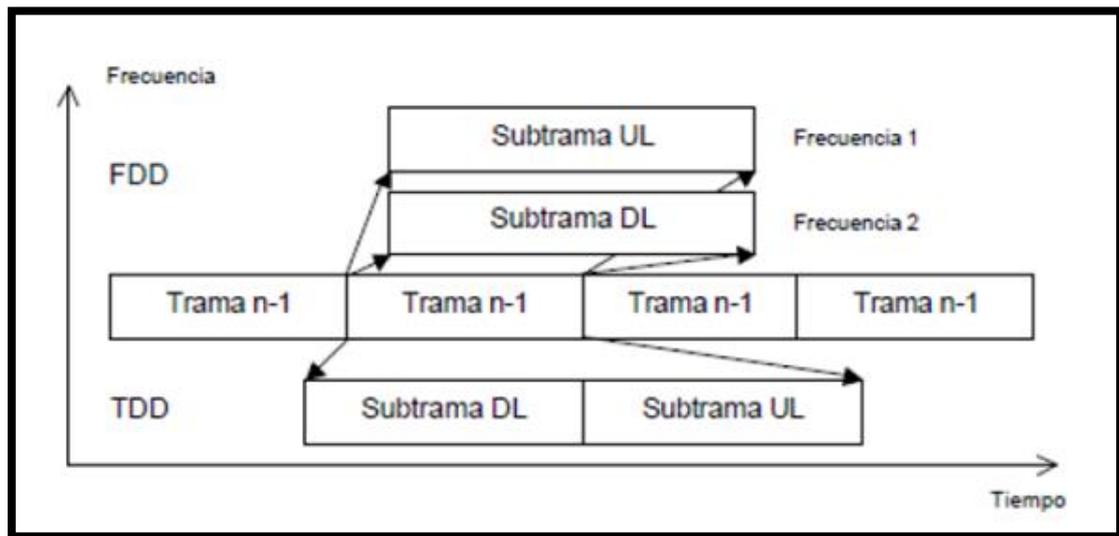


FIGURA 2-5: Esquema de FDD y TDD
FUENTE: "WIMAX FORUM". [WMX2012]

La capa física de WiMAX se basa en la multiplexación por división ortogonal en frecuencia (OFDM). OFDM es un esquema que nos permite transmitir datos de alta velocidad, video y comunicaciones multimedia. Este esquema de transmisión es utilizado por diversos sistemas comerciales, tales como DSL, WiFi, DVB-H. OFDM es un esquema eficiente para la transmisión de elevadas tasas de datos en entorno sin línea de vista y con distorsión multitrayecto.

OFDM pertenece a una familia de esquemas de transmisión llamada modulación multiportadora, el cual se basa en la idea de dividir un determinado flujo de datos en varios flujos y modular cada flujo con portadoras distintas (llamadas subportadoras). Los esquemas de modulación multiportadora minimizan la interferencia intersimbolo, haciendo que la duración en el tiempo del símbolo transmitido sea lo suficientemente largo como para que el retraso introducido por el canal sea una insignificante fracción de la duración de símbolo. [VIL2010]

2.3.1 Parámetros OFDM en WiMAX

Tanto la versión fija como la versión móvil de WiMAX tienen diferentes implementaciones de OFDM en la capa PHY. Para WiMAX fijo, basado en la norma IEEE802.16-2004, se usa una capa física basada en OFDM con una FFT (transformada rápida de Fourier) de 256 subportadoras de tamaño. Para WiMAX móvil, basado en la norma IEEE 802.16-2005. Se usa una capa física basada en OFDMA variable. En el caso de WiMAX móvil, el tamaño de la FFT puede variar desde 128 hasta 2048 subportadoras.

Capa física WiMAX fijo (OFDM-PHY): Para esta versión el tamaño de la FFT está fijada en 256 subportadoras, de las cuales 192 son subportadoras para transportar datos, 8 son usadas como subportadoras piloto para propósitos relacionados con la estimación y la sincronización del canal, y el resto son usadas como subportadoras de la banda de guarda. Puesto que el tamaño de la FFT es fijo, el espaciado entre subportadoras varía con el ancho de banda del canal. Cuando se utilizan grandes anchos de banda, el espaciado entre subportadoras aumenta y el tiempo de símbolo disminuye. Que el tiempo de símbolo disminuya significa que será necesario asignar una mayor fracción de tiempo de guarda con el propósito de superar la difusión de retardos. Para alcanzar la máxima robustez frente a difusión de retardo, se puede usar un 25 por ciento de la banda de guarda.

Capa física WiMAX móvil (OFDMA-PHY): Para esta versión el tamaño de la FFT puede variar entre 128 y 2048 subportadoras. En este caso cuando el ancho de banda aumenta, el tamaño de la FFT también se ve incrementado para que el espaciado entre las subportadoras siempre sea 10.94KHz, esto mantiene la duración del símbolo OFDM fijo y por tanto las capas superiores no tienen que preocuparse de esto.

Un diseño escalable también mantiene los costos bajos. El espaciado de 10.94KHz fue elegido como un buen equilibrio para satisfacer el retardo de propagación y el efecto Doppler y así poder operar en entornos fijos y móviles mixtos. Este espaciado entre subportadoras puede soportar un retardo de hasta 20us y una movilidad de hasta 125km por hora cuando opera a 3.5 GHz. El espaciado entre subportadoras de 10.94KHz implica que se usen FFT de 128, 512,

1024, 2048 bits cuando el ancho de banda del canal es 1.25, 5, 10 y 20 MHz respectivamente. Debería ser anotado, sin embargo que WiMAX móvil puede incluir otros perfiles ancho de banda adicionalmente. Por ejemplo un perfil compatible con WiBro utilizara un canal de 8.75MHz de ancho de banda y una FFT de 1024 bits. Este perfil requerirá evidentemente un espacio entre subportadoras diferente y por lo tanto no tendrá las mismas propiedades de escala.

La siguiente tabla muestra los parámetros relativos a OFDM para ambas capas físicas, la basada en OFDM y la basada en OFDMA. Los parámetros que se muestran en la tabla están limitados a un conjunto de perfiles que son posibles, pero no constituyen un conjunto exhaustivo de todos los posibles valores. [VIL2010]

TABLA 2-1: Comparación de los parámetros WiMAX Fijo – WiMAX Móvil
FUENTE: “WIMAX FORUM” [WMX2012]

| Parámetros | WIMAX Fijo | WIMAX Móvil OFDMA-PHY | | | |
|--|--|-----------------------|-----|------|------|
| | OFDM-PHY | | | | |
| Tamaño FFT | 256 | 128 | 512 | 1024 | 2048 |
| Numero de subportadoras de datos | 192 | 72 | 360 | 720 | 1440 |
| Numero de subportadoras piloto | 8 | 12 | 60 | 120 | 240 |
| Numero de subportadoras de guarda | 56 | 44 | 92 | 184 | 368 |
| Periodo de guarda | 1/32, 1/16, 1/8, ¼ | | | | |
| Tasa de Muestreo | Depende del ancho de banda: 7/6 para 256 OFM, 8/7 para múltiplos de 1.75 MHz, y 28/25 para múltiplos de 1.25 MHz, 1.5 MHz, 2 MHz o 2.75MHz | | | | |
| Ancho de banda del canal (MHz) | 3.5 | 1.25 | 5 | 10 | 20 |

2.3.2 Subcanales en OFDMA

En OFDMA se pueden dividir las subportadoras disponibles en varios grupos llamados subcanales. WiMAX fijo basado en una capa física OFDM solamente permite una forma limitada de subcanalización en el enlace ascendente. El estándar define 16 subcanales, donde se pueden asignar 1, 2, 4, 8 o todos los conjuntos de una estación de abonado en el enlace ascendente.

La subcanalización del enlace ascendente en WiMAX fijo permite a las estaciones de abonados transmitir utilizando solamente una fracción del ancho de banda que le asigna la estación base, lo que proporciona mejoras económicas en el enlace que se pueden utilizar para aumentar el rendimiento y/o mejorar la duración de las baterías de las estaciones de abonado. Un factor de subcanalización de 1/16 proporciona una mejora de 12 dB en el enlace.

Sin embargo, la versión móvil de WiMAX, cuya capa física está basada en OFDMA, permite subcanalizar tanto en el enlace ascendente como en el enlace descendente y aquí los subcanales forman la unidad mínima de recursos de frecuencia asignados por la estación base.

Por lo tanto, se pueden asignar subcanales diferentes a usuarios diferentes como un mecanismo de acceso múltiple. Este tipo de esquema multiacceso se llama acceso múltiple por división de frecuencia ortogonal (OFDMA) que da nombre a la capa física de WiMAX móvil.

En conclusión, En el estándar WiMAX, se definen tres especificaciones físicas de interfaces radio:

- **WirelessMAN-SC:** una única portadora modulada.
- **WirelessMAN-SCa:** corresponde a la versión que soporta NLOS de la WirelessMAN-SC, el estándar 802.16-2004 define que debe soportar TDD ó FDD; uso de TDMA en ambos enlaces, UL y DL; uso de codificación FEC en los enlaces UL y DL, entre otras especificaciones.
- **WirelessMAN-OFDM:** esquema de multiplexación por división ortogonal en frecuencia de 256 portadoras. El acceso múltiple de los usuarios se controla a través de TDMA. De las 256 portadoras, 192 se

utilizan para la transmisión de datos, 56 para las bandas de guarda y 8 permanecen fijas como portadoras piloto, además de la única portadora DC. En la Figura 2-6 se exhibe los tipos de portadora del esquema descrito.

- **WirelessMAN-OFDMA:** esquema OFDM de 2048 portadoras. El acceso se proporciona asignando un conjunto de portadoras a cada usuario: es una combinación de TDMA y OFDMA. [ROS2008]

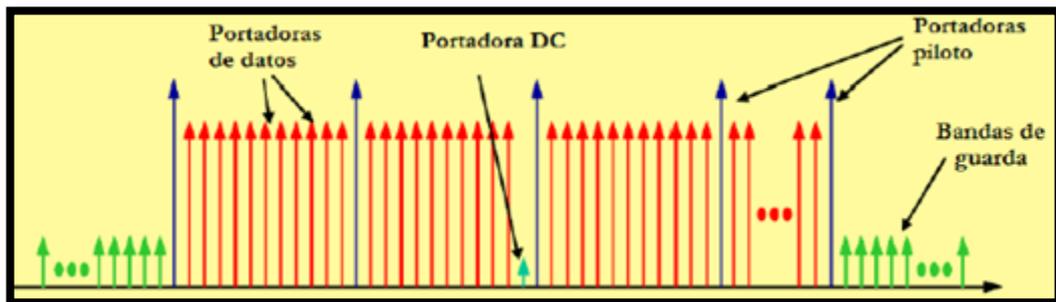


FIGURA 2-6: Esquema simplificado de los tipos de portadoras e OFDM
FUENTE: "OSIPTEL" [OSI2012]

TABLA 9: MODALIDADES DE LA CAPA FISICA EN IEEE 802.16
FUENTE: "WIMAX FORUM" [WMX2012]

| Modalidad | Aplicación | Dúplex | Ancho de Banda |
|-------------------|---------------------------------|--------|----------------|
| WirelessMAN-SC | 10-66 GHz | FDD | 28 MHz |
| | | TDD | |
| WirelessMAN-SCa | < 11 GHz Bandas con licencia | TDD | 1.75 – 20 MHz |
| | | FDD | |
| WirelessMAN-OFDM | < 11 GHz Bandas con licencia | TDD | 1.75 – 20MHz |
| | | FDD | |
| WirelessMAN-OFDMA | < 11GHz Bandas con licencia | TDD | 1.75 – 20MHz |
| | | FDD | |

2.3.3 Tipos de modulación

En la arquitectura de WiMAX se usan diferentes normas propias de la familia IEEE802, especialmente 802.3 (Ethernet). En Ethernet la capa física (PHY) contiene los estándares de 60 medios físicos, como el cable clase 5 (propio de los servicios de conmutación local), es decir, tanto IEEE802.16 (WiMAX) como IEEE 802.11 (WiFi) son formas inalámbricas de Ethernet.

Se ha diseñado (por parte del *IEEE802.16 Working Group D*) un sistema para que en la máxima capacidad del sistema se ofrezca una confiabilidad del 99.999%, donde el nivel físico incluye OFDM, *Time Division Duplex* (TDD), *Frequency Division Duplex* (FDD), *Quadrature Phase Shift Keying* (QPSK) y *Quadrature Amplitude Modulation* (QAM). De los tipos de modulación (BPSK, QPSK, 16QAM, 64QAM) que se usan de forma adaptativa en esta tecnología, BPSK es la menos eficiente, y se emplea donde las estaciones cliente (SS) están mas alejadas de las estaciones base (BS), y por lo tanto se requiere mayor potencia para realizar la transmisión (P_{tx}). Por otro lado, se utiliza 64QAM, donde las SS están relativamente cerca del BS, y se requiere menos potencia para la transmisión. En la Figura se muestran los tipos de modulación en función a su distancia con respecto a la BS.

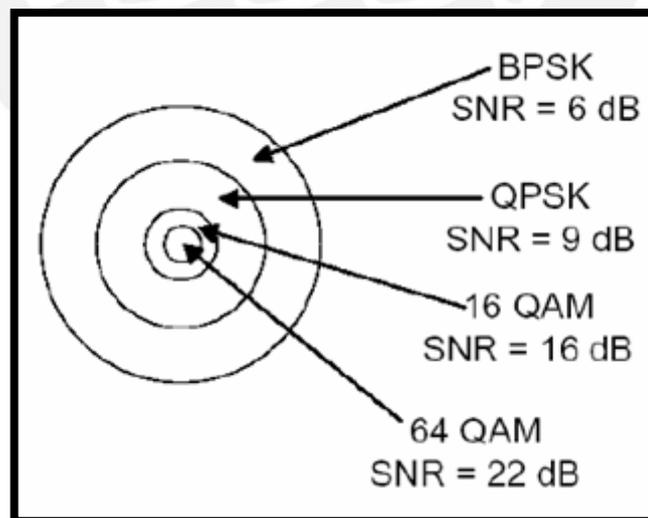


FIGURA 2-7: Modulación Adaptativa al SNR
FUENTE: "WIMAX FORUM" [WMX2012]

TABLA 2-3: MODULACIONES Y CODIFICACIONES EN WIMAX
FUENTE: “WIMAX FORUM” [WMX2012]

| | Downlink | Uplink |
|---------------------|--|---|
| Modulación | BPSK, QPSK, 16QAM, 64QAM; BPSK opcional para OFDMA-PHY | BPSK, QPSK, 16QAM; 64QAM opcional |
| Codificación | Obligatorio: códigos convolucionales de tasas 1/2, 2/3, 3/4, 5/6. Opcional: Turbo códigos convolucionales de tasas 1/2, 2/3, 3/4, 5/6; códigos RS para OFDM-PHY | Obligatorio: códigos convolucionales de tasas 1/2, 2/3, 3/4, 5/6. Opcional: Turbo códigos convolucionales de tasas 1/2, 2/3, 3/4, 5/6. |

2.4 Capa de control de acceso al medio en WIMAX

La función principal de la capa MAC de WIMAX es la de proporcionar una interfaz entre la capa de transporte y la capa física, la capa MAC toma los paquetes de la capa inmediatamente superior, estos paquetes se llaman MAC Service Data Units (MSDUs), y los organiza dentro de los paquetes denominados MAC Protocol Data Units (MPDUs) para transmitirlos por el aire; para la recepción la capa MAC realiza el mismo proceso pero esta vez en el orden inverso.

La capa MAC del protocolo IEEE 802.16 (WIMAX), fue diseñado para accesos a las aplicaciones PMP (Punto Multipunto) de banda ancha de muy alta tasa de datos y con una variedad de requisitos de calidad de servicios (QoS), por lo que está orientado a conexión. Esta capa permite que el mismo terminal sea compartido por múltiples usuarios. Lo que hace flexible a este sistema es que maneja algoritmos que permiten que cientos de usuarios finales puedan tener distintos requisitos de ancho de banda y de retardo.

Esta capa también se encarga de manejar la necesidad de tener una tasa de bits alta tanto para el enlace ascendente (hacia la BS) como para el enlace descendente (desde la BS). El sistema ha sido diseñado para incluir multiplexación por división del tiempo de voz y datos, protocolo de internet (IP), y voz sobre IP (VoIP).

2.4.1 Subcapas de la capa MAC de WIMAX

El protocolo IEEE 802.16, debe soportar los variados requisitos de conectividad como el modo de transferencia asíncrono (ATM) y protocolos basados en paquetes. La capa MAC que es la encargada de coordinar el acceso al medio está compuesta de 3 subcapas.

1. **Subcapa MAC de convergencia (CS):** Es la encargada de adaptar las unidades de datos de protocolos de alto nivel al formato MAC SDE y viceversa. Es decir se encarga de transformar los datos de las redes externas y pasarlos a la subcapa MAC común convertidos den unidades de datos de servicio (SDU), que son las unidades de datos que se transfieren entre capas adyacentes. Otra función de la que se encarga esta subcapa es la clasificación de los SDUs de la MAC entrantes a las conexiones que pertenecen.
2. **Subcapa MAC común (MAC CPS):** Es el núcleo de toda la capa MAC, provee los servicios de acceso al sistema, asignación de ancho de banda, establecimiento y mantenimiento de la conexión y se establecen las unidades de datos de protocolo o PDU(Protocolo Data Units). También se encarga de hacer el intercambio de la unidad de servicios de datos de la capa MAC (SDU) con la capa de convergencia. Esta subcapa se encuentra fuertemente ligada con la capa de seguridad. En esta subcapa se prestan los servicios de planificación que representan los mecanismos de manipulación de datos soportados por el planificador de la MAC para el transporte de datos en una conexión, cada una asociado a unos parámetros de QoS que son los que determinan su comportamiento. Existen cuatro tipos de servicios:
 - Concesión no solicitada(UGS)
 - Polling en tiempo real(rtPS)
 - Polling no en tiempo real(nrtPS)
 - Mejor esfuerzo(BE)

3. **Subcapa MAC de seguridad:** Presta los servicios de autenticación, intercambio seguro de claves y cifrado. Permite proveer a los usuarios un servicio de banda ancha seguro a través de su conexión fija mediante el cifrado de las conexiones, y al operador protegerse contra las conexiones no autorizadas forzando el cifrado. Es en esta subcapa donde se realiza el intercambio de los PDUs de la MAC con la capa física.

2.4.2 Calidad de Servicio (QoS)

Una de las partes fundamentales en el diseño de la capa MAC es la QoS. Algunas de las ideas para el diseño de las técnicas de QoS en WIMAX se sacan del estándar del cable modem DOCSIS, consiguiendo un fuerte control de la QoS utilizando una arquitectura MAC orientada a conexión en la que la estación base controla todas las conexión del enlace descendente y el ascendente. Antes de que ocurra cualquiera transmisión de datos, la estación base y la estación suscriptora establecen un enlace lógico unidireccional entre las dos capas llamado conexión.

Cada conexión tiene un identificador de conexión (CID) que sirve como una dirección temporal para las transmisiones de datos sobre un enlace particular. Además de conexiones para la transmisión de datos de usuario, la capa MAC de WIMAX define tres conexiones administrativas: las conexiones básicas, las primarias y las secundarias.

Wimax también define un concepto de flujo de servicio que es un flujo unidireccional de paquetes con un conjunto particular de parámetros de QoS e identificado por un el SFID (identificador de flujo de servicio). Los parámetros de QoS podrían incluir prioridad de tráfico, tasa máxima de trafico sostenido, tasa máxima de ráfaga, tasa mínima tolerable, tipo de planificación, tipo de ARQ, retraso máximo, jitter tolerable, tamaño y tipo de unidad de datos, mecanismo a usar para la petición de ancho de banda, reglas para la formación de PDU, etc. El flujo de servicio debe ser provisionado por un sistema de administración de red o creado dinámicamente a través de mecanismos de señalización definidos en el estándar.

La estación base es responsable de distribuir el SFID y mapearlo a un único CID. Los flujos de servicio pueden ser mapeados también a puntos de código de DiffServ o etiquetas de MPLS (Multiprotocol Label Switching) para permitir QoS extremo a extremo basado en IP. Para soportar una amplia variedad de aplicaciones, WIMAX define los siguientes servicios:

- 1. Servicio garantizado no solicitado o UGS(Unsolicited Grant Service):** Es un servicio diseñado para soportar un tamaño fijo de paquetes a una tasa constante de datos, esta orientado a servicios con requisitos estrictos de temporización como son la voz sobre IP(VoIP) sin supresión de silencios y la emulación de T1/E1. Los parámetros de flujo de servicio obligatorios que se definen en este servicio son la tasa máxima de tráfico sostenible, la máxima latencia permitida, el jitter tolerado y la política de petición/transmisión. Aquí la estación base programa periódicamente regiones de transmisión de manera regular, de manera anticipada y del tamaño negociado con anterioridad, durante el establecimiento de la conexión sin que haya una petición explícita de parte del usuario con requisitos estrictos de temporización.
- 2. Servicio de consulta en tiempo real o RtPS(Real-time Polling Service):** Este servicio está orientado al tráfico en tiempo real con tasa de transmisión variable, como el video MPEG. Los parámetros de flujo de servicio obligatorios que se definen en este servicio son la tasa mínima de tráfico reservada, la máxima tasa de tráfico sostenible, la máxima latencia permitida y la política de petición/transmisión. A las estaciones con tráfico RtPS se les asigna periódicamente una oportunidad de transmisión para solicitar ancho de banda de manera periódica con el fin de satisfacer sus requisitos en tiempo real.
- 3. Servicio de consulta diferido o NRtPS(Non-Real-Time Polling Service):** Servicio diseñado para soportar flujos de datos tolerantes a retardos y de tamaño variable pero con un ancho de banda mínimo requerido, tal como FTP. Los parámetros obligatorios de flujo de servicio que se definen en este servicio son la tasa mínima de tráfico reservada, la tasa máxima de tráfico sostenible, la prioridad de tráfico y la política de petición/transmisión.

4. **Servicio de mejor esfuerzo o BE(Best Effort Service):** En este servicio no se garantiza un nivel mínimo de servicio, ni retardo, ni caudal. Es decir este servicio está diseñado para aplicaciones sin requisitos mínimos de ancho de banda. Los parámetros obligatorios de flujo de servicio definidos en este servicio son la tasa máxima de tráfico sostenible, la prioridad de tráfico y la política de petición/transmisión.

5. **Servicio extendido en tiempo real y tasa variable o ERT VR (Extender Real-Time Variable Rate Service):** Se diseña este servicio para aplicaciones como VOIP con supresión de silencio, es decir con detección de actividad ya que tienen tasas de datos variables pero necesitan una tasa de datos y un retraso garantizado. Este servicio solo esta disponible en el estándar IEEE802.16e y no en el IEEE 802.16-2004.

[VIL2010]

TABLA 2-4: TIPOS DE QoS
FUENTE: "WIMAX FORUM" [WMX2012]

| TIPO DE QoS | Parámetros de QoS definidos | Ejemplo de Aplicaciones |
|--------------|---|--|
| UGS | Máxima tasa sostenible Máxima latencia tolerada Tolerancia jitter | Voz sobre IP sin supresión de silencios |
| RtPS | Mínima tasa reservada Máxima tasa sostenible Máxima latencia tolerada Prioridad de tráfico | Flujos de audio y video |
| NRtPS | Mínima tasa reservada Máxima tasa sostenible Prioridad de tráfico | Protocolo de transferencia de ficheros (FTP) |
| BE | Máxima tasa sostenible | Navegación Web, transferencia de |

| TIPO DE QoS | Parámetros de QoS definidos | Ejemplo de Aplicaciones |
|---------------|--|---------------------------------|
| | Prioridad de tráfico | datos |
| Ert VR | Mínima tasa reservada Máxima tasa sostenible Máxima latencia tolerada Tolerancia Jitter Prioridad de tráfico | VoIP con supresión de silencios |



Capítulo 3: Determinación de demanda para el dimensionamiento de la red

En la actualidad, los medios de comunicación en los sectores rurales del país son en su mayoría escasos, ineficientes o simplemente no existen; por tal motivo es importante determinar los servicios de telecomunicaciones a brindar dependiendo de la coyuntura de cada pueblo por separado, ya que para cada uno de estos existen necesidades prioritarias diferentes.

En el caso de Churín, que cuenta con una población de aproximadamente 2100 habitantes, cuenta con servicio de internet, telefonía pública y móvil, pero estos servicios son ineficientes en cuanto a calidad de servicio, sobre todo el servicio de internet, el cual se da por horas y con velocidades bajas (256Kbps), y que debido al factor de overbooking determinado por los proveedores del servicio, aproximadamente el 10%, la velocidad real es aproximadamente 30kbps; lo cual es considerado hoy en día como inaceptable. Con respecto a la telefonía celular, aunque no es tema de estudio, se tiene el servicio móvil con tecnología de segunda generación (GSM).

Veamos como una infraestructura ineficiente puede afectar los diversos sectores de los pueblos mencionados:

- **Sector Educación:** Al no contar con internet, el nivel de calidad de enseñanza es pobre comparado a las escuelas de Lima, debido a que los alumnos no tienen la oportunidad de contar con la “biblioteca” más completa que podrían tener.
- **Sector Salud:** Al no contar con internet, no existe telemedicina; por lo tanto esto produce efectos negativos en la población: como diagnósticos equivocados o tardíos, etc.
- **Sector turismo:** Turistas al no encontrar un lugar en el cual existan las condiciones para poder continuar en parte con las actividades realizadas diariamente como: revisar el correo, subir archivos, navegar por internet, etc.; produce que dichos turistas no se queden por mas tiempo de tales localidades a pesar de los recursos naturales y visuales que poseen.

3.1 Alcances e implementaciones potenciales

Seguridad pública

Instituciones de seguridad pública, reclusorios, agencias del ministerio público, dependencias de impartición de justicia de los municipios, casetas de vigilancia pública y privada, entre otras.

Beneficios

- Unificación de la información.
- Incremento en la eficacia de la seguridad pública, por medio de video-vigilancia en línea.
- Ubicación en tiempo real de vehículos y personas.

Aplicaciones

- Video-vigilancia, acceso en tiempo real a bases de datos policíacas, control remoto de dispositivos de seguridad y protección civil, alarmas, etc.

Educación y cultura

Instituciones de educación superior, escuelas rurales de los diferentes niveles educativos, tele-secundarias, las diferentes asociaciones así como todas las dependencias responsables de difusión y fomento cultural.

Beneficios

- Mejoras en los programas educativos, tanto en contenidos como en la disponibilidad de los mismos.
- Mayor interacción en el proceso enseñanza-aprendizaje.

Aplicaciones

- Tele-educación, educación superior a distancia o semipresencial, videoconferencias.

Salud

Centros médicos rurales-municipales, centros hospitalarios y asistencia, paramédicos, cruz roja, unidades móviles de atención y diagnóstico, centros de salud, centros de asistencia social y rehabilitación, organismos que proporcionan asistencia médica.

Beneficios

- Atención y detección de enfermedades, detección y control de epidemias.
- Servicios médicos especializados a distancia y en tiempo real.

Aplicaciones

- Tele-medicina en sitios fijos y en vehículos bajo la modalidad nómada (semifijo), interconexión de centros de salud, acceso a bases de datos con información sobre enfermedades.

Telefonía rural

Habitantes de localidades rurales que carecen de este servicio.

Beneficios

- La red permitirá cursar llamadas telefónicas, por lo que podrá ser concesionado a particulares que deseen proveer el servicio.

Aplicaciones

- Comunicación e interacción de las redes humanas, para el bienestar de las familias y las comunidades.

Turismo-Hotelería

Hoteles, Hospedajes, Restaurantes, Centro de recreación y esparcimiento, Operarios de Baños termales, etc.

Beneficios

- La red permitirá brindar servicio de internet con calidad de servicio a los turistas para que estos decidan quedarse más tiempo y a su vez vuelvan en otras oportunidades.

Aplicaciones

- Coexistencia de WiMAX con Wifi en hoteles, restaurantes y baños termales para el bienestar del turista y esto genere mayores ingresos a los pobladores

Promoción económica

Empresas de todos los tamaños, agro-industria, turismo, minería, entre otras que en la actualidad se encuentran rezagadas en materia de comunicación.

Beneficios

- Acceso a internet y redes privadas para la iniciativa privada mediante concesiones a terceros.

Aplicaciones

- Mediante el acceso a internet, generar oportunidades para las empresas.

Centros comunitarios

Centros comunitarios actuales y nuevos que no tengan acceso a este sistema.

Beneficios

- Mayor penetración de la banda ancha.
- Inclusión digital y desarrollo en servicios digitales.

Aplicaciones

- Banda ancha para los actuales y nuevos centros comunitarios de acceso a internet de educación continua y educación a distancia.

3.2 *Determinación de la demanda*

De acuerdo a datos estadísticos realizados a grandes escalas por algunos operadores, se sabe que la penetración de servicio de internet en el Perú aun no llega al 20% de la población. En el segundo trimestre de 2012, el 35,0% de los hogares de Lima Metropolitana dispone de conexión, cifra mayor en 5,1 puntos porcentuales a la registrada en similar periodo del año pasado.

Asimismo, la cobertura alcanzó al 18,1% de los hogares del resto urbano y al 0,7% de los hogares del área rural, lo que representó alzas de 2,2 y 0,1 puntos porcentuales, respectivamente.

A continuación las siguientes graficas muestran como están actualmente los pueblos rurales con referencia a los servicios de telecomunicaciones:

A continuación dos gráficos que nos muestra en panorama actual de las telecomunicaciones en zonas rurales:

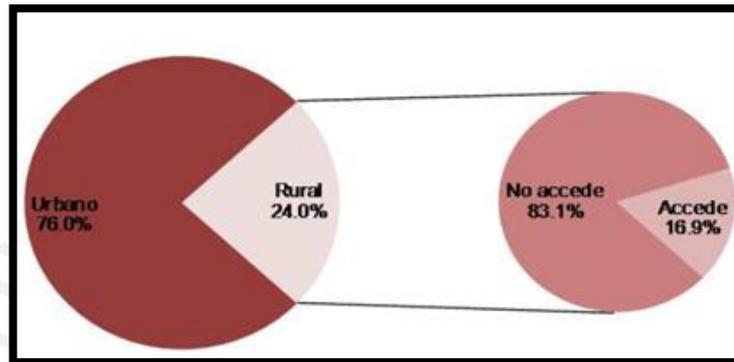


FIGURA 3-1: BRECHA DE ACCESO A SERVICIO DE DATOS
FUENTE: “OSIPTEL” [OSI2012]

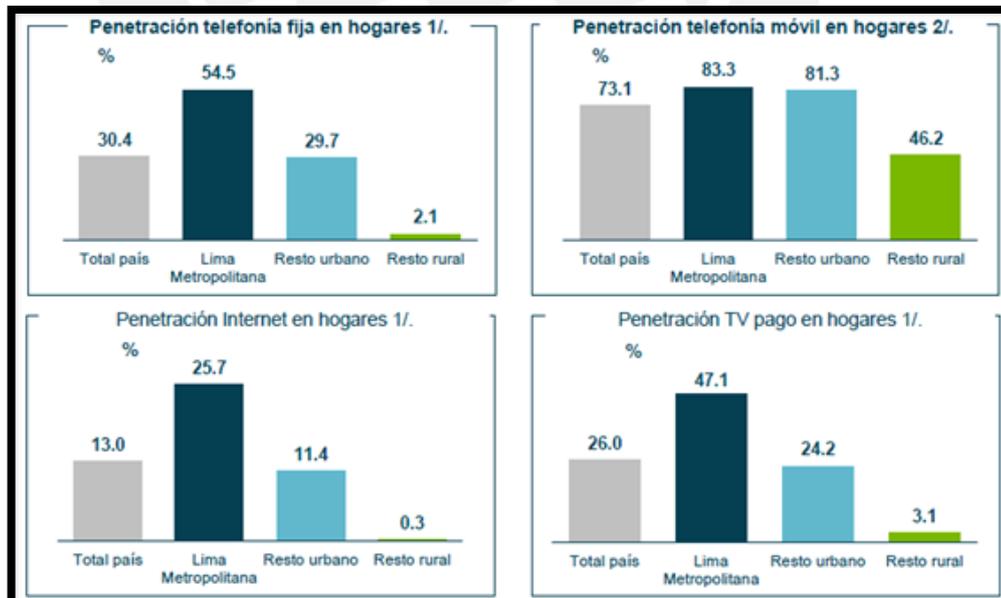


FIGURA 3-2: Penetración de servicios de telecomunicaciones en el País

FUENTE: “OSIPTEL” [OSI2012]

Con la presente tesis se proyecta a aumentar estos índices de penetración en hogares y empresas del sector rural, por lo que analizaremos a los futuros clientes tanto de los pobladores del lugar como los turistas, para lo cual se realiza una cuantificación por años para hallar posteriormente el índice de penetración de los servicios a brindar.

Del análisis realizado en el primer capítulo, se tomara los datos referidos a la población en el año actual como también la proyección al 2020.

TABLA 3-1: POBLACION DE CHURÍN EN EL TIEMPO
FUENTE: “ELABORACION PROPIA”

| Churín | Población proyectada |
|--------|----------------------|
| 2012 | 2137 |
| 2013 | 2191 |
| 2014 | 2245 |
| 2015 | 2302 |
| 2016 | 2359 |
| 2017 | 2418 |
| 2018 | 2479 |
| 2019 | 2540 |
| 2020 | 2604 |

Tasa de crecimiento promedio anual 2.5

Como se mencionó anteriormente, también se consideran los turistas, para ello se tiene una tabla la afluencia de turistas a las aguas termales (atractivo turístico principal del valle), como se resume en la TABLA 1-9. La afluencia de turistas es importante, ya que los potenciales clientes serían los hospedajes, restaurantes y las mismas fuentes termales.

Otro factor importante para el análisis de la demanda es la población económicamente activa, según el censo de nacional de población realizado el 2005;

la PEA Ocupada del Distrito de Pachangara era aproximadamente del 40% de la población total, valor porcentual que se considerara para la estimación del mercado meta WIMAX.

Se considerará un mercado meta para la banda ancha en Churín igual al 70% de la población económicamente activa actual. Se estima que al finalizar el proyecto se lograra un 54.5% del mercado de la banda ancha. La siguiente tabla nos muestra el mercado meta WIMAX para el proyecto.

**TABLA 10: MERCADO META WIMAX
FUENTE: “ELABORACION PROPIA”**

| Parámetros | Población |
|---------------------------------|-----------|
| PEA Ocupada | 877 |
| Mercado Meta Banda Ancha | 526 |
| Mercado Meta WiMAX | 286 |

Considerando las cifras de la tabla anterior, se estima que la red de acceso WiMAX brindará servicio de banda ancha a 286 usuarios a mediano o a largo plazo. Cabe resaltar, que debido a la afluencia promedio mensual de 12500 turistas a Churín; los que requerirán mayor ancho de banda serán los negocios turísticos: hoteles, restaurantes, baños termales; además de la municipalidad distrital, la comisaria y oficinas de las diversas mineras aledañas al pueblo. Esta información es importante para el cálculo de estaciones base necesaria, lo cual se analiza en el capítulo 4.

3.3 Oferta de servicios

Como el objetivo de la tesis es brindar los servicios de internet en Churín, se debe realizar un análisis acerca de la cuantificación por años de acceso a internet y lo que se va a cobrar por dichos servicios, a través de diversos planes, ya que no todos tienen la misma necesidad de ancho de banda. Solo con motivo de realizar una comparación simple: el ancho de banda requerido por un hotel no será el mismo ancho de banda requerido por un hogar constituido de cuatro personas, y a

su vez este ancho de banda no es el mismo requerido por una minera aledaña al pueblo.

Por tal motivo deben existir planes que se adecuen a la economía local y no ahuyenten a la población e inversión, a su vez se necesitará como involucrados a instituciones que apoyen a la disminución de la brecha digital, tales como FITEL; el cual puede proveer los gastos de infraestructura y concesionarlo a un operador para que brinde el servicio.

Se piensa implementar servicios diferenciados bajo contrato, que consiste en dos planes de servicios de datos WIMAX, teniendo en cuenta la modalidad de contrato anual. Básicamente estos planes están pensados en ofrecerle al cliente servicios de mayor flexibilidad al momento de interactuar con la web, a su vez que sienta la satisfacción de navegar a velocidad de banda ancha.

Como característica en los 2 planes se contara con la navegación ilimitada en internet a velocidades altas (500kbps como mínimo). Dicho ellos se presentan los planes propuestos:

PLAN BÁSICO

Este plan cuenta con las características mostradas en la siguiente tabla:

TABLA 3-3: CARACTERISTICAS DEL PLAN BASICO
FUENTE: “ELABORACION PROPIA”

| TIPO DE PLAN | Acceso a Internet | Tarifa Mensual |
|-----------------|-------------------|----------------|
| BÁSICO 1 | 500 Kbps | 40 |
| BÁSICO 2 | 1000 Kbps | 60 |
| BÁSICO 3 | 1500 Kbps | 70 |

PLAN EMPRESAS

Este plan cuenta con las características mostradas en la siguiente tabla:

**TABLA 3-4: CARACTERISTICAS DEL PLAN EMPRESAS
FUENTE: “ELABORACION PROPIA”**

| TIPO PLAN | Acceso a Internet | TARIFA (USD) |
|-------------------|-------------------|--------------|
| EMPRESAS 1 | 2 Mbps | 85 |
| EMPRESAS 2 | 4 Mbps | 100 |
| EMPRESAS 3 | 6 Mbps | 120 |
| EMPRESAS 4 | 10 Mbps | 200 |

A continuación, se presenta la tabla con el porcentaje de clientes por plan, este porcentaje se asume que será el mismo año por año, para el cálculo de ingresos en el capítulo 5.

**TABLA 3-5: PORCENTAJES POR TIPO DE CLIENTES AFILIADOS
FUENTE: “ELABORACION PROPIA”**

| Tipo de plan | Porcentaje |
|------------------|------------|
| Básico 1 | 28% |
| Básico 2 | 17% |
| Básico 3 | 17% |
| Empresa 1 | 11% |
| Empresa 2 | 11% |
| Empresa 3 | 9% |
| Empresa 4 | 7% |

Obs: La tabla anterior fue pensada teniendo en cuenta el tipo de establecimientos que existe el lugar y poniéndonos en el mejor escenario posible para el despliegue de nuestra red.



Capítulo 4: Ingeniería del Proyecto

Una vez realizado el estudio de mercado, identificar los usuarios potencial y haber descrito los tipo de servicios a ofrecer; en el presente capitulo se mostrara el diseño de la red para el valle de Churín y el pueblo de Huancahuasi y las consideraciones que involucra diseñar la red de acceso y la red de transporte; asimismo se analizara la infraestructura del proyecto así como las especificaciones técnicas que tendrá dicho proyecto.

4.1 *Diseño de la red*

En el desarrollo de diseño de la red, se han considerado conceptos de manuales y brochures de fabricantes como Alvarion, Alcatel Lucent, Huawei, Nec, Andrew, RFS; los cuales se consideraron como referencia para ver el funcionamiento de la tecnología WiMAX, además para considerar parámetros de rendimiento y diseño específicos en los productos WiMAX a utilizar. También se

consultó documentos publicados por el WIMAX Forum, OSIPTEL y el Ministerio de Transportes y Comunicaciones para verificar la distribución de frecuencias para la tecnología WIMAX en el Perú.

4.1.1 Determinación de Estaciones Base y Repetidoras

La red será dimensionada para soportar a los usuarios en la hora cargada (Busy Hour), por tal motivo, primero es necesario fue necesario una estimación del mercado inicial realizado en el capítulo anterior (286 usuarios), para después determinar cuántos de estos usuarios estarán conectados al mismo tiempo en la hora cargada.

Luego de determinar el mercado, se procede a realizar una repartición de los usuarios entre los diferentes planes Básicos o Empresas, para posteriormente calcular el Throughput total que deberá soportar la red. Estos objetivos solo se podrán lograr con una gran campaña publicitaria por parte del operador, en la siguiente tabla se muestra los clientes al 5to año de implementar el servicio, según los porcentajes por plan estimados en el capítulo 3.

**TABLA 4-1: ESTIMACION DE CLIENTES AL QUINTO AÑO
FUENTE: “ELABORACION PROPIA”**

| | |
|----------------------------|------------|
| Cliente Potenciales | 286 |
| Cientes Básico 1 | 80 |
| Cientes Básico 2 | 50 |
| Cientes Básico 3 | 51 |
| Cientes Empresas 1 | 30 |
| Cientes Empresas 2 | 30 |
| Cientes Empresas 3 | 25 |
| Cientes Empresas 4 | 20 |

Si se realiza el diseño de la red asumiendo que todos estos usuarios se conectaran al mismo tiempo en la hora cargada, estaría cometiendo un error debido a que en la

realidad solo un porcentaje de estos lo hace. Por tal motivo, es preciso determinar un porcentaje óptimo de tal manera que en tiempo de saturación la red pueda soportar a todos los usuarios calculados sin desperdiciar tantos recursos y asegurando la necesidad de satisfacción de los clientes.

Según los expertos, una concentración recomendable de usuarios en la hora cargada es de 30% (para datos plan Básico), y 60%(para datos plan Empresas). Conociendo las velocidades de transmisión de los diversos planes y a los usuarios conectados en la hora crítica (HC), se obtiene finalmente el throughput.

TABLA 11: USUARIOS EN LA HC – THROUGHPUT TOTAL
FUENTE: “ELABORACION PROPIA”

| Planes | Usuarios | Usuarios | Velocidad | Throughput |
|-------------------|-----------|----------|-----------|--------------|
| | Afiliados | HC | Ofrecida | Total (Mbps) |
| Básico 1 | 80 | 24 | 0.5 Mbps | 12 |
| Básico 2 | 50 | 15 | 1 Mbps | 15 |
| Básico 3 | 51 | 15 | 1.5 Mbps | 22.5 |
| Empresas 1 | 30 | 18 | 2 Mbps | 36 |
| Empresas 2 | 30 | 18 | 4 Mbps | 72 |
| Empresas 3 | 25 | 15 | 6 Mbps | 90 |
| Empresas 4 | 20 | 12 | 10 Mbps | 120 |

Throughput total = 367.5 Mbps

El throughput máximo que brindara una estación base de la red de acceso empleando la tecnología WIMAX dependerá del ancho de banda del canal utilizado. Para un correcto dimensionamiento de la red se aplica un overbooking de 1:1 asegurando a nuestros clientes el 100% del ancho de banda contratado. Las estaciones base que irradian el servicio serán del fabricante Alvarion, y tienen una capacidad de 432 Mbps por 6 sectores (las especificaciones de este equipo se

analizan luego con mayor detalle). Para este diseño se utilizara solo el 90% de capacidad de transmisión como máxima en cada BTS, de modo que no estén operando bajo stress.

$$\text{Capacidad x BTS} = 432 \text{ Mbps} \times 90\% = 388.4 \text{ Mbps}$$

Además se analizó la zona geográfica, distancias y cobertura que tendría nuestra red, comenzando desde el NOC ubicado en Oyón hasta llegar, por enlaces microondas a través de las estaciones repetidoras, a la estación base WIMAX ubicado muy cerca del centro del pueblo de Churín determinándose, con ayuda de la herramienta de software Google Earth y del cálculo anterior, que sólo era necesaria una estación base y tres estaciones repetidoras para dar cobertura a todos los establecimientos y servicios que ofrecerá nuestra red. Las siguientes figuras muestran la red desplegada que permitirá brindar todo tipo de servicios a los turistas nacionales y extranjeros:



FIGURA 4-1: Estación Base WIMAX para el valle de Churín
FUENTE: "ELABORACION PROPIA"

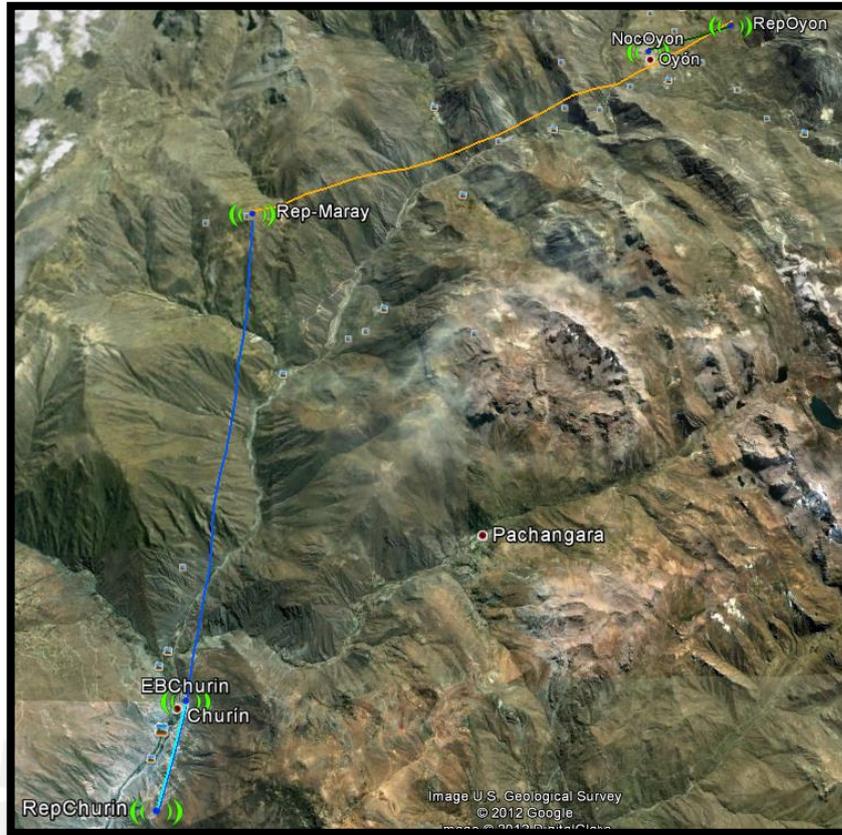


FIGURA 4-2: Red desplegada para el valle de Churín
FUENTE: “ELABORACION PROPIA”

TABLA 4-3: GEO REFERENCIA DE LAS ESTACIONES DE LA RED
FUENTE: “Google Earth”

| | Latitud | Longitud |
|-------------------|---------------|---------------|
| EB-Churín | 10°48'40.88"S | 76°52'28.91"O |
| E.R Churín | 10°49'56.40"S | 76°52'37.67"O |
| E.R Maray | 10°42'40.78"S | 76°51'44.27"O |
| E.R Oyón | 10°39'50.59"S | 76°45'14.97"O |
| NOC/POP | 10°40'4.02"S | 76°46'23.32"O |

4.1.2 Frecuencias utilizadas en el proyecto

En el Perú se establece legalmente que en la banda comprendida entre 3.4 GHz y 3.6 GHz –atribuida a título primario para la prestación de servicios públicos de telecomunicaciones usando sistemas de acceso fijo inalámbrico- solo se podrá asignar un ancho de espectro de 50 MHz por operador en cada localidad, estando dicho rango de frecuencias dividido en 8 bloques de 25 MHz cada uno [VAL2011].

En vista que la tecnología WiMAX pertenece dentro de este rango de frecuencias, se dispondrá del uso y asignación de los bloques para este proyecto según el esquema siguiente:

| | | | | | | | | |
|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| A | B | C | D | E | F | G | H | |
| 3400 | 3425 | 3450 | 3475 | 3500 | 3525 | 3550 | 3575 | 3600 |

Se tiene un total de 8 bloques (de A hasta H inclusive) de 25 MHz cada uno.

FIGURA 4-3: División de la banda de frecuencias de 3400 MHz a 3600 MHz
FUENTE: “OSIPTEL” [OSI2012]

A continuación se muestra el cuadro con la asignación de los bloques entre las operadoras.

TABLA 12
FUENTE: “MTC” [MTC2010]

| Empresa | Banda | Área de Asignación |
|----------------------------|-------|--|
| Telefónica del Perú | B-F | Nivel Nacional |
| Milicom Peru S.A | A-E | Dptos: Lima, Ancash, Arequipa, Ica, La libertad, Lambayeque, Piura y Tacna |
| Americatel Peru | C-G | Dptos: Lims y Callao, Arequipa, Ica, La libertad y Lambayeque |

| Empresa | Banda | Área de Asignación |
|------------------------|-------|---|
| Telmex Peru S.A | D-H | Provincias: Lima, Callao, Arequipa, Cajamarca, Cusco, Trujillo, Chiclayo, Maynas, Piura |

Se puede apreciar que la banda está completamente asignada entre cuatro operadores, sin embargo para efectos de diseño de este proyecto y debido a que está orientado a que una operadora brinde los servicios mencionados en la presente tesis asumiremos que los canales A y E se encuentran libres.

Se utilizarán canales de 3.5 MHz empleando la técnica de duplexaje FDD (Frequency Division Multiplexing) de manera que se obtienen 7 portadoras para el UL (Uplink) y otras 7 para el DL (Downlink); además la separación entre los canales del UL y DL serán de 100 MHz.

TABLA 13
FUENTE: “ELABORACION PROPIA”

| Frecuencias | Frecuencias (MHz) | |
|-------------|-------------------|--------|
| Nº Canal | UL | DL |
| 1 | 3402 | 3502 |
| 2 | 3405.5 | 3505.5 |
| 3 | 3409 | 3509 |
| 4 | 3412.5 | 3512.5 |
| 5 | 3416 | 3516 |
| 6 | 3416.5 | 3519.5 |
| 7 | 3423 | 3523 |

Debido al uso de una estación base para brindar el servicio, esta celda contará con 6 sectores de los cuales se tendrán un par de frecuencias por sector. Para la sectorización de frecuencias se recomienda espaciar por pares separados para

evitar posibles problemas de interferencia entre antenas cercanas. En la siguiente tabla se muestra la distribución de pares de frecuencia por sector.

TABLA 14
FUENTE: “ELABORACION PROPIA”

| DISTRIBUCION DE FRECUENCIAS | | FRECUENCIAS | |
|-----------------------------|--------------|-------------|--------|
| Nº Canal | Sector | UL | DL |
| 1 | Sector 1 – 4 | 3402 | 3502 |
| 2 | Sector 2 - 5 | 3405.5 | 3505.5 |
| 3 | Sector 3 - 6 | 3409 | 3509 |
| 4 | Sector 1 – 4 | 3412.5 | 3512.5 |
| 5 | Sector 2 - 5 | 3416 | 3516 |
| 6 | Sector 3 - 6 | 3416.5 | 3519.5 |
| 7 | ----- | 3423 | 3523 |

4.1.3 Estructura general de la red

La infraestructura de la red tendrá sus raíces en el NOC, en el cual estará ubicada la cabecera o estación en enlace principal de microondas de nuestra red, es decir Oyón (Capital de la provincia de Oyón).

Es importante describir por qué se escoge Oyón como la raíz de nuestra red planteada; para determinarlo como POP (Punto de presencia del proveedor de servicios) se basó en la red dorsal de fibra óptica, la cual permitirá establecer servicios de banda ancha rural. Oyón figura como uno de los puntos por donde la red dorsal de fibra óptica pasara; en la figura 4-4 se corroborará esta información:

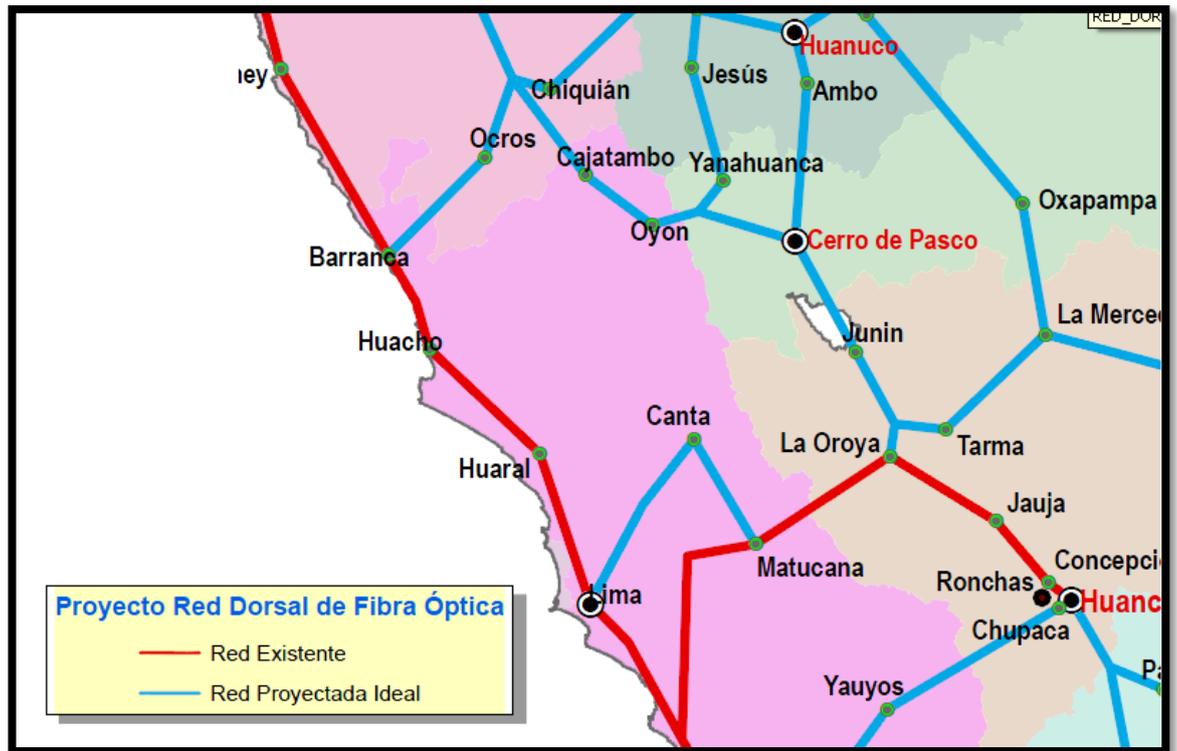


FIGURA 4-4: Red Dorsal de Fibra Óptica

FUENTE: "MTC"[2012]

Al ser Oyón parte del proyecto de Red Dorsal de Fibra Óptica, permite realizar el proyecto y brindar servicios de banda ancha rural; además como esta red dorsal pasará por la capital de provincia se establece un punto de presencia de un proveedor de servicios (POP), esto sumado a la solución por microondas para disminuir notablemente los costos de implementación para los demás pueblos. Churín, en el caso de la tesis; y permite la reducción de la brecha digital existente y la rentabilidad, que se analizara en el capítulo 5, para poder implementar un servicio de esta magnitud.

Oyón cuya ubicación tiene como coordenadas: Latitud: 10°40'09", Longitud: 76°46'22", desde donde partirán las conexiones necesarias para la Internet y la PSTN (Red Pública de Telefonía Conmutada), cuya estructura se muestra a continuación:

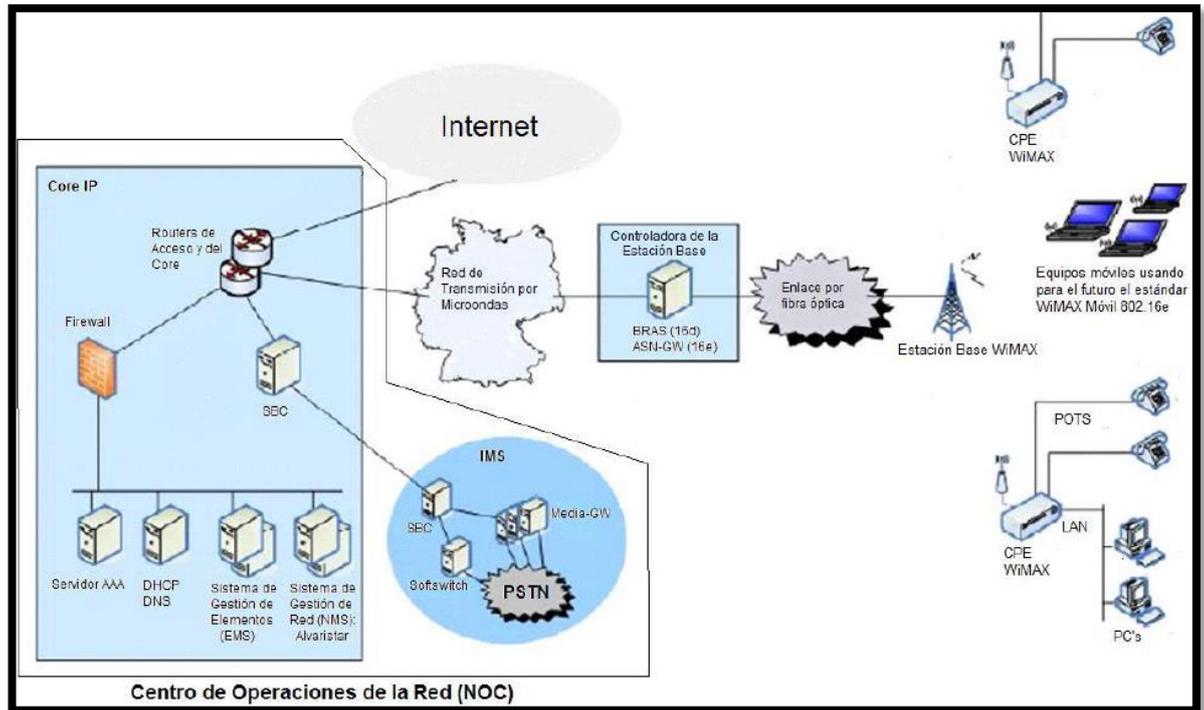


FIGURA 4-5: Estructura de la red WIMAX del Proyecto
FUENTE: "TESIS" [NEY2010]

En este esquema, muy aparte de la red de acceso y transporte de nuestra red, se toma en cuenta al NOC que estará compuesto del Core IP y del IMS (IP Multimedia Subsystem), como conocimiento IMS es una plataforma que permitirá la convergencia de los servicios de telecomunicaciones a ofrecer; aclarando que en un entorno real el operador ya cuenta con estos elementos de red, se describirán a continuación de manera general los componentes básicos del NOC/POP.

Los equipos que componen el core IP son: un Router de acceso hacia el proveedor de servicios, un router Gatekeeper (enrutador de paquetes IP y llamadas telefónicas TDM desde la PSTN hacia nuestra red y viceversa) de acceso al core y a la red de transmisión por microondas de nuestra red, un firewall para la seguridad contra intrusos, un servidor AAA para la autenticación, autorización y contabilidad de los servicios de telecomunicaciones ofrecidos a los clientes; un servidor DHCP y DNS para la asignación de direcciones dinámicas IP y el sistema de traducción de dominios Web; un servidor para el Sistema de Gestión de Elementos (EMS) para gestionar el desempeño y fallo de los aumentos futuros de tráfico, de clientes y de

equipos en nuestra red; un servidor para el sistema de gestión de Red(NMS) del fabricante Alvarion cuyo software se llama AlvariSTAR (ver anexo 1) y que será usado para el monitoreo y configuración de las estaciones base y equipos terminales WiMAX del mismo fabricante; y por ultimo un equipo SBC(Session Border Controller) de salida del core IP para la conexión IMS, donde el SBC permite la interoperabilidad entre los servicios de voz, video y de multimedia sobre una sola plataforma de red IP basado en el protocolo de comunicación SIP (Session Initiation Protocol), el cual hace posible la conexión con la red IMS para brindar mayor seguridad y control a los servicios de telefónica centralizados en el softswitch y el Media-GW.

Los equipos que componen el IMS, pensado para ofrecer a los clientes finales un rango de servicios heterogéneos como servicios de voz clásicos y servicios Web, son: un equipo SBC (Session Border Controller) de entrada para la conexión con el Core IP; un equipo softswitch para el control de llamadas (señalización y gestión de servicios), procesamiento de llamadas y otros servicios, para transportar voz (VoIP), datos y multimedia sobre redes IP, el cual es un conmutador PBX por software que enrutará las llamadas de telefonía IP vía el protocolo SIP hacia la PSTN con conexiones de E1 (30 canales de voz); y por último un Media-GW (llamado también Access Gateway) usado como interface con la red de circuitos PSTN mediante conexiones de E1, que serán enrutados por el Router Gatekeeper de nuestra red para llamadas telefónicas TDM

La red de Trasmisión por Microondas que alberga al enlace de microondas desde la estación cabecera principal hasta la controladora de la estación base WiMAX, donde se colocarán las tarjetas de interface de expansión de ancho de banda de nuestra red y dependiendo del estándar utilizado se llaman BRAS para el 802.16d y ASN-GW para el 802.16e, que con solo una actualización del software (upgrade) se pasa del estándar 16d al 16e; así llegamos a la torre de la estación base WiMAX en donde se ubican los ODU BreezeMAX y las antenas sectoriales; y por último, tenemos a los equipos terminales WiMAX (CPE), que tienen interfaces Ethernet para redes LAN e interfaces POTS (Plain Old Telephone Service) para los teléfonos convencionales analógicos de voz. Se colocaron equipos móviles (laptops, PDA's) que incluyen interfaces WiMAX pues en el futuro los clientes pueden requerirlos y con solo una actualización del software de nuestra estación

base se puede pasar al estándar 16e y satisfacer las necesidades de movilidad de los mismos. [NEY2010]

4.2 *Calculo de radio propagación*

En esta parte del capítulo se desarrolla los cálculos de propagación entre las estaciones relacionadas al proyecto, este análisis es un factor importante para poder conocer el alcance y la cobertura que tendrá la estación base WIMAX en el Valle de Churín sobre los usuarios establecidos como potenciales clientes (Red de Acceso); así como la calidad del enlace entre estaciones repetidoras, NOC y la estación base WIMAX (Red de Transporte)

Cabe resaltar, que el modelo de propagación utilizado es el Irregular Terrain Model (ver Anexo 3). El software RadioMobile usa ese modelo para realizar las simulaciones

4.2.1 Red de transporte

La red de transporte tiene como función de interconectar las diferentes estaciones base que han sido desplegadas. Esto se logrará mediante enlaces de microondas punto a punto, razón por la cual se analizará los cálculos de pérdidas en el espacio libre.

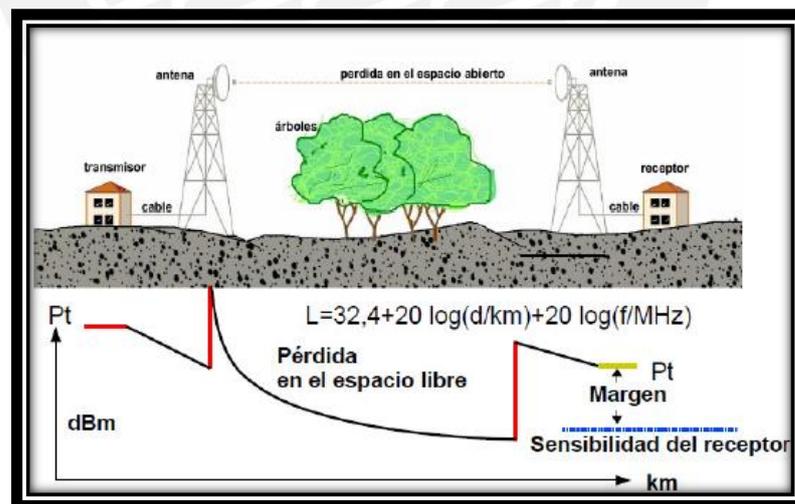


FIGURA 4-6: Elementos de un radioenlace Punto a Punto
FUENTE: "WIMAX FORUM" [WMX2012]

La red de transporte del proyecto estará conformada por el enlace microondas de alta frecuencia que unirá el NOC con la estación base, además de usar repetidores conforme a la distancia para lograr obtener una calidad óptima de la señal que permita brindar los servicios descritos, esto se ve reflejado en el análisis con el software Radio Mobile que se ve luego. Este software es gratuito y se encuentra disponible vía web.

Para realizar nuestros enlaces se analizan las consideraciones de Fresnel y la sensibilidad del receptor.

- **Sensibilidad del receptor:**

La sensibilidad del receptor mínima se calcula aplicando la siguiente fórmula.

$$Prx(dBm) = Ptx + Gtx + Grx - LRF - L$$

Siendo:

Prx: Potencia de recepción (dBm)

Ptx: Potencia de transmisión (dBi)

Grx: Ganancia de la antena receptora (dBi)

LRF: Perdidas de RF (dB). Por motivos prácticos 2.5 dB.

L: Perdidas en espacio libre.

El valor hallado debe ser mayor que la sensibilidad del receptor.

- **Zona de Fresnel:**

La zona de Fresnel tal como fue explicada en el capítulo 1 es un concepto muy importante ya que nos va determinar la zona libre de obstáculos que hay que considerar en un enlace microonda punto a punto, además de la línea de vista entre las antenas transmisoras y receptora.

$$r_n = \sqrt{\frac{n\lambda d_1 d_2}{d}}$$

r_n = Es el radio de la enésima zona de Fresnel.

d_1 = Es la distancia del transmisor al obstáculo.

d_2 = Es la distancia desde el obstáculo al receptor.

d = Es la distancia total del enlace.

λ = La longitud de onda.

En el enlace se considera que d_1 y d_2 son iguales a $d/2$ y $n=1$ (Primera zona de fresnel).

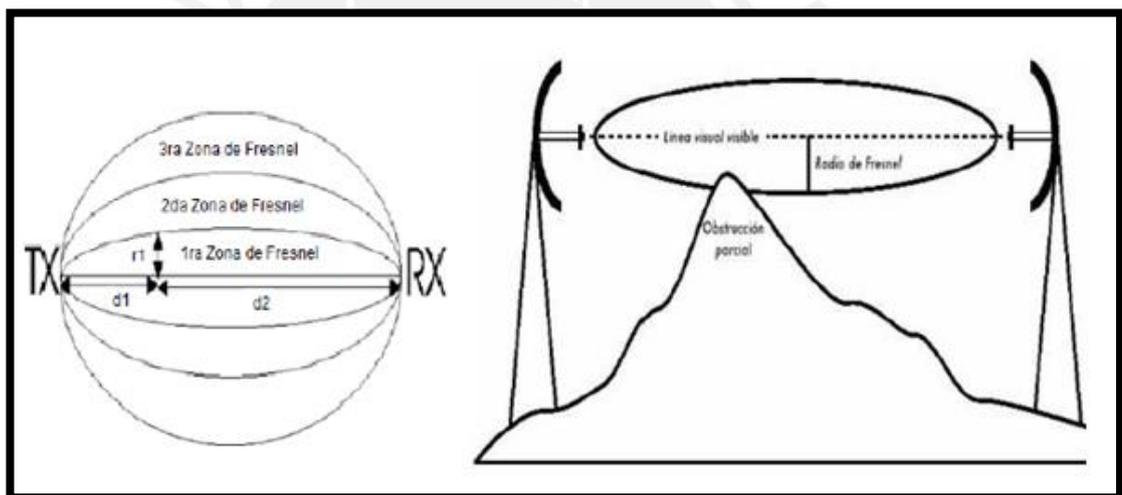


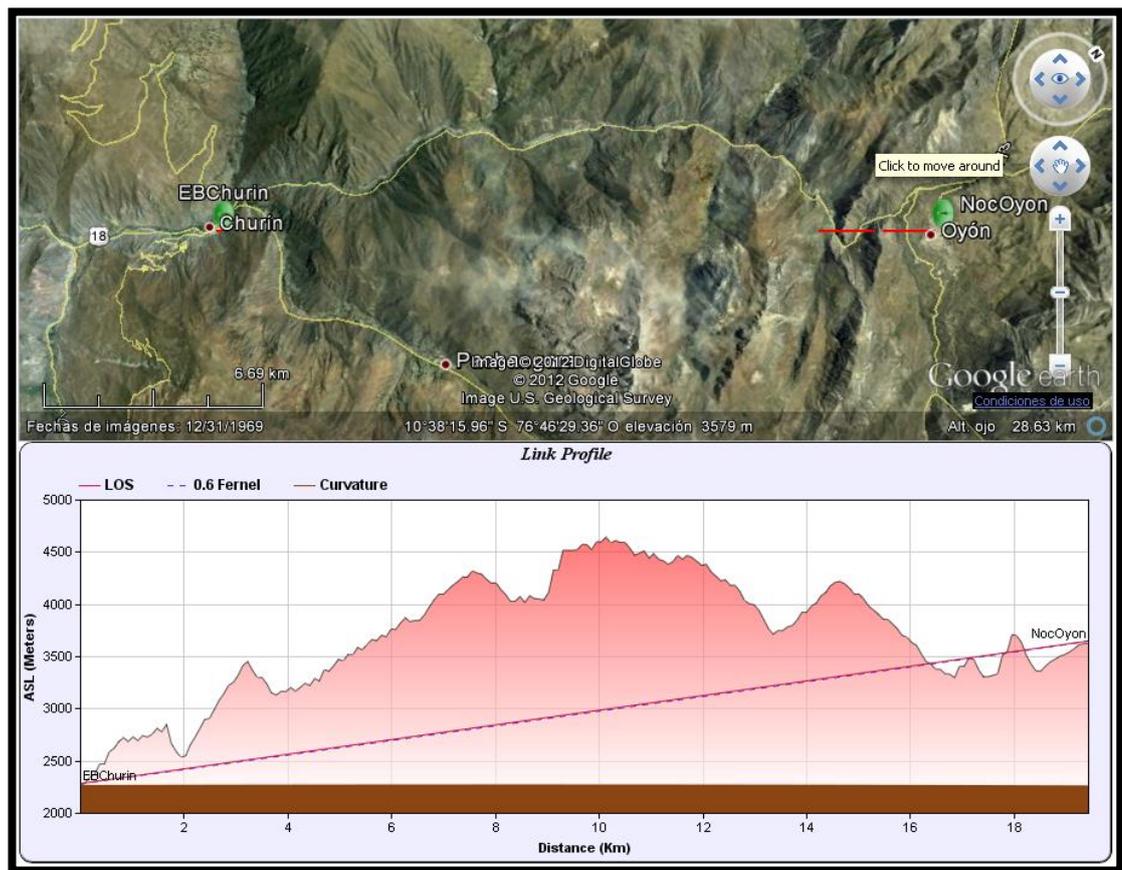
FIGURA 4-7: Zonas de Fresnel
FUENTE: "OSIPTTEL" [OSI2012]

Para realizar los cálculos de los radioenlaces, he utilizado tres herramientas importantes para tal propósito: "Google Earth", "RadioMobile" y "RadwinPlanner".

Google Earth proporciona datos exactos sobre las coordenadas, así como la ubicación de las repetidoras; ya que no se puede colocar repetidoras en lugares de difícil acceso para las personas; es por ello que la ubicación de estas fue evaluada minuciosamente con esta herramienta; tanto para su posible implementación así

como el factor social-comercial, ya que fueron ubicadas cerca a otros poblados para una futura expansión de la red, de tal manera que se pueda reutilizar la infraestructura a implementar.

Radwin Planner es una herramienta web realiza un perfil de trayecto y las posibles obstrucciones que pueden existir; esta herramienta está relacionada a Google Earth mediante se ingresen coordenadas. La siguiente figura muestra el perfil de trayecto sin repetidoras:



**FIGURA 4-8: Perfil de trayecto EBChurín-NOC/POP Oyon
FUENTE: “ELABORACION PROPIA”**

Como se aprecia en la figura corrobora lo dicho acerca de la geografía de los sectores involucrados, por lo tanto es necesario el uso de repetidoras ubicadas de manera que cumplan con un perfil de trayecto libre de obstrucciones y a su vez buscar el menor número de repetidoras para minimizar gastos de inversión.

A continuación, las siguientes figuras muestran el perfil de trayecto del proyecto con las repetidoras:



FIGURA 4-9: Perfil de trayecto RepetidoraChurín-EBChurín
FUENTE: “ELABORACION PROPIA”

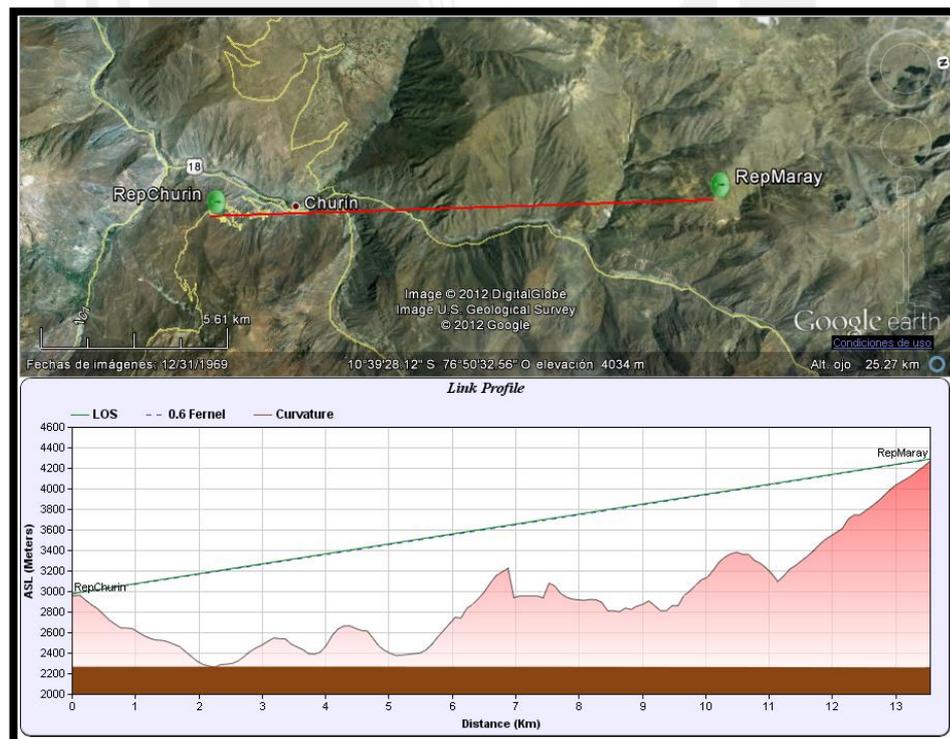
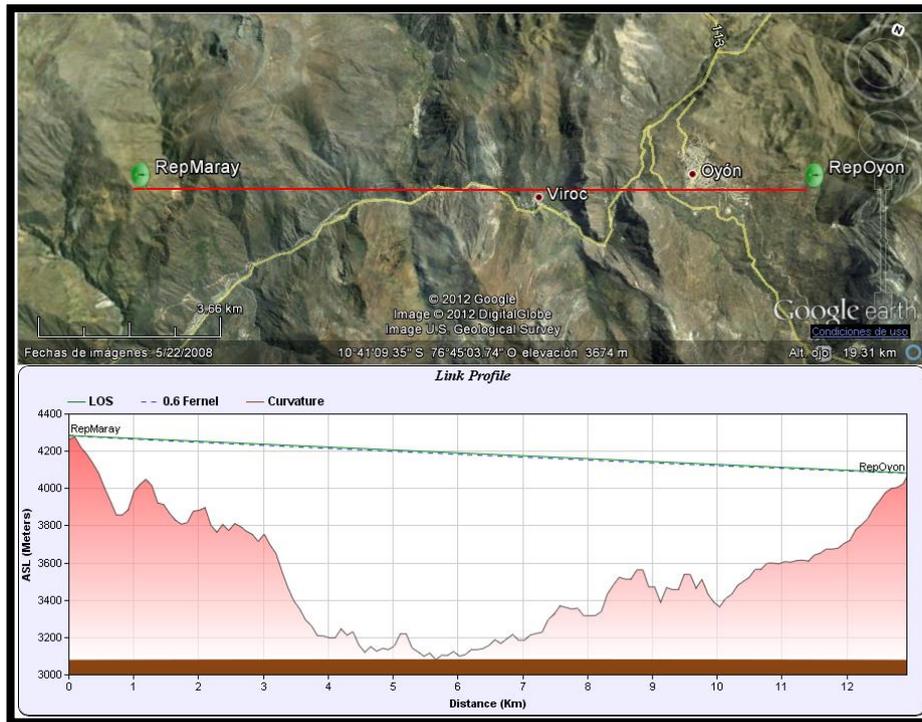


FIGURA 4-10: Perfil de trayecto RepetidoraChurín – RpetidoraMaray
FUENTE: “ELABORACION PROPIA”



**FIGURA 4-11: Perfil de trayecto RepetidoraMaray-RepetidoraOyon
FUENTE: “ELABORACION PROPIA”**



**FIGURA 4-12: Perfil de trayecto RepetidoraOyon-NOC/POP Oyon
FUENTE: “ELABORACION PROPIA”**

Teniendo como base la parte teórica de los principales cálculos de radio propagación, procederemos a utilizar el software **radio Mobile** para determinar la factibilidad del enlace de microondas entre el NOC y la estación base WIMAX, introduciendo los siguientes datos:

- La potencia de transmisión
- La ganancia de la antena transmisora
- La pérdida en los cables y conectores
- La ganancia en la antena receptora
- La sensibilidad de recepción
- Altura de la antena
- Frecuencia de operación en la que trabajan.

Los pasos a seguir para el ingreso de datos y simulación de la red de transporte en el software Radio Mobile se encuentran en el Anexo 2.

Luego de realizar los enlaces de microondas y llegar a conectar las zonas involucradas; se aprecian los siguientes valores importantes dentro de los cálculos de radio propagación:

- Las distancias entre las estaciones de cada enlace obteniendo de esta manera un total de 30 km para lograr la conectividad.
- La frecuencia de trabajo que está entre los 18 – 21 GHz; los equipos involucrados en la red de transporte se describen más adelante.
- La zona de Fresnel es mayor al 60% en todos los enlaces, por lo que existe visibilidad completa en su primera zona.
- Las pérdidas por espacio libre.
- Nivel de recepción que es mayor a la sensibilidad máxima del equipo receptor microondas que es de -68.5dBm.

4.2.2 Red de Acceso

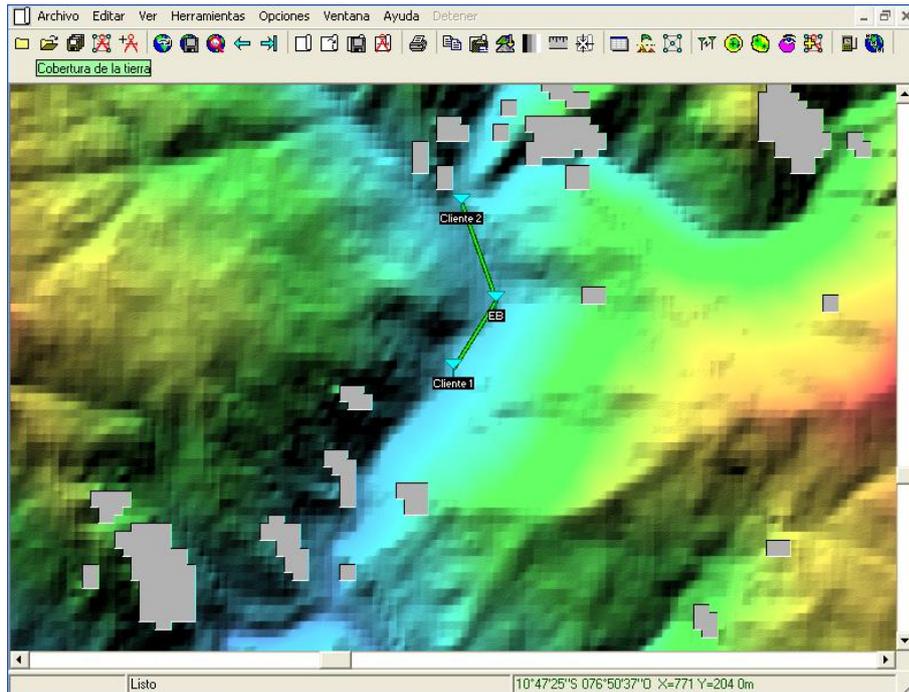
La red de acceso estará conformada por la estación base WiMAX y los equipos terminales WiMAX en cada uno de los establecimientos del proyecto. Para la red de acceso se usaran equipos pertenecientes al fabricante Alvarion, el equipo en particular que se amolda a los requerimientos del proyecto es la plataforma Breezemax 3500, y presentan soluciones tanto para equipos indoor y outdoor, los parámetros que se observan a continuación son importantes para los cálculos en el Radio Mobile

Los equipos terminales (CPE's) para los clientes de la red, serán del fabricante Alvarion, modelo CPE BreezeMAX PRO 1100 [ALV2012], que está constituido por un modem radio y una antena de exteriores de alta ganancia para la parte outdoor, mientras que para la parte indoor cuenta con un puerto de datos Fast Ethernet 10/100 Base-T.

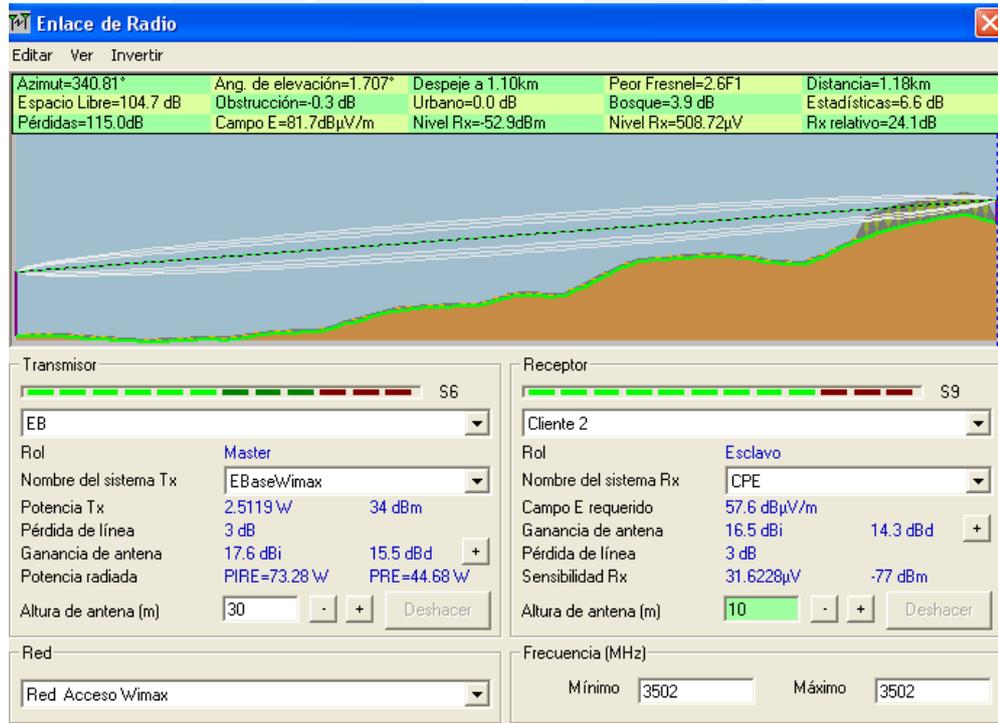
Usando nuevamente la herramienta de software RadioMobile e ingresando los datos de las características de radio de nuestra estación base WiMAX y de los equipos terminales WiMAX que tendrán los establecimientos más alejado de la estación base, se obtienen los siguientes resultado



FIGURA 4-13: Red de Acceso WiMAX con 2 clientes alejados
FUENTE: "ELABORACION PROPIA"



**FIGURA 4-14: Implementación de la red de acceso en RadioMobile
FUENTE: “ELABORACION PROPIA”**



**FIGURA 4-15: Enlace satisfactorio de DL entre la E.B Wimax y el CPE más lejano
FUENTE: “ELABORACION PROPIA”**

Se observa el enlace de color verde, indicativo de que las comunicaciones entre los equipos terminales WIMAX más lejanos y la estación base WIMAX son óptimas, con lo cual, el criterio de downlink se cumple de manera satisfactoria. También se aprecian valores muy importantes dentro de los cálculos de radio propagación:

- La distancia máxima entre la estación base y el CPE es 1.18 Km.
- La frecuencia de bajada (downlink) es de 3502 MHz.
- La zona de Fresnel es mayor al 60% en todos los enlaces, por lo que existe visibilidad completa en su primera zona.
- Las pérdidas por espacio libre son de 104.7dB.
- El nivel de recepción es de -52.9dBm, el cual es mayor a la sensibilidad máxima del equipo receptor CPE que es de -77dBm.

Para terminar la comprobación óptima y eficiente de las ubicaciones de nuestra estación base y los equipos terminales, se calculará el enlace de uplink (tráfico de subida desde el equipo terminal más alejado en distancia hacia la estación base), por la razón principal de que si una estación base desea tener mayor cobertura y tener más distancia y alcance a sus equipos terminales, sólo necesita aumentar su potencia de transmisión, lo cual es factible; en cambio un equipo terminal alejado, podrá recibir datos de la estación base, pero al no aumentar su potencia de transmisión por ser fija, no podrá enviar datos a la estación base, por lo cual el cálculo de propagación del uplink se convierte en el principal criterio de comunicaciones entre una estación base y un equipo terminal. De esta manera, los resultados obtenidos a partir del Radio Mobile se muestran en la figura 4-16:

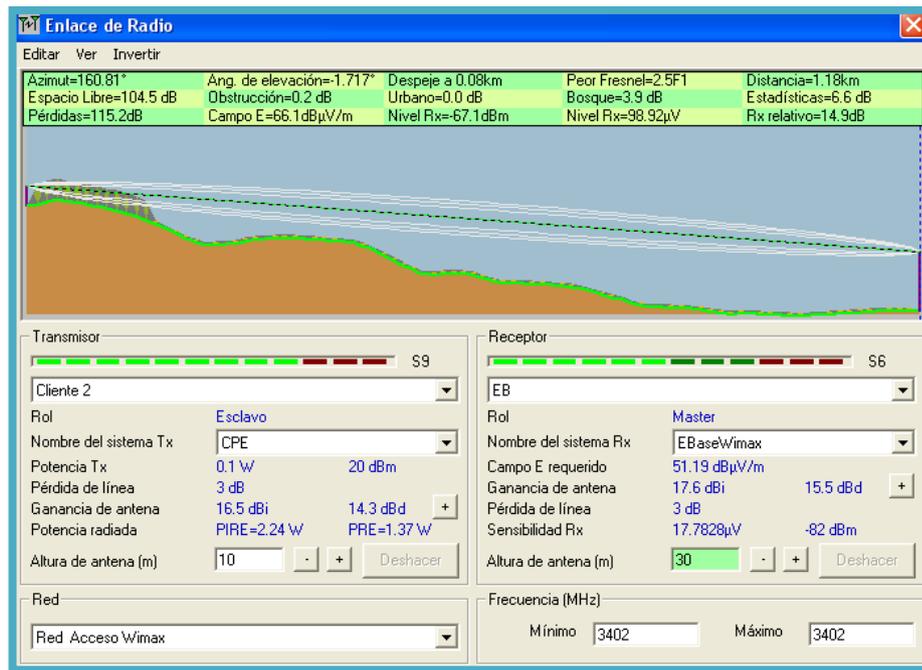


FIGURA 4-16: Enlace satisfactorio de UL entre la estación base WIMAX y el CPE más lejano
FUENTE: “ELABORACION PROPIA”

Se observa el enlace de color verde, indicativo de que las comunicaciones entre los equipos terminales WIMAX más lejanos y la estación base WIMAX son óptimas, con lo cual, el criterio de downlink se cumple de manera satisfactoria. También se aprecian valores muy importantes dentro de los cálculos de radio propagación:

- La distancia máxima entre la estación base y el CPE es 1.18 Km.
- La frecuencia de bajada (downlink) es de 3402 MHz.
- La zona de Fresnel es mayor al 60% en el enlace, por lo que existe visibilidad completa en su primera zona.
- Las pérdidas por espacio libre son 104.5dB.
- El niveles de recepción es de -67.1dBm; el cual a la sensibilidad máxima del equipo de la estación base que es de -82dBm.

4.3 Especificaciones técnicas del proyecto

4.3.1 Equipamiento para la red de Acceso

Estación Base

Actualmente existe una gran variedad de empresas dedicadas a la implementación a los sistemas inalámbricos, por lo cual se han tomado en cuenta 2 de las más reconocidas marcas a nivel internacional, las cuales son: Alvarion y Huawei. [ALV2012]

TABLA 15
FUENTE: "ELABORACION PROPIA"

| Especificaciones | ALVARION | HUAWEI |
|-----------------------------|--------------------|---------------|
| Modelo | BreezeMax 3500 | BTS3706 |
| Banda de frecuencias | 2.3, 2.5 y 3.5 GHz | 2.5 y 3.5 GHz |
| Potencia Tx | 34 dBm | 25 dBm |
| Sensibilidad Rx | -80 dBm(QAM64) | -96 dBm(QPSK) |
| Capacidad | 432Mbps | 180-360 Mbps |

Se puede observar claramente que la estación con mayor capacidad es el perteneciente a la plataforma BreezeMax 3500 de Alvarion. Esta plataforma WIMAX cuenta también con equipos a nivel de usuario (CPE's) y tiene un alcance aproximado de 30 Km de radio; y como plus adicional es utilizado por operadores a nivel nacional para su red WIMAX, motivos por los cuales será elegido.

El inventario de equipos de la estación base BreezeMax 3500 cuenta con los siguientes equipos:

- 1 Shelf
- 4 Power Supply Unit
- 2 Network Processor Unit
- 2 Power Interface Unit

- 6 Indoor Unit (IDU)
- 4 Power Feeder
- 12 Outdoor Unit (ODU)

Adicionalmente, cabe mencionar que se usaran 6 antenas del fabricante Andrew que operan en la banda de 3400 MHz a 3600 MHz, que tiene una ganancia de antena de 15.5 dBd, son sectoriales de 60° y polarización vertical.

Equipos Terminales

Para los equipos terminales o CPE's se empleara también la tecnología WIMAX IEEE802.16d fijo, cuyos elementos son los siguientes: [ALV2012]

TABLA 16
FUENTE: "ELABORACION PROPIA"

| Especificaciones | ALVARION |
|-----------------------------|------------------------|
| Modelo | CPE BreezeMax PRO 1100 |
| Banda de frecuencias | 3400 MHz a 3600 MHz |
| Potencia de Tx | 20dBm |
| Polarizacion | Vertical |
| Ganancia de antena | 14.35 dBd |
| Sensibilidad de Rx | -77dBm |

Como elemento opcional se puede emplear el Voice Gateway IDU-1DV1, que se conecta al componente IDU del CPE BreezeMAX PRO 1100 y provee servicios de voz y datos para usuarios residenciales con 1 puerto de datos FastEthernet 10/100 Base-T y un puerto POTS RJ11 para telefonía analógica, con funcionalidades de etiquetado VLAN, priorización de tráfico, soporte de protocolos H.323 y SIP.

4.3.2 Equipamiento para la red de transporte

Para el equipamiento de esta red tomaremos en cuenta los equipos de dos fabricantes líderes en el sector los cuales son NEC y ALCATEL LUCENT. [NEC2012] [ALC2012]

TABLA 17
FUENTE: “ELABORACION PROPIA”

| Especificaciones | ALCATEL-LUCENT | NEC |
|----------------------------|--------------------|---------------------|
| Modelo | 9600 Y | PasoLink Neo HP |
| Banda de frecuencia | 14.5 – 40 GHz | 6 a 38 GHz |
| Potencia Tx | 20dBm @ 20Ghz | 19dBm @ 18GHz |
| Sensibilidad Rx | 68.5 dBm | 67.5 dBm |
| Capacidad | 51 Mbps – 311 Mbps | 155 Mbps – 1.6 Gbps |

Para el caso de las antenas para los enlaces de microondas se han recogido datos de dos fabricantes importantes como lo son ANDREW y RFS, a continuación una comparativa de ambos: [AND2012]

TABLA 18
FUENTE: “ELABORACION PROPIA”

| Especificaciones | ANDREW | RFS |
|------------------------|-----------|-----------|
| Modelo | VHLPX | SB2-220BB |
| Tipo de Antena | PtP | PtP |
| Ganancia(dBi) | 46.7 | 41 |
| Front/Back(dB) | 74 | 66 |
| Frecuencia(GHz) | 21.2-23.6 | 21.2-23.6 |

Es importante recalcar que la conexión a internet la proporcionara un ISP (Internet Service Provider), la cual se conectara por medio de fibra óptica hacia el router de

acceso de la red y luego al equipo microondas de cabecera; para lo cual se utilizara las tarjetas suficientes que cumplan con el requerimiento de ancho de banda para el proyecto.

A su vez todos los equipos que integran el Centro de Operaciones de Red (NOC), deberían ser del mayor fabricante de equipos de Core IP e IMS de las redes mundiales llamado Cisco Systems; como mencione anteriormente, ya que esta red se ofrecerá para que un operador la gestione; este normalmente cuenta con los elementos descritos para el NOC/POP; así que no existe la necesidad de considerar esos elementos de red.

4.4 Infraestructura eléctrica y de protección

Subsistema de Protección

Será necesaria la instalación de un sistema de puesta a tierra el cual garantice la seguridad de las personas y la funcionalidad de los equipos. Estos trabajos deberán ser realizados por un proveedor autorizado el cual garantizará el correcto funcionamiento del sistema. El subsistema de protección cumplirá los siguientes objetivos:

- Protección y seguridad humana.
- Protección del equipamiento de telecomunicaciones.
- Compatibilidad EM (Electromagnética)
- Continuidad de operación.

Subsistema eléctrico

Para nuestra estación base WiMAX en Churín y para el NOC ubicado en Oyón; a pesar de estar ubicados en zonas rurales, estas cuentan con electricidad de forma ininterrumpida de tal manera que el gasto de inversión estará en las estaciones repetidoras.

Para las estaciones repetidoras según la hoja de especificaciones [NEC2012] se tiene las siguientes características eléctricas:

- Consumo de potencia del equipo microondas PASOLINK NEO HP: 70W
- Voltaje nominal: -48 V
- Carga de corriente total: $(3 \times 70W) / 48 V = 4.375 A$
- Consumo total por 24 horas: $4.375 A \times 24 = 105 A/día$ para las 3 estaciones repetidoras.
- Por estación repetidora se requiere un consumo de 35 A/día.

El dimensionamiento de los paneles solares [KYO2012] en las estaciones repetidoras será:

- Se tiene el panel solar modelo KC60 del fabricante Kyocera, con una potencia de 40W, y tensión nominal 17.4 V, por lo que tendrá: 2.3 A
- El panel generara un amperaje de $2.3 A/H \times 24 H/día = 55.2 A/día$
- Por lo tanto se instalaran 1 panel solares kyocera KC60 por cada estación repetidora.

El dimensionamiento de las baterías en las estaciones repetidoras será:

- Como el consumo por amperaje de cada repetidora es de 35 A/día; entonces $35 / 24 = 1.45 A/H$, por lo que se utilizara el modelo 'S312/3.2 S' del fabricante Powerfit que ofrece una tensión nominal de 12 V y un amperaje de 3.2 A/H.

Es sistema de protección proveerá la protección necesaria a los equipos de telecomunicaciones y constara de 3 puestas a tierra en la estación base de un máximo de 5 Ohmios. Una puesta a tierra para el pararrayo Franklin tetra puntual

de la marca Ingesco PDC Stream [ING2012], el cual estará instalado en lo más alto de la torre y que se conectara con los demás equipos de telecomunicaciones, con lo cual ofrecerá una gran protección frente a las posibles descargas de la zona. Y las otras dos puestas a tierra para los equipos de telecomunicaciones de la siguiente manera:

- Puesta a tierra para el pararrayo:
 - Fleje de cobre (0.8 mm x 7 cm x 20 m)
 - Bentonita natural (saco de 20 Kg)
 - Sal industrial (saco de 50 Kg)
 - Caja de registro PVC
 - Pararrayos tetra puntual Franklin
 - Aislador de 12 KV
 - Aislador tipo carrete (incluye abrazaderas y brazos de soporte)
 - Soporte de fierros para aisladores
 - Aislador de soporte para platina con pernos

- Puesta a tierra para los sistemas de telecomunicaciones:
 - Varilla de cobre de 5/8" de 2 m
 - Caja de registro de concreto
 - 2 dosis de Thorgel
 - Soldadura exotérmica
 - Sales industriales

Por ultimo para el presente proyecto se empleara una torre auto soportadas para la estación WIMAX, cuya característica es la robustez y resistencia a los fuertes

vientos en altura por lo cual son más caras que las demás. En el caso de las estaciones repetidoras no son necesarias torres altas puesto que por la ubicación de estas ya poseen línea de vista según los cálculos realizados; por lo tanto para estas estaciones utilizare torres de 12m de robustez media debido a que solo se tendrá 2 antenas con un switch por repetidora.



Capítulo 5: Análisis económico del Proyecto

Para ver la factibilidad del proyecto es necesario analizar tanto los gastos o inversiones de capital, también conocido como CAPEX (CAPital EXpenditures), así como los gastos de operación y mantenimiento, también conocido como OPEX (OPeration EXpenditures).

Por lo que, tanto para el CAPEX como para el OPEX, se detallarán los costos de los factores y variables antes mencionados. Para posteriormente, mediante el flujo de caja, comparar los ingresos con los egresos para ver la factibilidad del proyecto en base a criterios de inversión como el VAN (Valor Actual Neto) y el TIR (Tasa Interna de Rentabilidad).

5.1 Costo del Equipamiento e Instalación (CAPEX)

Para el análisis del CAPEX se tomarán en cuenta los gastos generados por la compra de equipos, los gastos por el sistema radiante, la inversión en la infraestructura, los gastos por la instalación de equipos y los gastos por los equipos terminales.

5.1.1 Elementos de la Red de Acceso

Para lo que concierne a la compra de equipos, se ha decidido trabajar con equipos fabricados por Alvarion. Es importante recalcar que los precios indicados son estimados ya que en la actualidad los fabricantes se encuentran elaborando sus propuestas para la implementación de redes WiMAX; por lo que, para el precio de los elementos de la red de acceso me base en tesis de WiMAX realizadas en nuestro contexto nacional. [NEY2010] [ROS2008] [VAL2011]

TABLA 19
FUENTE: "ELABORACION PROPIA"

| CANT. | ELEMENTO | PRECIO (\$) |
|-------|--|-------------|
| 1 | Licencia de administración para AlvariSTAR por BTS | 3000 |
| 1 | BreezeMAX Base Station Shelf | 3580 |
| 1 | BreezeMAX Network Pocessor Unit | 7700 |
| 2 | BreezeMAX Base Station Power Supply Unit | 1400 |
| 1 | BreezeMAX Base Station Power Interface Unit | 770 |
| 2 | BreezeMAX Base Station ODU RF Units | 7000 |
| 3 | BreezeMAX Base Station Access Unit interface cards | 18000 |
| 6 | Antenas Andrew sectoriales de 60 grados | 2700 |
| 1 | Torre Autosoportada de 15 m | 4200 |
| 1 | Sistema de protección Electrica (UPS) | 900 |
| - | Costo inicial de instalación de energía AC | 2000 |
| 1 | Motor generador AC de respaldo | 1500 |

| CANT. | ELEMENTO | PRECIO (\$) |
|-------|-------------------------------------|--------------|
| 1 | Rectificador AC | 2000 |
| 1 | Bateria | 600 |
| - | Instalacion de energía | 700 |
| - | Armarios, cableado, ferretería, etc | 3000 |
| 1 | Sistema de puesta a tierra | 1500 |
| - | Estudio de impacto ambiental | 700 |
| - | Obras civiles | 3000 |
| - | Permisos municipales | 1000 |
| - | Transporte de equipos | 2000 |
| | TOTAL | 67250 |

Se estima que la estación base WiMAX ubicada en Churín tendrá un costo de US\$ 67250, el cual será incrementado en un 3% a fin de cubrir contingencias económicas correspondientes a imprevistos y/o variación de precios en los equipos en el tiempo, obteniéndose el costo total para la estación base así:

TABLA 20
FUENTE: "ELABORACION PROPIA"

| Rubros | Costo Por EB (\$) |
|------------------|-------------------|
| Costo de capital | 67250 |
| Contingencias | 2018 |
| TOTAL | 69268 |

Por lo tanto la estación base WiMAX del presente proyecto tendrá el costo total de **US\$ 69268.**

5.1.2 Red de transporte

A continuación se detallan los elementos que componen la red de transporte y sus respectivos costos.

TABLA 21
FUENTE: “ELABORACION PROPIA”

| CANT. | ELEMENTO | PRECIO (\$) |
|-------|--|--------------|
| 5 | Equipos Microondas PasoLink Neo HP | 15000 |
| 8 | Antenas Andrew para el enlace PtP | 4800 |
| 3 | Torres Autoportadas de 12m | 6000 |
| 3 | Paneles solares KC60 kyocera | 1000 |
| 3 | Baterías Powerfit 3.2 A/H | 1500 |
| 3 | Sistemas de protección eléctrica (UPS) | 2400 |
| 1 | Rectificador AC | 3000 |
| - | Armarios, cableado, ferretería, ect | 3000 |
| - | Sistema de puesta a tierra | 1500 |
| - | Obras civiles | 1000 |
| - | Transporte de Equipos | 800 |
| | TOTAL | 40000 |

De igual manera destinaremos un 3% a fin de cubrir contingencias económicas correspondientes a imprevistos. Por lo que se obtiene el siguiente costo total:

TABLA 22
FUENTE: “ELABORACION PROPIA”

| Rubros | Costo Por EB (\$) |
|------------------|-------------------|
| Costo de capital | 40000 |
| Contingencias | 1200 |
| TOTAL | 41200 |

5.2 Costos de operación y Mantenimiento (OPEX)

Para el análisis del OPEX se tomarán en cuenta los gastos generados por operación y mantenimiento correctivo y preventivo de la red, cuyos costos referenciales son provistos por información de proveedores de servicios, los cuales se muestran en el siguiente cuadro:

TABLA 23
FUENTE: “ELABORACION PROPIA”

| Elementos | Precio (\$) |
|---|--------------|
| Mantenimiento preventivo anual de la E.B y E. Repetidoras | 1500 |
| Mantenimiento correctivo de la E.B y E. Repetidoras | 2000 |
| Gastos de venta y Marketing | 2000 |
| Mano de obra por instalación de los CPE's | 2000 |
| Mantenimiento operativo de los CPE's | 500 |
| Mantenimiento del local y servicios | 2400 |
| Gastos generales y Administrativos | 24000 |
| Alquiler del terreno para la estación base | 4800 |
| TOTAL | 39200 |

Lo referente a la banda de frecuencia licenciada en la cual operara nuestra plataforma de telecomunicaciones de 3.5 GHz, por el alto costo que representa obtener una concesión con el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC); por poner un caso a la empresa “Yota del Perú” el solo hecho de adquirir la frecuencia de 2.6 GHz por 20 años le costó US\$ 3900000 [NEY2010].

Es importante resaltar que el enfoque de negocios empleado en la tesis es brindar la solución y el diseño de red a un operador existente y que cuente con la banda para poder operarla, sin presentarle inconvenientes en los aspectos de

rentabilidad y sostenibilidad; es por este motivo que no se considera el pago anual por canon radioeléctrico.

5.3 Ingresos

En la TABLA 5-6 se muestra los ingresos que generarían anualmente los servicios ofrecidos para el año 1. Se considera que para el primer año se tienen el 10% de los clientes potenciales (286 usuarios). Es decir para el primer año se cuenta con 29 clientes entre corporativos y hogares.

TABLA 24
FUENTE: “ELABORACION PROPIA”

| Número de clientes | Plan de consumo | Clientes por Plan de consumo | Alternativa de consumo | Clientes por alternativa | Precio Mensual del servicio (USD) | Precio Total Anual (USD) |
|---------------------------|-----------------|------------------------------|------------------------|--------------------------|-----------------------------------|--------------------------|
| 286 | Básico | 18 | Básico 1 | 8 | 40 | 3840 |
| | | | Básico 2 | 5 | 60 | 3600 |
| | | | Básico 3 | 5 | 70 | 4200 |
| | Empresa | 11 | Empresa 1 | 3 | 85 | 3060 |
| | | | Empresa 2 | 3 | 100 | 3600 |
| | | | Empresa 3 | 3 | 120 | 4320 |
| | | | Empresa 4 | 2 | 200 | 4800 |
| PRECIO TOTAL (USD) | | | | | | 27420 |

Además, en la TABLA 5-7 se muestra los ingresos por venta de los terminales CPE que se generarían en el año 1, tomando en cuenta la misma cantidad de clientes (29). Para el equipo terminal WIMAX se empleara el modelo CPE BreezeMax PRO 1100, que tiene un costo aproxima de US\$ 200.

TABLA 25
FUENTE: “ELABORACION PROPIA”

| ITEM | Concepto | Cientes | Precio Unitario (USD) | Precio TOTAL (USD) |
|------|----------|---------|-----------------------|--------------------|
| 1 | CPE | 29 | 200 | 5800 |

Con lo que se tiene que para el año 1 el ingreso será el que se muestra en la TABLA 5-8.

TABLA 26
FUENTE: “ELABORACION PROPIA”

| CONCEPTO | PRECIO TOTAL (USD) |
|--------------------------------|--------------------|
| INGRESOS POR SERVICIOS | 27420 |
| INGRESOS POR TERMINALES | 5800 |
| INGRESO TOTAL (USD) | 33220 |

5.4 Flujo de Caja y Evaluación Financiera

En la tabla x se muestra el Flujo de Caja para los primeros 10 años, como análisis al año 10 debemos tener el 100% de los clientes potenciales WiMAX (286), según la planificación y estimación que se realizó el capítulo 4. A su vez, los clientes WiMAX mientras pasan los años y aumentan, esto produce costos en equipos terminales y OPEX.

TABLA 27
FUENTE: “ELABORACION PROPIA”

| AÑO | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|-----------------|---------|--------|---------|---------|----------|------------|
| Ingresos | | 33220 | 53552.8 | 93467.4 | 165565.4 | 294240.4 |
| CAPEX | -110468 | | | | | |
| OPEX | | -39200 | -41160 | -43218 | -45378.9 | -47647.845 |
| TOTAL | -110468 | -5980 | 12392.8 | 50249.4 | 120186.5 | 246592.555 |

Con lo que se obtendrían los siguientes valores para el VAN y el TIR considerando una tasa de descuento de 14%.

TABLA 28
FUENTE: “ELABORACION PROPIA”

| Parámetro | Resultado |
|------------------|---------------|
| VAN (USD) | \$ 126,971.66 |
| TIR | 36% |

Por lo que se puede observar que el proyecto es rentable, considerando un periodo de 5 años.



CONCLUSIONES

- Este proyecto dará solución a los problemas de acceso a servicios de telecomunicaciones a establecimientos turísticos, establecimientos estatales y hogares construidos en el Valle de Churín; los cuales tendrán internet de alta velocidad, esto significara un gran impulso a favor de la lucha contra la pobreza y la disminución de la brecha digital existente en nuestro país, y todo ello ha sido el principal objetivo buscado desde la concepción de este proyecto.
- Luego del estudio realizado en la presente tesis podemos mencionar que WiMAX es una de las tecnologías que tiene nicho de mercado en el país por diversos motivos: arquitectura ALL-IP, altas tasas de transmisión, fácil despliegue, solución confiable en entornos rurales, calidad de servicio (QoS), escalabilidad y actualizaciones de software y hardware para que en futuros despliegues cuente con movilidad.
- Como principal fuente de información y retroalimentación para el análisis del desempeño de la red en el transcurso de próximos años se tienen los KPI's (Key Performance Indicators) que se obtienen con el software AlvariSTAR, que involucran distintas mediciones, porcentajes e indicadores de todos los elementos y recursos usados en nuestra red de acceso basado en WiMAX, los cuales servirán para proponer y tomar decisiones de cambios y optimización de la capacidad y la cobertura de toda nuestra red.
- Con respecto al análisis económico, se ha demostrado que el proyecto es rentable, tomando en cuenta de que el proyecto está diseñado para el despliegue de una red WiMAX de una empresa operadora que ya trabaja en el País.

Referencias bibliográficas

- [ALC2012] ALCATEL-LUCENT. “Alcatel-Lucent 9600Y”
URL:
http://www.google.com.pe/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0CDoQFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.alcatel-lucent.com%2Fwps%2FDocumentStreamerServlet%3FLMSG_CABINET%3DLGS_Resources%26LMSG_CONTENT_FILE%3DData_Sheets%2F9600_LSY_DS.pdf%26lu_lang_code%3Den_WW&ei=MC3PUI_C6K5Tc8ATT34HQDg&usq=AFQjCNE7PwPwKBsn1dyuoQ1DlzQz8cjbWA&bvm=bv.1355325884,d.eWU&cad=rja
Ultimo acceso: 01 de Diciembre del 2012

- [AND2012] ANDREW. “ANDREW VHLPX”
URL:
<http://www.telsat.it/datasheets/Andrew/Antennas/Valuline%20Antennas/1.2m%20ft/VHLPX4-10W-4GR-20070302171939.pdf>

Ultimo acceso: 01 de Diciembre del 2012

- [ALV2012]** ALVARION. "BreezeMAX 3500, BreezeMAX PRO 1100"
URL:
<http://es.scribd.com/doc/13169131/Alvarion-BreezeMAX-230025003500-QuantumWimaxcom>
Ultimo acceso: 01 de Diciembre del 2012
- [DIO 2010]** DIOGENES, Marcano. Documento: "Dimensionamiento de redes móviles." 2011.
- [INE2010]** INEI. Documento: "Resultados censales. Censos Nacionales 2007: XI de Población y de vivienda." 2007.
URL: <http://www.inei.gob.pe/>
Último acceso: 02 de Diciembre del 2011.
- [ING2012]** INGESCO PDC STREAM
URL: <http://www.ingesco.com/es/component/content/article/47/120-stream-radios-de-proteccion>
Ultimo acceso: 01 de Diciembre 2012
- [JAL2011]** GOBIERNO DE JALISCO. "Proyecto WIMAX Jalisco". México. 2011.
- [KYO2012]** KYOCERA. "KC 60"
URL: <http://www.altestore.com/store/Solar-Panels/51-to-99-Watt-Solar-Panels/Kyocera-KC60-60W-12V-Solar-Panel/p3300/>
Ultimo acceso: 01 de Diciembre 2012
- [LIC2009]** LICEA, VICTOR. Manual de Asignatura de Redes Inalámbricas de Banda Ancha. "Modelado de redes WIMAX". UNAM. 2009

- [MIN2012]** MINISTERIO DE COMERCIO EXTERIOR Y TURISMO.
“Remodelación y puesta en valor del complejo termal de la juventud ubicado en el balneario de Churín”
URL: <http://www.mincetur.gob.pe/>
Ultimo acceso: 15 de Octubre del 2012
- [MTC2009]** MTC. “Plan provincial Participativo de la provincia de Oyón”.
URL:
http://www.proviasdes.gob.pe/unidades/planes_viales/lima/PVPP_Oyon.pdf
Ultimo acceso: 20 de abril del 2012
- [MTC2010]** MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES – MTC.
Registro nacional de Frecuencias: Bandas 3400 – 3600 MHz (2010).
Perú.
URL:
http://www.mtc.gob.pe/portal/comunicacion/concesion/registros/rnf/Bandas_3400-3600.html.
Última fecha de consulta: 05 de Julio del 2012.
- [MTC2012]** MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES (MTC).
Red Vial y Dorsal de F.O. Perú.
URL: <http://www.mtc.gob.pe>
Ultimo Acceso: 15 de Junio del 2012
- [MON2012]** MONTES BAZALAR, LUIS. Curso Proyecto de Telecomunicaciones (2012-1). “Diapositivas del curso”. PUCP.PERU
- [MUN2012]** MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE PACHANGARA-CHURÍN (2012).
“Comunicación telefónica y mediante e-mails”
URL: <http://www.munipachangara.gob.pe/>
Ultimo acceso: 20 de Noviembre del 2012

- [NEC2012]** NEC. “NEC Pasolink Neo HP”
URL:<http://www.nec.com/en/global/prod/nw/pasolink/products/pasoneohp.html>
Ultimo acceso: 01 de Diciembre del 2012
- [NEY2010]** NEYRA, HECTOR. Tesis para optar por el título de Ingeniero de las telecomunicaciones. Diseño del sistema de servicios de telecomunicaciones para el sitio arqueológico turístico de Caral. Perú 2010.
- [OSI2012]** OSIPTEL. “Cuarto Boletín Tecnológico: WIMAX”. 2006
URL:
http://www2.osiptel.gob.pe/OsiptelDocs/GCC/NOTICIAS_PUBLICACIONES/PUBLICACIONES/FILES/boltec042006.pdf
Ultimo acceso: 10 de Noviembre del 2012
- [RAD2012]** RADWIN. “Radwin Planner”
URL: <http://www.radwin.com/planner/>
Ultimo acceso: 25 de Noviembre del 2012
- [RAM2012]** TUTORIAL RADIO MOBILE
URL:
<http://www.eslared.net/walcs/walc2011/material/track1/Manual%2520de%2520Radio%2520Mobile.pdf>
Ultimo Acceso: 20 de Noviembre del 2012
- [ROS2008]** ROSAS, MIGUEL. Tesis para optar por el título de Ingeniero de las Telecomunicaciones. Diseño de una red WiMAX móvil para la ciudad de Trujillo. Perú. 2008

- [VAL2011] VALDIVIESO, ANDRES. Tesis para optar por el título de Ingeniero de las Telecomunicaciones. Diseño de una red para un servicio portador en la ciudad de Arequipa. Perú. 2011
- [VIL2010] VILLAR, SONIA. Proyecto Fin de Carrera. Red de Acceso de Banda Ancha mediante WIMAX Móvil. UAP-España.2010
- [WIL2012] Calculo de Radioenlace. Desarrollado por Sebastian Buettrich.
URL: <http://willac.net>
Ultimo Acceso: 30 de Noviembre del 2012
- [WMX2012] WIMAX FORUM.
URL: <http://www.wimaxforum.org>
Ultimo Acceso: 20 de Noviembre del 2012