



PONTIFICIA **UNIVERSIDAD CATÓLICA** DEL PERÚ

Esta obra ha sido publicada bajo la licencia Creative Commons
Reconocimiento-No comercial-Compartir bajo la misma licencia 2.5 Perú.

Para ver una copia de dicha licencia, visite
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/>



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



PONTIFICIA
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DEL PERÚ

**DISEÑO DE UNA RED RURAL CDMA 450, EN LAS CUENCAS DE LOS
RÍOS APURIMAC, PARURO Y ACOMAYO**

Tesis para optar el Título de INGENIERO DE LAS TELECOMUNICACIONES,
que presenta el Bachiller:

JAIME PILCO VARGAS

ASESOR: Ing. Percy Fernandez Pilco

Lima, Mayo del 2009

Resumen

La presente tesis se ocupa del diseño de una Red de Telecomunicaciones Rurales para las poblaciones ubicadas en las cuencas de los ríos Paruro, Apurímac y Acomayo dentro de las provincias de Paruro y Acomayo, en la Región Cusco, haciendo uso de la tecnología CDMA en la frecuencia de 450 MHz (CDMA 450 en adelante).

El primer capítulo está centrado en brindar un panorama general sobre la tecnología CDMA, poniendo especial atención en el uso de la frecuencia de 450 MHz para el desarrollo de sistemas de telecomunicaciones rurales tanto en el Perú como en el mundo.

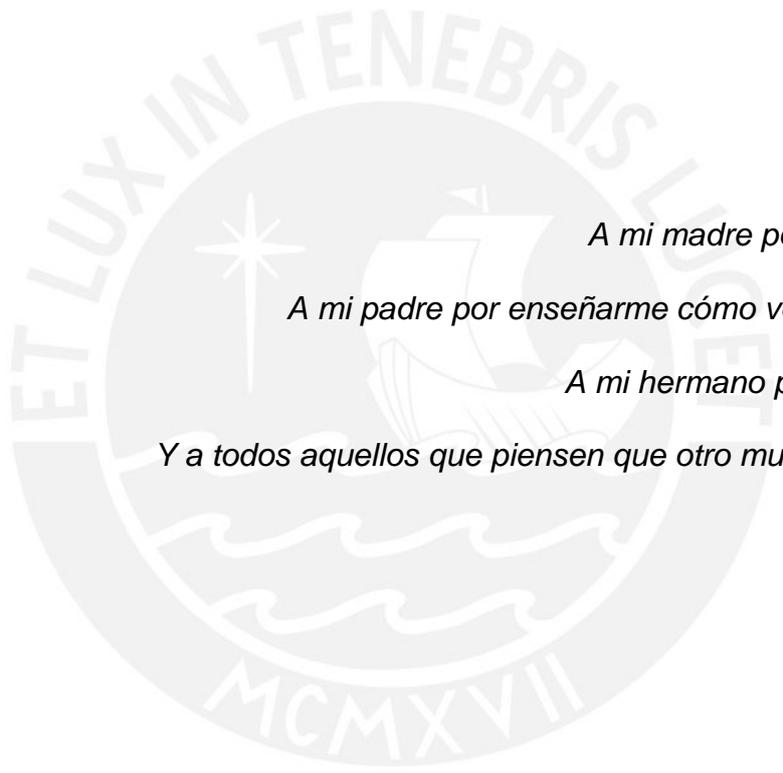
El segundo capítulo estudia panorámicamente las condiciones socio-económicas y técnicas de las comunidades a intervenir, con la finalidad de determinar la demanda de servicios que necesita.

El tercer capítulo presenta el diseño de la red, en base a los requerimientos de la población y adaptándose a la geografía de esta zona, mediante el empleo de mapas y software especializado.

El cuarto capítulo describe los aspectos económicos a tomar en cuenta, es decir, los costos de diseño, implementación, operación y mantenimiento de la red.

Por último, se presentan las conclusiones y recomendaciones del presente trabajo, además de sugerir una alternativa de solución para el problema de comunicación en esta zona.

Dedicatoria



*A mi madre por consentirme,
A mi padre por enseñarme cómo ver a los demás,
A mi hermano por soportarme,
Y a todos aquellos que piensen que otro mundo es posible.*

Agradecimientos

A mis padres por darme la vida, criarme y guiarme, por haber estado a la expectativa de uno y por darme la libertad para tomar las decisiones más importantes en mi vida... por apoyarme ¡siempre!

A mis abuelos... por estar ahí siempre, a la expectativa de uno, ahora desde arriba, encendiendo esa luz que a veces nos negamos a ver.

A mi hermano por ser mi apoyo y cómplice en las aventuras y desventuras.

A toda la familia por su cariño y sus bendiciones.

Al profesor Percy Fernández, por su asesoramiento y por haberme brindado su calificado apoyo académico durante todo el proceso del presente trabajo.

Finalmente, agradezco a todas las personas que de una u otra manera intervinieron a lo largo de todos estos años, en mi formación escolar, universitaria y personal... a todos ellos GRACIAS!!!

Sea esta una forma de inclusión, reivindicación y en especial agradecimiento a esas personas, a esos lugares en los que muchas veces hemos estado y sentido esa falta de “comodidades” a las cuales acostumbramos en la ciudad, pero que pronto olvidábamos debido a la hospitalidad y cariño expresado por los pobladores de estos lugares y la belleza de sus paisajes.

J.P.V.

“El Perú no es Lima, el Perú es el Perú”

“C. P.”

Índice

<i>Índice</i>	vi
<i>Lista de Figuras</i>	viii
<i>Lista de Tablas</i>	x
<i>Introducción</i>	12
<i>Capítulo 1 Estudio de la Tecnología CDMA en la Frecuencia de 450 MHz.</i>	13
1.1 Descripción de la Tecnología CDMA.....	14
1.1.1 ¿Qué es CDMA?	14
1.1.2 ¿Cómo funciona?	14
1.1.3 Características y ventajas de CDMA	16
1.2 Estudio del Empleo de la Banda de 450 MHz en Zonas Rurales	18
1.2.1 ¿Por qué CDMA 450?	18
1.2.2 Descripción.....	19
1.2.3 Requerimientos de las Telecomunicaciones Rurales	19
1.2.4 ¿Cómo puede CDMA 450 superar estos requerimientos?	20
1.3 Estudio del Despliegue Tecnológico CDMA 450 en el Perú y el mundo	22
1.3.1 Despliegue tecnológico CDMA 450 en el mundo.	22
1.3.2 Despliegue tecnológico CDMA 450 en América Latina	25
1.3.3 Despliegue tecnológico CDMA 450 en el Perú.....	26
<i>Capítulo 2 Estudio de Mercado</i>	29
2.1 Descripción Geográfica de la zona a intervenir.....	30
2.2 Evaluación socio-económica de las poblaciones a intervenir.....	31
2.2.1 Características poblacionales.....	31
2.2.2 Características económicas.....	34
2.3 Evaluación de la infraestructura de telecomunicaciones existente....	36
2.3.1 Distrito de Paruro.....	36
2.3.2 Distrito de Colcha	37
2.3.3 Distrito de Accha	39
2.3.4 Distrito de Pillpinto	40
2.3.5 Distrito de Acomayo.....	40
2.3.6 Distrito de Acos	42

2.4 Determinación de la demanda y de los posibles servicios a prestar .	43
2.4.1 Demanda del servicio de telefonía fija, modalidad abonado.....	44
2.4.2 Demanda del servicio de telefonía pública	47
2.4.3 Demanda del servicio de internet	49
<i>Capítulo 3 Diseño de Ingeniería.....</i>	<i>52</i>
3.1 Estructura del proyecto.....	53
3.1.1 Puntos de referencia.....	53
3.1.2 Estructura general de la red	54
3.2 Red de transporte.....	55
3.2.1 Análisis de radio-propagación para los enlaces de la red de_	
transporte	58
3.2.2 Análisis de radio-propagación para los enlaces de la red de_	
transporte utilizando software especializado	62
3.3 Red de acceso.....	65
3.4 Determinación del equipamiento y la infraestructura necesaria	70
3.4.1 Determinación del equipamiento.	70
3.4.2 Determinación de la infraestructura necesaria	79
<i>Capítulo 4 Aspectos Económicos</i>	<i>84</i>
4.1 Costo de equipos	85
4.2 Costo de infraestructura	86
4.3 Costos de interconexión	87
4.4 Costo de operación y mantenimiento	88
<i>Conclusiones y Recomendaciones</i>	<i>89</i>
Conclusiones.....	90
Recomendaciones.....	92
<i>Bibliografía.....</i>	<i>93</i>

Lista de Figuras

FIGURA 1-1	CDMA 450 “Comparación de coberturas”	20
FIGURA 1-2	CDMA 450 “Situación de Mercado”	22
FIGURA 2-1	Ubicación geográfica de la zona a intervenir	30
FIGURA 2-2	Población por distrito	31
FIGURA 2-3	Población por tipo de área y sexo	32
FIGURA 2-4	Población por grupo de edad	33
FIGURA 2-5	Población por nivel educativo	33
FIGURA 2-6	Actividades económicas a las que se dedican los pobladores	34
FIGURA 2-7	Porcentaje de hogares con suministro eléctrico por distrito	35
FIGURA 2-8	Número de hogares con suministro eléctrico en total	35
FIGURA 2-9	“Torres celulares de Claro (izquierda) y Movistar (derecha) en el distrito de Paruro”	37
FIGURA 2-10	“Infraestructura de Telecomunicaciones en el distrito de Colcha”	38
FIGURA 2-11	“Estación base de Movistar en construcción cerca del distrito de Colcha”	38
FIGURA 2-12	“Vista panorámica del distrito de Accha”	39
FIGURA 2-13	“Municipalidad y templo del distrito de Pillpinto”	40
FIGURA 2-14	“Municipalidad de Acomayo”	41
FIGURA 2-15	“Torre celular de Claro la cual cubre los distritos de Acomayo y Acos”	41
FIGURA 2-16	“Municipalidad y templo del distrito de Acos”	42
FIGURA 2-17	Servicios no básicos con los que cuentan los hogares	43
FIGURA 2-18	Tráfico diario de una estación VSAT con QoS 256/128 Kbps	49
FIGURA 2-19	Tráfico diario de dos estaciones VSAT con QoS 128/64 Kbps	49
FIGURA 3-1	Diagrama básico de la red	55
FIGURA 3-2	Diagrama de la red de transporte	56
FIGURA 3-3	RED DE TRANSPORTE	57
FIGURA 3-4	Infraestructura en Qosqohuarina	57

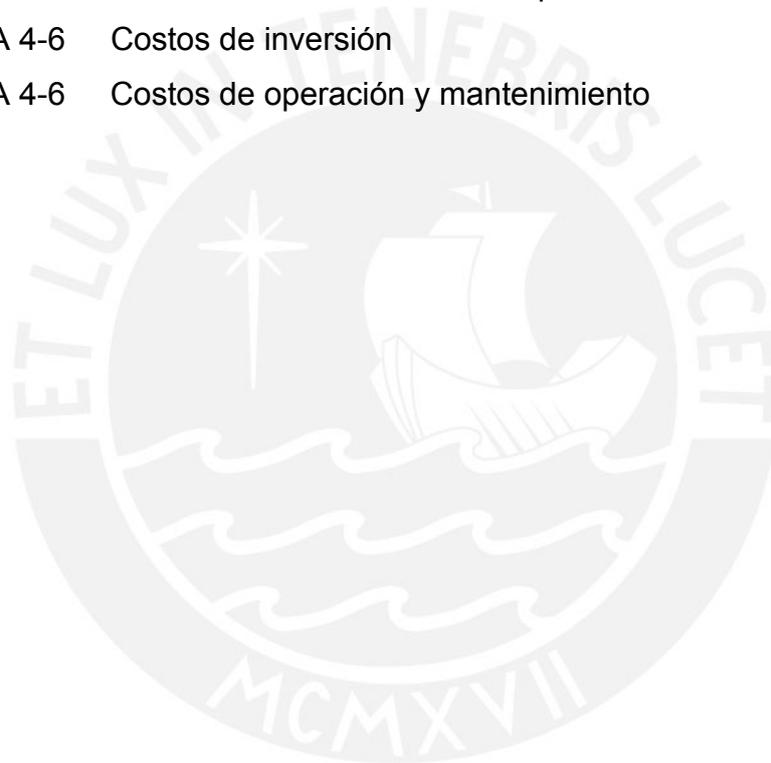
FIGURA 3-5	Infraestructura en Laykatuyok	58
FIGURA 3-6	RED DE TRANSPORTE 7-8GHz	62
FIGURA 3-7	Enlace CUSCO – Qosqohuarina	63
FIGURA 3-8	Enlace Qosqohuarina – Don Juan	63
FIGURA 3-9	Enlace Don Juan - Laykatuyoc	64
FIGURA 3-10	Enlace Laykatuyoc – Pisco Orjo	64
FIGURA 3-11	Enlace Pisco Orjo - Huayruro	65
FIGURA 3-12	Esquema de la red de acceso	66
FIGURA 3-13	Cobertura estimada de la red de acceso	66
FIGURA 3-14	Diagrama de la infraestructura para una estación base	80



Lista de Tablas

TABLA 1-1	Comparación de Cobertura	21
TABLA 1-2	CDMA 450 “Situación del Mercado Mundial”	23
TABLA 1-3	Tecnologías y velocidades de conexión	24
TABLA 1-4	Distribución de la frecuencia de 450 MHz en el Perú	27
TABLA 2-1	Servicios requeridos y promedio de inversión por parte de los pobladores.	44
TABLA 2-2	Penetración fija, de acuerdo a la renta mensual y al cargo único por conexión	45
TABLA 2-3	Demanda de telefonía por distrito	46
TABLA 2-4	Intensidad de tráfico por distrito	46
TABLA 2-5	Demanda de TUPs	47
TABLA 2-6	Intensidad de tráfico por distrito	48
TABLA 2-7	Demanda de conexiones a internet	51
TABLA 3-1	Puntos de Referencia	54
TABLA 3-2	Ubicación de los repetidores en la red de transporte	56
TABLA 3-3	Enlace Cusco - Qosqohuarina	59
TABLA 3-4	Enlace Qosqohuarina - Don Juan	60
TABLA 3-5	Enlace Don Juan - Laykatuyoc	60
TABLA 3-6	Enlace Laykatuyoc - Pisco Orjo	61
TABLA 3-7	Enlace Pisco Orjo - Huayruro	61
TABLA 3-8	Análisis de radio-propagación desde la BTS hacia la estación fija (terminal de usuario)	68
TABLA 3-9	Análisis de radio-propagación desde la estación fija (terminal de usuario) hacia la BTS	68
TABLA 3-10	Distancias entre las BTS y las Capitales de Distrito	69
TABLA 3-11	Equipos HUAWEI para la infraestructura de red	71
TABLA 3-12	Equipos ZTE para la infraestructura de red	72
TABLA 3-13	Equipos Huawei para telefonía fija inalámbrica	73

TABLA 3-14	Equipos Huawei para acceso a la red de datos	74
TABLA 3-15	Equipos Axesstel para telefonía fija inalámbrica	75
TABLA 3-16	Equipos Axesstel para acceso a la red de datos	76
TABLA 3-17	Sistema de protección eléctrica en una BTS	82
TABLA 4-1	Costos de equipamiento	84
TABLA 4-2	Estación Base – Infraestructura Civil	85
TABLA 4-3	Estación Base – Estructuras Metálicas	85
TABLA 4-4	Resumen de costos por infraestructura	86
TABLA 4-5	Costos de adecuación de red para interconexión	86
TABLA 4-6	Costos de inversión	87
TABLA 4-6	Costos de operación y mantenimiento	87



Introducción

El hombre en su necesidad de comunicarse ha ido superando las barreras que se han presentado, desarrollando sistemas cada vez mejores y de mayor alcance para satisfacerla. Es así que ahora podemos observar y disfrutar de una gran cantidad de opciones para comunicarnos, además de contar con servicios cada vez más especializados los cuales nos permiten acceder a otro universo de posibilidades, el internet, las video llamadas, etc., pero a pesar de todo ese cambio constante y rápido del que somos conscientes al formar parte de una urbe, nos es imposible creer que aún hayan personas y comunidades íntegras que desconozcan de la existencia estos medios y en otros casos no puedan tener acceso a ellos debido a las limitaciones económicas propias de las zonas en las cuales viven.

El presente trabajo pretende sugerir una alternativa tecnológica para cubrir las necesidades de comunicación del área a intervenir, haciendo uso del Acceso múltiple por división de código en la banda de 450 MHz “CDMA 450”, por ser una de las mejores opciones para cubrir los requerimientos de las telecomunicaciones rurales, como cobertura, calidad y rentabilidad.

Implementa CDMA2000 1X EV-DO Rev. A, en la banda de 450 MHz, incluyendo todas las capacidades, ventajas y servicios de una tecnología de tercera generación.

El lugar a intervenir abarca parte de las provincias de Paruro y Acomayo en la Región del Cusco.



Capítulo 1
Estudio de la Tecnología CDMA en la Frecuencia de
450MHz

1.1 DESCRIPCIÓN DE LA TECNOLOGÍA CDMA.

1.1.1 ¿Qué es CDMA?

Code Division Multiple Access o Acceso Múltiple por División de Código, es una técnica de Acceso Múltiple que utiliza modulación de espectro ensanchado entre cada usuario, que es propietario de un único código expandido, con todos los usuarios compartiendo el mismo espectro, proporcionando una mejor relación costo beneficio, calidad de voz cristalina, privacidad, escalabilidad y flexibilidad en comparación con otras tecnologías, así como también es capaz de proporcionar servicios de valor agregado como mensajes de texto, correo electrónico y acceso a internet [QLC2000], [ZIG2004], [ESM2003].

1.1.2 ¿Cómo funciona?

La tecnología CDMA utiliza códigos para realizar la conversión entre las señales de voz analógica y digital así como también emplea códigos para “separar” la voz de la información de control dentro de flujos de datos denominados canales (diferentes a los canales de frecuencia) [ESM2003] [QLC2000], [ZIG2004].

La señal CDMA es generada de la siguiente manera:

- A. *Conversión analógica – digital.*- Se hace mediante la utilización de la técnica conocida como PCM o modulación por código de pulsos.

- B. Compresión de voz.-* CDMA emplea un dispositivo denominado *vocoder*, el cual se encuentra en los teléfonos y en los Controladores de Estaciones Base (BSC).
- C. Codificación e interpolación.-* Con la finalidad de introducir redundancia dentro de la señal para posibilitar la recuperación de la información perdida durante la transmisión, los dispositivos encargados de esta función, codificadores e interpoladores, se encuentran dentro de las Estaciones Base (BTS) y los teléfonos.
- D. Canalización.-* Separa los datos de voz codificada unos de otros, luego los símbolos codificados son esparcidos en todo el ancho de banda del canal CDMA. El receptor conoce el código y lo usa para recuperar la señal de voz.
- E. Conversión digital a radio frecuencia.-* Las Estaciones Base (BTS), combinan la data de canalización de todas las llamadas dentro de una sola señal la cual es convertida a una señal de RF para su transmisión.

Para la recepción, se realiza el proceso inverso:

- A. Conversión de la señal de radiofrecuencia a señal digital.
- B. Des-canalización.
- C. Des-interpolación y decodificación.
- D. Descompresión de voz.
- E. Recuperación de la señal analógica (conversión digital-analógica).

1.1.3 Características y ventajas de CDMA

Características resaltantes [QLC2000]:

- A. *Reutilización de frecuencias.*- Debido a que el espectro de frecuencias es un recurso limitado, los sistemas que lo utilizan tanto para telefonía, radiodifusión, etc. pueden utilizar la misma frecuencia siempre y cuando estén lo suficientemente alejados como para no causar interferencias unos a otros. En el caso de CDMA puede usarse la misma frecuencia en celdas adyacentes ya que los usuarios están separados por canales de código y no de frecuencia.
- B. *Control de energía.*- Permite a los dispositivos móviles ajustar el nivel de potencia de transmisión, asegurando que la estación base reciba todas las señales con la potencia apropiada.
- C. *Receptores RAKE.*- el cual permite contrarrestar los efectos de la dispersión multicamino, mediante el empleo de varios sub-receptores levemente retrasados con la finalidad de sincronizar los diferentes componentes de la trayectoria multicamino.
- D. *Handoff.*- Mediante la implementación de tres tipos principales: hard, soft e idle los cuales son empleados de acuerdo al escenario de handoff.

Las ventajas de CDMA son:

- A. *Cobertura.*- Mediante el control de energía se ayuda a la expansión dinámica del área de cobertura; y mediante la codificación e interpolación se proporciona la capacidad de cubrir una mayor área con la misma cantidad de energía empleada con otros sistemas.
- B. *Capacidad.*- Siendo de diez a veinte veces mayor que los sistemas analógicos y más de cuatro veces mayor que el Acceso Múltiple por División de tiempo (TDMA), debido a la reutilización universal de frecuencias, canalización por código, control de energía y los tipos de handoff.
- C. *Claridad.*- A menudo puede alcanzar niveles de claridad de líneas cableadas debido a su robusto sistema de procesamiento digital.
- D. *Costo.*- Debido a su mayor cobertura y capacidad.
- E. *Compatibilidad.*- La posibilidad de trabajar en sistemas analógicos y digitales, debido a la capacidad de modo dual, así como la capacidad de trabajar en dos o más bandas.
- F. *Satisfacción del cliente.*- Debido a que CDMA proporciona mejor calidad de voz, mayor duración de batería, no cross-talk y privacidad.

1.2 Estudio del Empleo de la Banda de 450 MHz en Zonas Rurales

1.2.1 ¿Por qué CDMA 450?

La utilización de frecuencias bajas tiene como consecuencia una mayor propagación lo cual se traduce en un mayor área de cobertura permitiendo el empleo de menos estaciones base. Esta característica del uso de la frecuencia de 450 MHz sumada a las características ya descritas de la tecnología CDMA hacen de esta una muy buena solución para su empleo en telecomunicaciones rurales [CDG2003], [OSH2004].

Además, posibilita una gran variedad de servicios de tercera generación (3G), tales como:

- | | |
|-------------------------------------|---|
| A. Telefonía | G. Televisión |
| B. VoIP | H. Tele - Medicina |
| C. Acceso a internet de Banda Ancha | I. Tele – Educación |
| D. PTT (push-to-talk) | J. Seguridad Pública |
| E. Localización | K. Productividad Empresarial |
| F. MMS | L. Y muchos otros servicios de valor agregado |

1.2.2 Descripción [CDG2003]

- A. Es una tecnología de tercera generación (3G) la cual utiliza la interfaz aérea CDMA 2000 1X.
- B. Brinda una muy buena relación costo beneficio en la transmisión de datos mediante conmutación de paquetes y otras aplicaciones y servicios relacionados, para la gente del sector rural.
- C. Proporciona la mayor ventaja en cuanto a cobertura debido a su mayor tamaño de celda, sobre otras bandas celulares, PCS o UMTS.
- D. Posibilita una menor pérdida de propagación.

1.2.3 Requerimientos de las Telecomunicaciones Rurales [CDG2003]

- A. *Cobertura.*- Constituye el requerimiento más importante debido a las limitaciones económicas y geográficas principalmente. Cada estación base tiene la capacidad de abastecer áreas muy grandes (40 – 60 Km) y la baja frecuencia de operación asegura una menor pérdida de propagación y en consecuencia una mejor cobertura.
- B. *Requerimiento moderado de capacidad de voz y datos.*- Debido a la menor densidad de la población rural así como a la menor sofisticación de este sector.
- C. *Rentabilidad.*- Debido a las limitaciones económicas de las zonas rurales, la solución deberá ser la que brinde una mejor relación costo

beneficio, siendo CDMA 450 la solución ideal para ofrecer internet y otras aplicaciones centralizadas de datos en paralelo con la voz. Servicios especiales 3G como PTT, VoIP pueden ser ofrecidos inmediatamente.

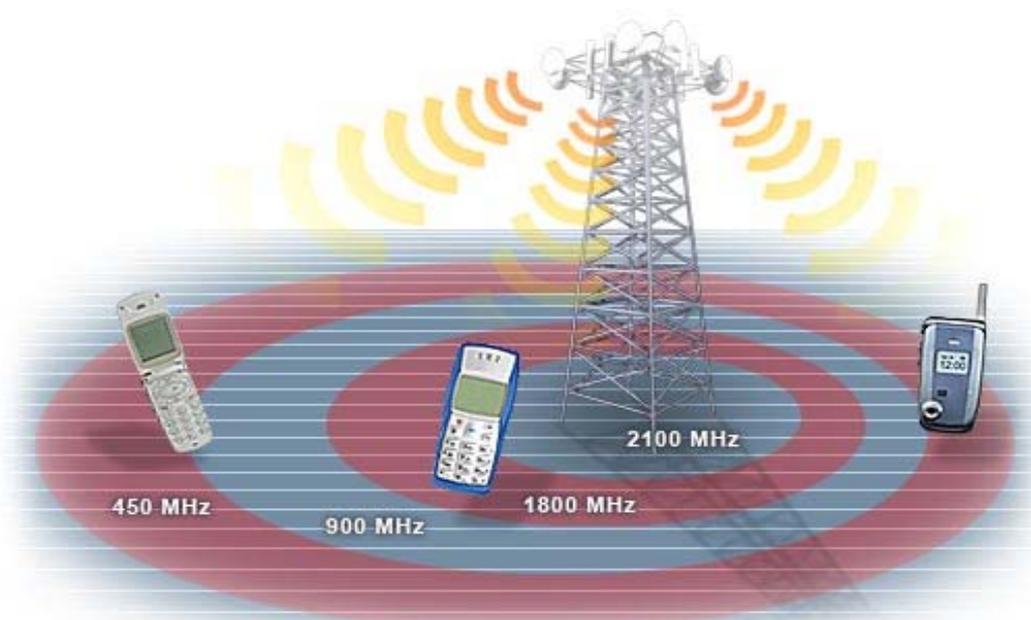


FIGURA 1-1 CDMA 450 “Comparación de coberturas”

Fuente: “CDMA 450”. CDG Website [CDG0000]

1.2.4 ¿Cómo puede CDMA 450 superar estos requerimientos?

A. *Cobertura.*- Gracias a que se hace uso de una frecuencia baja (450 MHz) se tiene mayor propagación, es decir mayor área de cobertura [OSH2004].

TABLA 1-1 Comparación de Cobertura
Fuente: Qualcomm and Lucent Technologies [OSH2004]

Frecuencia MHz	Radio de celda Km	Área de celda Km ²	Número de celdas relativo a una celda CDMA 450
2500	10	312	24.1
1900	13.3	553	13.6
1800	14	618	12.2
950	26.9	2269	3.3
850	29.4	2712	2.8
450	48.9	7521	1

B. Capacidad de voz y datos.- CDMA 450 ofrece servicios IMT-2000, es decir alta calidad de voz y alta velocidad de acceso. CDMA2000 1X permite una capacidad de voz de hasta 20 erlangs por sector/portadora. Y una velocidad de hasta 153 Kbps, mientras que CDMA2000 1xEV-DO permite un acceso de banda ancha de hasta 2.4 Mbps [OSH2004].

C. Rentabilidad.- Al tener un mayor área de cobertura, el costo de la infraestructura de transporte y distribución será menor, lo cual sumado al bajo costo de los equipos terminales, harán de este un servicio de bajo costo, pero de gran calidad [OSH2004].

1.3 Estudio del Despliegue Tecnológico CDMA 450 en el Perú y el mundo.

En los últimos años y debido a la necesidad de muchos países de implementar soluciones de telecomunicaciones de buena calidad y a un costo no muy alto, especialmente para cubrir aquellas áreas de baja densidad demográfica y rural, se ha producido un mayor despliegue de la tecnología CDMA 450 en todo el mundo, como lo podemos observar en la Figura 1-2 [CDG2009].

1.3.1 Despliegue tecnológico CDMA 450 en el mundo.



FIGURA 2-2 CDMA 450 “Situación de Mercado”

Fuente: “CDMA 450 : Situación de Mercado”. CDG - Enero 2009 [CDG2009]

En la TABLA 1-2, se detalla el despliegue de la tecnología CDMA 450 a nivel mundial, así como también se muestran las perspectivas de crecimiento las cuales se observan como “redes a ser implementadas”.

TABLA 1-2 CDMA 450 “Situación de Mercado” (Mundial)
Fuente: “CDMA 450 : Situación de Mercado”. CDG - Enero 2009 [CDG2009]

REGIÓN	CARACTERÍSTICAS
ASIA – PACÍFICO	<p><i>24 operaciones comerciales en 17 países.</i> <i>5 operaciones a ser implementadas en 5 países.</i> <i>24 redes comerciales 1X</i> <i>4 redes 1X a ser implementadas.</i> <i>5 redes comerciales 1xEV-DO Rel 0</i> <i>6 redes 1xEV-DO Rel 0 a ser implementadas</i> <i>3 redes 1xEV-DO Rev. A a ser implementadas.</i></p>
América Latina – El Caribe	<p><i>10 operaciones comerciales en 5 países.</i> <i>4 operaciones a ser implementadas en 4 países.</i> <i>10 redes comerciales 1X.</i> <i>4 redes 1X a ser implementada.</i> <i>1 red 1xEV-DO Rel 0 a ser implementada.</i> <i>4 redes 1xEV-DO Rev. A a ser implementadas.</i></p>
Europa – Rusia	<p><i>47 operaciones comerciales en 13 países.</i> <i>3 operaciones a ser implementadas en 3 países.</i> <i>41 redes comerciales 1X.</i> <i>6 redes 1X a ser implementadas.</i> <i>34 redes comerciales 1xEV-DO Rel 0</i> <i>4 redes 1xEV-DO Rel 0 a ser implementadas.</i> <i>13 redes comerciales 1xEV-DO Rev. A.</i> <i>6 redes 1xEV-DO Rev. A a ser implementadas.</i></p>
África – Medio Oriente	<p><i>19 operaciones comerciales en 17 países.</i> <i>2 operaciones a ser implementada en 2 países.</i> <i>19 redes comerciales 1X</i> <i>2 redes 1X a ser implementadas.</i> <i>3 redes comerciales 1xEV-DO Rel 0</i> <i>8 redes 1xEV-DO Rel 0 a ser implementadas</i> <i>2 redes comerciales 1xEV-DO Rev. A.</i> <i>4 redes 1xEV-DO Rev. A a ser implementadas.</i></p>

En la TABLA 1.3 se muestran las variaciones tecnológicas que soporta CDMA 450, acompañadas de la información sobre velocidades de conexión.

TABLA 1-3 Tecnologías y velocidades de conexión

Fuente: "CDMA 450: Situación de Mercado". CDG - Enero 2009 [CDG2009]

TECNOLOGÍA	VELOCIDAD DE CONEXIÓN	
	Máximo	Promedio para el usuario
CDMA2000 1X <i>Portadora 1.25 MHz</i>	153 Kbps DL 153 Kbps UL	60-100 Kbps
CDMA2000 1xEV-DO Rel. 0 <i>Portadora 1.25 MHz</i>	2.4 Mbps DL 153 Kbps UL	300-700 Kbps DL 70-90 Kbps UL
CDMA2000 1xEV-DO Rev. A <i>Portadora 1.25 MHz</i>	3.1 Mbps DL 1.8 Mbps UL	600-1400 Kbps DL 500-800 Kbps UL

DL: Download (Tasa de bajada)

UL: Upload (Tasa de subida)

Para el caso del continente americano, la Comisión Interamericana de Telecomunicaciones CITELE, organismo de la OEA, recomienda que se considere el uso de las bandas de 410-430 MHz y 450-470 MHz en los países de las Américas en los cuales exista la necesidad de provisión de servicios de telecomunicaciones en áreas de baja densidad demográfica o rurales. [INA2007].

El despliegue de esta tecnología a nivel mundial, también puede observarse desde el punto de vista de las empresas fabricantes de equipamiento de red y terminales como vemos a continuación: [CDG2009]

Proveedores de infraestructura: *Alcatel-Lucent, Huawei, ZTE, Hyundai Syscomm, Nortel, Airvana, Airwalk Communications, Qualcomm.*

Proveedores de terminales: *Curitel, Synertek, GTRAN, ZTE, Hyundai Syscomm, Giga Telecom, Axesstel, AnyDATA.*

1.3.2 Despliegue tecnológico CDMA 450 en América Latina

[INA2007].

A. México 2006:

La Secretaría de Comunicaciones y Transporte hace entrega de la concesión de las bandas de 453 - 457.475 MHz y 464 - 467.475 MHz a TELMEX, con la finalidad de brindar telefonía básica local, de larga distancia y acceso a internet en 7.225 localidades.

B. Venezuela 2006:

La CONATEL (Comisión Nacional de Telecomunicaciones), publica la Providencia Administrativa N. 888, en la cual se determina el CUNABAF Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias incluyendo la atribución de la banda de 450 - 470 MHz, se publica también la Nota Nacional V12 en la cual se indica que las bandas comprendidas entre los 452.5 – 457.475 MHz y 462.5 – 467.475 MHz podrán ser utilizadas para la operación de sistemas IMT-2000.

C. Venezuela 2007:

CVG Telecom implementa un servicio masivo de telefonía inalámbrica fija en la banda de 450 – 470 MHz con la finalidad de proveer de servicio telefónico y acceso a internet de manera económica a poblaciones que no contaban con estos servicios, beneficiando a más de 800.000 habitantes.

D. Argentina 2006

Setiembre: Se inauguran las redes comerciales El Chaltén y El Calafate usando la banda de 450 – 470 MHz

Diciembre: Se inaugura la red Villa Gesell.

E. Ecuador:

Etapas Cuenca: Servicio WLL en la región de Cuenca.

1.3.3 Despliegue tecnológico CDMA 450 en el Perú.

En nuestro país el empleo de esta tecnología es aún muy limitado, a pesar de que la banda de 450 – 470 MHz ya fue asignada y distribuida entre las dos grandes empresas que manejan la mayor parte del mercado de las telecomunicaciones en nuestro país como son Telefónica y Telmex, y una iniciativa particular llamada Valtron.

TABLA 1-4 Distribución de la frecuencia de 450 MHz en el Perú

Fuente: "MTC : Registro nacional de frecuencias". MTC - Junio 2008 [MTC2008]

Banda 452.5 - 457.5 MHz y 462.5 - 467.5 MHz (Sistemas de acceso fijo inalámbrico)				
Canal	Frecuencia (MHz) BW:1.25 MHz		Empresa	Área de asignación
	Ida	Retorno		
1	453.975	463.975	VALTRON E.I.R.L.	Provincia Huarochirí (Departamento de Lima)
			TELMEX PERÚ S.A.	Provincias de Trujillo, Chiclayo, Piura, Arequipa, Cusco, Cajamarca, Maynas, Coronel Portillo, San Román, Huaura, Barranca, Cañete y Huaral
			TELEFONICA MOVILES S.A.	Provincia de Lima, Provincia Constitucional del Callao
2	455.225	465.225	VALTRON E.I.R.L.	Provincia Huarochirí (Departamento de Lima)
			TELMEX PERÚ S.A.	Provincias de Trujillo, Chiclayo, Piura, Arequipa, Cusco, Cajamarca, Maynas, Coronel Portillo, San Román, Huaura, Barranca, Cañete y Huaral
			TELEFONICA MOVILES S.A.	Provincia de Lima, Provincia Constitucional del Callao
3	456.475	466.476	TELMEX PERÚ S.A.	Provincias de Trujillo, Chiclayo, Piura, Arequipa, Cusco, Cajamarca, Maynas, Coronel Portillo, San Román, Huaura, Barranca, Cañete y Huaral
			TELEFONICA MOVILES S.A.	Provincia de Lima, Provincia Constitucional del Callao

Valtron es la empresa peruana propietaria de la única red rural con tecnología CDMA 450 hasta el momento, la red se ubica en la provincia de Huarochirí departamento de Lima, fue inaugurada a mediados del 2006 y ofrece una solución de telefonía fija e internet a lo largo y ancho de la provincia de Huarochirí, bajo la administración de Televías del Perú. Cuenta con una red basada en equipos y terminales ZTE.

Actualmente esta red constituye un ejemplo y precedente sobre el uso de la tecnología CDMA 450 en zonas rurales, tanto para países de nuestra región como para el resto del mundo.

Por otro lado, Telefónica del Perú viene utilizando esta banda para la implementación del servicio de telefonía fija inalámbrica en la ciudad de Lima, mientras que Telmex viene realizando pruebas en el interior del país.





2.1 Descripción Geográfica de la zona a intervenir.

Las localidades a intervenir se encuentran ubicadas al sur de la Ciudad del Cusco, a orillas de los ríos Paruro, Apurímac y Acomayo, comprendiendo parte de las provincias de Acomayo y Paruro, cuyas altitudes se encuentran entre los 2600 y 3800 m.s.n.m. entre los pisos ecológicos Quechua y Puna, presenta valles, quebradas, bosques nativos y pampas, debido a estas características presentan una gran diversidad de microclimas, los cuales hacen de estas zonas propicias para la ganadería y agricultura.

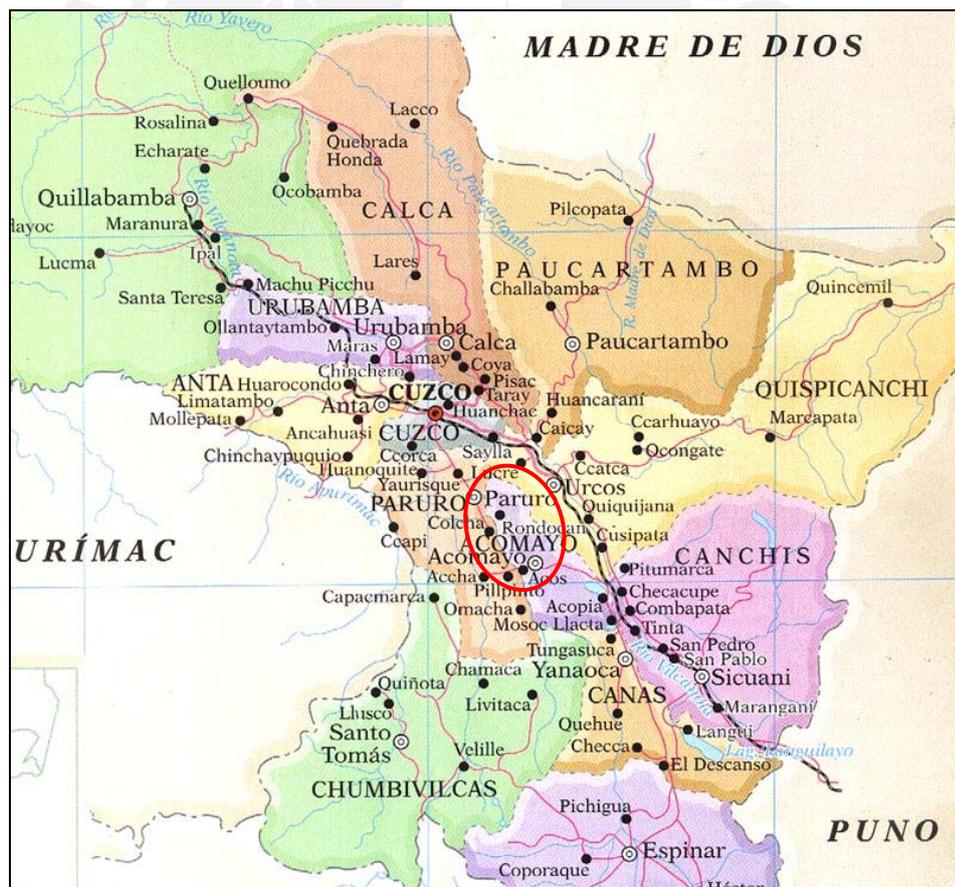


FIGURA 2-1 Ubicación geográfica de la zona a intervenir

Fuente: "www.cuscoperu.com"

2.2 Evaluación socio-económica de las poblaciones a intervenir.

2.2.1 Características poblacionales

La población total en los distritos a intervenir asciende a 17 950 habitantes, la cual está concentrada en las capitales de distrito (Paruro y Acomayo), cabe destacar la importancia del distrito de Accha el cual concentra a la mayoría de la población de la provincia de Paruro.

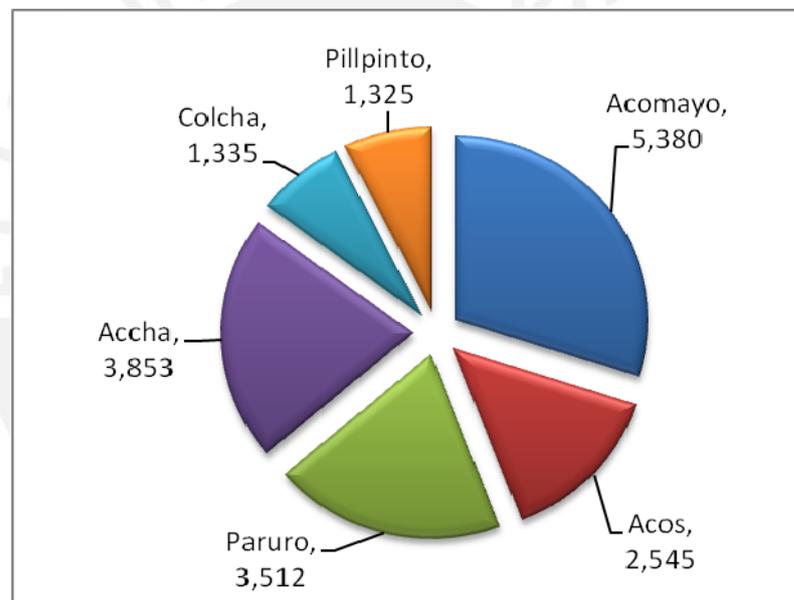


FIGURA 2-2 Población por distrito

Fuente: "INEI - Censos Nacionales 2007". INEI - 2007 [CPV2007]

La población está dividida prácticamente a medias de acuerdo al tipo de área habitada según el INEI, es decir se tiene un similar número de pobladores en las áreas urbanas (Capital de Distrito) y las áreas rurales (caseríos, anexos, etc.). El sexo también presenta características similares en cuanto a división, siendo la diferencia mínima entre el número de varones y mujeres.

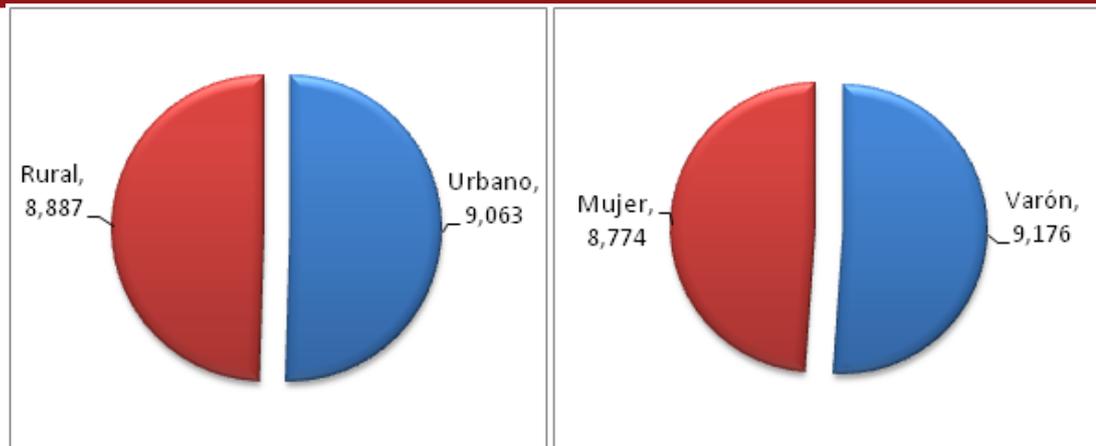


FIGURA 2-3 Población por tipo de área y sexo
Fuente: "INEI - Censos Nacionales 2007". INEI - 2007 [CPV2007]

En cuanto a la edad de los pobladores, a nivel general observamos que existe una gran presencia de menores de edad y que además la diferencia entre las edades de los pobladores está mucho más marcada en algunos distritos como Colcha y Pillpinto en los cuales la mayoría de pobladores son niños y ancianos, siendo escasa la presencia de jóvenes y adultos debido al constante proceso de migración que se da en estas zonas.

Los jóvenes una vez concluidos sus estudios secundarios y muchas veces solo los primarios se alejan del núcleo familiar hacia las ciudades más grandes, en busca de mejores oportunidades, las cuales les permitan alcanzar una mejor calidad de vida y mejores oportunidades de desarrollo personal debido al bajo costo de oportunidad que se tiene en gran parte de estos centros poblados.

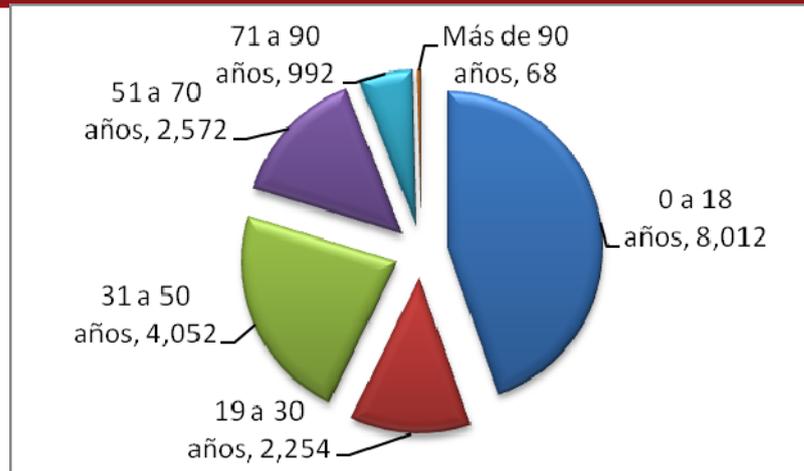


FIGURA 2-4 Población por grupo de edad
 Fuente: "INEI - Censos Nacionales 2007". INEI - 2007 [CPV2007]

Este proceso de migración se refleja en los niveles educativos de la población, ya que los jóvenes se dirigen a las grandes ciudades en busca de opciones de educación superior como institutos y universidades.

La presencia de pobladores con niveles de educación superior, se debe a que se encuentran en la zona por razones laborales y en muchos casos a que una vez jubilados vuelven a sus lugares de origen en busca de un ambiente mucho más tranquilo para vivir.

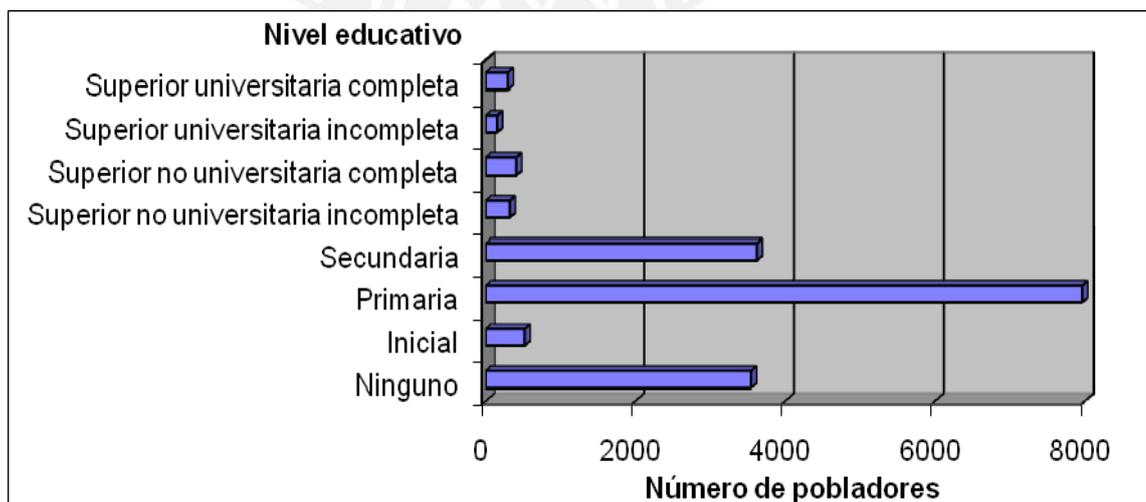


FIGURA 2-5 Población por nivel educativo
 Fuente: "INEI - Censos Nacionales 2007". INEI - 2007 [CPV2007]

2.2.2 Características económicas

Las actividades económicas de los pobladores en su mayoría son la agricultura y la ganadería, abarcando alrededor del 60% de la población.

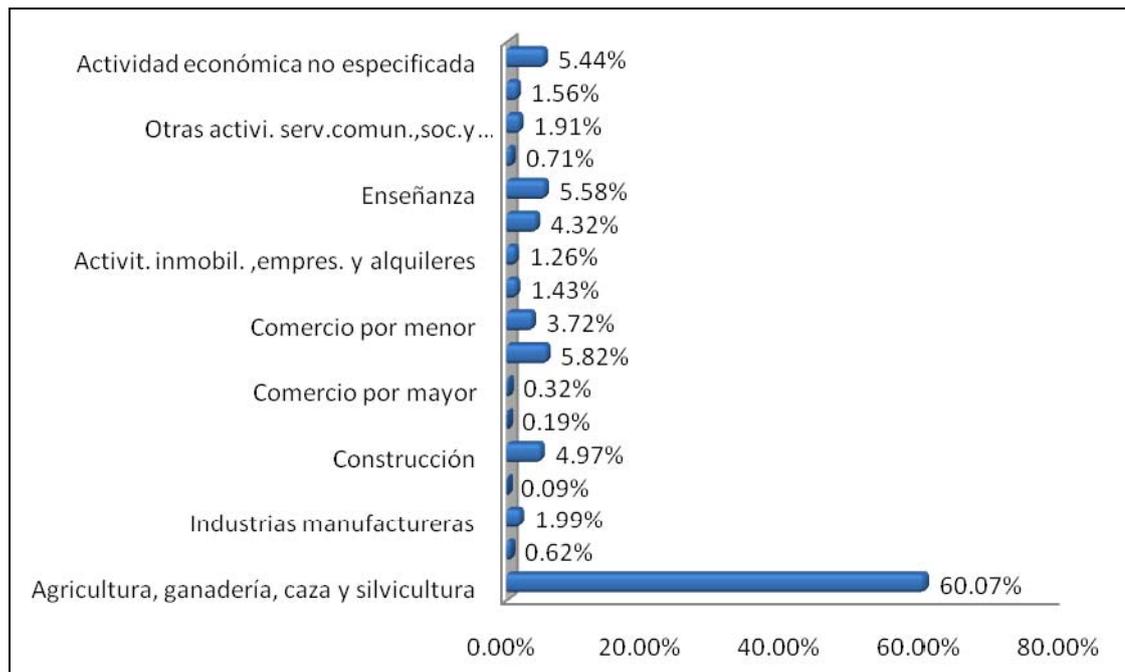


FIGURA 2-6 Actividades económicas a las que se dedican los pobladores

Fuente: "INEI - Censos Nacionales 2007". INEI - 2007 [CPV2007]

Otra de las informaciones útiles que podemos obtener del Censo Nacional del 2007, es el número de viviendas que cuentan con suministro de energía eléctrica por cada distrito y en total, estos datos nos servirán para hacer la estimación de la demanda de servicios, ya que es un indicador de la capacidad adquisitiva de un poblador además de constituir una variable de tipo excluyente para acceder a alguno de los servicios de voz y/o datos que

se piensan ofrecer en la zona, debido a que se necesita de energía eléctrica para su funcionamiento.

En la siguiente figura se aprecia la cantidad de hogares que cuentan con suministro de energía eléctrica por cada distrito, observándose que para los Distritos de Accha y Colcha, el número de hogares que cuentan con este servicio es menos de la mitad del total de hogares.

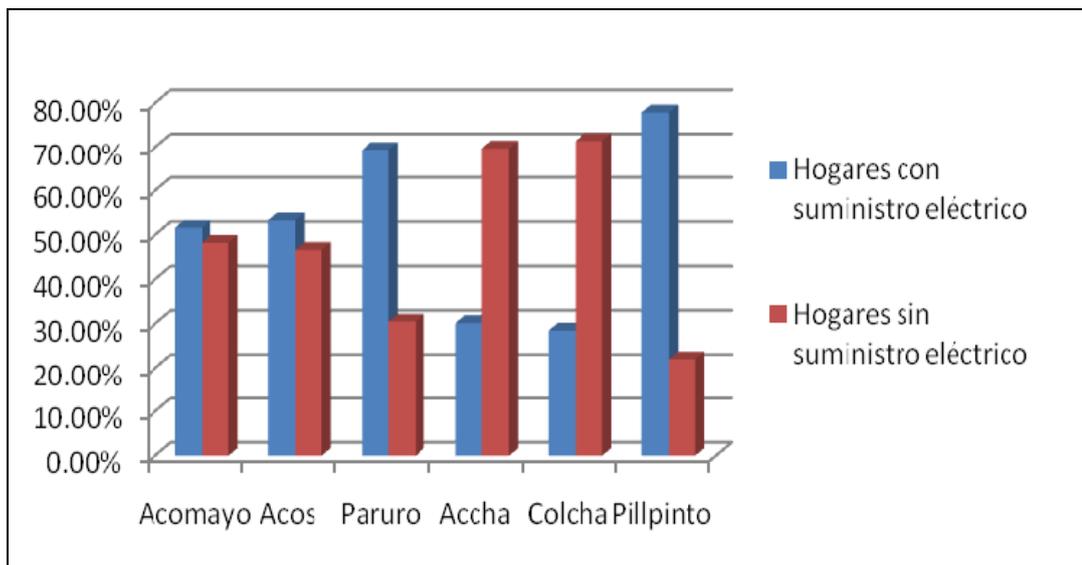


FIGURA 2-7 Porcentaje de hogares con suministro eléctrico por distrito

Fuente: "INEI - Censos Nacionales 2007". INEI - 2007 [CPV2007]

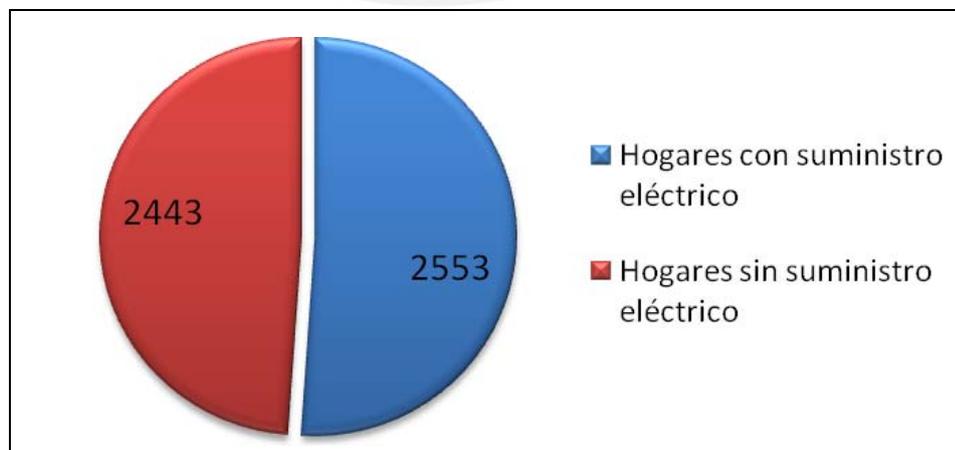


FIGURA 2-8 Número de hogares con suministro eléctrico en total

Fuente: "INEI - Censos Nacionales 2007". INEI - 2007 [CPV2007]

2.3 Evaluación de la infraestructura de telecomunicaciones existente

2.3.1 Distrito de Paruro

- A. Cuenta con servicio celular tanto de América Móvil (Claro) como de Telefónica Móviles (Movistar), cada una con su propia estación base.
- B. La torre de Claro se ubica frente a la puerta del Templo Mayor, sobre el cerro Kuntur Pawachina aproximadamente a 500 m de la Plaza de Armas en dirección Nor Este.
- C. La torre de Movistar se ubica en la parte posterior del Templo Mayor, sobre el cerro Custero aproximadamente a 450 m de la Plaza de Armas en dirección Sur Oeste.
- D. Telefonía pública satelital: 5 estaciones de Telefónica en la localidad de Paruro y 5 estaciones de Gilat en las localidades de Cusibamba Bajo, Maska, Mayubamba, Misca y Paruro.
- E. Cuenta con una sola cabina pública de internet de 12 computadoras, la cual usa un sistema VSAT.



FIGURA 2-9 Torres celulares de Claro (izquierda) y Movistar (derecha), en el distrito de Paruro

Fuente: "Visita de campo"

2.3.2 Distrito de Colcha

- A. Telefonía pública satelital: 2 estaciones de Telefónica en las localidades de Colcha y Cochirihuay, y 2 estaciones de Gilat en las localidades de Araypallpa y San Lorenzo.
- B. Movistar está levantando una torre para brindar servicio a esta zona, estará ubicada en el cerro Kankallpata al Nor Oeste del distrito de Colcha.



FIGURA 2-10 Infraestructura de Telecomunicaciones en el distrito de Colcha

Fuente: "Visita de campo"



FIGURA 2-11 Estación base de Movistar en construcción cerca del distrito de Colcha

Fuente: "Visita de campo"

2.3.3 Distrito de Accha

- A. Telefonía pública satelital: 3 estaciones de Telefónica en la localidad de Accha, y 4 estaciones de Gilat en las localidades de Accha (2), Huyayno y Misanapata.
- B. El internet es ofrecido por la municipalidad en su biblioteca, también usa sistemas VSAT.
- C. En la zona sur del pueblo es posible captar señal celular de Claro, la cual proviene del repetidor de Acomayo.

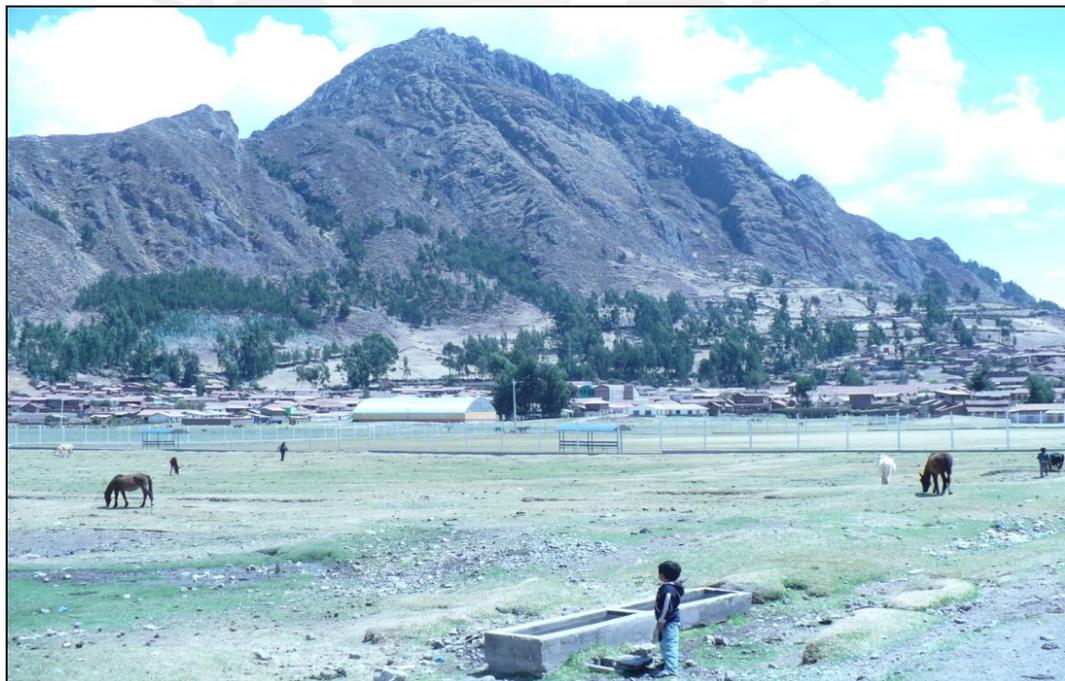


FIGURA 2-12 Vista panorámica del distrito de Accha
Fuente: “Visita de campo”

2.3.4 Distrito de Pillpinto

A. Telefonía pública satelital: 2 estaciones de Telefónica en la localidad de Pillpinto, y 2 estaciones de Gilat en las localidades de Capa y Taucabamba.



FIGURA 2-13 Municipalidad y templo del distrito de Pillpinto
Fuente: "Visita de campo"

2.3.5 Distrito de Acomayo

- A. Cuenta con servicio celular de Claro, con la torre ubicada en el cerro Huaynapata.
- B. Cuenta con una cabina de internet municipal, basada en VSAT.
- C. Telefonía pública satelital: 6 estaciones de Telefónica en las localidades de Acomayo (5) y Huáscar (1), y 5 estaciones de Gilat en

las localidades de Acomayo, Lampamarca, Llactapampa, Pitumarca y
Puica.



FIGURA 2-14 Municipalidad de Acomayo
Fuente: "Visita de campo"



FIGURA 2-15 Torre celular de Claro la cual cubre los distritos de
Acomayo y Acos
Fuente: "Visita de campo"

2.3.6 Distrito de Acos

- A. Cuenta con servicio celular de Claro cuya señal proviene de la antena de Acomayo, ubicada en el cerro Huaynapata.
- B. Telefonía pública satelital: 3 estaciones de Telefónica en las localidades de Acos (2) y Huayqui, y 1 estación de Gilat en la localidad de Corma.



FIGURA 2-16 Municipalidad y templo del distrito de Acos
Fuente: “Visita de campo”

2.4 Determinación de la demanda y de los posibles servicios a prestar

Para la determinación de la demanda, es necesario conocer los niveles de penetración actual de los servicios de comunicaciones, en la FIGURA 2-17 observamos que la carencia de servicios está ampliamente marcada, especialmente en cuanto a servicios de telefonía fija e internet.

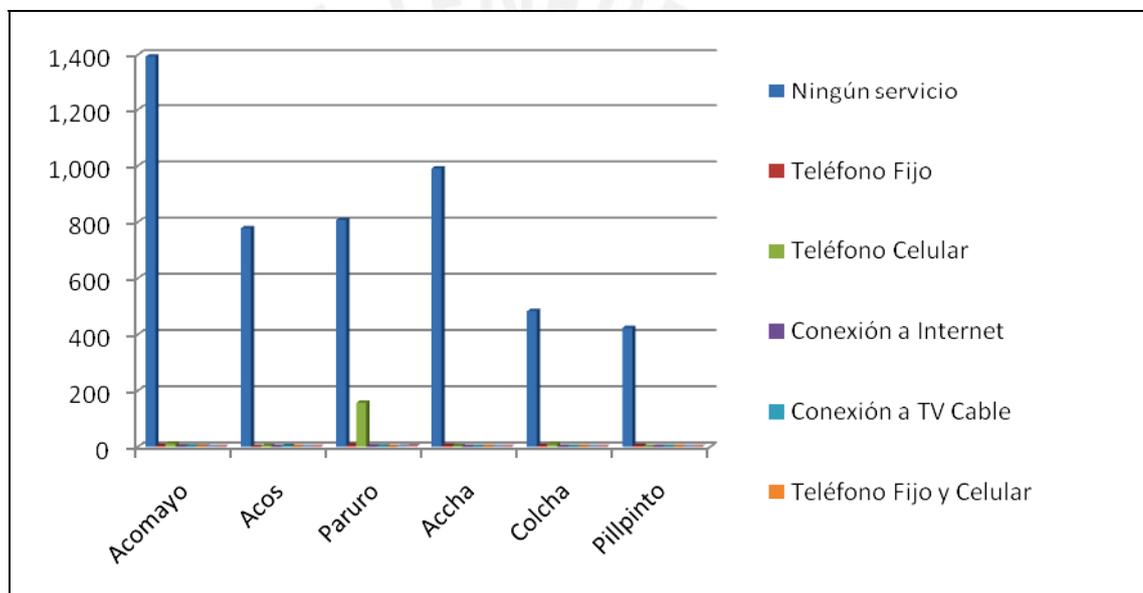


FIGURA 2-17 Servicios no básicos con los que cuentan los hogares

Fuente: "INEI - Censos Nacionales 2007". INEI - 2007 [CPV2007]

Una vez identificadas las carencias de servicio, realizamos una investigación de mercado mediante un sistema de encuestas las cuales nos brindan una idea de la disposición de la población a adquirir estos servicios así como también cual es la cantidad promedio mensual que podrían destinar a cada uno de estos servicios, como se observa en la siguiente tabla:

TABLA 2-1 Servicios requeridos y promedio de inversión por parte de los pobladores.

Fuente: "Encuesta realizada durante la visita a estos lugares"

Nombre de distrito	Servicios requeridos		Promedio de inversión mensual S/.	
	Telf. Fijo	Internet	Telf. Fijo	Internet
Acomayo	60.0%	40.0%	32.2	42.7
Acos	92.0%	92.0%	27.3	33.6
Paruro	69.2%	92.3%	32.1	39.1
Accha	60.0%	40.0%	31.7	41.8
Colcha	60.0%	40.0%	28.3	42.5
Pillpinto	100.0%	100.0%	30	36.3

2.4.1 Demanda del servicio de telefonía fija, modalidad abonado

Para la determinación de la demanda del servicio de telefonía fija, consideraremos el estudio sobre "Estimación de demanda en telecomunicaciones rurales" realizado por el economista Abel Rodríguez Gonzáles a pedido del FITEL en el año 2005. Este estudio fue realizado sobre un universo de 106 Capitales de Distrito y tiene las siguientes consideraciones para su aplicación:

- A. Se cuenta con una central telefónica, en nuestro caso se considera la existencia de cobertura.
- B. Menos de 6000 habitantes.
- C. Se considera 5 miembros por familia.
- D. No se consideran penetraciones mayores al 80%.

Del estudio de las características de la población realizado en el Capítulo 2, observamos que estas son comprendidas dentro de las consideraciones arriba mencionadas.

Como resultado de dicha investigación se elaboró un cuadro para la determinación del porcentaje de penetración, teniendo en cuenta los valores de la renta mensual y el cargo único por conexión para una población rural (Tabla 2-3), también se determinó que el porcentaje de penetración promedio en una localidad rural de la sierra sur de nuestro país es de 36.6%.

TABLA 2-2 Penetración fija, de acuerdo a la renta mensual y al cargo único por conexión.

Fuente: "Estimación de la demanda en telecomunicaciones rurales" [ARO2005]

	RENTA MENSUAL A PAGAR						
	S/.	30	40	50	60	70	80
CARGO ÚNICO POR CONEXIÓN	30	84.0%	67.2%	47.8%	27.9%	13.5%	4.7%
	40	77.5%	65.6%	47.7%	27.9%	13.5%	4.7%
	50	61.2%	58.3%	47.0%	27.9%	13.5%	4.7%
	60	42.4%	42.2%	38.9%	27.9%	13.5%	4.7%
	70	24.8%	24.8%	24.7%	22.0%	13.4%	4.7%
	80	12.8%	12.8%	12.8%	12.7%	10.4%	4.8%

Basados en la información obtenida de la encuesta realizada durante la visita a las localidades a intervenir en las que se observa que la renta mensual promedio que los pobladores estarían dispuestos a abonar es de S/. 30 y considerando un costo de conexión de S/. 60, obtenemos un factor de penetración de 42.4%, para determinar la cantidad de demanda potencial

deberemos aplicar el factor correspondiente a la presencia de suministro eléctrico por distrito obteniendo:

TABLA 2-3 Demanda de telefonía por distrito

Nombre de distrito	Total de Hogares	Suministro eléctrico	Demanda (al 42.4%)
Acomayo	1 368	51.68%	300
Acos	780	53.33%	176
Paruro	959	69.45%	282
Accha	976	30.23%	125
Colcha	491	28.51%	59
Pillpinto	422	77.96%	139
Total			1 082

Para el cálculo de la intensidad de tráfico, consideraremos un consumo promedio por usuario de 25mE en la hora cargada (en telefonía fija de abonado el tráfico varía entre 10mE y 40mE por lo cual consideramos el promedio), con esta información obtenemos la intensidad de tráfico por distrito y total.

TABLA 2-4 Intensidad de tráfico por distrito

Nombre de distrito	Demanda	Intensidad de tráfico: Erlang
Acomayo	300	7.49
Acos	176	4.41
Paruro	282	7.06
Accha	125	3.13
Colcha	59	1.48
Pillpinto	139	3.49
TOTAL	1082	27.06

2.4.2 Demanda del servicio de telefonía pública

Para el cálculo de la demanda de telefonía pública, tendremos en cuenta la densidad de líneas telefónicas públicas para el departamento de Cusco, dato obtenido de la web de OSIPTEL, en la cual se indica que se cuenta con **4.9** teléfonos públicos por cada 1000 habitantes al mes de setiembre del 2008 [OSP2008].

Cálculo de la demanda de teléfonos públicos:

$$TUPs = (4.9/1000 \text{ hab}) * \text{número de habitantes} - TUPs \text{ existentes}^1.$$

TABLA 2-5 Demanda de TUPs

Nombre de distrito	Número de Habitantes	Demanda con factor : 4.9/1000	TUPs Existentes	Demanda Real TUPs
Acomayo	5380	26.36	11	15
Acos	2545	12.47	4	8
Paruro	3512	17.21	10	7
Accha	3853	18.88	7	12
Colcha	1335	6.54	4	3
Pillpinto	1325	6.49	4	2
Total				47

Para el cálculo de la intensidad de tráfico demandada por el sistema de telefonía pública, tomaremos como referencia el utilizado por la empresa Gilat to Home Perú (GTH Perú) para el dimensionamiento de su red de telefonía pública rural, la cual utiliza el tráfico en la hora pico de la red ya que el tráfico por teléfono público es muy variado, considerando una concentración en hora pico del 13%; además, de acuerdo a las bases de los

¹ Dato obtenido del estudio de la infraestructura actual en el Capítulo 2, Título 2.3.

proyectos Fitel, tenemos que la cantidad de minutos por línea al día es de 27, entonces tenemos:

$$27 \text{ min} \times 0.13 / 60 \text{ min} = 0.0585 \text{ Erlangs}$$

TABLA 2-6 Intensidad de tráfico por distrito

Nombre de distrito	Demanda Real TUPs	Intensidad de tráfico: Erlang
Acomayo	15	0.90
Acos	8	0.50
Paruro	7	0.42
Accha	12	0.69
Colcha	3	0.15
Pillpinto	2	0.15
Total		2.81

El tráfico total de voz será:

$$27.06 \text{ (T. Fija de abonado)} + 2.81 \text{ (TUP)} = 29.87 \text{ Erlangs}$$

Teniendo en cuenta un factor de bloqueo de llamadas en hora pico del 1% y aplicando la fórmula de Erlang B, por medio de la cual se obtiene como resultado que un E1 puede manejar 20,3 Erlangs, calculamos el número de E1s necesarios para el funcionamiento del sistema de telefonía fija; para una intensidad de tráfico total de **29.87 Erlangs**, serán necesarios **2 E1s**.

2.4.3 Demanda del servicio de internet

Para los cálculos de demanda de velocidad, observaremos primero el estado actual del servicio, brindado en localidades similares por la empresa Gilat mediante enlaces satelitales con tecnología VSAT:

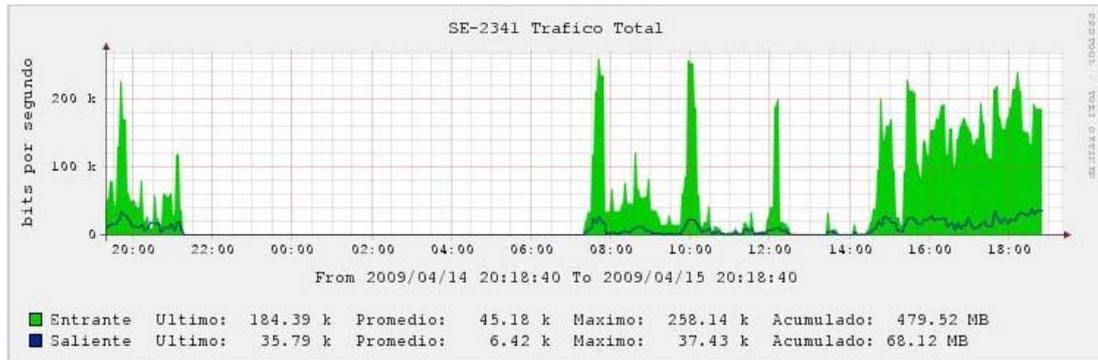


FIGURA 2-18 Tráfico diario de una estación VSAT con QoS 256/128 Kbps
Fuente: Gilat To Home - Perú - 2009 [GTH2009]

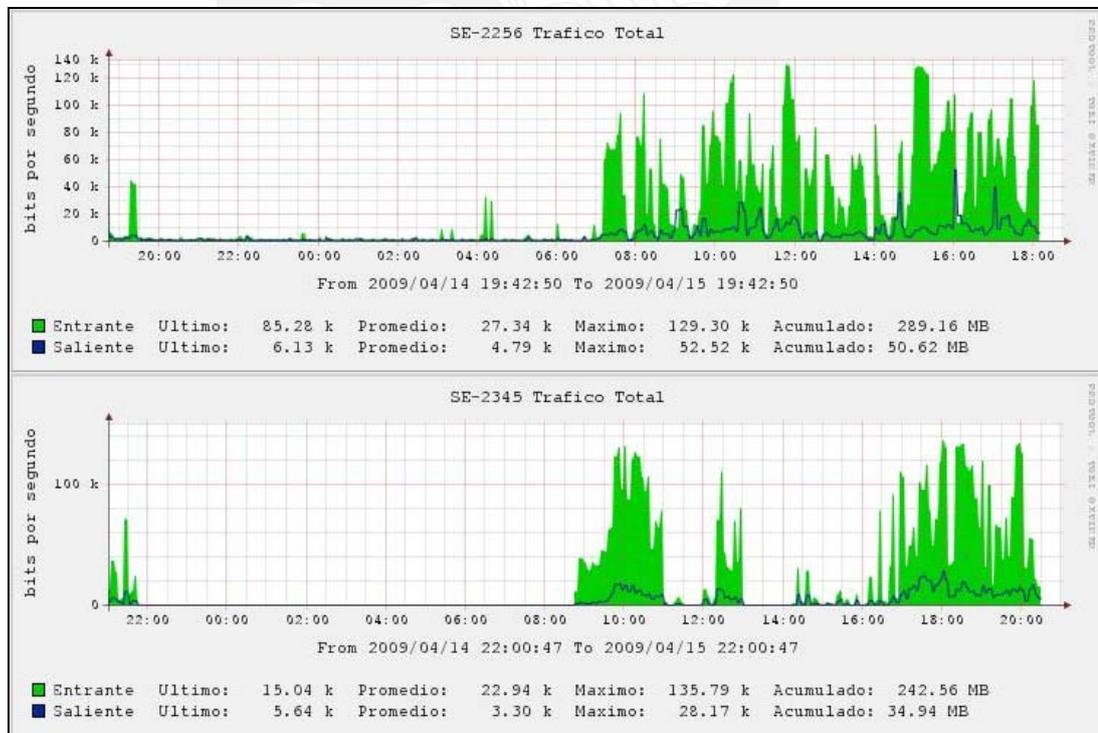


FIGURA 2-19 Tráfico diario de dos estaciones VSAT con QoS 128/64 Kbps
Fuente: Gilat To Home - Perú - 2009 [GTH2009]

En la **FIGURA 2-18** observamos el tráfico diario de una estación VSAT un QoS de 256/128 Kbps con un 12.5% garantizado en la hora pico, mientras que en la **FIGURA 2-19** se observa el tráfico de dos estaciones con un QoS de 128/64 Kbps con el 20% garantizado en la hora pico; en los tres casos se observa que el comportamiento del tráfico es irregular durante gran parte del día, pero que existe un periodo en el cual la utilización del servicio es mayor, esto se da en las tardes a partir de las 4pm hasta alrededor de las 8pm periodo que consideraremos como el de mayor congestión u “hora pico”.

En base a lo observado del estado actual del servicio de internet en localidades similares a las que hemos de intervenir y dado que usaremos una tecnología que nos permite manejar velocidades mayores a un costo mucho menor que el de un enlace satelital, tendremos las siguientes consideraciones:

Para el cálculo de la demanda del servicio de internet tomaremos en cuenta la proporción existente entre la cantidad de líneas fijas de abonado (53 651 líneas) y el número de conexiones a internet (11 360 conexiones) en la ciudad del Cusco [OSP2008]. Obtenemos que el **21.7%** de los hogares con línea telefónica, cuenta con acceso a internet. Este porcentaje variará de acuerdo a otros factores como la diferencia entre el gasto mensual, pero lo usaremos de referencia para el cálculo de la cantidad de conexiones a tener por distrito en un primer momento.

Ofreceremos una velocidad nominal: 512/128 Kbps, cuya velocidad garantizada en la hora pico será el 10% de la velocidad nominal (se considera un reuso de 1:10).

De las consideraciones anteriores obtenemos la siguiente tabla:

TABLA 2-7 Demanda de conexiones a internet

Nombre de distrito	Nº de líneas telefónicas	Demanda de conexiones a internet	<i>Demanda de velocidad 51.2/12.8 Kbps</i>
Acomayo	433	94	6016
Acos	255	55	3520
Paruro	408	88	5632
Accha	181	39	2496
Colcha	86	19	1216
Pillpinto	201	44	2816
Requerimiento TOTAL de Mbps:			21696
Número de enlaces de 2.048 Mbps			11



3.1 Estructura del proyecto

Inicialmente y con el objetivo de cubrir las necesidades de comunicación en los distritos de Paruro, Colcha, Accha, Pillpinto, Acos y Acomayo, la red a desplegarse consistirá en 2 estaciones base (BTS) ubicadas una en el cerro Huayruro (Distrito de Colcha, Provincia de Paruro) y la otra en el cerro Laykatuyoc (Distrito de Sangarará , Provincia de Acomayo), las cuales se interconectarán con el centro de operaciones ubicado en la ciudad del Cusco mediante un sistema de microondas, facilitándose de esta manera la interconexión con la red pública de telefonía, redes de telefonía celular así como también con el internet.

3.1.1 Puntos de referencia

A inicios del mes de setiembre se realizó una visita de observación a la zona a intervenir, habiendo estado en las capitales de distrito y buscando posibles ubicaciones para las estaciones base; en esta visita, con ayuda de mapas de la zona y un GPS, además de la información obtenida de la Red de Salud Cusco Sur del Proyecto Ehas, se determinó la ubicación de cada una de las capitales de distrito con referencia a su Plaza de Armas, así como también se registró la ubicación de algunos puntos referenciales los cuales se listan en la TABLA 3-1 que se muestra a continuación.

TABLA 3-1 Puntos Referenciales.

Fuente: "Visita de campo"

Lugar	Descripción	Latitud S	Longitud O
PARURO	Pza. de Armas	13° 45' 40,7"	71° 50' 50,9"
CUSIBAMBA	Pie de carretera	13° 48' 50"	71° 48' 56"
COLCHA	Municipalidad	13° 51' 6,8"	71° 48' 11,6"
C° Kankallpata	Futura torre (Telefónica Móviles)	13° 50' 24"	71° 50' 30"
ARAYPALLPA	Pie de carretera	13° 49' 59,3"	71° 50' 8,1"
COCHIRIHUAY	Pie de carretera	13° 54' 33,4"	71° 50' 49,3"
ACCHA	Pza. de Armas	13° 58' 16,6"	71° 49' 53,5"
PILLPINTO	Pza. de Armas	13° 56' 56,3"	71° 45' 38,8"
ACOS	Pza. de Armas	13° 57' 5"	71° 44' 17,9"
ACOMAYO	Pza. de Armas	13° 55' 8,2"	71° 41' 0,5"
Lorochayoc	Pie de carretera	13° 56' 43,3"	71° 38' 306,9"
Kollaculka	Pie de carretera	13° 56' 38,4"	71° 37' 38,8"
SANGARARÁ	Pie de carretera	13° 56' 58,3"	71° 36' 18,3"
C° Laykatuyoc	Rep. Ehas	13° 55' 38,9"	71° 37' 36,3"

3.1.2 Estructura general de la red

En el siguiente diagrama se muestra la estructura de la red, basada en la solución brindada por la compañía ZTE para la red CDMA 450 en Huarochirí.

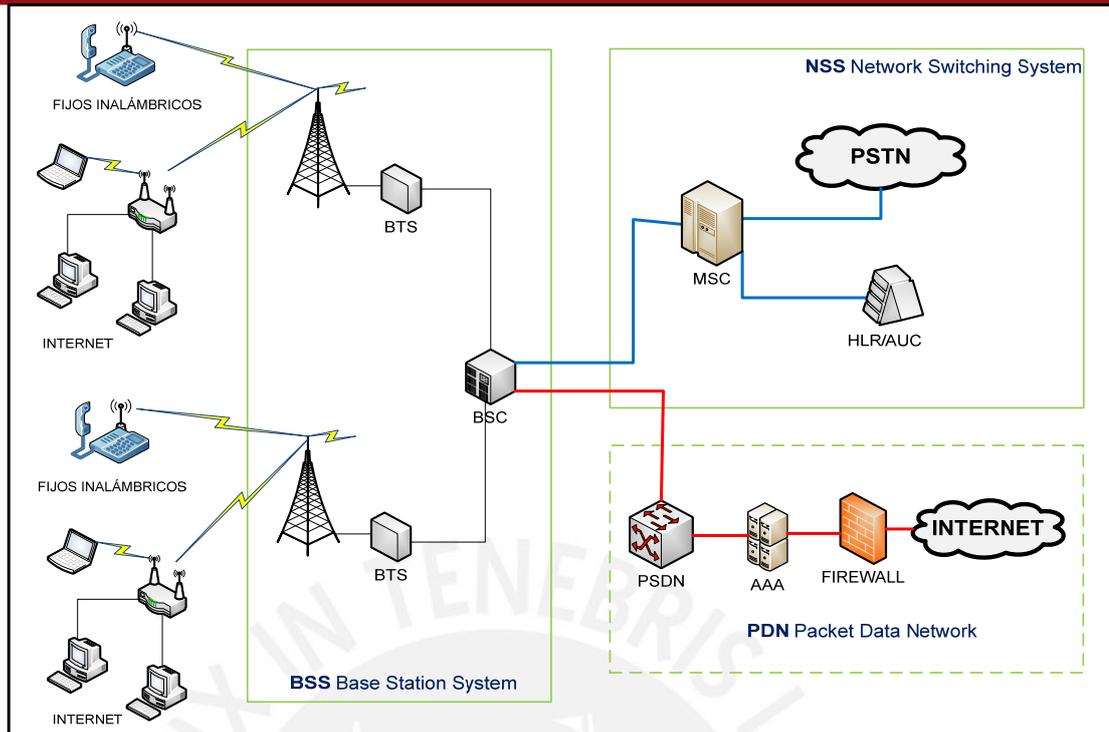


FIGURA 3-1 Diagrama básico de la red

3.2 Red de transporte

La red de transporte es la encargada de permitir la comunicación entre la Red de Acceso (sistema de estaciones base) y los sistemas de conmutación de voz y datos, a través de repetidores, esta red consistirá en un sistema de microondas desde la Ciudad del Cusco hasta las estaciones base ubicadas en los cerros Huayruro y Laykatuyoc y que tomará como referencia la infraestructura desplegada para la Red de Salud Cusco-Sur, implementada hace algunos años dentro del marco del proyecto EHAS y aprovechando la ley de reutilización de infraestructura promulgada y aprobada por el Estado Peruano a principios del año 2008.

TABLA 3-2 Ubicación de los repetidores en la red de transporte.

Fuente: "GTR-PUCP: Red de Salud Cusco – Sur" y visita de campo realizada.

Lugar	Latitud S	Longitud O	Altura m.s.n.m.
CUSCO	13° 31' 52.1"	71° 55' 48.6"	3285.7
QOSQOHUARINA	13° 39' 0.6"	71° 35' 17,9"	4256.3
DON JUAN	14° 00' 37.1"	71° 29' 26.5"	4444.2
LAYKATUYOC	13° 55' 38.9"	71° 37' 36.3"	4171
PISCO ORJO	13° 51' 29.7"	71° 43' 6.6"	4604.6
HUAYRURO	13° 50' 46.1"	71° 49' 35.7"	3707.4

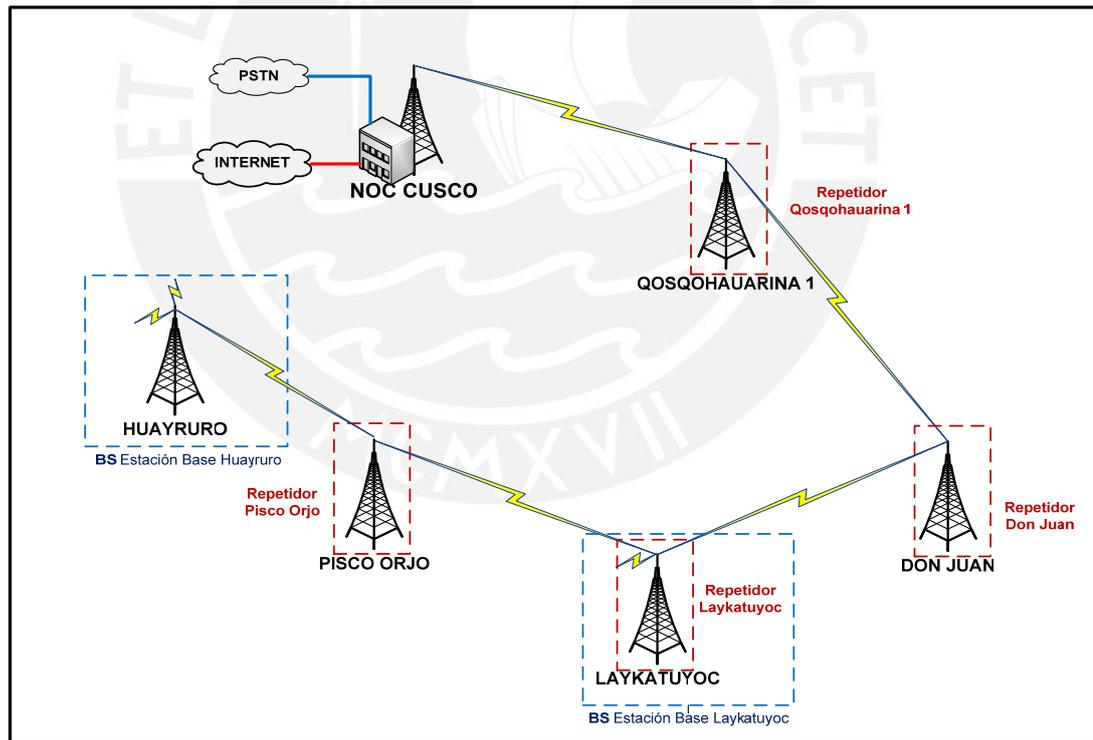


FIGURA 3-2 Diagrama de la red de transporte

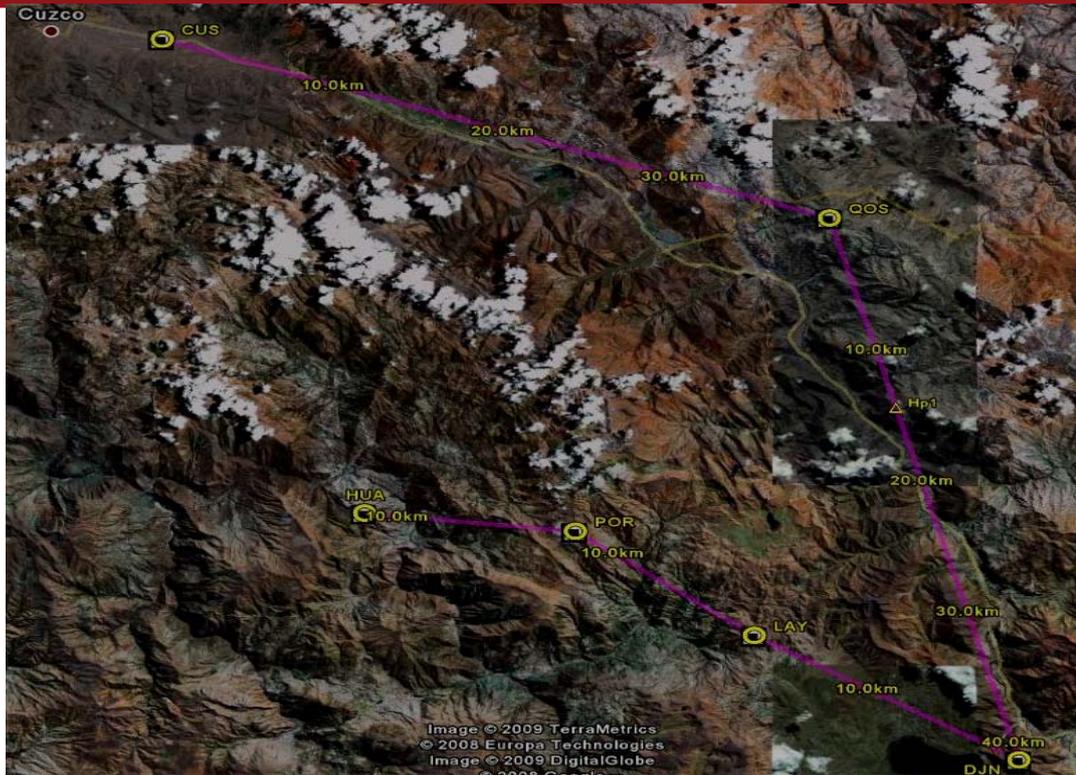


FIGURA 3-3 RED DE TRANSPORTE
Fuente: “Motorola PTP Link Planner – Google Earth”



FIGURA 3-4 Infraestructura en Qosqohuarina
Fuente: “Visita de campo”



FIGURA 3-5 Infraestructura en Laykatuyok

Fuente: "Visita de campo"

3.2.1 Análisis de radio-propagación para los enlaces de la red de transporte

Deberemos tener en cuenta los valores de pérdidas por propagación en el espacio libre, así como también el valor de la potencia recibida, la cual deberá ser mayor que el valor de la sensibilidad del receptor:

Pérdidas por espacio libre:

$$L_P = 92.45 + 20 \log f + 20 \log d \text{ dBm}$$

Donde: f : frecuencia en GHz d : distancia en Km.

Potencia recibida o potencia en el receptor:

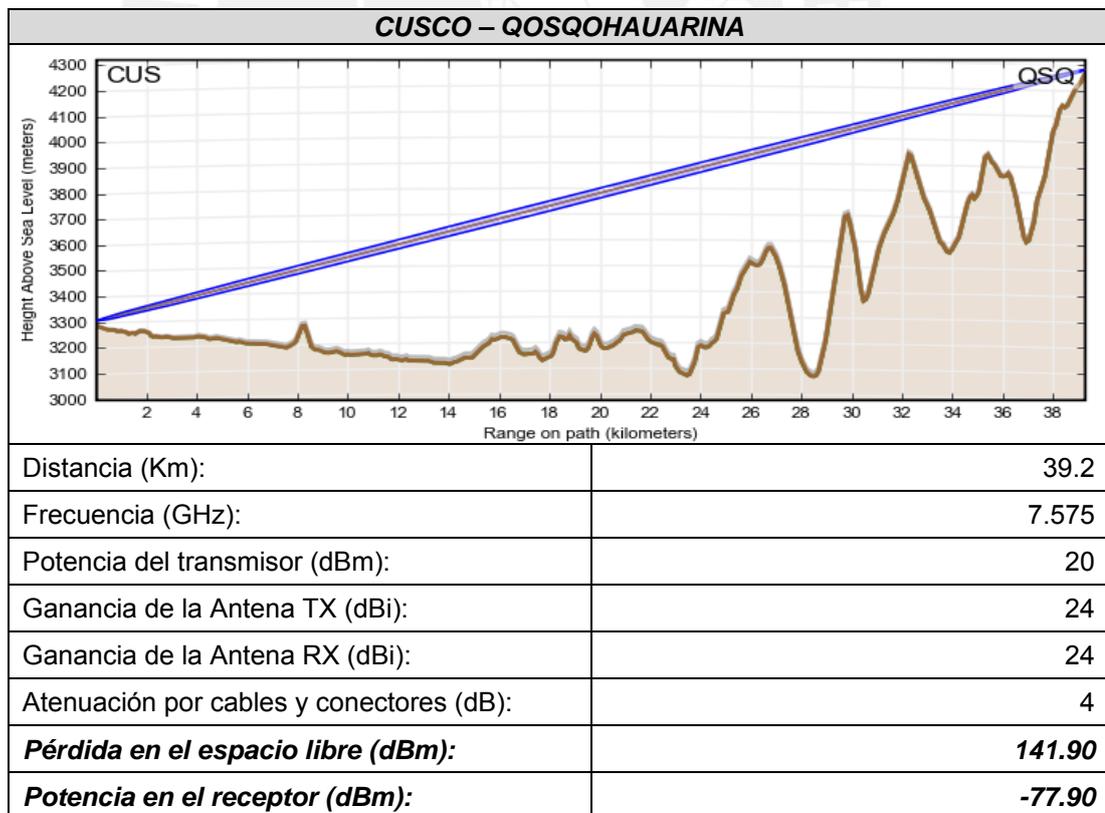
$$P_{Rx} = P_{Tx} - L_{Tx} + G_{Tx} - L_P + G_{Rx} - L_{Rx}$$

- Donde: P_{Rx} : Potencia recibida P_{Tx} : Potencia transmitida.
- L_{Tx} : Pérdidas por cables y conectores del lado del transmisor.
- G_{Tx} : Ganancia de la antena del transmisor.
- L_P : Pérdidas por espacio libre.
- G_{Rx} : Ganancia de la antena del receptor.
- L_{Rx} : Pérdidas por cables y conectores del lado del receptor.

Consideraremos también una confiabilidad del sistema de 99.99%.

A continuación se muestran los perfiles² y los valores obtenidos de pérdida en el espacio libre y potencia recibida:

TABLA 3-3 Enlace Cusco - Qosqohuarina



² Perfiles obtenidos con la ayuda del programa Motorola PTP Link Planner.

TABLA 3-4 Enlace Qosqohuarina - Don Juan

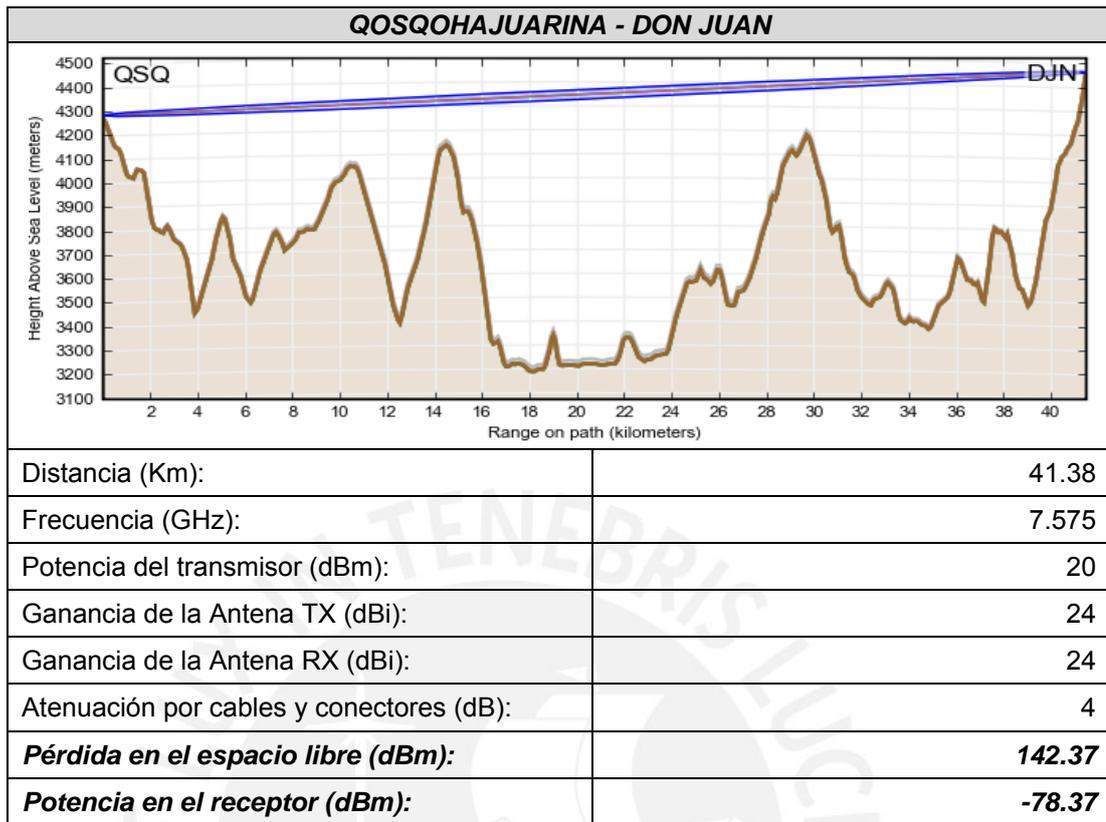


TABLA 3-5 Enlace Don Juan - Laykatuyoc

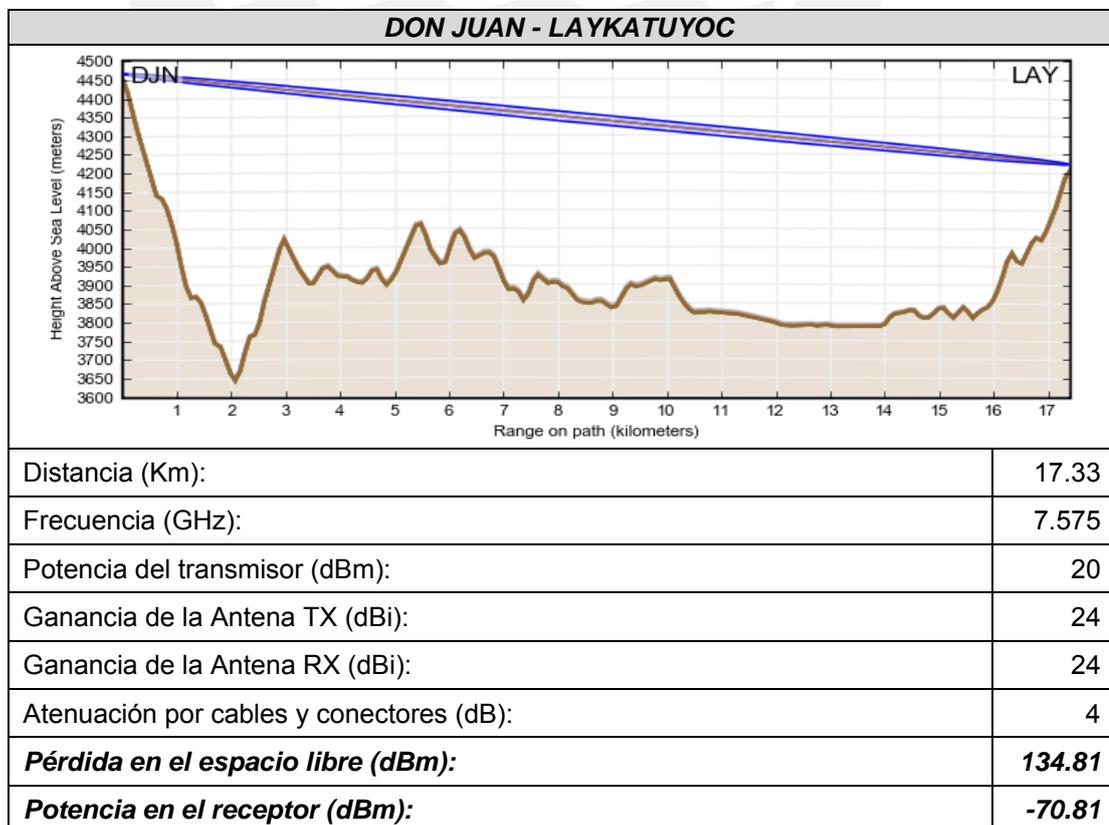


TABLA 3-6 Enlace Laykatuyoc - Pisco Orjo

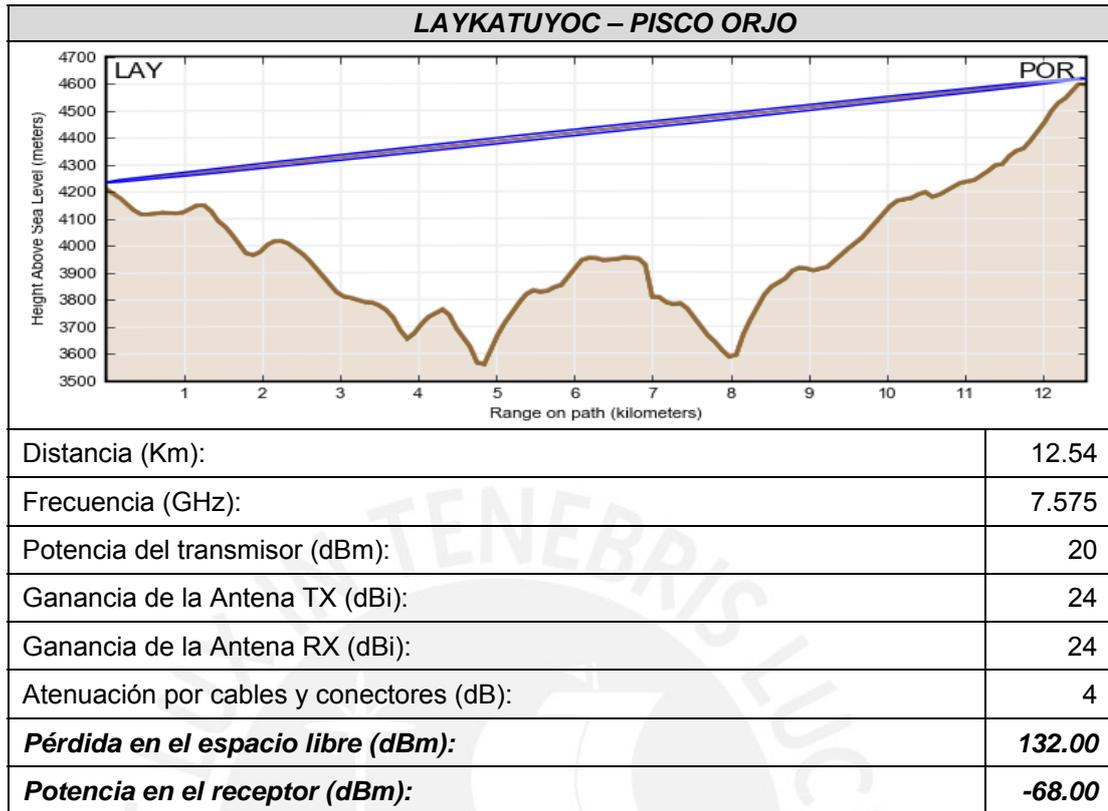
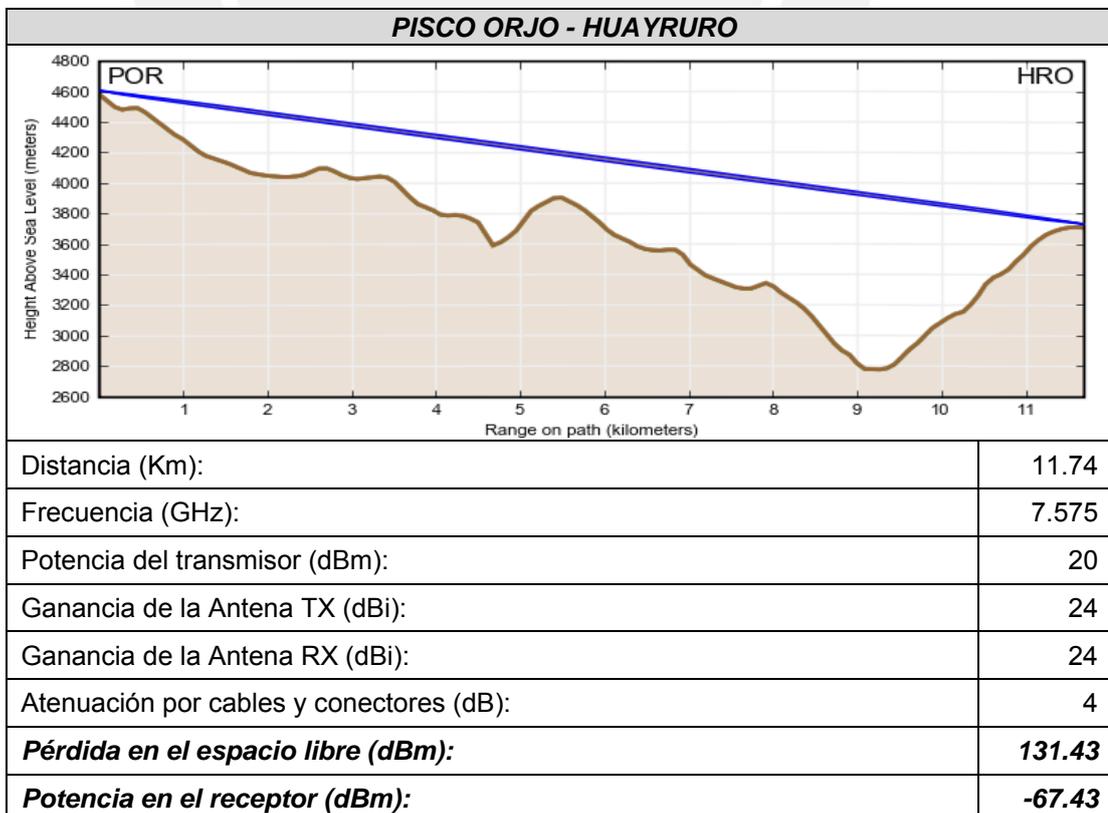


TABLA 3-7 Enlace Pisco Orjo - Huayruro



3.2.2 Análisis de radio-propagación para los enlaces de la red de transporte utilizando software especializado

El empleo de software especializado para el diseño de radio enlaces es de gran ayuda, si bien no son 100% exactos pueden ser muy aproximados a la realidad ya que combinan información de relieve, clima, y las características de los sistemas a ser implementados, a continuación presentamos los datos calculados con el programa **Radio Mobile**.

Se trata de software libre, por tal motivo nos permite hacer cálculos con valores de frecuencia tanto libres como licenciadas así como también manipular las diferentes funcionalidades de acuerdo a las características propias de nuestra red. A continuación se presenta el análisis de cada uno de los enlaces considerando una frecuencia entre 7 y 8 GHz (Banda Licenciada).

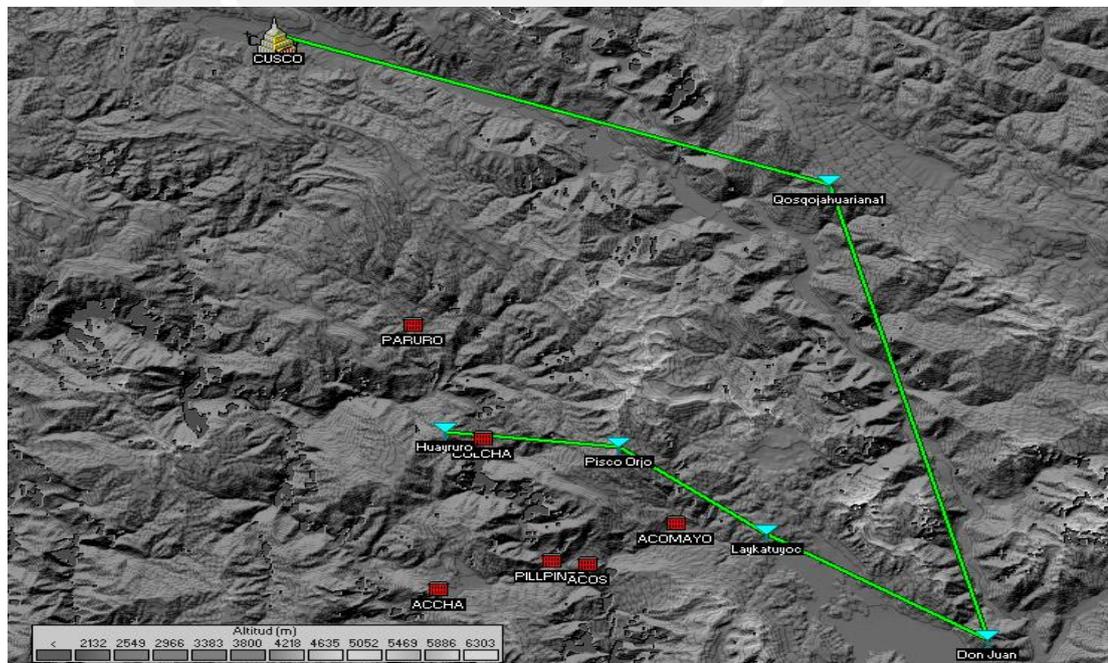


FIGURA 3-6 RED DE TRANSPORTE 7-8GHz

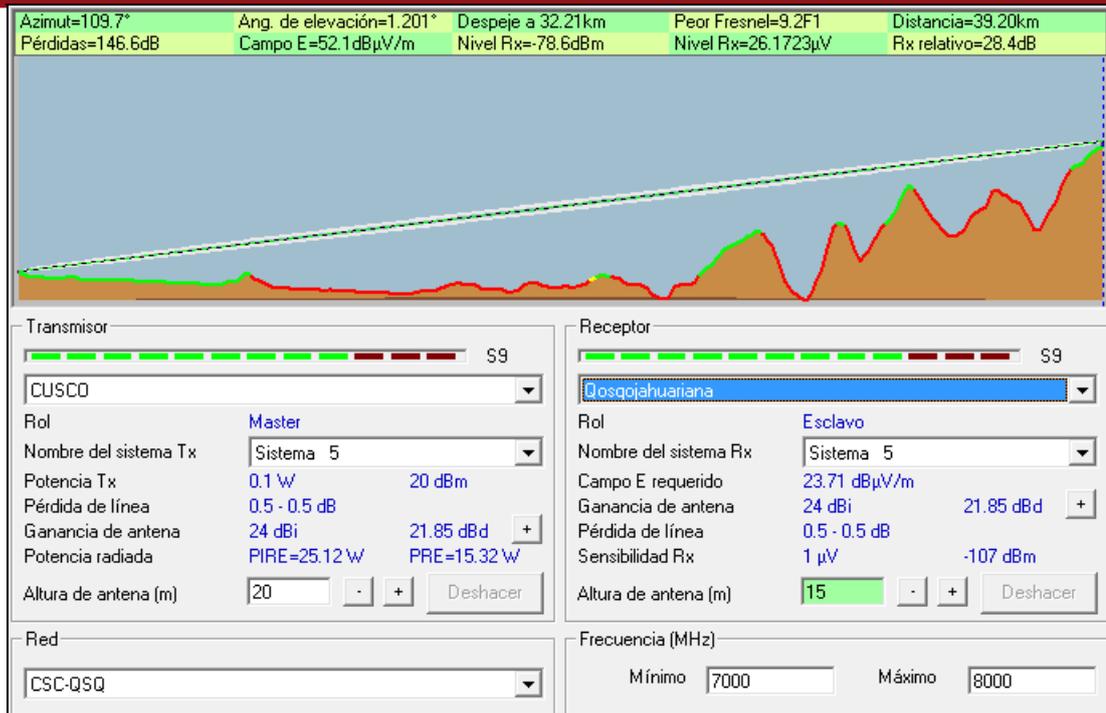


FIGURA 3-7 Enlace CUSCO – Qosqohuarina

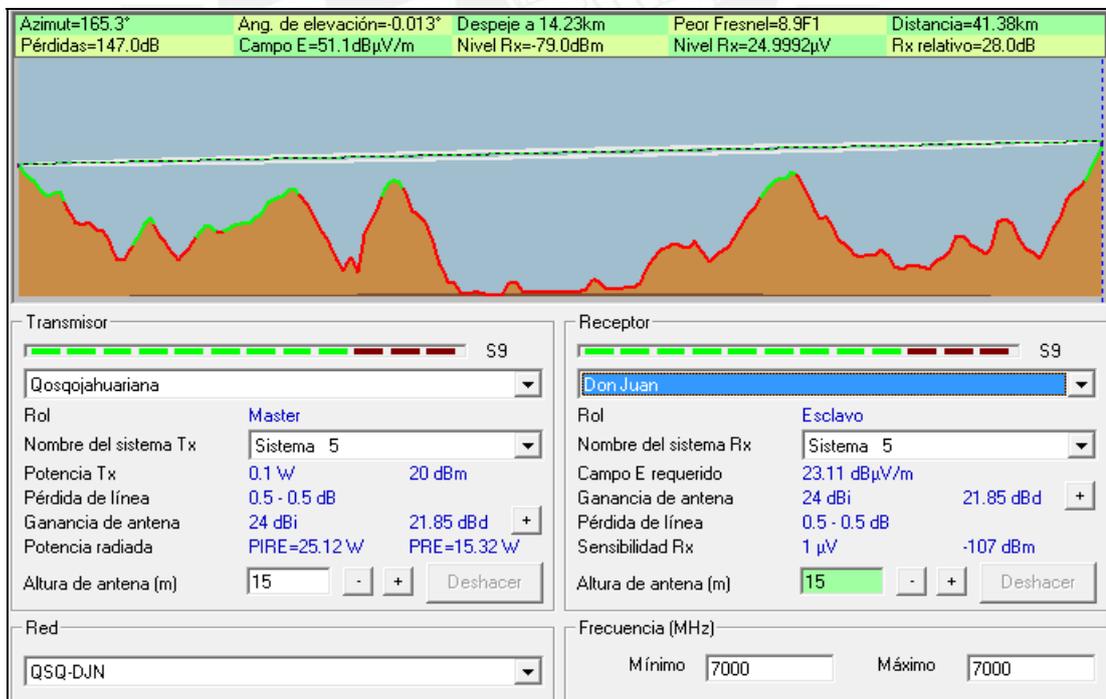


FIGURA 3-8 Enlace Qosqohuarina – Don Juan

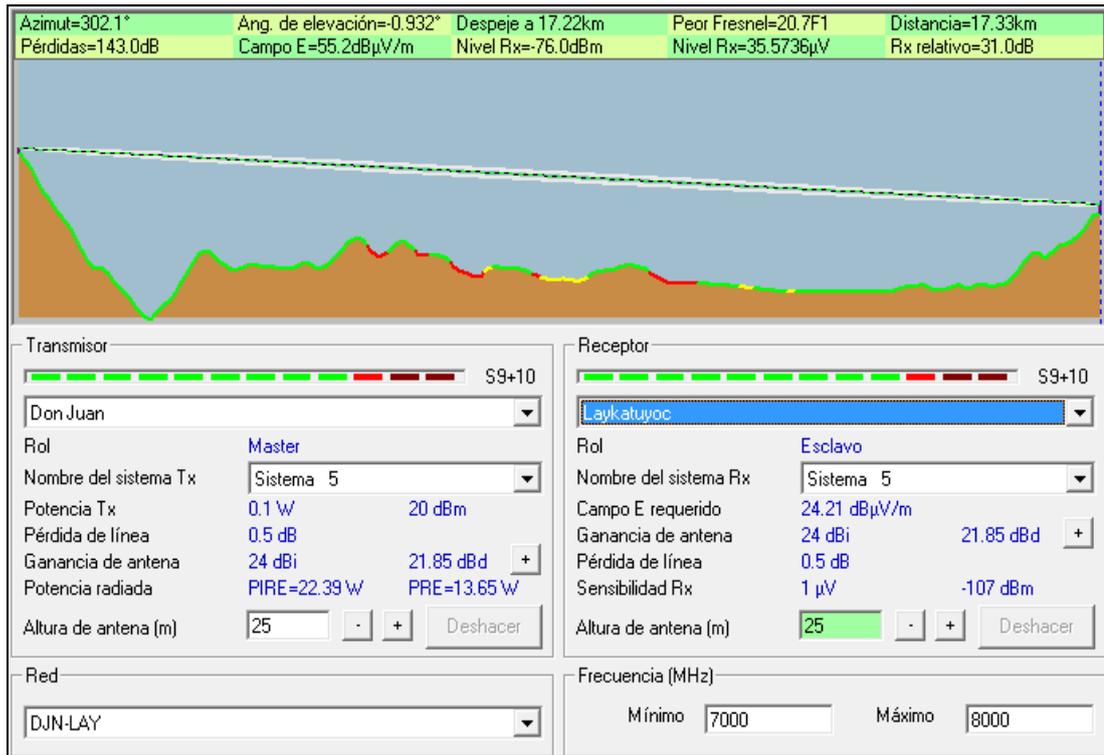


FIGURA 3-9 Enlace Don Juan – Laykatuyoc

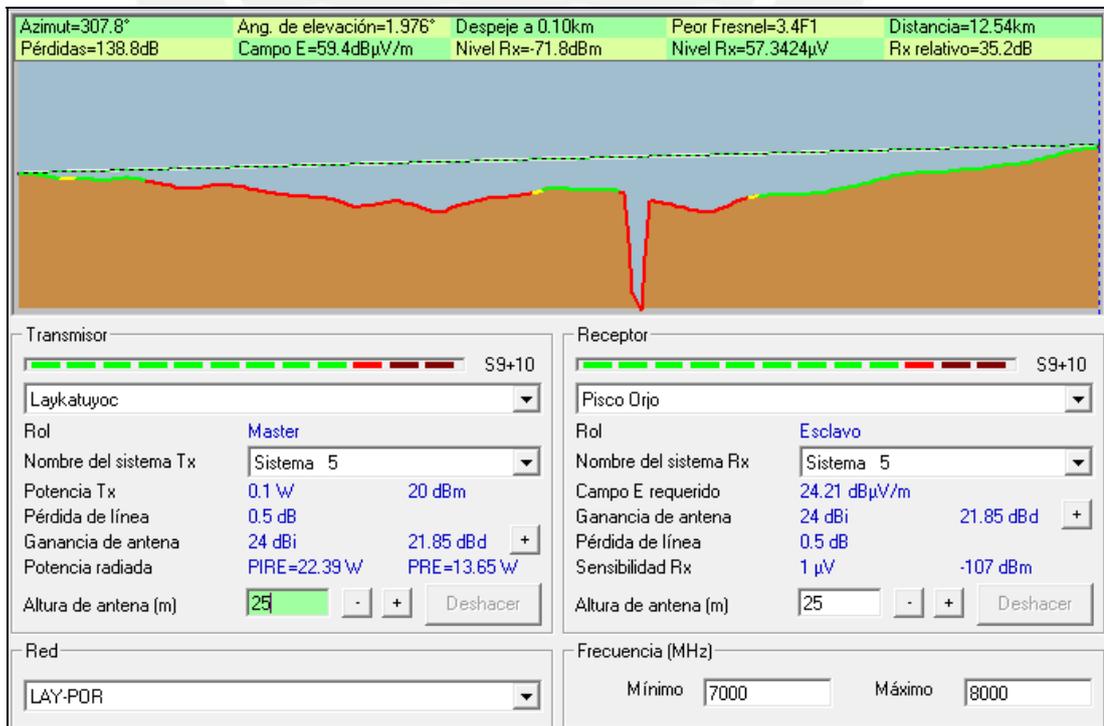


FIGURA 3-10 Enlace Laykatuyoc – Pisco Orjo

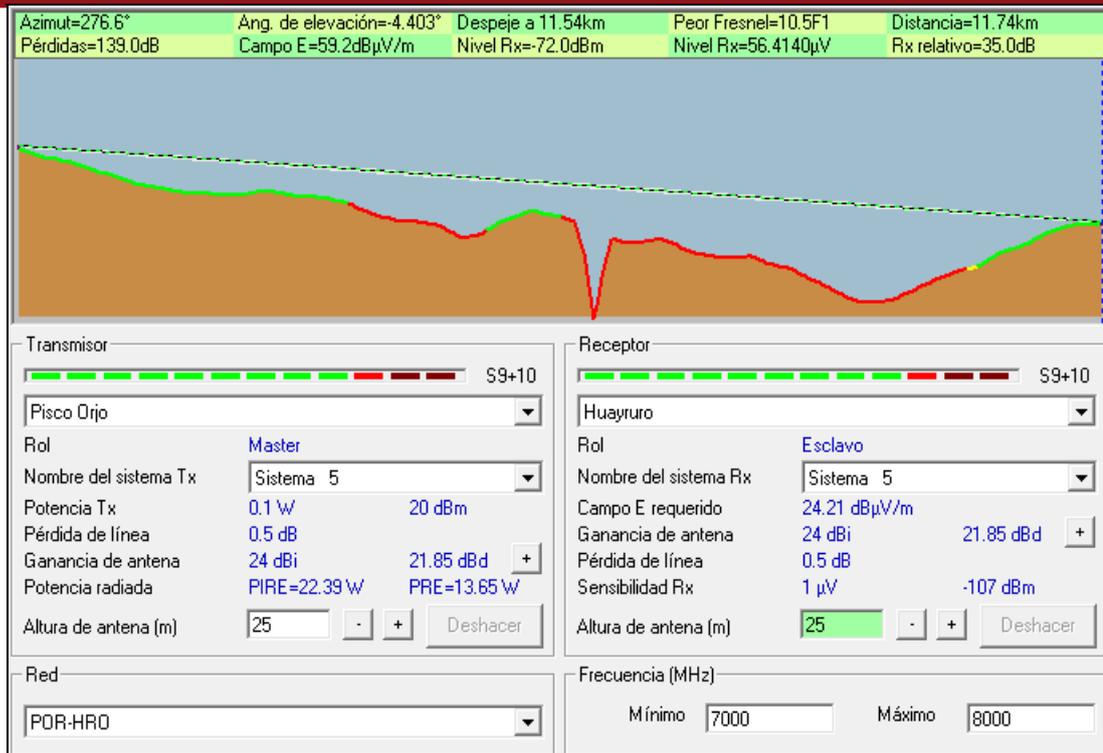


FIGURA 3-11 Enlace Pisco Orjo – Huayruro

3.3 Red de acceso

La red de acceso está constituida básicamente por las estaciones base y la cobertura que estas tendrán sobre las poblaciones a ser beneficiadas, en el siguiente diagrama se muestran solo como ejemplos las capitales de distrito, por su importancia, pero vale resaltar que el servicio abarcará también a las poblaciones que se encuentren dentro del área de cobertura de cada una de las estaciones base y que no son necesariamente capitales distritales.

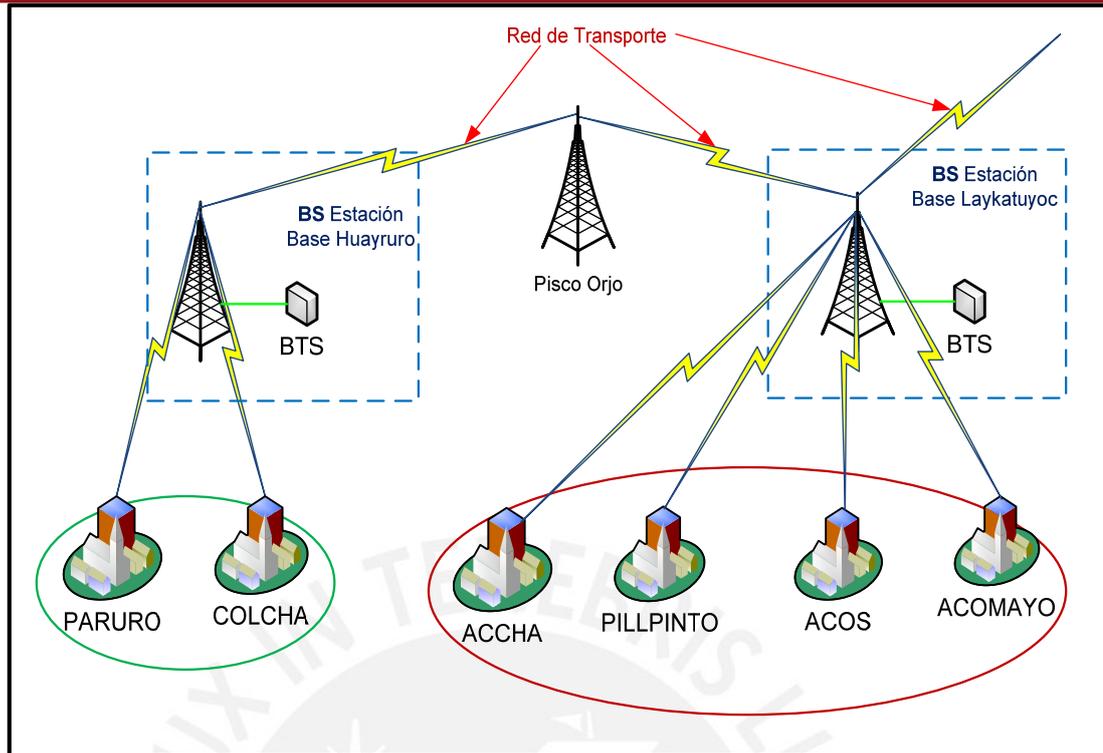


FIGURA 3-12 Esquema de la red de acceso

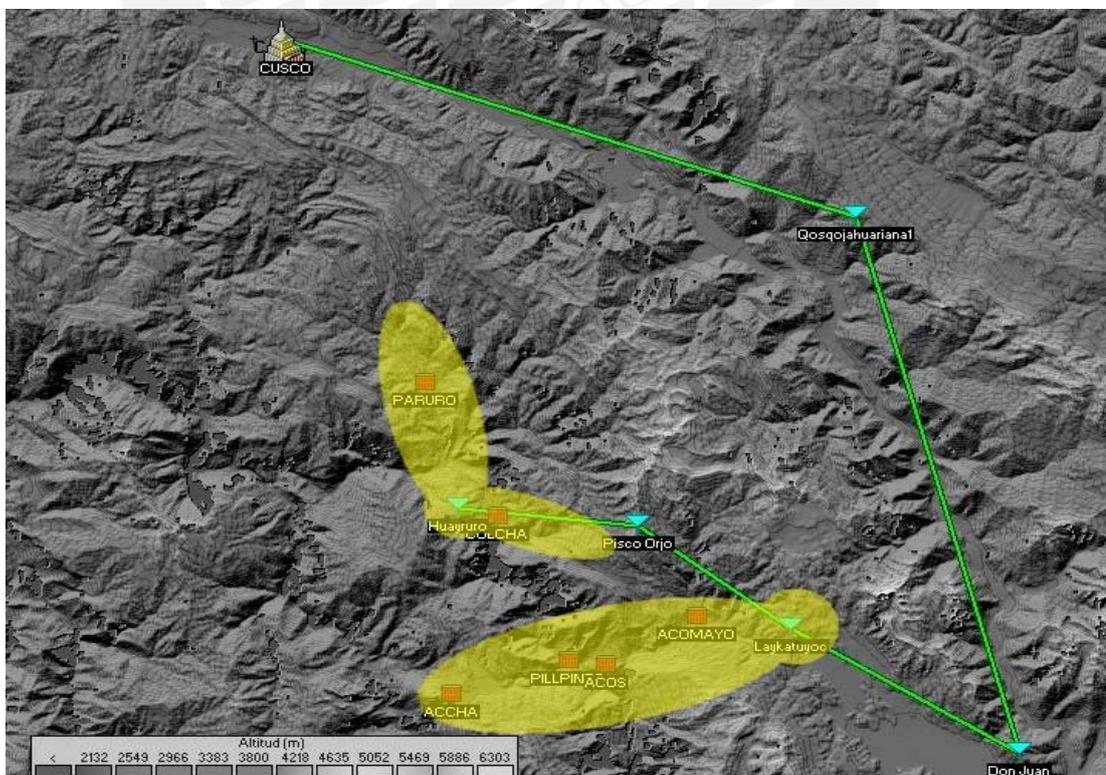


FIGURA 3-13 Cobertura estimada de la red de acceso

Para determinar las pérdidas de propagación entre las estaciones base y los terminales de usuario o estaciones fijas, utilizaremos el modelo de propagación **Okumura - Hata**, debido a que este es válido para frecuencias desde los 150MHz hasta los 1500MHz, rango en el cual está contenido nuestra frecuencia de operación (450MHz), las fórmulas propuestas son:

A. Para zonas urbanas:

$$L_{50(urbando)} = 69.55 + 26.16 \log f_c - 13.82 \log h_b - a + (44.9 - 6.55 \log h_b) \log d \text{ dB}$$

Donde: f_c : frecuencia en MHz

h_b : altura de la antena de la BTS.

h_t : altura de la antena del terminal en metros.

a : factor de corrección para la altura efectiva de la antena del terminal, en función del tipo de área de servicio.

d : distancia en Km.

Para el cálculo de a , tenemos los siguientes escenarios:

Para ciudades pequeñas y medianas:

$$a = (1.1 \log f_c - 0.7) h_t - (1.56 \log f_c - 0.8) \text{ dB}$$

Para ciudades grandes:

$$a = 8.29 (\log 1.54 h_t)^2 - 1.1 \text{ dB} \quad \text{para } f_c < 300 \text{ MHz}$$

$$a = 3.2 (\log 11.75 h_t)^2 - 4.97 \text{ dB} \quad \text{para } f_c > 300 \text{ MHz}$$

B. Para zonas rurales

Consideraremos el valor de a obtenido con la fórmula para ciudades pequeñas y medianas:

$$L_{50(rural)} = L_{50(urbano)} - 4.78(\log f_c)^2 + 18.33\log f_c - 40.94 \quad \text{dB}$$

En base a estas fórmulas y al uso de una hoja de cálculo, podemos obtener la distancia máxima entre la BTS y el terminal del usuario, teniendo en cuenta la sensibilidad de este último:

TABLA 3-8 Análisis de radio-propagación desde la BTS hacia la estación fija (terminal de usuario)

<i>BTS – Terminal de usuario</i>	
Frecuencia (GHz):	450
Potencia del transmisor (dBm):	40
Ganancia de la Antena TX (dBd):	13.1
Ganancia de la Antena RX (dBd):	0
Atenuación por cables y conectores (dB):	3
Sensibilidad del receptor (dBm) ³ :	-104.00
Potencia en el receptor (dBm):	-104.00
Distancia máxima al terminal (Km):	37.36

³ [SAL2007] Salvatierra Gamarra, Julio César “Diseño de una red rural CDMA-450 para el valle del Vilcanota - Canchis”. Tesis para obtener el grado de Ingeniero de las Telecomunicaciones. 2007.

TABLA 3-9 Análisis de radio-propagación desde la estación fija (terminal de usuario) hacia la BTS

<i>Terminal de usuario - BTS</i>	
Frecuencia (GHz):	450
Potencia del transmisor ³ (dBm):	23
Ganancia de la Antena TX (dBd):	0
Ganancia de la Antena RX (dBd):	13.1
Atenuación por cables y conectores (dB):	3
Sensibilidad del receptor (dBm):	-110.00
Potencia en el receptor (dBm):	-109.99
Distancia máxima al terminal (Km):	25.4

TABLA 3-10 Distancias entre las BTS y las Capitales de Distrito

<i>BTS</i>	<i>Terminal</i>	<i>Distancia Km.</i>
HUAYRURO	PARURO	9.69
	COLCHA	2.6
LAYKATUYOC	ACCHA	22.63
	PILLPINTO	14.66
	ACOS	12.33
	ACOMAYO	6.19

Como se observa en la TABLA 3-10, los valores de las distancias promedio entre las BTS y los terminales de usuario están comprendidos dentro de los valores de las distancias máximas calculadas anteriormente de acuerdo al modelo de propagación de Okumura-Hata, garantizándose de esta manera la cobertura en estas localidades.

3.4 Determinación del equipamiento y la infraestructura necesaria

3.4.1 Determinación del equipamiento.

A. Equipamiento de red

a. A continuación describiremos cada uno de los bloques de equipos necesarios para la implementación de nuestra red, así como también mencionaremos brevemente las funciones de cada uno de sus componentes:

- **NSS** *Network Switching System* o Sistema de conmutación de red, el cual se encarga de realizar la conmutación con la red de telefonía pública o PSTN. Contiene al **MSC** *Mobile Switching Centre* o Centro de conmutación móvil.
- **PDN** *Packet Data Network* o Red de paquetes de datos, encargada de brindar la conexión con la internet, incluye un **servidor AAA** *Authenticated, Authorization and Accounting* el cual se encarga de brindar al Protocolo de Internet IP, la funcionalidad de soportar autenticación, autorización y registro; además de conectarse a la PSDN *Public Switched Data Network*.
- **BSS** *Base Station System* o Sistema de estaciones base, el cual es el encargado de interactuar directamente con los terminales de los clientes, incluye el **BSC** *Base Station Controlar* o Controlador de la estación base, el cual permite la interconexión con la MSC y

la PSDN, además de incluir también la **BTS Base Transceiver Station**, es la interfaz de RF, la cual posibilita la comunicación entre los equipos de usuario (teléfonos fijos inalámbricos, routers inalámbricos, etc.) y la red.

b. A continuación presentamos las soluciones en cuanto a equipamiento de red ofrecidos por dos de los principales fabricantes inmersos en el desarrollo de la tecnología CDMA450:

- HUAWEI

En la Tabla 3.11 describimos las principales características de los equipos HUAWEI:

TABLA 3-11 Equipos HUAWEI para la infraestructura de red.

Fuente: "HUAWEI: www.huawei.com"

	<p>Macro CDMA BTS3606C</p> <p>Entre las principales características se tiene:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Soporta 3 celdas, 9 portadoras / sector. - Banda de operación: 450/800 MHz - Dimensiones 700 x 480 x 600 mm. - Peso: <85kg(S3/3/3) - CE Pooling: 768 Ces. - Potencia de transmisión: 60W (TOC). - Eficiencia de PA: 33% DHT. - Sensibilidad: -128 dBm - Transmisión: E1/T1/FE - Alimentación -48VDC/+24VDC. - Consumo de potencia: <630W(S1/1/1), <850W(S2/2/2), <1050W(S3/3/3).
---	---

	<p>Huper BSC</p> <p>Básicas:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Gabinete: N68-22: 2200mm x 600mm x 800mm. - Peso: Un gabinete < 350 Kg. - Configuración completa: 2 gabinetes/5 subracks. - Alimentación: -48V DC (-40V ~ -57V). - Consumo de potencia total: < 8.5 KW. <p>IP Network 1x</p> <ul style="list-style-type: none"> - BHCA: 3100K. - 50K Erlang de capacidad de tráfico. - TRX: 4300. - 1X throughput: 100Mbps. <p>IP Network DO:</p> <ul style="list-style-type: none"> - TRX: 6000. - DO throughput: 3Gbps. - Sesiones EVDO activas: 2000. - Conexiones PPP: 600K. <p>TDM/ATM Network (1x):</p> <ul style="list-style-type: none"> - Erl: 25K. - BHCA: 1500K. - TRX: 2500 <p>Confiabilidad:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Disponibilidad: 0.999995 - MTBF: 105967.24 horas. - MTTR: o.5 horas.
---	---

- ZTE

En la Tabla 3.12 describimos las principales características de los equipos ZTE:

TABLA 3-12 Equipos ZTE para la infraestructura de red.

Fuente: "ZTE: www.zte.com.cn"

	<p>Micro BTS</p> <p>Entre las principales características se tiene:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Soporta 1 puerto / 3 sectores. - Banda de frecuencia 450/800/1900MHz. - Máxima potencia de transmisión 40W (800MHZ), 20W (450/1900MHz). - Sensibilidad: -110 dBm - Alimentación 220 Vac o 48 Vdc. - Consumo de potencia: Hasta 150W. - Dimensiones 800 mm x 400 mm x250 mm.
	<p>BSC</p> <p>Entre las principales características se tiene:</p> <ul style="list-style-type: none"> - 240 enlaces E1 hacia el MSC. - 380 enlaces hacia las BTS's. - 7200 selector/vocoder. - Vocoder: 8K, 13K , EVRC. - 5,040 Erlang de capacidad de tráfico. - BSC/PCF soporta hasta 2400 sesiones activas y 40000sesiones PPP tipo "dormant". - MTBF>20años. - Dimensiones: 2000 mm x 810 mm x 600 mm (AltoXAnchoXProfundidad).
	<p>MSS (MSC/VLR-HLR/AUC)</p> <p>Capacidad del sistema MSC:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Máx. (10 módulos): aprox. 600K Abonados (0.03 Erlang/Abonado). - Módulo simple: 60K Abonados. - Procesamiento de llamadas por módulo: 500K BHCA. - Máx. Erlang: 20 000 Erl. - Máx. N° / link: 640 Links. <p>Capacidad del sistema HLR: 1 200K Capacidad del sistema VLR: 800K Capacidad del sistema AUC:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Soporta HLR a plena carga y procesa datos de seguridad de usuario. <p>Dimensiones: 2000mm x 810mm x 600mm. Peso: ≤ 250Kg. Energía: -48VDC.</p>

B. Equipamiento de usuario

A continuación presentamos algunas opciones de terminales de usuario, tanto para los servicios de voz como de datos, propuestas por 3 de los principales fabricantes. Cabe mencionar que estos equipos pueden trabajar tanto sobre sistemas propios como sobre redes basadas en tecnología de otros fabricantes.

a. HUAWEI

- Telefonía

En la Tabla 3.13 describimos algunas opciones de equipos de telefonía fija inalámbrica, así como sus principales características:

TABLA 3-13 Equipos Huawei para telefonía fija inalámbrica.

Fuente: "Huawei: www.huawei.com/mobileweb/en/view.do?ide=723"

	<p>ETS CDMA 1 Series Entre las principales características se tiene:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Opera en la frecuencia de 450 MHz - Alta calidad de señal. - Alto volumen. - Manos libres. - Soporta servicios suplementarios.
 <p>ETS CDMA 2</p>  <p>ETS CDMA 8</p>  <p>ETS CDMA 9</p>	<p>ETS CDMA 2 / ETS CDMA 8 / ETS CDMA 9 Series Entre las principales características se tiene:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Opera en la frecuencia de 450 MHz - Alta calidad de voz y SMS. - Servicio de transferencia de datos con a una tasa máxima de 153.6 Kbit/s. - Llamadas de emergencia. - 11 tipos de timbrado. - Soporta servicios suplementarios.

**CDMA T Series**

Entre las principales características se tiene:

- Opera en las frecuencia de 450 MHz
- Alta calidad de voz y SMS.
- Servicio de transferencia de datos con a una tasa máxima de 153.6 Kbit/s.
- Soporta teléfonos públicos.
- Puerto para control de carga.
- Transferencia de llamadas, llamada en espera, llamadas tripartitas.

- Internet

En la Tabla 3.14 describimos algunas opciones de equipos de abonado para la interconexión con la red de datos, así como sus principales características:

TABLA 3-14 Equipos Huawei para acceso a la red de datos.

Fuente: "Huawei: www.huawei.com/mobileweb/en/view.do?ide=723"

**EC506**

Entre las principales características se tiene:

- Opera en la frecuencia de 450 MHz para EV-DO y a 2.4 GHz en WLAN.
- Soporta: CDMA2000 1xEV-DO / CDMA2000 1xRTT / IS-95.
- Comparte una tasa de 2.4 Mbps con múltiples usuarios.
- 4 interfaces Ethernet 10/100 Mbps
- Configuración y administración vía WEB.
- Soporta DHCP, NAT y DNS relay.
- Soporta alta calidad de servicios de voz y WLAN (servicios opcionales).

b. AXESSTEL:

- Telefonía

En la Tabla 3.15 mostramos las principales características de estos terminales:

TABLA 3-15 Equipos Axesstel para telefonía fija inalámbrica.

Fuente: "Axesstel: www.axesstel.com/fixed/3G_broadband_gateways.php"

	<p>PX110</p> <p>Opera en la frecuencia de 450 MHz, ofrece alta calidad de voz y mensajes cortos. Entre las principales características se tiene:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Altavoz incorporado. - Iluminación de pantalla y teclado. - Pantalla LCD a matriz de puntos de 3 líneas. - Hora mundial y calculadora. - SMS. - Correo de voz. - Sonidos polifónicos. - Llamada en espera, transferencia de llamadas y llamadas tripartitas. - RUIIM (Removable User Identity Module) opcional. - PCO (Public Calling Office Function) opcional. - Radio FM opcional.
	<p>PX310</p> <p>Opera en la frecuencia de 450 MHz, ofrece alta calidad de voz, mensajes cortos y transmisión de datos a alta velocidad. Entre las principales características se tiene:</p> <ul style="list-style-type: none"> - 1x Packet Data Capability (153.6Kbps max). - Altavoz incorporado. - Iluminación de pantalla y teclado. - Pantalla LCD gráfica de 3 líneas. - Interface de datos para RS232 y USB - Hora mundial y calculadora. - SMS. - Correo de voz. - Sonidos polifónicos. - Llamada en espera, transferencia de llamadas y llamadas tripartitas. - RUIIM (Removable User Identity Module) opcional. - PCO (Public Calling Office Function) opcional. - Radio FM opcional.

- Internet

En la Tabla 3.16 describimos algunas opciones de equipos de abonado para la interconexión con la red de datos, así como sus principales características:

TABLA 3-16 Equipos Axesstel para telefonía fija inalámbrica.

Fuente: "Axesstel: www.axesstel.com/fixed/3G_broadband_gateways.php"

	<p>MV410 CDMA2000 1xEV-DO Gateways Combina perfectamente una Wireless-WAN con una red local WiFi (WLAN) y 4 puertos Ethernet. Entre las principales características se tiene:</p> <ul style="list-style-type: none"> - 6 LEDs indicadores multicolor. - Diversidad de antenas en el receptor. - Capacidad de datos de acuerdo a: 1x EV-DO/IS-99/IS707A (3.1Mbps FL/1.8Mbps RL max) - Interfaces de datos: 1 RS232, 1 USB y 4 Ethernet - Certificación Wi-Fi - Opción de DHCP - Herramienta de administración por PC y WEB. - Soporta OTA (Over the Air) (IS-683/IS-683A) - RUIM (Removable User Identity Module) opcional.
	<p>MV410i CDMA2000 1xEV-DO Gateways Opera en la frecuencia de 450 MHz, combina perfectamente una Wireless-WAN con una red local Ethernet. Entre las principales características se tiene:</p> <ul style="list-style-type: none"> - 6 LEDs indicadores multicolor. - Diversidad de antenas en el receptor. - Capacidad de datos de acuerdo a: 1x EV-DO/IS-99/IS707A (3.1Mbps FL/1.8Mbps RL max) - Interfaces de datos: 1 RS232, 1 USB y 4 Ethernet - Opción de DHCP - Herramienta de administración por PC y WEB. - Soporta OTA (Over the Air) (IS-683/IS-683A). - RUIM (Removable User Identity Module) opcional.

C. Equipamiento de microondas

El equipamiento de microondas será empleado en la red de transporte, estos equipos permitiendo la interconexión punto a punto entre la central en el Cusco con las estaciones base a través de nuestros 4 repetidores; consideraremos el siguiente equipo:

NEC: Pasolink NEO⁴

Entre las principales características de este equipo tenemos:

- Plataforma común (módulos intercambiables).
- Capacidad escalable por software:
 - o 5E1 a 16E1 ó 40E1 a 48E1
 - o 1/2E3
 - o 16E1 a STM1 (intercambio de tarjeta de interface).
- Modulación seleccionable por software desde QPSK hasta 128 QAM.
- Configuración flexible (1+0, 1+1, HS/SD/FD, XPIC).
- APS (Automatic Protection Switch) para STM-1
- Diseño compacto: 1+0, 1+1 y configuración de repetidor en 1 IDU.
- Fácil administración gracias al PNMSj (PASOLINK Network Management System Java Version).
- Operación en Polarización cruzada para 2 x STM-1
- Implementación de VLAN.

⁴ NEC Web site: "<http://www.nec.com/global/prod/nw/pasolink/products/pasoneo.html>"

- Gigabit Ethernet sobre STM-1
- Fácil configuración de res, alta ganancia de sistema y rendimiento superior.
- Ahorro en el CAPEX y OPEX.
- Frecuencias: 3, 4, 5, 6, **7, 8**, 10, 11, 12, y 13 GHz
- Capacidad de tráfico: 5x2 Mbps, 10x2 Mbps, 16x2 Mbps, 40x2 Mbps, 48x2 Mbps, 1x155 Mbps, 2x155 Mbps

3.4.2 Determinación de la infraestructura necesaria

Parte importante en el diseño de una red de telecomunicaciones es la infraestructura civil sobre la cual descansarán los sistemas de comunicaciones, esta deberá asegurar el normal funcionamiento de los equipos eléctricos y electrónicos ante cualquier agente natural como humano, además deberá cumplir también con los estándares establecidos para la implementación de las mismas.

Dentro de esta consideraremos lo siguiente:

- *Obras Preliminares*, abarca la preparación del terreno para la instalación de la estación.
- *Cimentación de la torre*, para la cual habrá que considerar la excavación y el tipo de concreto adecuado para la cimentación.
- *Construcción de la sala de equipos*, cuyas características deben incluir los estándares de seguridad necesarios.

- *Construcción de los muros externos*, comprenderá mampostería de ladrillo macizo, la instalación de alambres de púas y concertinas como medios disuasorios.
- *Construcción de las lozas armadas y pisos*, dentro de la sala de equipos y en la parte exterior a esta mediante el tendido de grava.
- *Instalaciones eléctricas*, en las cuales se considera la interconexión con la red eléctrica, los sistemas de protección eléctrica, la instalación de los tableros de control así como el sistema de tomacorrientes e interruptores.
- *Estructuras metálicas menores*, entre las cuales se incluirán los perfiles de acero, las puertas, la bandeja para cables tipo escalerilla y las anclas para la torre.
- *Estructuras metálicas mayores*, en este ítem consideramos principalmente la torre que soportará el sistema de radiocomunicación, se trata de una torre autosoportada triangular, así como todos los aditamentos necesarios para la instalación de las antenas de RF.

A. CONSTRUCCIÓN DE LA SALA DE EQUIPOS

Esta comprende desde el procedimiento de limpieza y adecuación de los terrenos, hasta la instalación de los mecanismos de de seguridad. A continuación se muestra el diagrama de la estación base que tendremos en cuenta para la implementación de nuestra red:

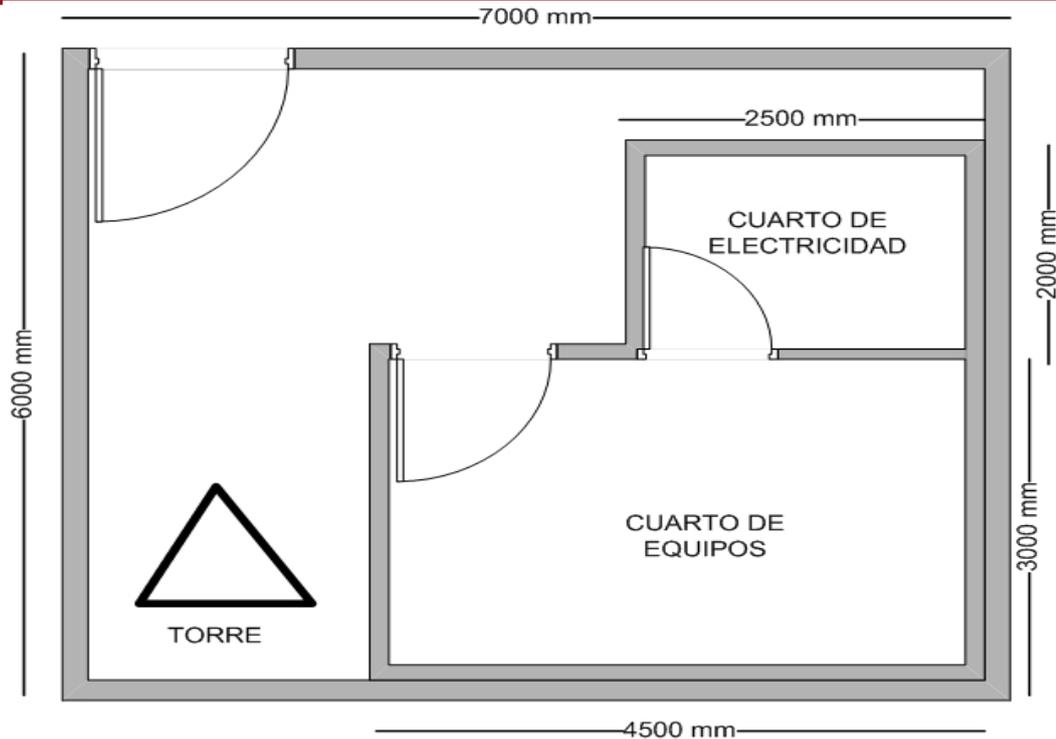


FIGURA 3-8 Diagrama de la infraestructura para una estación base

B. SISTEMAS DE PROTECCIÓN ELÉCTRICA⁵

En las zonas rurales hay gran diversidad de fenómenos eléctricos de origen atmosférico que pueden afectar a la salud de las personas y al buen funcionamiento de los equipos electrónicos. Por ello, es necesaria la implementación de un sistema de protección eléctrica que garantice la seguridad de las personas y la funcionalidad de los equipos.

⁵ Tomado de: Redes Inalámbricas Para Zonas Rurales, Cap. 4.3, “Diseño del subsistema de protección eléctrica.

El sistema de protección eléctrica debe cumplir los siguientes objetivos:

- Protección y seguridad para la vida humana.
- Protección y seguridad en la operación electrónica.
- Continuidad de operación.
- Compatibilidad electromagnética (mínimos niveles de interferencia y contaminación entre equipos, aparatos, componentes, accesorios y seres humanos).

El principal problema que se presenta en zonas de alta montaña es la caída de rayos. La descarga de rayos directos, los mismos que impactan en las cercanías o que caen sobre las líneas de suministro de energía que alimentan a los establecimientos, pueden producir efectos transitorios de alto voltaje y alta corriente. Las estaciones de radio son particularmente vulnerables a las descargas de rayos y transitorios, pues están situadas en lugares elevados para la mejor propagación de la señal.

No hay ninguna tecnología que por sí sola pueda eliminar el riesgo de los rayos y sus transitorios. Es necesario un sistema integral, que se encargue de:

- Capturar la descarga atmosférica.
- Derivar el rayo hacia tierra en forma segura.
- Disipar la energía a tierra.
- Proteger los equipos contra los efectos transitorios (sobrevoltajes y sobrecorrientes). [GTR2008]

TABLA 3-17 Materiales necesarios para la implementación del sistema de protección eléctrica en una BTS.

Fuente: "System Backbone SAC"

<i>MATERIAL</i>	<i>UNIDAD</i>	<i>METRADO</i>
REGISTRO O CAMARA DE INSPECCION PARA VARILLA O JABALINA DE PUESTA A TIERRA.	UN	3
SOLDADURA CUPROALUMINOTÉRMICA O CADWELD® O EXOTÉRMICA, PARA UNIONES CABLE-CABLE 50 MM2 (AWG 0).	UN	16
SOLDADURA CUPROALUMINOTÉRMICA O CADWELD® O EXOTÉRMICA, PARA UNIONES JABALINA ¾"-CABLE 50 MM2 (AWG 0).	UN	3
CONDUCTOR DE COBRE DESNUDO CALIBRE 0 AWG – (50 MM2 DE SECCIÓN).	ML	113
CONDUCTOR DE COBRE DESNUDO CALIBRE 2/0 – (70 MM2 DE SECCIÓN).	ML	42.53
CONDUCTOR DE COBRE FORRADO O DE AISLACIÓN SIMPLE DE PVC (COLOR VERDE Y AMARILLO) CALIBRE 0 – (50 MM2 DE SECCIÓN).	ML	132.06
BARRA, PLETINA O BUS BAR DE COBRE PARA TOMA GENERAL DE TIERRAS.	KG	15
PARARRAYOS TIPO FRANKLIN.	UN	1
VARILLA O JABALINA DE COBRE DE 2.40 X 5/8"	UN	3



4.1 Costo de equipos

Para el equipamiento de red necesario, optaremos por la opción ZTE, debido a que sus equipos cubren las necesidades de la red, presentan una buena oferta de precios así como también por tener un precedente en su uso como es la red de Valtron en Huarochirí.

En cuanto a equipamiento de usuario tenemos una gran variedad de terminales con diferentes características y funciones, cuyos costos varían de acuerdo a las características del equipo, teniendo terminales de solo telefonía desde \$ 35, hasta terminales híbridos de telefonía + datos de hasta \$ 150, la selección de estos dependerá del usuario, tomaremos en cuenta una cantidad de 1000 equipos a un precio promedio de \$ 100 cada uno.

TABLA 4-1 Costos de equipamiento

Ítem	DESCRIPCION	PRECIO UNITARIO	CANTIDAD	SUB TOTAL
1	MSC + HLR/AUC	400 000	1	400 000
2	BSC	250 000	1	250 000
3	BTS (Inc. antenas)	40 000	2	80 000
4	PDSN + AAA	100 000	1	100 000
5	PASOLINK NEO 1+0 (Inc. antenas e instalacion)	6 850	10	68 500
6	Terminales de usuario	100	1000	100 000
7	Sub Total			998 500
8	Costo de aduanas (43%)			429 355
COSTO EN DOLARES AMERICANOS SIN I.G.V.				1 427 855

4.2 Costo de infraestructura

El costo de la infraestructura lo dividiremos en dos aspectos bien diferenciados. El primero, la Infraestructura Civil que será aquella que abarque la construcción de las cimentaciones, ambientes y sistemas de seguridad eléctrica y anti intrusiones; y el segundo aspecto que abarcará lo concerniente al costo de la torre y su instalación; tenemos:

TABLA 4-2 Estación Base – Infraestructura Civil.

Ítem	DESCRIPCION	PRECIO UNITARIO	CANTIDAD	SUB TOTAL
1	Obras preliminares	311	2	622
2	Cimentación de torre	4 907.56	2	9 815.12
3	Muros de ladrillo	9 510.02	2	19 020.04
4	Losas armadas y pisos	2 856.04	2	5 712.08
5	Sistema de tierras	4 070.19	2	8 140.38
6	Instalaciones eléctricas	1 089.71	2	2 179.42
7	Estructuras metálicas menores	1 940.54	2	3 881.08
8	Otros	8 215.24	2	16 430.48
COSTO EN DOLARES AMERICANOS SIN I.G.V.				65 800.6

TABLA 4-3 Estructuras Metálicas

Ítem	DESCRIPCION	PRECIO UNITARIO	CANTIDAD	SUB TOTAL
1	Suministro torre autosoportada triangular de 30m.	8 822.24	4	35 289
2	Instalacion de torre	1 560	4	6 240
3	Suministro de escalerilla de 30 para recorrido de cables	1 012.5	4	4 050
4	Instalación de soporte con doble anillo tubular para antenas de RF	163.8	2	327.6
5	Instalación de soporte tipo ménsula fija para antenas de TX	20.48	7	143.36
COSTO EN DOLARES AMERICANOS SIN I.G.V. USD				46049.96

TABLA 4-4 Resumen de costos por infraestructura

Ítem	DESCRIPCION	TOTALES
1	INFRAESTRUCTURA CIVIL	65 800.6
2	ESTRUCTURAS METALICAS	46 049.96
COSTO EN DOLARES AMERICANOS SIN I.G.V. U\$D		111 850.56

4.3 Costos de interconexión

En primer lugar consideraremos los costos de interconexión para los sistemas de telefonía, en base al número de E1s calculados en el Capítulo 2 y a los precios de adecuación referenciales provistos por Telefónica. Para el caso del tráfico de datos, tomaremos en cuenta el mismo cargo de adecuación de red, por ser válido para una velocidad de 2.048 Mbps

TABLA 4-5 Costos de adecuación de red para interconexión

Ítem	DESCRIPCION	CARGO UNITARIO POR ADECUACIÓN DE RED	CANTIDAD	SUBTOTAL
1	Total Telefonía	7650	2 E1s	15 300
3	Internet	7650	11 E1s	84 150
COSTO EN DOLARES AMERICANOS SIN I.G.V.				99 450
COSTO EN DOLARES AMERICANOS INC I.G.V.				11 834.55

A continuación, en la TABLA 4-6 se muestra el resumen de los costos de inversión del proyecto, considerando los costos de infraestructura y equipamiento.

TABLA 4-6 Costos de inversión.

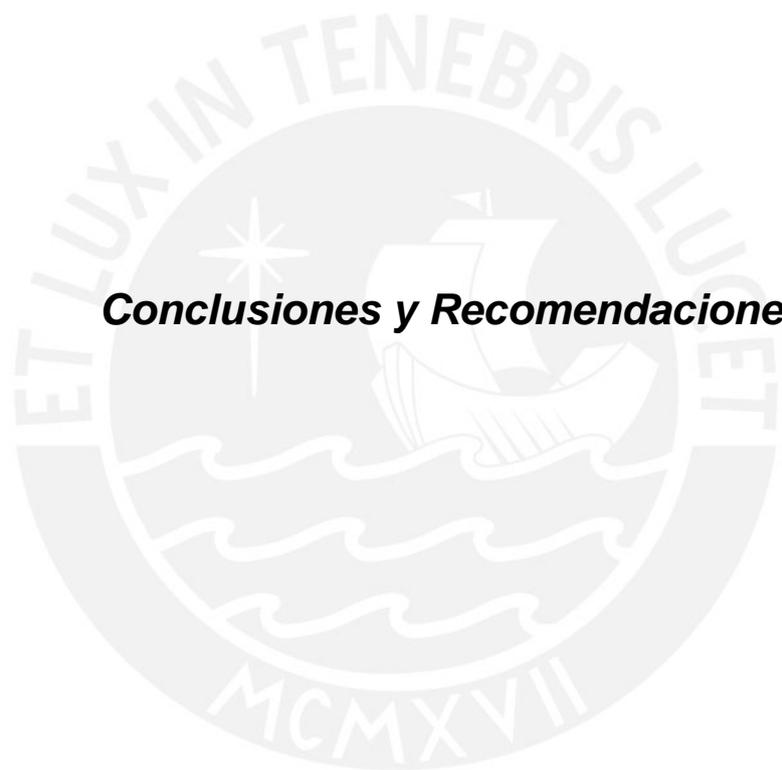
Ítem	DESCRIPCION	U\$D
1	EQUIPAMIENTO	1 427 855
2	INFRAESTRUCTURA	111 850.56
3	INTERCONEXIÓN	99 450
COSTO EN DOLARES AMERICANOS SIN I.G.V.		1 639 155.56
COSTO EN DOLARES AMERICANOS INC I.G.V.		1 950 595.116

4.4 Costo de operación y mantenimiento

Los costos de operación y mantenimiento deberán cubrir todos aquellos gastos relacionados con el buen desempeño de la red, entre estos se tiene el pago al personal operador, la reparación, cambio de equipos, pagos por transporte hacia otros operadores, alquiler, pago de servicios, etc.

TABLA 4-7 Costos de operación y mantenimiento

Ítem	DESCRIPCION	PRECIO UNITARIO	CNTD	SUB TOTAL
1	Costo mensual por enlace de interconexión (E1s)	81	2	162
2	Costo mensual por enlace de interconexión de datos por MHz (consideramos 1MHz \approx 1Mbps)	2200	11	24 200
3	Alquiler del local	800	1	800
4	Pago al personal	3000	1	3 000
COSTO EN DOLARES AMERICANOS SIN I.G.V. USD				28 162
COSTO EN DOLARES AMERICANOS INC. I.G.V. USD				33 512.78



Conclusiones y Recomendaciones

Conclusiones

- Las necesidades de comunicación presentes en las localidades rurales de nuestro país hacen necesaria la búsqueda y elección de la tecnología adecuada para satisfacerlas, de tal manera que esta cubra los requerimientos básicos de las telecomunicaciones rurales como son la cobertura, la capacidad y la rentabilidad del sistema.
- La tecnología CDMA 450 se presenta como una de las más completas alternativas para este tipo de entornos, debido a sus principales características como son el uso de *espectro expandido* y la *gran área de cobertura* que permite la utilización de una frecuencia baja como son los 450 MHz.
- El empleo de la tecnología CDMA 450 permitirá brindar servicios de mejor calidad y a un menor costo que los servicios con los que actualmente cuentan, generalmente basados en soluciones VSAT, caracterizadas principalmente por ser bastante costosas y muy sensibles a las condiciones atmosféricas.
- La implementación de este diseño, tendrá como consecuencia una mejora en la calidad de vida de los pobladores, permitiendo el acceso de alrededor del 22% de los hogares al servicio de telefonía fija de abonado, duplicará el número de teléfonos públicos y finalmente brindará acceso a internet alrededor del 7% de hogares. Además de contar con un futuro mercado compuesto por las poblaciones ubicadas a lo largo de la red de transporte.

- El área a intervenir presenta gran potencial turístico:
 - Turismo histórico, por la presencia de restos arqueológicos como los de Paccarectambo en Paruro y Waqra Pukara en Acomayo.
 - Turismo ecológico, por la presencia de bosques nativos como los de Huanquite y Huanca Huanca en Paruro.
 - Turismo de aventura, rutas adecuadas para la práctica del senderismo (trekking), bicicleta de montaña (biking) y canotaje (rafting), este último especialmente en el tramo Pillpinto-Colcha-Cusibamba sobre la cuenca del río Apurímac.

La promoción de estos atractivos, sumados a los medios de comunicación a ser instalados beneficiarán en gran medida a los pobladores de estos lugares, convirtiéndose en una nueva fuente de ingreso familiar.

- El diseño de una red rural, aparte de los aspectos propios de la ingeniería, contiene también un aspecto de sensibilidad y responsabilidad social el cual debe verse reflejado en la búsqueda del desarrollo de los pueblos, sentimientos que han estado presentes desde la concepción de este proyecto y que permanecerán como parte del compromiso para con uno mismo y la sociedad.
- Finalmente cabe destacar que el desarrollo de la presente ha permitido refrescar y afianzar muchos de aquellos conocimientos adquiridos durante nuestro paso por las aulas, así como también ha permitido aprender mucho sobre la realidad socioeconómica y cultural

de las poblaciones rurales, permitiéndonos tener ahora un concepto más amplio sobre las mismas así como también sobre sus necesidades y capacidades.



Recomendaciones

De acuerdo a los datos obtenidos en los capítulos 2, 3 y 4, se recomienda:

- La utilización de la ruta planteada por ser la menos accidentada y también por constituir un área de futura expansión del servicio, por concentrar a un número importante de localidades a lo largo de la ruta, además de que esta ya ha sido probada y viene funcionando desde hace ya varios años dentro del marco del proyecto EHAS correspondiente a la Red de Salud Cusco Sur, y que además permitirá la reutilización de infraestructura, reduciendo significativamente los costos de implementación.
- Por tratarse de zonas rurales, cuyo acceso está generalmente limitado por las condiciones geográficas, se recomienda el uso de estaciones base (BTS) compactas, las cuales puedan ser fácilmente transportadas así como también tengan un menor consumo de energía.
- Una vez implementada la red rural, se recomienda incidir en la comunidad sobre el concepto de pertenencia de la infraestructura de la red, generando un sentimiento de conservación y cuidado de toda la población hacia el equipamiento, lo cual se verá reflejado en un mejor uso y en la seguridad de los mismos.

Bibliografía

- [CDG2003] CDMA DEVELOPMENT GROUP. “CDMA 450 For Rural Communications”. Mayo 2003.
URL:
http://www.cdg.org/technology/3g/resource/450_Status.pdf
Última consulta: Julio 2008
- [CDG2008] CDMA DEVELOPMENT GROUP. “CDMA 450”.
URL: <http://www.cdg.org/technology/3g/cdma450.asp>
Última consulta: Enero 2009
- [CDG2009] CDMA DEVELOPMENT GROUP. “CDMA 450: Situación de Mercado”. Enero 2009.
URL:
http://www.cdg.org/technology/3g/resource/CDMA450%20Market%20Facts_Spanish.pdf
Última consulta: Enero 2009
- [CVP2007] INEI. “Censos Nacionales 2007: XI de Población y VI de Vivienda”. Sistema de consulta de datos, Perú 2007
- [ESM2003] ESMAILZADEH, RIAZ. “TDD-CDMA for wireless communications”, Artech House, Boston, Mass, 2003.
- [GTR2008] GTR-PUCP. “Redes inalámbricas para zonas rurales”, Pontificia Universidad Católica del Perú – Universidad Politécnica de Madrid. Lima, Enero del 2008.
- [INA2007] INTERNATIONAL 450 ASSOCIATION. “Seminario sobre espectro terrestre para las IMT, El Salvador, 2007.
URL: <http://www.450world.org>
Última consulta: Junio 2008
- [MTC2008] MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES “Registro Nacional de frecuencias”. 2008.

- [OSH2004] O'SHEA D. "Around the World in 450 MHz", *Telephony*, 2004, pages 32-34.
- [OSP2008] OSIPTEL. "Información estadística de telecomunicaciones". 2008.
URL:
http://www.osiptel.gob.pe/Index.ASP?T=T&IDBase=2635&P=%2FOsiptelDocs%2FGPR%2FEL_SECTOR%2FINFORMACION+ESTADISTICA%2FIndicadoresEstadisticos1.htm
Última consulta: Diciembre 2008
- [QLC2000] QUALCOMM LEARNING CENTER, "Introduction to CDMA Online Course", 2000.
URL:
<http://www.cdmauniversity.com/ProdTech/cdma/training/cdma25/index.html>
Última consulta: Julio 2008
- [QUA2000] QUALCOMM INC. "Fundamental of wireless communications & CDMA", 2000.
- [ROD2005] RODRÍGUEZ, ABEL. "Estimación de la demanda en telecomunicaciones rurales". FITEL, 2005.
- [SAL2007] SALVATIERRA GAMARRA, JULIO CÉSAR "Diseño de una red rural CDMA-450 para el valle del Vilcanota - Canchis". Tesis para optar el grado de Ingeniero de las Telecomunicaciones 2007.
- [ZIG2004] ZIGANGIROV KSH, ANDERSON JB. "Theory of Code Division Multiple Access Communications", Wiley-IEEE, 2004.